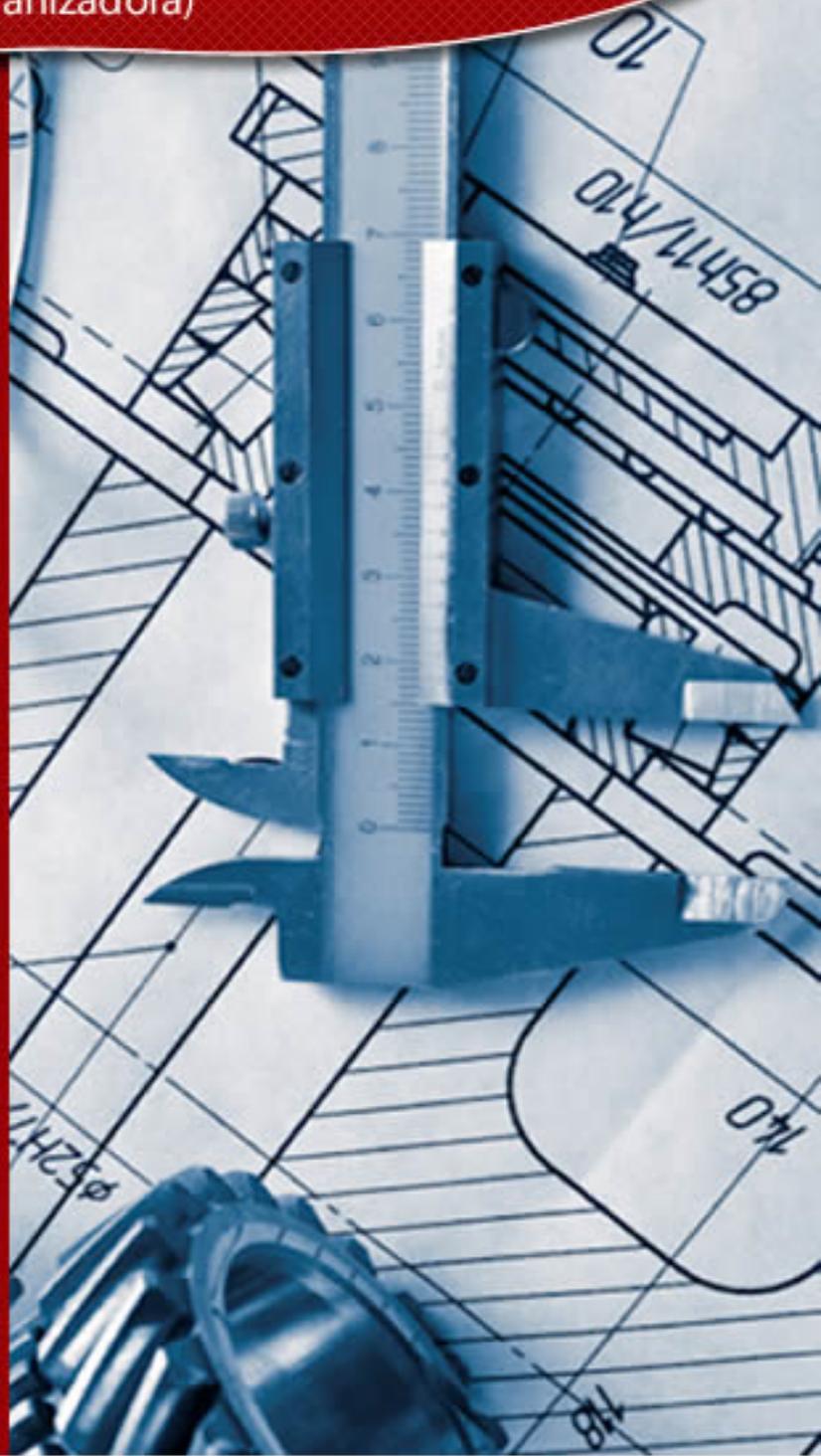


# Coletânea Nacional Sobre Engenharia de Produção 5

## Pesquisa Operacional

Antonella Carvalho de Oliveira  
(Organizadora)



Antonella Carvalho de Oliveira  
(Organizadora)

**COLETÂNEA NACIONAL SOBRE ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO 5: PESQUISA OPERACIONAL**

---

Atena Editora  
Curitiba – Brasil  
2017

2017 by Antonella Carvalho de Oliveira

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** *Geraldo Alves*

**Revisão:** *Os autores*

**Conselho Editorial**

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves (UFT)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C694

Coletânea nacional sobre engenharia de produção 5: pesquisa operacional / Organizadora Antonella Carvalho de Oliveira. – Curitiba (PR): Atena Editora, 2017.  
337 p. : il. ; 6.541 kbytes

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-25-7

DOI 10.22533/at.ed.2571004

Inclui bibliografia

1. Engenharia de produção. 3. Pesquisa operacional. I. Oliveira, Antonella Carvalho de. II. Título.

CDD-658.5

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## Apresentação

O volume cinco do livro eletrônico “Coletânea Nacional em Engenharia de Produção” tem como tema principal a área da Engenharia de Produção denominada Pesquisa Operacional.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, os estudos na área da Pesquisa Operacional passaram a ser tratadas a partir de uma abordagem colegiada, tornando-se uma área de conhecimento com estatuto epistemológico. É com esse olhar, que os autores deste volume, se esmeraram em expor trabalhos que versam sobre metodologias utilizadas na estruturação de problemas (processos, produtos ou problemas decisórios) através da construção de modelos matemáticos.

Dentre os 23 artigos apresentados, seis abordam com diferentes olhares a teoria das filas, dois a Análise Envoltória de Dados (DEA), dois a simulação de eventos discretos, dois abordam o tema energia elétrica e dois o balanceamento de linhas de montagem. Os demais artigos dissertam sobre temas diversos, tais como: formação de estoque como vantagem competitiva; criptografia de textos; processo de volatilidade de retornos do Ibovespa; análise da eficiência dos modelos ARIMA; modelo de planejamento agregado para otimização de recursos e custos; seleção de projetos Seis Sigma; escolha de um software de gestão e o último trabalho aborda a relação entre a Eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet e o IDH . Temos ainda um trabalho que discute a hierarquização e análise de risco na distinção de meios operativos da Marinha do Brasil.

Desta feita, os textos apresentados são ricos e foram selecionados de modo a compor um rico arsenal de conhecimento para todos aqueles que tem como fonte de estudo a Pesquisa Operacional.

Boa leitura!

*Antonella Carvalho de Oliveira*

## SUMÁRIO

### Capítulo I

A IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA A ARMAZENAGEM E OPERAÇÕES DE CROSS-DOCKING

*Thaís Aparecida Tardivo, Nemesio Rodrigues Capocci, Marcos Antonio Maia de Oliveira, Marcos José Corrêa Bueno e Willian Hensler Santos.....08*

### Capítulo II

A VOLATILIDADE DOS RETORNOS DO IBOVESPA: UMA ABORDAGEM ARIMA-GARCH

*Carlos Alberto Gonçalves da Silva.....21*

### Capítulo III

ABORDAGENS QUANTITATIVAS APLICADAS AO BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

*Diogo Cassin de Carvalho Oliveira, Marcelo Gechele Cleto, Sonia Isoldi Marty Gama Müller, Angelo da Silva Cabral e Marcelle Zacarias Silva Tolentino Bezerra.....34*

### Capítulo IV

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

*Naijela Janaina da Costa e Herick Fernando Moralles.....47*

### Capítulo V

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE MODELOS SARIMA PARA PREVISÃO DE VAZÕES DO RIO PARAÍBA DO SUL

*Caroline de Oliveira Costa Souza Rosa, Eliane da Silva Christo e Kelly Alonso Costa.....63*

### Capítulo VI

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO DE POSTES

*Fabiana dos Reis de Carvalho, Kathleen Kelly de Paula Araujo Ferreira, Saint Clair Lobato Portugal, Eriton Carlos Martins Barreiros e Hailton Barreto Moraes.....73*

### Capítulo VII

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS EM UMA PANIFICADORA LOCALIZADA NA CIDADE DE BELÉM/PA

*Yvelyne Bianca Iunes Santos, Amanda Claudino Almeida, Gabriel Silva Pina, Lucas Erick Pereira Lima e Robert Romano Monteiro.....86*

### Capítulo VIII

APLICAÇÃO DE INFERÊNCIA FUZZY NO APOIO À SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA

*Ricardo Martins dos Santos e Francisco Rodrigues Lima Junior.....101*

## Capítulo IX

AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SOFTWARE DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

*Matheus Lani Regattieri Arrais, Milton Etharl Junior e Dalessandro Soares Vianna.....117*

## Capítulo X

BALANCEAMENTO DE LINHA DE MONTAGEM COM USO DE PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR INTEIRA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA CALÇADISTA

*Rafhael Souza e Silva, Francisco Jocivan Carneiro Costa Júnior e Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.....129*

## CAPÍTULO XI

EFICIÊNCIA DOS HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS FEDERAIS NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

*Naja Brandão Santana, Ana Elisa Périgo e Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto.....142*

## Capítulo XII

ENTENDENDO A FILA COMO UMA ATIVIDADE QUE NÃO AGREGA VALOR: APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS NA REDUÇÃO DO TEMPO DE ATENDIMENTO

*Marcos dos Santos, Bruna Russo Bahiana, Beatriz Duarte Magno, Mariane Cristina Borges Dowsley Grossi, Fabrício da Costa Dias e Renato Santiago Quintal.....156*

## Capítulo XIII

ESCOLHA DE ESTRATÉGIA ÓTIMA PARA COMPETIÇÃO EM LEILÕES DE ENERGIA EM UM MERCADO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

*Fernando Gontijo Bernardes Júnior, Rodrigo de Carvalho e Rodney Rezende Saldanha.....170*

## Capítulo XIV

ESTUDO REALIZADO SOBRE TEORIA DAS FILAS APLICADO EM UMA FARMÁCIA NA CIDADE DE BELÉM-PA

*Yvelyne Bianca Lunes Santos, Fernanda Quitéria Arraes Pimentel, Jessé Andrade Dias, Rafael Pereira Guerreiro e Roberta Guedes Guilhon Cruz.....184*

## Capítulo XV

HIERARQUIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO NA DISTINÇÃO DE MEIOS OPERATIVOS DA MARINHA DO BRASIL

*Marcos dos Santos, Carlos Francisco Simões Gomes, Jonathan Cosme Ramos, Hudson Hübner de Sousa, Rubens Aguiar Walker e Fabrício da Costa Dias.....197*

#### Capítulo XVI

PESQUISA OPERACIONAL: APLICAÇÃO DE TEORIA DE FILAS NO SISTEMA DE ATENDIMENTO BANCÁRIO

*Reinaldo Alves de Sá Ferreira Junior, Gabriela Maués de Souza Martins, Edra Resende de Carvalho, Breno de Oliveira Pina e Yvelyne Bianca Lunes Santos.....212*

#### Capítulo XVII

PREVISÃO DE CARGA A CURTO PRAZO COMBINANDO BUSCA POR MODELOS RNA E METODO LINEAR

*Samuel Belini Defilippo e Henrique Steinherz Hippert.....224*

#### Capítulo XVIII

PROGRAMAÇÃO LINEAR NA DECISÃO DE MIX DE PRODUTOS PARA ESTOCAGEM: UM CASO DO SETOR MOVELEIRO

*Luciano Wallace Gonçalves Barbosa, Amanda Daniele de Carvalho, Rayane Ester Felício Santiago e Sílvia Maria Santana Mapa.....235*

#### Capítulo XIX

TEORIA DAS FILAS APLICADA A UMA DROGARIA LOCALIZADA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

*Daniel Magalhães Cumino, Debora Costa Melo, Nayara Góes Reis, Talles Orsay Dutra Sodre e Yan Filipy Moreira Correa.....250*

#### Capítulo XX

UM ENSAIO DE UM ALGORITMO PARA CRIPTOGRAFIA DE TEXTOS BASEADO NO CUBO RUBIK. UM MÉTODO PRÁTICO PARA USUÁRIOS NÃO INICIADOS NA RESOLUÇÃO DO CUBO

*Isnard Thomas Martins e Edgard Thomas Martins.....265*

#### Capítulo XXI

UTILIZAÇÃO COMBINADA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS E O PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE UMA EMPRESA

*Luana Neves Leite, Gabriel Cardinali, Tárkis Ferreira Silva, Emerson José de Paiva e Carlos Henrique de Oliveira.....279*

#### Capítulo XXII

UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ARENA PARA IDENTIFICAR GARGALOS EM UMA EMPRESA DE SOM AUTOMOTIVO DA CIDADE DE PETROLINA-PE

*Lucas Di Paula Gama dos Santos, João Paulo Amorim de Souza, Natanael Cardoso Macedo, Jéfferson Jesus de Araujo e Diogo de Oliveira Araújo.....292*

#### Capítulo XXIII

RELAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS ESTADOS BRASILEIROS NO USO DA LEI ROUANET E O IDH

<i>Cleston Alexandre dos Santos, Andréia Carpes Dani, Paulo Sérgio Almeida dos Santos e Nelson Hein.....</i>	<b>305</b>
<b>Sobre a organizadora.....</b>	<b>320</b>
<b>Sobre os autores.....</b>	<b>321</b>

# **CAPÍTULO I**

## **A IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA A ARMAZENAGEM E OPERAÇÕES DE CROSS-DOCKING**

---

**Thaís Aparecida Tardivo  
Nemesio Rodrigues Capocci  
Marcos Antonio Maia de Oliveira  
Marcos José Corrêa Bueno  
Willian Hensler Santos**

# A IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA A ARMAZENAGEM E OPERAÇÕES DE CROSS-DOCKING

## **Thaís Aparecida Tardivo**

Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
Guarulhos - SP

## **Nemesio Rodrigues Capocci**

Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
Guarulhos - SP

## **Marcos Antonio Maia de Oliveira**

Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
Guarulhos - SP

## **Marcos José Corrêa Bueno**

Centro Universitário Senac  
Santo Amaro – SP

## **Willian Hensler Santos**

Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
Guarulhos – SP

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi demonstrar a aplicabilidade e importância da técnica de simulação de eventos discretos na área de armazenagem e em operações de Cross-Docking, por meio de um estudo de caso realizado em um operador logístico, localizado na cidade de Guarulhos/SP. Constatou-se quais etapas fazem parte da operação, quantos funcionários estão envolvidos, quantos equipamentos estão disponíveis para a realização da operação para desta forma verificar quais são os gargalos do sistema, evidenciando assim, a importância da técnica de simulação de eventos discretos. A partir de informações fornecidas pelos encarregados das operações do turno da manhã e tarde, foi possível realizar uma simulação de toda operação no software Arena. Por meio do estudo de caso realizado na empresa e com auxílio do software de simulação, percebe-se alguns pontos a serem otimizados. Através das análises efetuadas dos pontos de criticidade do processo, aplicou-se melhorias nas operações de Cross-Docking da empresa estudada. Realizadas as melhorias, percebe-se nitidamente a otimização dos processos e recursos estudados ao longo deste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Armazenagem; Pesquisa Operacional; Simulação; Software Arena.

## **1. Introdução**

A simulação de eventos discretos pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento. Possui origem na Teoria das Filas no qual estuda – se um sistema qualquer, seja ela uma fila de documentos até uma linha de produção em que são inseridas informações sobre cada processo que a compõe. Em geral, estes sistemas possuem características como: tempo, postos de trabalhos, quantidade de recursos, quantidade de funcionários e assim sucessivamente. A partir da coleta de dados é

realizada uma simulação em um determinado software nos quais obtém-se os resultados, podendo observar de forma clara os gargalos e as melhorias a serem aplicadas.

Grande parte dos softwares disponíveis para realização destes estudos são versões básicas gratuitas com finalidade acadêmica. Contudo, para se realizar a simulação de sistemas mais complexos as versões disponíveis não suprem as necessidades. Para se obter a versão com melhor capacidade de operações é necessário haver um investimento monetário.

O presente trabalho estuda as operações de Cross-Docking de um operador logístico localizado em Guarulhos/SP, no qual são simuladas todas as etapas do processo de escoamento de mercadoria e tempo de execução. Sendo assim, serão observados os comportamentos deste sistema e quais melhorias poderão ser aplicadas.

Primeiramente, apresenta-se os conceitos das técnicas utilizadas para a realização deste trabalho e sua aplicabilidade. Através de dados estatísticos fornecidos pelo relatório do software utilizado, o Arena, observa-se quais são os gargalos da operação e quais recursos são mais e menos ocupados. A pesquisa classifica-se como quantitativa, uma vez que podemos tomar decisões por meio de dados estatísticos fornecidos pelo software.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Unitização de Cargas Fracionadas**

Para Moura (1979) a unitização de cargas fracionadas constitui-se em acondicionar várias unidades de carga, tornando-se uma “unidade” de carga maior de tipos de formatos padronizados. Com isso, os materiais podem ser transportados e movimentados ao longo da cadeia de suprimentos, reduzindo custos de movimentação e transporte.

Segundo Goebel (1996), unitização é acondicionar mercadorias de dimensões menores em uma única unidade com tamanho padronizado, facilitando a armazenagem e movimentação mecanizada. Existem várias formas de unitizar uma carga, o mais avançado é a carga containerizada. Há também formas primárias de unitização que permitem ser usadas com a infraestrutura existente, incluindo a utilização de pallets e o mais moderno “big-bag”.

Cada movimento e transporte da carga fracionada torna-se um aumento de custos. Contudo, a unitização beneficia tanto o destinatário como o remetente, pois evita avarias e reduz custos, sendo capaz de ser eficaz e eficientemente operada, tornando-se possível a diminuição da movimentação manual e substituindo-a por equipamentos mecânicos.

## 2.2. Tipos de Unitização

Existem vários tipos de carga unitizada, cada uma correspondendo a um unitizador específico. Todos eles possuem características em comum, não só se referindo a vantagens e desvantagens, mas principalmente aos equipamentos de transporte e movimentação. Os principais métodos de carga unitizada são: Carga auto-unitizada; Carga paletizada; Carga pré-lingada; Carga contentorizada; Carga containerizada; Big Bag.

## 2.3. Carga Paletizada

Segundo Da Silva (2006), a carga paletizada é um sistema de unitização, onde vários produtos são empilhados uns sobre os outros em uma estrutura móvel, ou seja, um pallet PBR de medidas 1,00 x 1,20. Utilizando o pallet é possível movimentar a carga através de empilhadeiras ou garfos mecânicos.

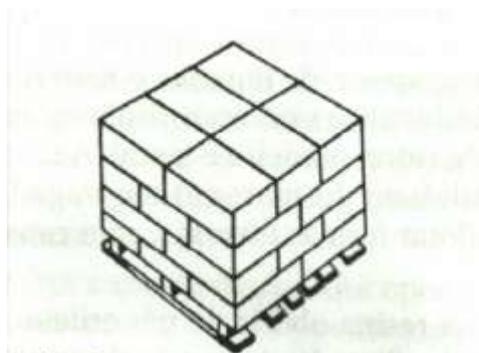


FIGURA 1 – Carga paletizada. Fonte: Dias (2006).

## 3. Cross-Docking

Além da unitização em si, o Cross-Docking pode ser um fator extremamente relevante na diminuição de custos de operações de distribuição, visto que esse conceito elimina a necessidade de armazenagem das mercadorias.

A tradução literal de Cross-Docking é cruzar docas, e este conceito na logística tem exatamente essa prerrogativa, subtrai a necessidade de separação dos pedidos e armazenagem das mercadorias, já que os lotes assim que chegam nas docas, seguem direto para a expedição com destinos já determinados, reduzindo o manuseio de matérias. (CARNEIRO ANDRADE,1998).

## 4. Pesquisa Operacional

As empresas em geral, visam o aperfeiçoamento nos processos, maximização de lucros, minimização de custos, aumento no nível de serviço, dentre vários outros

fatores que impactam diretamente nos resultados da empresa. Porém, uma tomada de decisão pode ser extremamente complexa dependendo das características do sistema em estudo, os gestores devem ter uma visão holística de todo o cenário atual e suas características, de forma clara, para poder tomar uma decisão eficaz e isso não é algo fácil.

A Pesquisa Operacional (PO) é uma das muitas áreas da Engenharia de Produção que dispõe de uma série de ferramentas e técnicas que possibilitam uma melhor análise de cenários e com isso otimização dos processos. É uma ciência de natureza quantitativa que tem um processo de estudo organizado e consistente que auxilia os gestores nas difíceis tarefas de gestão de matérias, recursos humanos, financeiros, dentre vários outros em uma empresa, independente do seu segmento de atuação. (MARINS, 2011).

Para Silva et al. (1998, p.11).

Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema. A Pesquisa Operacional como a conhecemos surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, resultado de estudos realizados por equipes interdisciplinares de cientistas contratados para resolver problemas militares de ordem estratégica e tática.

Existem diferentes técnicas na literatura sobre otimização das operações, em sua maioria são técnicas exatas, ou seja, após a obtenção dos dados, características do problema e cálculos chega-se a uma solução comumente chamada de ótima, dentre as várias técnicas desse tipo. Dentro da Pesquisa Operacional podemos citar a programação linear em problemas de maximização de lucro ou minimização de custos, por exemplo, fluxo máximo, escala de produção, distribuição, método do canto noroeste, método de Vogel, dentre outros. Porém, a técnica em estudo nesse trabalho será uma exceção dentro desse leque de ferramentas exatas da Pesquisa Operacional, pois a simulação de eventos discretos é uma técnica no qual a pessoa que realiza o estudo faz diversas alterações no modelo do problema até encontrar a melhor solução possível.

## **5. Simulação de eventos discretos**

De acordo com Sakurada e Miyake (2009) a simulação de eventos discretos é um estudo realizado em modelos de simulação, no qual as variáveis, o tempo e os custos mudam de estado instantaneamente de acordo com o tempo e as condições que se encontram.

Essa técnica é oriunda de uma teoria mais antiga dentro do âmbito da PO, a teoria das filas que trata de problemas de congestionamentos de sistemas nos quais o elemento principal denominado como entidade, é aquilo que passa pelos processos do sistema em estudo, ou seja, no caso de uma agência bancária essas entidades seriam os clientes que ela atende, no caso de um hospital seriam os

pacientes, em uma linha de produção, as peças seriam esses elementos. (LEOPOLDINO de ANDRADE,2009).

A teoria das filas é o estudo da espera em todas essas formas diversas. Ela usa modelos de filas para representar os diversos tipos de sistemas de filas (sistemas que envolvem filas do mesmo tipo) que surgem na prática. As formulas para cada indicam como o sistema de filas correspondente deve funcionar, inclusive o tempo de espera médio que ocorrerá, em uma série de circunstâncias. (HILLIER.; LIEBERMAN (2011, p. 1).

Sendo assim, a simulação de eventos discretos exige um estudo minucioso, pelo fato de conter muitos detalhes e haver variação em pontos específicos durante o processo. Ou seja, este modelo de simulação nada mais é que um conjunto de entidades que se relacionam com o mesmo objetivo, lembrando que estão propícios a sofrer alteração devido a fatores internos e/ou externos, portanto, a escolha do software para desenvolvimento do estudo de simulação tem grande relevância, uma vez que cada software possui características e ferramentas diferentes.

## 6. Softwares de Simulação

Como citado anteriormente, é importante ressaltar que a escolha do software pode interferir na modelagem. Dessa forma, é de suma importância conhecer dos softwares disponíveis no mercado para que o resultado final do projeto não seja incorreto devido a escolha do programa. Na tabela 1 a seguir são demonstrados os principais softwares disponíveis, as empresas responsáveis pelos mesmos e o link para acesso.

Tabela 1 – Principais softwares de simulação

Software	Empresa Responsável	Endereço de acesso
Arena	Paragon	<a href="http://www.paragon.com.br/software/arena/">http://www.paragon.com.br/software/arena/</a>
ProModel	ProModel Corporation	<a href="https://www.promodel.com/">https://www.promodel.com/</a>
Witness	Lanner	<a href="http://www.lanner.com/en/witness.cfm">http://www.lanner.com/en/witness.cfm</a>
Flexsim	Flexsim Software Products	<a href="https://www.flexsim.com/pt/">https://www.flexsim.com/pt/</a>
Simcad Process Simulator	Create a soft	<a href="http://www.createasoft.com/">http://www.createasoft.com/</a>

Fonte: Os autores (2016).

### 6.1 Software Arena

O software Arena produzido pela Rockwell e distribuído no Brasil pela Paragon é considerado pelos renomados especialistas como o “O mais inovador software de simulação”.

Segundo a Paragon (2016), o Arena permite realizar análise de cenários, simulações de processos, análise dinâmica e interação entre os elementos disponíveis. Assim, é possível identificar gargalos, melhorar as condições da operação, visualizar tamanho das filas, nível de ocupação dos recursos e observar o

comportamento do sistema.

Este software permite modelagem através de fluxogramas, proporcionando rapidez no modelo, além de ser possível utilizar animação simples e 3D. Como vantagens do Arena, a Paragon apresenta os seguintes tópicos:

- ✓ Melhorar a visibilidade de um sistema ou mudança do processo;
- ✓ Explorar oportunidades para novos procedimentos;
- ✓ Diagnosticar e solucionar problemas;
- ✓ Reduzir ou eliminar gargalos;
- ✓ Melhorar a previsão financeira;
- ✓ Reduzir tempo de entrega;
- ✓ Administrar melhores níveis de inventário, equipamentos, etc;
- ✓ Aumentar o lucro através de operações melhoradas.

Os usuários do software Arena no mundo ultrapassam 350.000. Entre os usuários do Arena são: NASA, Exército Americano, MRS Logística S.A., Nestlé, Natura, Petrobras, Mondelez International, ALL, Anglo American, Embraer, Canal de Panamá, Grupo Pão de Açúcar, Arcelor Mittal e entre outros.

O software escolhido para a realização deste estudo foi o Arena, devido ser suficiente para suprir as necessidades encontradas ao longo do estudo de caso.

## **7. Metodologia**

Utilizou-se uma abordagem de estudo de um caso real em uma empresa de transportes e armazenagem localizada na cidade de Guarulhos/SP. A escolha da área e da empresa em estudo foi devido ao seu grande volume de cargas que são movimentadas diariamente, que por sua vez acarretam gargalos nos processos e os recursos disponíveis uns são mais usados que os outros. Dessa forma, o primeiro passo neste estudo foi a obtenção dos dados dos processos na operação de escoamento de mercadorias na própria empresa, posteriormente foi realizado o tratamento dos dados, ou seja, a representação do sistema estudado dentro do software Arena.

## **8. Estudo de caso**

O estudo de caso foi realizado em um operador logístico, localizado na cidade de Guarulhos/SP, no qual todos os dias são movimentados grandes quantidades de volumes de cargas fracionadas, o que acaba acarretando “filas” durante o processo. Por meio de simulação dos processos de movimentação nesta empresa, elaborou-se um modelo no software Arena visando otimizar os tempos e conseqüentemente, os custos.

Na empresa em foco, chegam caminhões com 72 pallets em média a cada hora nas 9 primeiras horas do dia e 60 pallets a cada hora nas 9 últimas horas do expediente. O descarregamento desses caminhões que chegam é realizado em uma

TRIA, ou seja, uma distribuição triangular no qual existe o tempo mínimo, médio e máximo de realização do processo, nesse caso o mínimo é 7 minutos, média de 8 e máximo de 12 minutos para o descarregamento, sendo que a empresa dispõe de três funcionários, um para cada descarregamento com o auxílio de três empilhadeiras, levando em consideração que cada operação como essa, representará 30 pallets descarregados.

Segundo a empresa, 21% dos pallets que chegam são armazenados em uma operação que leva uma média de 5 minutos, no mínimo 2 e no máximo 8 para ser realizado por uma empilhadeira e um operador, esses pallets são posteriormente encaminhados à expedição a cada 3 horas em média exponencial, sendo 12 pallets por vez. Todas essas variações de quantidade de pallets que chegam e saem a todo momento são devido a uma série de fatores logísticos, tais como: aproveitamento de rotas, necessidade de datas pré-determinadas pelos clientes, entre outros vários fatores.

Os outros 79% dos pallets que chegam seguem para a expedição e são divididos de forma equivalente para duas regiões, como são chamados de regiões A e B da expedição da empresa. As regiões chamadas de “A” e “B” nada mais são que destinos de entrega das mercadorias, para facilitar durante o processo de conferência e separação os pallets são alocados em locais diferentes, determinados como região A e B. Cada região possui o mesmo número de funcionários e recursos que a outra, e ambas tem o mesmo tempo de operação em cada processo, devido ao fato da distribuição equidistante dos volumes para ambas regiões e mesma capacidade de recursos.

Cada região possui um processo de conferência dos volumes que chegam, realizado na maioria das vezes em 3 minutos e meio, no mínimo 2 e no máximo 6 minutos, por cada um dos 3 conferentes disponíveis, além das mercadorias que chegam e já são direcionadas à expedição.

Após a conferência, os pallets seguem para o carregamento dos caminhões que por padrão tem capacidade de 12 pallets, a operação leva no máximo 18, mínimo 8 e em média 12 minutos para ser realizada por cada um dos operadores de empilhadeiras da região correspondente.

Em seguida, os pallets que já estão dentro dos caminhões, são ajustados por um operador que utiliza um carrinho hidráulico, operação que leva no mínimo 1, em média 2 e no máximo 3 minutos e meio para ser realizada, visando a integridade das mercadorias transportadas. Antes dos caminhões serem liberados para as entregas eles são novamente conferidos com uso de check list pelos conferentes de suas respectivas regiões em um processo que leva uma média 4, mínimo 2 e máximo 8 minutos para ser realizado.

## **8.1. Simulação do sistema**

Após a modelagem do sistema da empresa em estudo no software Arena, foi programada uma simulação de um dia de 17,8 horas de trabalho, devido ao fato da

empresa operar das 6 horas da manhã até as 23:48 da noite, com isso obtemos o diagnóstico de todo o processo.

Sendo assim, podemos realizar uma análise crítica das operações efetuadas. No relatório de entidades, ou seja, o relatório de todos os pallets que atravessam o sistema, foi constatado na simulação uma saída de 89 caminhões no dia e de acordo com a empresa essa média é de aproximadamente 85 caminhões, isso demonstra a proximidade da simulação tem em relação à realidade do sistema estudado. A Figura 2 mostra o relatório de ocupação dos recursos do sistema, ou seja, o relatório onde podemos ver o nível de ocupação de cada funcionário, máquina ou qualquer outro recurso utilizado.

Resource				
Usage				
Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Carrinho Hidraulico A	0.08765303	(Insufficient)	0.00	1.0000
Carrinho Hidraulico B	0.08348894	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conferente A	0.6844	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conferente B	0.6728	(Insufficient)	0.00	1.0000
Empilhadeira B	0.1544	(Insufficient)	0.00	0.6667
Empilhadeira de armazenagem	0.9565	(Insufficient)	0.00	1.0000
Epilhadeira da Regiao A	0.2758	(Insufficient)	0.00	0.6667
Operador de carrinho Hidraulico A	0.08765303	(Insufficient)	0.00	1.0000
Operador de Carrinho Hidraulico B	0.08348894	(Insufficient)	0.00	1.0000
Operador de Empilhadeira A	0.2758	(Insufficient)	0.00	0.6667
Operador de Empilhaderia B	0.1544	(Insufficient)	0.00	0.6667
Operador de empilhaderia de armazenagem	0.9565	(Insufficient)	0.00	1.0000

Figura 2 – Ocupação dos recursos do sistema. Fonte: Os autores (2016).

Em destaque, o recurso mais utilizado é o operador de empilhadeira no setor de armazenagem com 95,65% de ocupação, conseqüentemente o operador da empilhadeira também está sobrecarregado com o mesmo nível de ocupação que o recurso mencionado, isso se deve ao fato de ambos serem utilizados no mesmo processo. Nesse relatório é constatado o gargalo do sistema, ou seja, o recurso com maior nível de ocupação.

A Figura 3 representa o tamanho das filas em cada processo, com isso podemos ver a relação entre o nível de ocupação do recurso considerado gargalo e o tamanho da fila naquele processo.

## Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Ajuste da carga no caminhao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ajuste no caminhao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Armazenagem.Queue	20.6780	(Insufficient)	0.00	46.0000
Carga em pallets.Queue	14.5564	0,578715533	0.00	30.0000
Carga no caminhao a.Queue	5.8453	0,539117058	0.00	12.0000
Carga no caminhao B.Queue	5.2517	0,417362122	0.00	12.0000
Carregamento no caminhao B.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Carregamento no caminhao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Check list na Regiao A.Queue	0.2016	(Insufficient)	0.00	2.0000
Check list na Regiao B.Queue	0.1983	(Insufficient)	0.00	2.0000
Conferencia na Regiao A.Queue	3.4028	0,743708810	0.00	19.0000
Conferencia na Regiao B.Queue	3.5799	0,915692304	0.00	20.0000
Descarregamento.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

Figura 3 – Tamanho das filas nos processos. Fonte: Os autores (2016).

Em destaque no relatório está o número em média da fila do processo de armazenagem, onde identifica-se o gargalo do sistema, ele possui a maior fila dentre todos os processos do sistema.

## 8.2. Proposta de Melhoria

Após constatar o gargalo dentro do sistema da empresa de transportes, observamos também os funcionários mais ociosos, no relatório de níveis de ocupação na Figura 2 aparecem os operadores de carinho hidráulico das regiões A e B com apenas 8% aproximadamente do tempo trabalhado.

Com esta análise, a empresa foi questionada sobre a possibilidade da utilização desses recursos mais ociosos no setor de armazenagem e segundo os gestores da área não haveriam empecilhos diretos, porém a armazenagem levaria um tempo maior, haja visto que esses funcionários ociosos são operadores de carrinhos hidráulicos e como também já mencionado, neste setor os operadores efetivos, operam empilhadeiras. O tempo de armazenagem com esses operadores seria de no mínimo 4, máximo 9 e em média 7 minutos para armazenar cada pallet.

Com esta possibilidade, foi simulado novamente o mesmo sistema, considerando que, 70% dos pallets ainda seriam armazenados pelas empilhadeiras e os outros 30%, armazenados pelos operadores de carrinhos hidráulicos das duas regiões. A Figura 4 mostra a ocupação dos recursos com essa proposta de melhoria.

## Resource

### Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Carrinho Hidraulico A	0.2467	(Insufficient)	0.00	1.0000
Carrinho Hidraulico B	0.3301	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conferente A	0.6868	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conferente B	0.7083	(Insufficient)	0.00	1.0000
Empilhadeira B	0.1784	(Insufficient)	0.00	0.6667
Empilhadeira de armazenagem	0.8193	(Insufficient)	0.00	1.0000
Empilhadeira da Regiao A	0.2783	(Insufficient)	0.00	0.6667
Operador de carrinho Hidraulico A	0.2467	(Insufficient)	0.00	1.0000
Operador de Carrinho Hidraulico B	0.0926	(Insufficient)	0.00	1.0000
Operador de Empilhadeira A	0.2783	(Insufficient)	0.00	0.6667
Operador de Empilhadeira B	0.2576	(Insufficient)	0.00	1.0000
Operador de empilhadeira de armazenagem	0.8193	(Insufficient)	0.00	1.0000

Figura 4 – Níveis de ocupação com a proposta de melhoria. Fonte: Os autores (2016).

Em destaque está o operador de empilhadeira do setor de armazenagem, o antigo gargalo que tinha 95,65% do seu tempo ocupado, passa a ter 81,93% de ocupação com a proposta, ou seja, esse funcionário não estaria mais sobrecarregado, haveria melhora em suas condições de trabalho e tão importante quanto o nível de ocupação dos operadores de carrinhos hidráulicos subiu de 8% para 24,67%, além da diminuição no número de pallets em espera nos processos como mostra na figura a seguir:

### Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Ajuste da carga no caminhao.Queue	0.03976457	(Insufficient)	0.00	1.0000
Ajuste no caminhao.Queue	0.02954578	(Insufficient)	0.00	1.0000
Armazenagem de apoio com os recursos A.Queue	0.08428283	(Insufficient)	0.00	2.0000
Armazenagem de apoio com os recursos B.Queue	0.0976	(Insufficient)	0.00	4.0000
Armazenagem.Queue	2.4247	(Insufficient)	0.00	9.0000
Carga em pallets.Queue	14.2935	0,651073170	0.00	30.0000
Carga no caminhao a.Queue	5.2967	0,423109921	0.00	12.0000
Carga no caminhao B.Queue	5.4003	(Correlated)	0.00	12.0000
Carregamento no caminhao B.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Carregamento no caminhao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Check list na Regiao A.Queue	0.1729	(Insufficient)	0.00	2.0000
Check list na Regiao B.Queue	0.07499824	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conferencia na Regiao A.Queue	3.5018	(Correlated)	0.00	20.0000
Conferencia na Regiao B.Queue	2.5590	(Correlated)	0.00	17.0000
Descarregamento.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

Figura 5 - Tamanho das filas nos processos com a proposta. Fonte: Os autores (2016).

Conforme pode se observar em destaque na figura a cima, a fila de pallets que aguardam seguir para a próxima etapa do processo caiu de 20 para aproximadamente 2 pallets em espera.

O fato de não haver pallets ou qualquer mercadoria no meio dos processos, ou seja, no meio de corredores, pátios e lugares de movimentação significa mais liberdade de locomoção o que pode resultar em aumento da produtividade, além de evitar grandes congestionamentos internos em momentos de pico, principalmente no caso de empresas que utilizam o Cross-Docking.

Vale ressaltar que esta é apenas uma das muitas mudanças possíveis no sistema, pois a simulação possibilita inúmeros testes e ajustes no modelo que podem representar melhorias de formas diferentes.

## 9. Considerações Finais

O objetivo deste artigo foi executar o método de simulação de eventos discretos em um caso prático no processo de um operador logístico, no qual diariamente há muitas movimentações de materiais e conseqüentemente, filas.

O estudo de caso foi realizado “in loco”, ou seja, as informações inseridas neste modelo foram extraídas do sistema escoamento de mercadoria do operador logístico localizado em Guarulhos/SP, que por sua vez foram fornecidas pelos encarregados de armazém do turno da manhã e da tarde.

A partir do estudo realizado, pode-se concluir que a simulação realizada ao longo deste artigo se aproximou muito da realidade da empresa. Como os resultados foram próximos da realidade, foi possível observar através dos relatórios gerados pelo Arena, um ajuste do sistema, otimizando seus procedimentos, lembrando que a técnica de simulação possibilita inúmeras melhorias diferentes, sendo assim, a proposta apresentada nesse trabalho foi apenas uma das muitas possibilidades. Com a aplicação da melhoria, a quantidade de caminhões carregados não se alteram, porém os recursos utilizados no sistema (carrinho hidráulico, empilhadeira) são otimizados, ou seja, seus níveis de ocupação foram melhorados de acordo com a simulação realizada, atingindo assim, o objetivo inicial da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

CARNEIRO ANDRADE, F.; BANDEIRA, A. A.; EMPRESARIAL, Diretor Corporativo da Personalité Gestão. **Cross-docking: uma análise sobre os requisitos à sua implementação**. INTEGRATION, p. 35, 1998.

Da SILVA, G. V. **A CAIXA PLÁSTICA COMO EMBALAGEM ADEQUADA PARA O SETOR HORTIFRUTÍCOLA**. 2006. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria, Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em:  
<[http://hortibrasil.org.br/jnw/images/stories/embalagem/Caixa\\_plastica\\_como\\_e\\_mbalagem\\_adequada\\_para\\_hortifruticola.pdf](http://hortibrasil.org.br/jnw/images/stories/embalagem/Caixa_plastica_como_e_mbalagem_adequada_para_hortifruticola.pdf)>. Acesso em: 13 mar. 2016.  
DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais: Princípios, Conceitos e Gestão**. 5. ed.

São Paulo: Atlas, 2006.

GOEBEL, D. **Logística – Otimização do Transporte e Estoques na Empresa. Estudos em Comércio Exterior**, ECEX/IE/UFRJ, Rio de Janeiro, volume I, nº 1: jul/dez/1996.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill, 2010.

LEOPOIDINO de ANDRADE, E. **Introdução à Pesquisa Operacional - Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2009.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

MOURA, R. A. **Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais**. 6. ed. São Paulo: Instituto Imam, 1979. 1 v. (Manual da Intralogística).

PARAGON. **Arena**. [S.l.]: [c2016?]. Disponível em: <<http://www.paragon.com.br/software/arena/>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario Ikuo. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. Gestão & Produção**, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.

**ABSTRACT:** The aim of this study was to demonstrate the applicability and importance of discrete event simulation technique in the storage area and Cross-Docking operations, through a case study on a logistics operator located in the city of Guarulhos / SP. It was found that steps are part of the operation, how many employees are involved, how many devices are available to perform the operation to thereby determine which are the system bottlenecks, thus underlining the importance of simulation technique of discrete events. From information provided by those in charge of the morning shift and afternoon operations, it was possible to perform a simulation of the entire operation in the Arena software. Through the case study in the company and with the aid of simulation software, some points to be optimized. Through the analyses made of the critical points of the process, improvements in Cross-Docking operations of the company. The improvements, clearly the optimization of processes and resources studied throughout this article.

**KEYWORDS:** Storage; Operational Research; Simulation; Software Arena.

## **CAPÍTULO II**

### **A VOLATILIDADE DOS RETORNOS DO IBOVESPA : UMA ABORDAGEM ARIMA-GARCH**

---

**Carlos Alberto Gonçalves da Silva**

## A VOLATILIDADE DOS RETORNOS DO IBOVESPA : UMA ABORDAGEM ARIMA-GARCH

**Carlos Alberto Gonçalves da Silva**

Professor Visitante da Faculdade de Ciências Econômicas e da Pós-Graduação em Ciências Econômicas (PPGCE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro

**RESUMO:** O presente estudo examina o processo de volatilidade de retornos do Ibovespa, utilizando modelos heteroscedásticos, compreendendo o período 02 de janeiro de 2006 a 29 de dezembro de 2015. Os resultados empíricos mostraram reações de persistência e assimetria na volatilidade, ou seja, os choques negativos e positivos têm impactos diferenciados sobre a volatilidade dos retornos de acordo com os modelos EGARCH(1,1), TARCH (1,1) e APARCH(1,1), que foram obtidos por ajustamento dos dados, porém o modelo que se destacou foi o TARCH(1,1).

**PLAVRAS-CHAVE:** volatilidade, modelos heteroscedásticos, índice Bovespa.

### 1. INTRODUÇÃO.

Engle (1982) propôs o primeiro modelo a tratar da variância condicional em séries financeiras denominado de ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), ou seja, que a variância condicionada se ajuste a um modelo autoregressivo sobre o quadrado dos erros. Bollerslev (1986) estendeu o trabalho de Engle (1982) e desenvolveu o modelo GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) que incorpora a própria variância condicional, observada no passado, ao modelo ARCH. O modelo GARCH, apesar de capturar os agrupamentos de volatilidade, não detecta a assimetria de sua distribuição. Assim sendo, foram desenvolvidos modelos que incorporam problemas de assimetria. Um dos primeiros modelos assimétricos foi o EGARCH (Exponential GARCH), proposto por Nelson (1991). Glosten, Jagannathan e Runkle (1993) e Zakoian (1994) desenvolveram o modelo GJR- GARCH e TARCH (Threshold ARCH), respectivamente.

Mota e Fernandes (2004), compararam modelos da família GARCH com estimadores alternativos baseados em cotações de abertura, fechamento, máximo e mínimo. Os resultados indicaram que os estimadores alternativos são precisos quanto aos modelos do tipo GARCH.

Morais e Portugal (1999) apresentaram modelos da família GARCH que captam diferentes efeitos observados em séries financeiras, tais como a aglomeração da variância, o efeito “leverage” e a persistência na volatilidade. Neste estudo é comparada a estimativa da volatilidade do índice Bovespa obtida por processos determinísticos e estocásticos, abrangendo três períodos conturbados: a crise do México, a crise Asiática e a moratória Russa. Os resultados do estudo mostraram que ambos os processos conseguem prever a volatilidade.

Costa e Ceretta (1999) examinaram a influência de eventos sobre a

volatilidade nos mercados de ações da América Latina, utilizando o modelo GJR-GARCH(1,1)-M. O estudo utiliza índices diários dos mercados de ações e abrange um período compreendido entre janeiro de 1995 e dezembro de 1998. Os resultados obtidos sugerem que a influência dos eventos negativos é superior a dos eventos positivos na maioria dos países analisados.

Em relação à aplicação de séries financeiras, vários autores brasileiros e internacionais desenvolveram trabalhos, utilizando os modelos condicionalmente heteroscedásticos, pode-se citar Duarte, Pinheiro e Heil (1996), Bustamante e Fernandes (1995), Issler (1999), Baidya e Costa (1999), Barcinski et alii (1997), Engle e Bollerslev (1986), Bollerslev, Ray e Kenneth (1992), Barba et al.(2011) e Silva e Silva (2013).

O objetivo principal deste artigo é detectar a persistência e assimetria da volatilidade da série dos retornos diários do Ibovespa obtida por meio dos modelos (GARCH, EGARCH, TARARCH e APARCH). Também é investigada a sazonalidade no comportamento das variações das séries de pontos na sua volatilidade, com a inclusão de variáveis dummy.

## **2. METODOLOGIA E DADOS**

### **2.1 Testes de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Phillips e Perron (PP) e Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS)**

Para testar a estacionariedade das séries, será utilizado neste trabalho, o teste ADF (Dickey – Fuller Aumentado) (1979), no sentido de verificar a existência ou não de raízes unitárias nas séries temporais.

O teste Phillips e Perron (PP) também é usado para investigar a presença de raiz unitária da série. O que difere entre os dois testes é o fato de que o teste Phillips-Perron garante que os resíduos são não correlacionados e possuem variância constante. Ao contrário do teste Dickey-Fuller Aumentado, o teste de Phillips-Perron não inclui termos de diferenças defasadas, mas pode também incluir termos de tendência e um intercepto.

O teste KPSS [Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (1992)], surgiu como uma forma de complementar a análise dos testes de raiz unitária tradicional, como testes ADF e PP. Ao contrário dos testes ADF e PP, o teste KPSS, considera como hipótese nula que a série é estacionária, ou estacionária em torno de uma tendência determinística, contra a hipótese alternativa que um caminho aleatório está presente.

### **2.2 Teste de Normalidade da Série: Jarque-Bera (JB)**

O teste de normalidade Jarque-Bera (JB) é baseado nas diferenças entre os coeficientes de assimetria e curtose da série e os da lei normal, servindo para testar

a hipótese nula de que a amostra foi extraída de uma distribuição normal. Para a realização deste teste, calcula-se, primeiramente a assimetria e a curtose dos resíduos e utiliza-se a estatística de teste:

$$JB = n \left[ \frac{S^2}{6} + \frac{(C-3)^2}{24} \right]$$

onde JB é o teste Jarque-Bera, S é o coeficiente de assimetria das observações, C é o coeficiente de curtose das observações e n é o número de observações. Sob a hipótese nula de normalidade, a estatística JB segue a distribuição qui-quadrado com dois graus de liberdade. Se o valor de JB for muito baixo, a hipótese nula de normalidade da distribuição dos erros aleatórios não pode ser rejeitada. Se o valor de JB for muito alto, rejeita-se a hipótese de que os resíduos ou erros aleatórios se comportam como uma distribuição normal. Se o valor p da estatística qui-quadrado calculada for suficientemente baixo, pode-se rejeitar a hipótese de que os resíduos têm distribuição normal. Se o valor p for alto, aceita-se a hipótese de normalidade.

## 2.3 Modelos Heteroscedásticos

### 2.3.1 Efeitos ARCH/GARCH

No trabalho de Engle (1982) é proposto o primeiro modelo a tratar da variância condicional em séries financeiras. Nestes modelos denominados ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity), a variância da série  $\varepsilon$  no instante  $t$  condicionada pelo passado (volatilidade) depende de  $\varepsilon_{t-1}^2, \dots, \varepsilon_{t-p}^2$  da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

onde  $\sigma_t^2$  é a variância condicional de  $\varepsilon_t$  dado o passado,  $\alpha_0$  é uma constante e  $\alpha_i$  é o coeficiente de reação associado a  $\varepsilon_{t-i}^2$ ,  $i = 1, \dots, p$ .

A proposição original, elaborada por Engle (1982), mereceu extensos debates e diversos aperfeiçoamentos ao longo dos anos. Bollerslev (1986) terá constatado que muitas aplicações de modelos ARCH a séries reais conduzem a valores para  $p$  muito elevados exigindo, assim, muitas restrições aos parâmetros do modelo para garantir a positividade das variâncias. Já Bourbonnais e Terreza (2008) mostram que um processo ARCH só é justificado até a ordem  $p = 3$ , superior a 3 usam-se os modelos GARCH, que apresentam melhores resultados.

O modelo GARCH proposto por Bollerslev (1986) é uma generalização do modelo ARCH. Neste modelo, a volatilidade no instante  $t$ ,  $\sigma_t^2$ , depende dos  $p$  valores mais recentes da série (concretamente através de  $\varepsilon_{t-1}^2, \dots, \varepsilon_{t-p}^2$ ) dos  $q$  valores mais recentes da própria volatilidade  $\sigma_{t-1}^2, \dots, \sigma_{t-q}^2$ .

O modelo GARCH (p,q) pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\sigma^2_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon^2_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma^2_{t-j} + v_t$$

onde  $\beta_j$  é o coeficiente de persistência da volatilidade associado a  $\sigma^2_{t-j}$ ,  $j = 1, \dots, q$  e  $v_t$  é um ruído branco  $[N(0,1)]$ .

A fim de se garantir que a variância condicional não seja negativa, bem como a estacionariedade do processo, tem-se que:

$$\alpha_0; \alpha_i \geq 0, \text{ para } i = 1, \dots, p; \beta_j \geq 0, \text{ para } j = 1, \dots, q \text{ e } \sum_{i=1}^p \alpha_i + \sum_{j=1}^q \beta_j < 1.$$

O modelo GARCH (p,q) captura corretamente diversas características observadas nas séries históricas financeiras, tais como a leptocúrtica e o agrupamento de volatilidade, não captura o efeito de alavancagem, pois a variância condicional é função apenas das magnitudes das inovações e não dos seus sinais (Brooks, 2002). Assim, surgiram outros modelos com a capacidade de captar a assimetria, tais como os modelos EGARCH, TARCH e APARCH.

### 2.3.2 Efeitos Assimétricos e Alavancagem

O modelo EGARCH (Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) proposto por Nelson (1991), consiste em captar os impactos assimétricos nas séries de dados, não tendo que exigir-se a positividade dos coeficientes.

A variância condicional do modelo EGARCH é dada por:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha + \sum_{j=1}^q (\beta_j \ln \sigma_{t-j}^2) + \sum_{i=1}^p \left[ \alpha_i \left( \frac{|\varepsilon_{t-i}|}{\sqrt{\sigma_{t-i}}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + \gamma_i \left( \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sqrt{\sigma_{t-i}}} \right) \right] + v_t$$

onde  $\gamma_i$  é o coeficiente que capta o efeito assimetria da volatilidade do termo de defasagem  $i$ . Se  $\gamma_i = 0$ , indica ausência de assimetria na volatilidade. Se  $\gamma_i \neq 0$ , indica um impacto diferenciado de choques negativos e positivos na volatilidade. Se  $\gamma_i < 0$ , indica presença do “efeito alavancagem”. O coeficiente  $\beta_j$  indica a persistência de choques na volatilidade.

Um modelo mais simples, para a captação do efeito alavancagem, onde choques positivos e negativos no mercado geram impactos diferentes sobre a volatilidade nas séries financeiras, foi apresentado por Glosten, Jagannathan e Runkle (1993) e por Zakoian (1994), denominado por TARCH (Threshold ARCH). Neste modelo, a variância condicional é dado por:

$$\sigma_t^2 = w + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \gamma_i d_{t-i} \varepsilon_{t-i}^2 + v_t$$

onde  $\gamma_i$  mede o efeito assimetria,  $d_{t-i}$  é uma variável dummy e  $\varepsilon_{t-i}^2$  é o termo de erro no tempo  $t-i$ , com  $i$  a denotar a defasagem.

Neste modelo, a variável dummy  $d_{t-1}$  assume o valor igual a 1, se  $\varepsilon_{t-1}^2 < 0$  (más notícias no mercado), e o valor igual a 0 se  $\varepsilon_{t-1}^2 > 0$  (boas notícias no mercado). Neste modelo, a volatilidade tende a aumentar com as “más notícias” e a diminuir com as “boas notícias”. Assim sendo, as notícias positivas no mercado têm o impacto  $\alpha_i$  enquanto as notícias negativas têm o impacto  $\alpha_i + \gamma_i$ . Se  $\gamma_i > 0$ , as notícias negativas têm um efeito menor do que as notícias positivas. Esse é o conhecido efeito “leverage”. O choque da notícia no instante  $t - i$  é assimétrico se  $\gamma_i \neq 0$  e simétrico se  $\gamma_i = 0$ .

leverage”. O choque da notícia no instante  $t - i$  é assimétrico se  $\gamma_i \neq 0$  e simétrico se  $\gamma_i = 0$ .

Por fim tem-se o modelo ARCH com potência assimétrica (APARCH), proposto por Ding et al. (1993), o qual pode ser representado por:

$$\sigma_t^\delta = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i (|\varepsilon_{t-i}| - \gamma_i \varepsilon_{t-i})^\delta + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^\delta$$

onde  $\alpha_0; \alpha_i \geq 0$ , para  $i = 1, \dots, p$ ;  $\beta_j \geq 0$ , para  $j = 1, \dots, q$ ;  $\delta \geq 0$  e  $-1 < \gamma_i < 1$ . Este modelo pode detectar impactos assimétricos de choques sobre a volatilidade. Se  $\gamma_i > 0$ , verifica-se o efeito alavancagem, isto é, choques negativos tem um impacto maior sobre a volatilidade da série que choques positivos. Se  $\gamma_i < 0$ , verifica-se o contrário.

Para cada modelo, serão ajustados as distribuições Gaussianas (Normal), t-Student's e Generalized Error Distribution (GED).

O primeiro passo na construção de modelos da família ARCH é identificar o padrão do modelo ARMA( p,q), utilizando-se a metodologia de Box e Jenkins. Por conseguinte, depois de identificado e estimado o modelo, realiza-se o teste ARCH por meio do método Multiplicador de Lagrange (LM), proposto por ENGLE (1982) nos resíduos do modelo ARMA ajustados para a média condicional dos retornos, com a finalidade de verificar a presença de heteroscedasticidade condicional.

## 2.4 Dados

Os dados utilizados neste estudo se referem às cotações diárias do Ibovespa, compreendendo o período de 02/01/2006 a 29/12/2015, num total de 2487 observações diárias. Os dados foram obtidos do site do Yahoo/Finanças.

## 3. RESULTADOS EMPÍRICOS E ANÁLISES

### 3.1 Análises Gráficas e Testes Preliminares

As figuras 1 e 2 mostram o comportamento das séries de cotações (pontos)

e retornos diários do Ibovespa no período considerado. Os retornos diários foram calculados através da fórmula:  $r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$ . Sendo que  $P_t$  representa a cotação no dia t e  $P_{t-1}$  a cotação no dia anterior (t-1)

Algumas estatísticas descritivas básicas são apresentadas na tabela 1. Observa-se que os retornos diários no período analisado apresentam uma distribuição leptocúrtica devido ao excesso de curtose (8,873652) em relação à distribuição normal(3,0). A estatística de Jarque-Bera indicou a rejeição da normalidade da distribuição da série, com p-valor igual a zero.

Os testes Dickey-Fuller Aumentado (ADF) (1979) e Phillips-Perron (PP) e (1988) e Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS) com constante e com tendência, identificaram que as séries de retornos do Ibovespa são estacionárias e não contém raízes unitárias, conforme se observa na Tabela 2.

Antes de estimar os modelos GARCH, foi necessário realizar o teste ARCH para verificar se há ou não presença de heteroscedasticidade nos resíduos dos retornos, efetuou-se o teste LM (multiplicador de Lagrange) proposto por Engle (1982). Os valores do teste estão apresentados na tabela 3. Observa-se que o teste mostra evidências contra a hipótese nula de não haver heteroscedasticidade condicional nos resíduos dos retornos do Ibovespa.

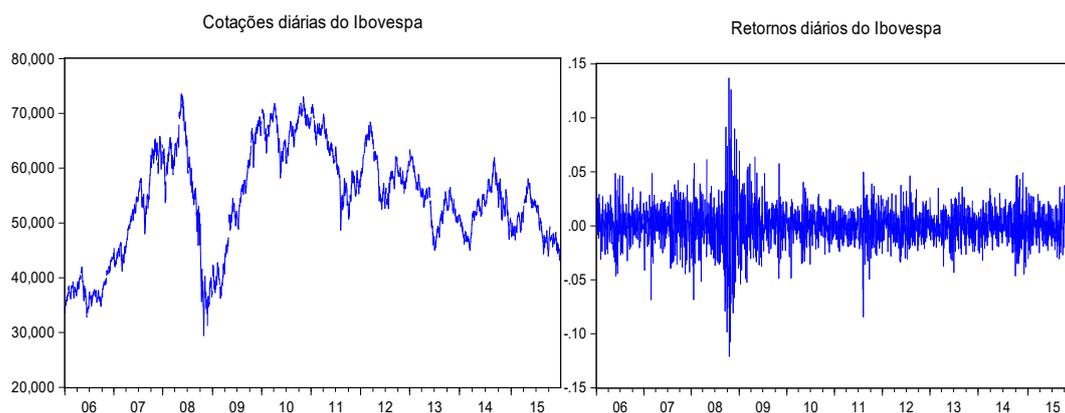


Figura 1- Cotações diárias do Ibovespa Figura 2 - Série de retornos diários do Ibovespa

Tabela 1 – Sumário estatístico dos retornos.

Estatísticas	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Valores	0,000107	0,000228	0,136766	-0,120961	0,017948

Estatísticas	Assimetria	Curtose	Jarque-Bera	p-valor JB	Observações
Valores	0,010278	8,873652	3575.084	0,000000	2487

Tabela 2 – Teste de estacionaridade para a série dos retornos das cotações do Ibovespa

Variável	Dickey-Fuller ADF	Phillips-Perron PP	Valor Crítico (5%)	KPSS	Valor Crítico (5%)
Ibovespa	-50,7993	- 51,2864	- 3,4116	0,0344	0,1460

Fonte: Elaboração do autor, com base nas pesquisas.

Tabela 3 - Teste ARCH.

Lag	F stat	Prob	LM
5	158,164	0,0000	600,777

Fonte: Elaboração do autor, com base nas pesquisas.

Após a confirmação da estacionariedade, procedeu-se a escolha dos modelos ARMA para a estimação da volatilidade. Dentre os modelos analisados foi escolhido o modelo ARMA(1,1), com base nos critérios de informação de Akaike e Schwartz.

Foi modelada uma série de modelos de persistência e assimetria (família ARCH), no sentido de observar a dinâmica da volatilidade dos retornos do Ibovespa. Assim sendo, foram calibrados doze modelos, utilizando três tipos de distribuições para os resíduos: normal (gaussiana), t de student e GED (Generalized error distribution). Os resultados obtidos para os modelos ARMA(1,1)-GARCH(1,1), ARMA(1,1)-EGARCH(1,1), ARMA(1,1)-TARCH(1,1) e ARMA(1,1)-APARCH (1,1) encontram-se apresentados na tabela 4. Os modelos destacados em negrito foram os que obtiveram os melhores resultados de previsão. Uma característica importante da análise é que os modelos que consideram uma distribuição condicional diferente da normal (gaussiana) apresentaram melhores resultados. A distribuição GED obteve o melhor grau de ajuste de acordo com todos os critérios utilizados (AIC, SBC e log-verossimilhança). O software utilizado para estimar a regressão dos dados e dos modelos foi o Eviews 8.0.

Tabela 4 - Critérios de seleção entre as distribuições de erros dos modelos

Modelo	Distribuição de Erros	AIC	SBC	Log-Verossimilhança
ARMA (1,1) GARCH (1,1)	Normal	-5,4710	-5,4593	6805,51
	t Student	-5,4854	-5,4713	6824,30
	GED	<b>-5,4862</b>	<b>-5,4721</b>	<b>6825,29</b>
ARMA (1,1) EGARCH (1,1)	Normal	-5,4870	-5,4729	6826,34
	t Student	<b>-5,5000</b>	<b>-5,4837</b>	<b>6843,58</b>
	GED	-5,4994	-5,4830	6842,75
ARMA (1,1) TARCH (1,1)	Normal	-5,4953	-5,4813	6836,71
	t Student	-5,5048	-5,4884	6849,45
	GED	<b>-5,5063</b>	<b>-5,4899</b>	<b>6851,28</b>
ARMA (1,1) PARCH (1,1)	Normal	-5,4949	-5,4785	6837,17
	t Student	-5,5040	-5,4853	6849,51
	GED	<b>-5,5055</b>	<b>-5,4868</b>	<b>6851,33</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.2 Evidências e Efeitos ARCH/GARCH

Analisando a Tabela 5 pode ser observado no modelo ARMA (1,1) - GARCH (1,1) - GED que os coeficientes estimados são estatisticamente significativos ao nível de 5%. A soma dos coeficientes  $\alpha_1$  e  $\beta_1$  representados respectivamente por  $\varepsilon_{t-1}^2$  e  $\sigma_{t-1}^2$  foi igual a 0,9798, indicando que um choque na série dos retornos do Ibovespa terá efeito por muito tempo na volatilidade destes retornos. O coeficiente

de persistência da volatilidade do termo  $\sigma_{t-1}^2$  igual a 0,9101 confirma que os choques da volatilidade serão lentamente enfraquecidos dos retornos.

### 3.3 Efeitos Assimétricos e Alavancagem

No modelo ARMA (1,1) - EGARCH (1,1) - t Student verifica-se na Tabela 5 a presença da assimetria da volatilidade dos retornos, ou seja, choques de “boas” ou “más” notícias causam efeitos na volatilidade desses retornos. Isso pode ser verificado pelo parâmetro ( $\gamma_1$ ) associado ao termo  $\varepsilon_{t-1} / \sqrt{\sigma_{t-1}}$  capta a assimetria de volatilidade (-0,0959), indicando que choques positivos na volatilidade não possuem o mesmo efeito que os choques negativos, ou seja, presença da assimetria da volatilidade nos retornos do Ibovespa. Portanto, o coeficiente se mostrou menor que zero, indicando a presença do efeito alavancagem.

No modelo ARMA (1,1)-TARCH (1,1) - GED, o coeficiente ( $\gamma_1$ ) do termo  $d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$  (0,1152) mostrou-se estatisticamente significativo ao nível de 5%, ou seja, choques positivos e negativos têm impactos diferenciados sobre a volatilidade e dos retornos do Ibovespa.

Assim sendo, confirma a assimétrica, bem como a presença do efeito alavancagem.

Já no modelo ARMA (1,1) - APARCH (1,1) - GED, o valor positivo de 0,7038 para o coeficiente ( $\gamma_1$ ) significa que choques negativos passados têm um impacto mais forte na volatilidade condicional do que choques positivos passados nos retornos do Ibovespa.

Tabela 5 – Resultados da estimação dos modelos

Especificação	GARCH (1,1)	EGARCH (1,1)	TARCH (1,1)	APARCH (1,1)
<b>Média Condicional</b>				
AR (1)	0,8050	0,9783	0,8374	0,8362
MA (1)	(0,0000)	(0,0000)	(0,0000)	(0,0000)
	-0,8250	-0,9694	-0,8445	-0,8428
	(0,0000)	(0,0000)	(0,0000)	(0,0000)
<b>Variância Condicional</b>				
$\alpha_0$	0,00000555	-0,2051	0,00000616	0,0000077
	(0,0000)	(0,0000)	(0,0000)	(0,4983)
$\varepsilon_{t-1}^2$	0,0697		0,0041	0,0428
	(0,0000)		(0,0013)	(0,0000)
$\sigma_{t-1}^2$	0,9101		0,9156	0,9161
	(0,0000)		(0,0000)	(0,0000)
$d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$			0,1152	
			(0,0000)	
$\varepsilon_{t-1} / \sqrt{\sigma_{t-1}}$		-0,0959		
		(0,0000)		
$\varepsilon_{t-1} / \sqrt{\sigma_{t-1}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}}$		0,1118		
		(0,0000)		

$\ln(\sigma_{t-1}^2)$		0,9859 (0,0000)		
$\gamma$				0,7038 (0,0450)
$\delta$				1,9464 (0,0000)
Distribuição dos erros	GED	t Student	GED	GED

Os números entre parênteses são os valores de probabilidade (p - value), calculados ao nível de significância de 5%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

### 3.4 Avaliação de Desempenho dos Modelos

Para verificar as medidas de avaliação de desempenho da capacidade preditiva dos modelos, utilizaram-se os critérios de informação de Akaike (AIC), Schwartz (SBC), log verossimilhança, erro absoluto médio (MAE), raiz do erro quadrático médio e coeficiente Theil-U. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 6.

Assim sendo, o melhor modelo para a previsão da volatilidade das cotações do Ibovespa foi o modelo ARMA (1,1) -TARCH (1,1) - GED. A variância dos retornos do Ibovespa está sujeita à assimetria, bem como o efeito alavancagem. Já em relação à persistência, o modelo escolhido resulta em um valor de 0,9156. Observa-se pelo coeficiente Theil-U que o modelo é aceitável, já que a estatística é menor que um, indicando ser capaz de traçar previsões mais precisas que previsões ingênuas. Portanto, as informações no mercado são assimétricas e que notícia negativa como aumento da taxa de juros e do câmbio, entre outras, que acabam contribuindo de forma expressiva na volatilidade das cotações.

Tabela 6 – Medidas de Qualidade dos Modelos

Modelo	AIC	SBC	Ln (L)	MAE	REQM	Theil-U
ARMA (1,1) - GARCH (1,1)	-5,4861	-5,4721	6825,29	0,012726	0,017939	0,974990
ARMA (1,1)- EGARCH (1,1)	-5,5000	-5,4837	6843,58	0,012726	0,017938	0,974629
ARMA (1,1) - TARCH (1,1)	-	-	6851,28*	0,012726*	0,017938*	0,974042*
ARMA (1,1)- APARCH (1,1)	-5,5055	-5,4868	6851,23	0,012726	0,017938	0,974118

Fonte: Resultados da Pesquisa

AIC é o critério de informação de Akaike;. SBC é o critério de informação de Schwartz; Ln (L) é a máxima log-verossimilhança do modelo estimado; MAE é o erro absoluto médio; REQM é a raiz do erro quadrático médio.

\* denota o melhor modelo segundo o critério em questão.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste artigo realizou-se uma análise empírica da volatilidade dos retornos do Ibovespa, utilizando os modelos ARMA(1,1)-GARCH(1,1), ARMA(1,1)-EGARCH(1,1), ARMA(1,1)-TARCH (1,1) e ARMA(1,1)-APARCH(1,1), os quais apresentam fortes avanços metodológicos no tratamento do mercado acionário, servindo como ferramentas importantes de gerenciamento de risco pelos investidores.

Os resultados empíricos mostraram reações de persistência e assimetria na volatilidade, ou seja, os choques negativos e positivos têm impactos diferenciados sobre a volatilidade dos retornos, o que pode ser comprovado pelos modelos EGARCH (1,1), TARCH (1,1) e APARCH (1,1).

Deve-se ressaltar que, mudanças na política governamental geram choques negativos e positivos que causarão impactos significativos nos preços futuros das ações, bem como nos índices Ibovespa, repercutindo, então, por longos períodos.

Com base nos critérios Akaike e Schwarz, o modelo escolhido para a previsão da volatilidade foi o ARMA(1,1)-TARCH(1,1).

Levando-se em conta uma análise de caráter multivariado, serão necessários estudos que comparem diferentes modelos de volatilidade multivariados, como é o caso dos modelos VEC-GARCH, BEKK, CCC, DCC, propostos por Bollerslev et. al. (1988), Engle e Kroner (1995), Bollerslev (1990), Engle (2002), respectivamente.

#### REFERÊNCIAS

BAIDYA, T. K. N. e COSTA, P. H. S. **Modelagem de séries financeiras brasileiras: previsão de preços de alguns ativos.** Revista da Sobrapo, 1999.

BARBA, F.G.; CERETTA, P.S.; VIEIRA, K.M. – **Modelagem da volatilidade em períodos de crise: Análise das distribuições alternativas no Bric e nos EUA.** REGE , São Paulo – SP, Brasil, v. 18, n. 4, p. 569-584, out./dez. 2011.

BARCINSKI, A., ALMEIDA, B. C. D., GARCIA, M. G. P. e SILVEIRA, M. A. C. **Estimação da volatilidade do retorno das ações brasileiras – Um método alternativo à família GARCH.** Revista BM&F, 116, 21-39, 1997.

BOLLERSLEV, T., RAY, Y. C. e KENNETH, F. K.- **ARCH modeling in finance: a review of the theory and empirical evidence.** Journal of Econometrics, 52, 5-59, 1992.

BOLLERSLEV, T.-**Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity.** Journal of Econometrics, 31(3), 307 – 327, 1996.

BOURBONNAIS, R. e TERRAZA, M. - **Analyse des séries temporelles: Applications à l'économie et à la gestion.** Dunod, Paris, 2008.

BUSTAMANTE, M. e FERNANDES, M. **Um Procedimento para análise da persistência na volatilidade.** Anais do XVII Encontro Brasileiro de Econometria, 203-223, 1995.

COSTA Jr. N. C. A. e CERRETA, P. S. **Influência de Eventos positivos e negativos sobre a volatilidade dos mercados na América Latina.** Caderno de Pesquisa em Administração -USP, 1 (10), 1999.

DICKEY, D.A. e FULLER, W. **A distribution of the estimators for autoregressive time series with unit root.** Journal of the American Statistical Association, 74, 427-431, 1979.

DUARTE, J.A.M., PINHEIRO, M.A.e HEIL,T.B.B. **Estimação da Volatilidade de Ativos e Índices Brasileiros.** Resenha BM&F, 111, 16-28, 1996.

ENGLE, R. F. **Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with estimates of the variances of United Kingdom Inflation.** Econometrica, 50(4), 987-1007, 1982.

ENGLE, R. F. e BOLLERSLEV, T. **Modelling the persistence of conditional variances.** Econometric Review, 5, 1-50, 1986.

ENDERS, W. **Applied econometric time series.** John Wiley & Sons, second edition, 460, 2004.

GLOSTEN, L. R.; JAGANNATHAN, R.; RUNKLE, D. E. **On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess returns on stocks.** Journal of Finance, 48, 1779-1801, 1993.

ISSLER, J. V. **Estimating and Forecasting the Volatility of Brazilian Finance series Using ARCH Models.** Revista de Econometria, 19(1), 5-56, 1999.

JARQUE, C.e BERA, A. **A test for normality of observations and regression residuals.** International Statistical Review, 55, 163-172, 1987.

MORAIS, I. A. C.e PORTUGAL, M. S. **Modelagem e previsão de volatilidade determinística e estocástica para a série do Ibovespa.** Estudos Econômicos, 29(3), 303-34, 1999.

MOTA, B.e FERNANDES, M. **Desempenho de estimadores de volatilidade na Bolsa de Valores de São Paulo.** Revista Brasileira de Economia, 58(3), 429-448, 2004.

NELSON, D.B. **Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach.** Econometrica, 59, 347-370, 1991.

SILVA, C.A.G.; SILVA, T. G. - **Persistência e Assimetria na volatilidade dos retornos**

dos IBOVESPA: aplicação dos modelos ARCH (Syn)thesis, v.6, n.1, 19-27, 2013.

ZAKOIAN, J.M. **Threshold Heteroskedascity Models**. Journal of Economic Dynamics and Control, 18, 931-955, 1994.

**ABSTRACT:** This study analyzes the volatility of returns process of Ibovespa, by using heteroskedastic models, from January 2, 2006 to December 29, 2015. The empirical results showed persistence and asymmetry in the volatility, i.e., the positive and negative shocks have different impacts on the volatility of returns according to EGARCH (1.1), TARCH (1.1) and APARCH(1,1) models, which were obtained by adjustment of the data, but TARCH (1.1) model distinguished.

**KEYWORDS:** volatility, heteroskedastic models, Bovespa index.

## **CAPÍTULO III**

### **ABORDAGENS QUANTITATIVAS APLICADAS AO BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM**

---

**Diogo Cassin de Carvalho Oliveira**

**Marcelo Gechele Cleto**

**Sonia Isoldi Marty Gama Müller**

**Angelo da Silva Cabral**

**Marcelle Zacarias Silva Tolentino Bezerra**

## ABORDAGENS QUANTITATIVAS APLICADAS AO BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

**Diogo Cassin de Carvalho Oliveira**

Universidade Federal do Paraná

Curitiba - Paraná

**Marcelo Gechele Cleto**

Universidade Federal do Paraná

Curitiba - Paraná

**Sonia Isoldi Marty Gama Müller**

Universidade Federal do Paraná

Curitiba - Paraná

**Angelo da Silva Cabral**

Universidade Federal do Paraná

Curitiba - Paraná

**Marcelle Zacarias Silva Tolentino Bezerra**

Universidade Federal do Paraná

Curitiba - Paraná

**RESUMO:** O balanceamento de linhas de montagem representa um problema clássico e amplamente pesquisado no âmbito do planejamento e controle da produção. A produtividade de uma organização costuma ser bastante sensível ao grau de equilíbrio de uma linha, na medida em que níveis de balanceamento mais altos corroboram para a maior fluidez dos processos e alta produtividade do sistema. O processo de alocação ótima de recursos, sob o prisma da programação da produção, se configura como entrave para abordagens quantitativas de balanceamento de linhas de montagem devido a dificuldades na obtenção de modelos aplicáveis às complexidades presenciadas na indústria. Neste contexto, foram revisadas 257 publicações internacionais atinentes ao tema entre os anos de 2011 e 2015, bem como analisados os principais assuntos, métodos e conteúdos de cada trabalho. Observou-se elevada quantidade de publicações sobre abordagens metaheurísticas, além da concentração do volume de estudos em um conjunto restrito de journals especializados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abordagens quantitativas; Balanceamento de Linhas de Montagem; Heurísticas.

### 1. INTRODUÇÃO

A forte concorrência em variados setores de atividade requer a disponibilidade de sistemas produtivos cada vez mais eficientes, os quais proporcionem diferencial competitivo, melhores resultados, máximo aproveitamento dos recursos disponíveis e melhoria contínua de processos, em linha com o conceito de produção enxuta (Lean Manufacturing) amplamente difundido na indústria.

No âmbito do Planejamento e Controle da Produção, o balanceamento de linhas de montagem é uma técnica largamente utilizada com vistas à sincronização dos recursos necessários para a montagem de um produto, de forma a atender às necessidades da demanda. Ademais, uma linha de montagem desbalanceada pode acarretar um custo de oportunidade para as organizações, relativo ao não atendimento da demanda.

Linhas de montagem são meios tradicionais e ainda atraentes de produção em massa e de longa escala. Desde as primeiras linhas de montagem desenvolvidas por Henry Ford, existem desenvolvimentos como a evolução de modelos únicos estritamente regulados para sistemas mais flexíveis, incluindo, entre outros, linhas com estações de trabalho ou tarefas paralelas e linhas em forma de “U” (BECKER; SCHOLL, 2004).

Segundo Carnaham et al. (2001), uma linha de montagem pode ser definida como uma série de estações de trabalho de montagem manual ou automatizada, pelas quais um ou mais produtos são montados sequencialmente. De acordo com os autores, uma linha consiste num conjunto de postos de trabalho, cuja posição é fixa e a sequência é ditada pela lógica das sucessivas operações a realizar.

De forma geral, o problema de balanceamento de uma linha de montagem busca alcançar a melhor relação possível entre mão-de-obra, instalações e recursos para satisfazer um determinado volume de produção. Sendo assim, o balanceamento de uma linha consiste na distribuição da carga das várias operações da maneira mais uniforme possível, a fim de obter-se um caminho através do qual os produtos fluam de forma harmônica.

O balanceamento de linha visa empregar, eficientemente, os recursos produtivos na linha de produção, de forma, a nivelar a capacidade de produção dos segmentos em suas respectivas operações (TUBINO, 2007). Com a finalidade de vislumbrar diferenciais competitivos, as organizações investem em balanceamento de linha visando melhor nivelamento da produção e melhores resultados.

Em um sistema de produção em massa, as peças são produzidas em linhas ou conjunto de máquinas, ao invés de única máquina. A linha inclui várias estações de trabalho, que dispõem de tarefas variadas. A produtividade pode variar em função da carga de trabalho, alocação de mão de obra a determinadas operações, nível de habilidade do operador e capacidade da máquina.

Apesar da necessidade latente de gestão eficiente dos recursos em qualquer parte de uma organização, na área produtiva a questão parece ser mais clara e aguda, pois quando as organizações aumentam ou diminuem seu nível de produção durante períodos de ajustes estratégicos ou de investimentos, o principal problema que surge é como se utilizar os recursos escassos para maximizar os ganhos (KORKMAZEL; MERAL, 2001).

Segundo Falkenauer (2005), o balanceamento de linhas de montagem é um problema de otimização clássico de Pesquisa Operacional (PO), sendo amplamente pesquisado há décadas. Os autor pondera que muitos algoritmos têm sido propostos com a finalidade de fazer frente a estes problemas e, apesar da importância prática do problema e dos esforços enviados pela área de PO na abordagem deste assunto,

existem poucos softwares disponíveis para auxiliar as organizações em seus processos de balanceamento.

Visto que o balanceamento de linhas de montagem desenvolve um relevante papel no Planejamento e Controle da Produção (PCP), este artigo apresenta uma análise bibliométrica de literatura, com vistas a discorrer acerca das abordagens quantitativas para balanceamento de linhas de montagem disponíveis no arcabouço teórico.

Desta forma, para consecução do objetivo de pesquisa, o presente trabalho encontra-se delineado sob a estrutura descrita a seguir.

Na seção 2 são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, bem como estruturação das etapas necessárias à análise bibliométrica. As principais abordagens quantitativas aplicadas ao balanceamento de linhas de montagem são evidenciadas na seção 3, bem como características gerais observadas nos artigos selecionados, atinentes ao tema desta pesquisa. Por fim, a seção 4 trata de considerações finais decorrentes da análise bibliométrica, onde são mencionadas possíveis lacunas e sugestões para estudos futuros.

## **2. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, visto que possui a finalidade de discorrer acerca de características das abordagens quantitativas para balanceamento de linhas de montagem. Segundo Gil (2002), as pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis.

Em relação ao procedimento adotado, optou-se pela estruturação de uma bibliometria. Pesquisas científicas aplicam a bibliometria em diversas áreas e com diversos fins, tais como medida de produtividade de autores, construção de distribuições de frequência de trabalhos publicados, medidas de frequência do aparecimento de palavras ou expressões em textos sobre um assunto específico (CARDOSO et al., 2005). A revisão bibliométrica obedeceu às quatro etapas descritas na FIGURA 1.

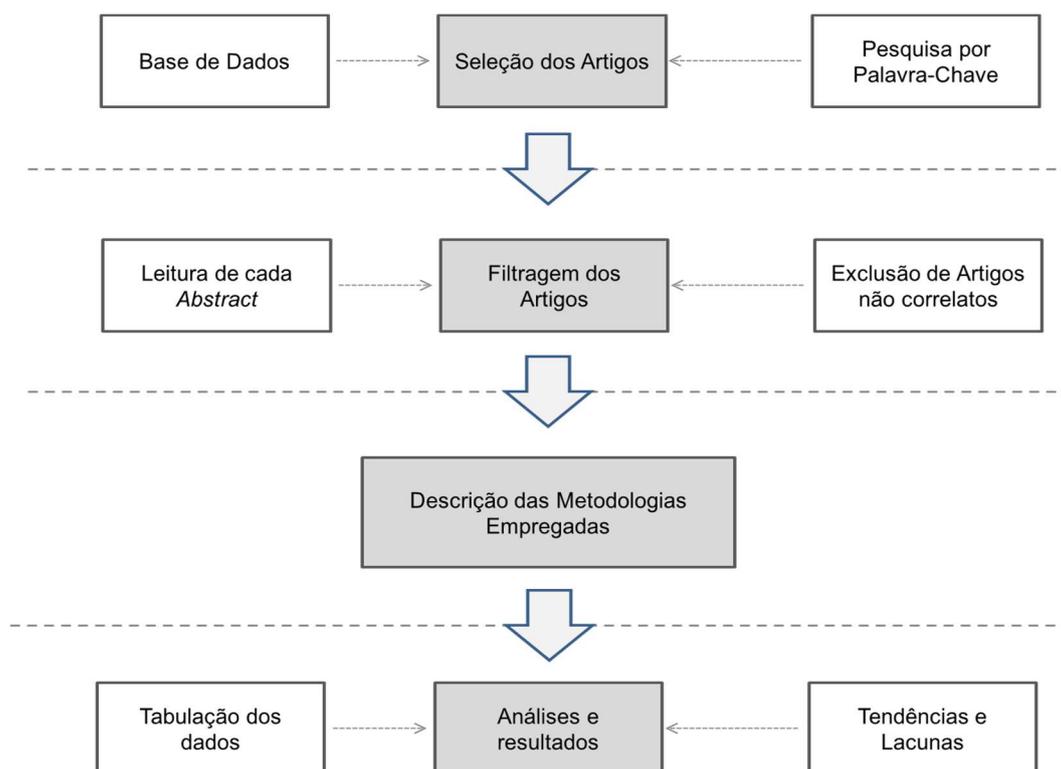


FIGURA 1- Descrição das etapas da análise bibliométrica.

Fonte: Os autores (2016)

A primeira etapa do método de revisão bibliográfica consiste na extração do acervo disponibilizado pela plataforma Web of Science®, onde podem ser localizados importantes periódicos oriundos do campo de Planejamento de Produção e áreas afins. Identificou-se publicações internacionais, compreendidas no período entre os anos de 2011 e 2015.

A pesquisa foi executada de forma a refletir de maneira consistente os modelos quantitativos recentemente publicados em relevantes veículos acadêmicos. O levantamento foi realizado com base na seguinte estruturação de palavras-chave, no idioma inglês:

- (Line Balancing **OR** Line Balance) **AND** (Algorithm **OR** Heuristic) **AND** (Assembly Line).

Após a extração da base de dados, a partir das palavras-chave descritas acima, lançou-se mão do aplicativo Microsoft Excel para armazenamento e tabulação dos dados disponibilizados pela plataforma Web of Science®. Foram localizados 325 artigos no banco de dados, entre o período de 2011 e 2015.

A segunda etapa da análise bibliométrica se resumiu à leitura dos 325 artigos e exclusão dos artigos que não apresentaram aderência ao tema da pesquisa. Neste caso, foram descartados 68 artigos que não abordavam o desenvolvimento de abordagens quantitativas (heurísticas, algoritmos e afins) para Balanceamento de linhas de Montagem. Após o refinamento dos dados, portanto, foi selecionado um total de 257 artigos.

Para maior acurácia e relevância dos dados analisados, optou-se pelo delineamento do terceiro passo da bibliometria, que consiste na descrição da metodologia aplicada em cada um dos 257 artigos. Portanto, com base nos abstracts dos artigos selecionados, descreveram-se as técnicas empregadas para a estruturação dos modelos quantitativos de balanceamento de linhas de montagem, tais como metaheurísticas, modelos de programação linear, abordagens probabilísticas, entre outras.

Por fim, a quarta etapa da bibliometria consiste na elaboração de análises quantitativas dos artigos, sob diferentes perspectivas, com vistas a proporcionar discussões acerca das publicações existentes na literatura acadêmica, bem como uma visão compartimentada sobre a evolução dos métodos propostos ao longo dos últimos anos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a finalidade de explorar o contexto no qual se inserem os artigos selecionados, foram analisados os temas abordados pelos modelos quantitativos propostos na literatura acadêmica para balanceamento de linhas de produção. Primeiramente, a técnica de mineração de dados foi empregada com a finalidade de gerar um panorama dos assuntos recentemente pesquisados, dentro do escopo desta pesquisa.

Em termos gerais, a mineração de texto irá transformar palavras em números ou índices significativos, que podem então ser incorporados em outras análises (MANNING; SCHÜTZE, 2002). Lançando-se mão do software Sobek, tornou-se possível a aplicação de tal técnica com vistas à elaboração de uma síntese dos principais tópicos abordados na literatura acadêmica, segundo os critérios definidos para desenvolvimento da bibliometria. A FIGURA 2 expõe os resultados obtidos.

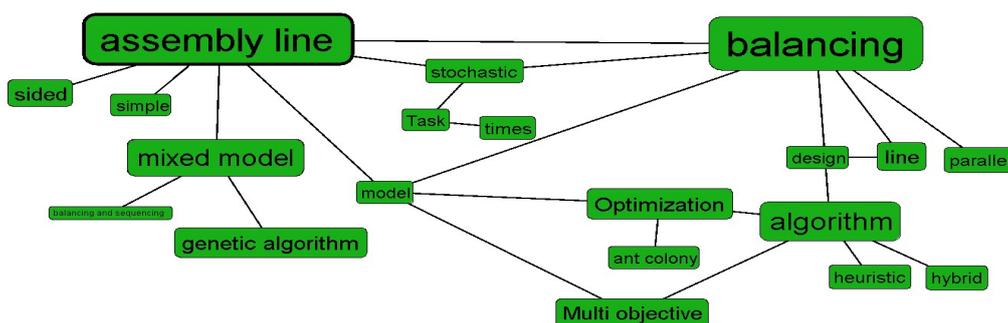


FIGURA 2 - Mineração de textos: principais assuntos pesquisados.  
Fonte: Os autores (2016).

Em relação às palavras-chave mais citadas, ressalta-se elevada concentração do número de publicações com as expressões “Balanceamento” (Balancing) e “Linhas de Montagem” (Assembly Line).

No que tange aos layouts de linhas de montagem, nota-se grande parte da aplicação de abordagens quantitativas em linhas paralelas e linhas simples.

Observou-se, ainda, a aplicação metaheurísticas, tais como Algoritmos Genéticos e Colônia de Formigas para análise destes tipos de problemas enfrentados pela indústria.

Ademais, nota-se a relevância dos problemas de linhas de montagem de modelos mistos (mixed-model), as quais podem ser definidas como linhas de produção capazes de produzir grande diversidade de produtos em pequenos lotes, com o mínimo de custo de setup entre um modelo de produto e outro (KORKMAZEL; MERAL, 2001).

Segundo Rahimi-Vahed e Mirzaei (2007), a implantação de linhas de montagem de modelos mistos envolve o balanceamento da linha, bem como a determinação da sequência de produção para os diferentes modelos. Em consonância com a afirmação dos autores, é possível notar que as pesquisas voltadas a este tipo de linha de montagem buscam explorar o balanceamento e sequenciamento (Balancing and Sequencing).

Ademais, a técnica de Algoritmos Genéticos relaciona-se com linhas de montagem de modelos mistos, acontecimento ajuizado por alguns autores, no sentido de que há maior aplicabilidade de metaheurísticas envolvendo situações dotadas de maior complexidade. Por outro lado, há relacionamento de heurísticas tradicionais ao problema de balanceamento de linha de montagem aplicado em ambientes simplificados, sob certas circunstâncias.

Devido à sua diversidade e à aleatoriedade inerente ao seu comportamento, o balanceamento de linhas de montagem configura-se como uma tarefa não trivial. Neste contexto, a mineração de textos reflete o recente desenvolvimento de modelos estocásticos em problemas de balanceamento de linhas de montagem. Visto que o tempo que as peças gastam nos postos de trabalho é uma importante fonte de aleatoriedade, é razoável que haja um relacionamento entre as expressões “Estocástico” (Stochastic) e “tempo para realização de tarefas” (Task time).

A FIGURA 3 mostra o número de publicações ao longo dos últimos anos, evidenciando certa estabilidade em termos de frequência de trabalhos correlatos ao tema. Ressalta-se, porém, que os dados referentes a 2015 foram computados com base em informações disponíveis até o mês de novembro.

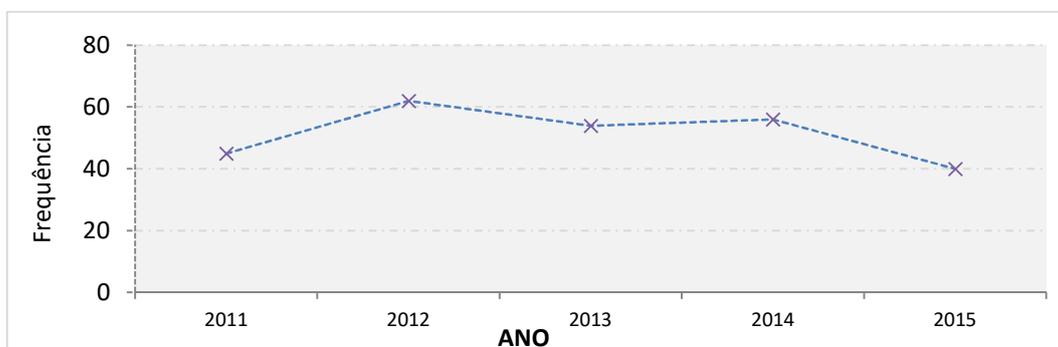


FIGURA 3 - Frequência de publicações entre 2011 e 2015.

Fonte: Os autores (2016).

O volume total de publicações ao longo dos últimos anos ratifica a ideia de que

as abordagens quantitativas possuem relevância acadêmica em relação aos problemas de balanceamento de linhas de montagem, em consonância com as complexidades demandadas pelas indústrias e disponibilidade de tecnologias mais robustas para tratamento deste problema.

O advento de ferramentas computacionais mais robustas ao longo das últimas décadas permite que a utilização de metodologias mais sofisticadas, haja vista a relevante capacidade de processamento das atuais tecnologias à disposição dos pesquisadores. Em oposição a este posicionamento, Jolai et al. (2009) afirmam que o balanceamento de linha é um problema multidisciplinar e métodos algorítmicos e heurísticos não são efetivos para solucioná-los.

A TABELA 1 consiste em um ranking das cinco metodologias aplicadas com maior frequência nos artigos selecionados previamente em cada ano. Adicionalmente, foram calculadas as proporções de cada um dos métodos em relação ao total de publicações do respectivo ano de publicação.

TABELA 1 - Metodologias abordadas com maior frequência.

ANO	TÉCNICA	PUBLICAÇÕES	% TOTAL
2011	Algoritmos Genéticos	13	28,89%
	Colônia de Formigas	8	17,78%
	Branch and Bound	4	8,89%
	Programação Linear Inteira	4	8,89%
	Métodos Estocásticos	3	6,67%
2012	Algoritmos Genéticos	16	25,81%
	Programação Linear Inteira	11	17,74%
	Branch and Bound	6	9,68%
	Colônia de Formigas	5	8,06%
	Simulated Annealing	3	4,84%
2013	Algoritmos Genéticos	13	25,00%
	Programação Linear Inteira	7	13,46%
	Multiobjective Evolutionary Algorithm	5	9,62%
	Colônia de Formigas	5	9,62%
	Simulated Annealing	4	7,69%
2014	Algoritmos Genéticos	10	17,86%
	Branch and Bound	7	12,50%
	Colônia de Formigas	6	10,71%
	Programação Linear Inteira	5	8,93%
	Multiobjective Evolutionary Algorithm	4	7,14%
2015	Algoritmos Genéticos	11	26,19%
	Programação Linear Inteira	7	16,67%
	Tabu Search	4	9,52%

	Particle Swarm Optimization (PSO)	3	7,14%
	Colônia de Formigas	2	4,76%

Fonte: Os autores (2016)

Em todos os anos de análise, Algoritmos Genéticos foi o método mais utilizado. Falkenauer (1998) pondera que a utilização desta metodologia para resolução do problema em questão, é capaz de gerar resultados de alta qualidade e baixo tempo de processamento computacional.

Após análise do conteúdo de cada um dos artigos selecionados, observou-se que 180 publicações abordam a utilização de metaheurísticas, o que representa aproximadamente 70% do total de publicações entre 2011 e 2015. Outras abordagens quantitativas foram propostas com base em modelos estatísticos ou métodos de simulação, decorrentes de projetos ad hoc em estudos de caso específicos. Ressalta-se que as abordagens não quantitativas se encontram fora do escopo desta pesquisa.

As metaheurísticas consolidam-se como ferramentas amplamente utilizadas ao longo dos últimos anos. Conforme FIGURA 4, a taxa média anual de utilização destas técnicas é alcança 63,67% do total de abordagens quantitativas indicadas na literatura, equivalente a uma média de 33 artigos para cada ano.

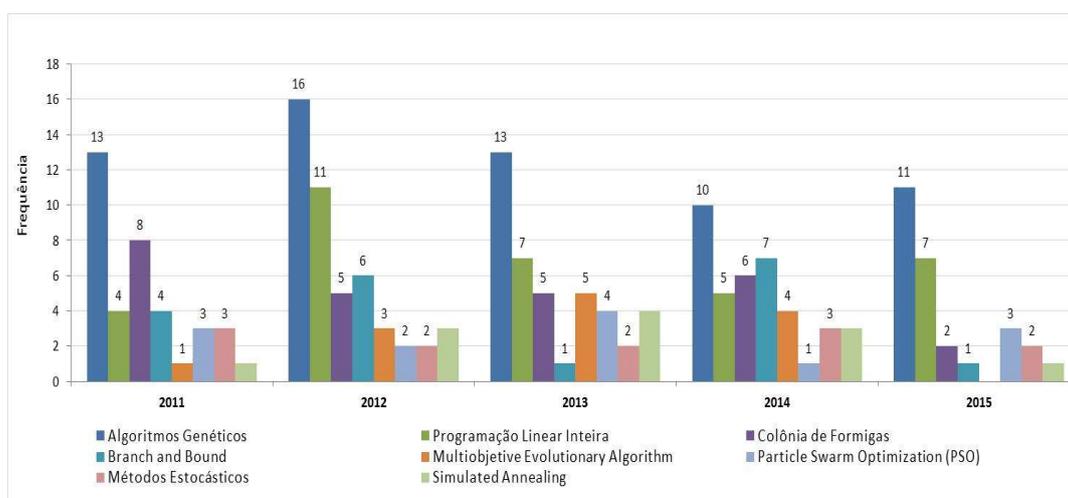


FIGURA 4 - Evolução anual de abordagens quantitativas com maior frequência.

Fonte: Os autores (2016)

Além da utilização de Algoritmos Genéticos, técnicas de Programação Linear Inteira e Colônia de Formigas se destacaram entre as abordagens mais exploradas em todos os anos analisados, com frequência anual média de 13,14% e 10,19%, respectivamente.

Modelos estocásticos têm sido apresentados com a finalidade de incorporar componentes de aleatoriedade no processo de balanceamento de linhas de montagem, porém tais abordagens parecem não possuir tanta relevância quanto os modelos matemáticos, haja vista seu baixo volume de publicações no período analisado.

A FIGURA 5 elenca os periódicos com maior número de publicações entre os

anos de 2011 e 2015, no que se tange às propostas de modelos quantitativos para o problema de balanceamento de linhas de montagem. O gráfico mostra a quantidade de publicações em cada veículo e a proporção da frequência de publicações em cada ano de observação dos dados.

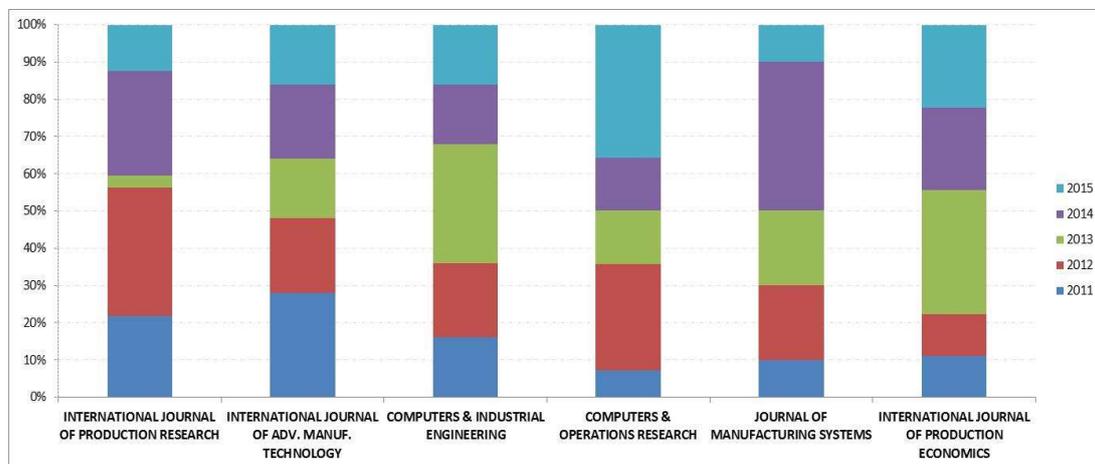


FIGURA 5 - Periódicos com maior quantidade de publicações.

Fonte: Os autores (2016).

Nota-se que os periódicos com maior volume de publicações concentram-se nos campos de manufatura e pesquisa operacional, as quais envolvem o desenvolvimento de modelos para gerenciamento de problemas no âmbito da programação de produção. Os seis periódicos com maior quantidade de publicações são responsáveis por 116 artigos, equivalente a 45% do total de trabalhos publicados.

Ressalta-se a enfoque do tema em artigos da área de computação e tecnologia, visto que as complexidades existentes nos problemas de balanceamento de linhas de montagem demandam a implementação de abordagens quantitativas robustas, em plataformas com recursos computacionais não triviais. Neste contexto, a revista Computers & Operation Research representa 36% de suas publicações concentradas no ano de 2015.

A FIGURA 6 consiste na análise gráfica da frequência de citações observadas nos artigos selecionados.

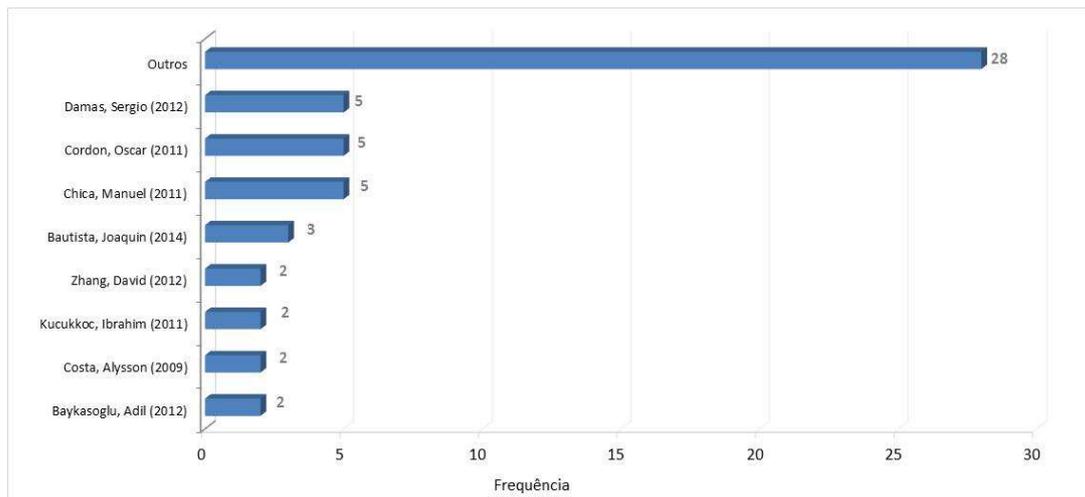


FIGURA 6 - Autores com maior quantidade de citações em trabalhos acadêmicos.  
Fonte: Os autores (2016).

O gráfico revela o total de 54 trabalhos citados nos 257 artigos selecionados, no período entre os anos de 2011 e 2015, correspondendo a uma média de aproximadamente 1 citação a cada 5 artigos publicados.

Ressalta-se, ademais, o fato de que todas as citações observadas se restringiram a trabalhos recentemente publicados na literatura acadêmica, sendo a citação mais antiga referente a um trabalho desenvolvido no ano de 2008. Tal fato reflete um maior volume de trabalhos correlatos nos últimos anos, à medida que se dispõe de tecnologias mais robustas para processamento de abordagens adaptáveis às situações do cotidiano da indústria.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do conceito de produção em massa, o balanceamento das linhas de montagem envolve a alocação de recursos de forma a proporcionar maior fluidez de bens e serviços ao longo da cadeia produtiva. Não obstante, a configuração de linhas de montagem representa um desafio singular para a área de Pesquisa Operacional, visto que a aplicação prática de modelos quantitativos com esta finalidade, demanda a modelagem de variáveis altamente complexas e dinâmicas.

A análise bibliométrica desenvolvida neste artigo proporcionou a revisão de 257 publicações internacionais que versam sobre propostas de modelos quantitativos para o problema de balanceamento de linhas de montagem. O estudo envolveu o arrolamento dos principais assuntos, métodos e conteúdos de cada trabalho.

Observou-se o emprego de uma gama de modelos matemáticos e metaheurísticas, além da concentração das publicações em um conjunto restrito de journals especializados nas áreas de Manufatura, Tecnologia e Pesquisa Operacional com foco em atividades de Programação e Controle da Produção. Ademais, observou-se a relevância dos assuntos atinentes a linhas de montagem flexíveis, em consonância com as tendências de mercado no que se refere a maiores níveis de

customização.

Com base na conjuntura balizada neste artigo, propõe-se a realização de pesquisas futuras sobre a aplicabilidade dos modelos quantitativos para balanceamento de linhas de montagem, por meio da investigação de problemas observados em casos reais. Recomenda-se a aplicação de procedimentos de pesquisa, tais como estudo de caso e pesquisa-ação, a fim de gerar uma análise ad hoc sobre a acurácia dos algoritmos e das metaheurísticas levantadas neste trabalho, bem como sua aderência às adversidades enfrentadas pela indústria.

## REFERÊNCIAS

- BECKER, C.; SCHOLL, A. **A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing**. European Journal of Operations Research, 2004.
- CARDOSO R.L.; MENDONÇA NETO, O.R.; RICCIO, E.L.; SAKATA, M.C.G. **Pesquisa científica em Contabilidade entre 1990 e 2003**. Revista de Administração de Empresas, 2005.
- CARNAHAN, B. J.; NORMAN, B. A.; REDFERN, M. S. **Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing**. IEEE Transactions, 2001.
- FALKENAUER, E. **Line Balancing in the Real World**. Inderscience Enterprises, 2005.
- FATTAHI, P.; SALEHI, M. **Sequencing the mixed-model assembly line to minimize the total utility and idle costs with variable launching interval**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- JOLAI, F.; JAHANGOSHAI; REZAEI, M.; VAZIFEH, A. **Multicriteria decision making for assembly line balancing**. Journal of Intelligent Manufacturing, 2009.
- KORKMAZEL, T.; MERAL, S. **Bicriteria sequencing methods for the mixed-model assembly line in just in- time production systems**. European Journal of Operational Research, 2001.
- MANNING, C.D.; SCHÜTZE, H. **Foundations of Statistical Natural Language Processing**. London: MIT Press, 2002.
- RAHIMI-VAHED, A.; MIRZAEI, A. H. **A hybrid multiobjective shuffled frog-leaping algorithm for a mixed model assembly line sequencing problem**. Computers & Industrial Engineering, 2007.

TUBINO, D.F. **Planejamento e Controle da Produção - Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007.

**ABSTRACT:** Line Balancing consists into well-researched and classic problem with regard to the production scheduling and control. The throughput of an organization is widely sensitive to the degree of the assembly line's stability, in so far as high levels of balancing led to sturdier flow of processes and increased throughput. The process of allocating resources optimally shows up as a constraint to the current quantitative approaches for assembly line balancing, given that there may be misalignment to the complexities observed by the industry. Thereby, 257 international articles related to this problem and published between 2011 and 2015 have been analyzed, as well as the methods, subjects and content of each one. It has been worth noting a focus around metaheuristic methods beyond a high volume of articles concentrated into some specialized journals.

**KEYWORDS:** Assembly Line Balancing; Heuristics; Quantitative Approach.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

---

**Naijela Janaina da Costa  
Herick Fernando Moralles**

# ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Naijela Janaina da Costa**

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção  
São Carlos- SP

**Herick Fernando Moralles**

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção  
São Carlos- SP

**RESUMO:** A eficiência dos programas de pós-graduação do Brasil está diretamente ligada a capacidade de inovação do país, o que acarreta a necessidade de diagnosticar as causas do baixo desempenho acadêmico e científico, bem como o desenvolvimento de técnicas e métodos para avaliar e mensurar o desempenho das unidades educacionais. Nesse sentido, este projeto tem por objetivo geral analisar a eficiência dos programas de pós-graduação em Engenharia de Produção brasileiros através das técnicas de Data Envelopment Analysis (DEA) e análise de regressão para o ano de 2014. Por meio da aplicação da técnica DEA identificou-se quais são os programas mais eficientes (benchmarkings), e por meio da regressão múltipla diagnosticou-se o grau de influência dos insumos nas saídas consideradas. Os resultados deste projeto podem contribuir para o melhor entendimento da dinâmica e dos fatores determinantes da produção acadêmica nacional, de modo a gerar conhecimento sobre os programas de pós-graduação, em especial cursos que não atingiram os padrões de eficiência de produção técnica exigidos pela coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (Capes), uma vez que os dados utilizados neste trabalho foram dados de avaliação da Capes.

**PALAVRAS-CHAVES:** Análise Envoltória de Dados. Análise de Regressão. Eficiência. Ensino Superior. Sistema Nacional de Inovação.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Faria, Jannuzzi e Silva (2008), a necessidade de se obter maior eficiência dos gastos públicos tem possibilitado um aprimoramento nos instrumentos e técnicas para tomada de decisão para avaliação das políticas públicas no país. Cabe ao governo federal a assistência técnica e financeira aos Estados e municípios, além de organizar o sistema de educação superior (FARIAS, 2012).

Autores como Johnes e Yu (2008) ressaltam que as pesquisas universitárias são importantes por terem efeitos sobre as empresas locais, configurando, portanto, ferramentas fundamentais no desenvolvimento econômico regional.

Além disso, as instituições de ensino superior, conforme Johnes (2005) e Abbott e Doucouliagos (2003), são importantes componentes de formação de capital humano e conhecimentos, porém, segundo Gomes et al. (2002), as avaliações de

produtividade em educação são normalmente subjetivas devido à grande quantidade de variáveis a serem consideradas. Entretanto, outro aspecto a ser levado em conta, segundo Meza et al. (2003) é que a avaliação educacional deve ser quantitativa e comparada.

O presente trabalho parte da hipótese que características estruturais, financeiras, geográficas e de recursos humanos estão diretamente ligadas à qualidade de ensino das universidades, sendo de suma importância a análise de desempenho em instituições de ensino superior.

Tendo em vista tal panorama, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar a eficiência relativa dos cursos de pós-graduação em Engenharia de Produção das universidades brasileiras utilizando as técnicas de Data Envelopment Analysis (DEA) e Análise de Regressão, demonstrando os programas com maior eficiência relativa.

Não obstante, o problema a ser investigado leva a formulação das seguintes perguntas de pesquisa: Quais unidades educacionais são mais eficientes? Quais são os direcionadores de eficiência nas instituições benchmark? Qual o grau de influência dos insumos no desempenho educacional? As unidades consideradas eficientes pela DEA possuem as maiores notas pelas Capes?

O Brasil tem dado maior importância ao processo de inovação e desenvolvimento de tecnologias, assumindo-os como uma ferramenta de competitividade global, de modo que a formação de Sistema Nacional de Inovação (SNI) tornou-se uma estratégia para consolidação de uma identidade de cultura para inovação (PIACENTE; DIAS, 2013).

Desta maneira, para que um Sistema Nacional de Inovação seja efetivo, a interação entre instituições e empresas deve ser incentivada, multiplicada e tratada como uma estratégia nacional.

De acordo com Barbosa e Wilhelm (2009) surge a necessidade de diagnosticar as causas do baixo desempenho educacional, levando pesquisadores a procurar desenvolver técnicas e métodos para avaliar e mensurar o desempenho das unidades educacionais. Para tanto, torna-se necessário o uso de ferramentas analíticas, técnicas e métodos para avaliar o desempenho dos profissionais e as variáveis que influenciam tal dinâmica.

Diante desse contexto, destaca-se a ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA) por sua capacidade de trabalhar com variáveis escalares, junto a um sistema de ranking por score a fim de demonstrar unidades com maior eficiência relativa, bem como auxiliar cursos em déficit a melhorarem seu desempenho. Embora ainda recente no país, de acordo com Faria, Jannuzzi e Silva (2008), já existe um conjunto significativo de trabalhos aplicados da técnica no campo, com nível avançado de sofisticação metodológica.

Assim, a técnica DEA, conforme Meza et al. (2003), mostra-se como uma ferramenta interessante para a avaliação de programas de pós-graduação, ao serem consideradas múltiplas variáveis que apresentam relação causal, sem introduzir pesos arbitrários aos inputs.

Adicionalmente, a análise de regressão possibilita diagnosticar o grau de

influência dos insumos no desempenho educacional, bem como auxiliar na validação das variáveis a serem incluídas na aplicação da DEA.

Vale ressaltar que a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) estabelece critérios baseados na pontuação de produção bibliográfica e nos conceitos da distribuição e da produção para mensurar a qualidade dos cursos de mestrado e doutorado. A pontuação e o conceito são os que determinam a posição dos cursos e a nota que receberão pela CAPES (PEREIRA, 2011).

Assim, os resultados deste projeto podem contribuir para o melhor entendimento da dinâmica e dos fatores determinantes da produção acadêmica nacional, de modo a gerar conhecimento sobre os programas de pós-graduação, em especial cursos que não atingem os padrões de eficiência de produção técnica exigidos pela CAPES.

## 2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados ou Teoria da Fronteira, DEA (sigla inglesa para Data Envelopment Analysis ou Frontier Analysis) configura um método para utilização adequada dos recursos disponíveis para o processo produtivo. Objetiva-se com o mesmo, conforme Ferreira e Gomes (2009, p.22) "avaliar o desempenho de organizações e atividades, essencialmente por meio de medidas de eficiência técnica".

O Quadro 1 demonstra duas definições da metodologia DEA do ponto de vista de diversos autores.

Quadro 1 - Definições da metodologia DEA

Autores	Definições de DEA
Chao e Mingzhe (2009); Johnes (2006); Alwaddood et al. (2011); Agha et al. (2011); Ramírez e Alfaro (2013); Rayeni e Saljooghi (2010); Ferreira e Gomes (2009); Pranesh, Rajan e Navas (2013).	DEA é uma abordagem não-paramétrica com modelo de programação matemática, o que é muitas vezes utilizado para avaliar a eficiência relativa de unidades com múltiplas entradas e saídas.
Abbott e Doucouliagos (2003); Agha et al. (2011); Rayeni e Saljooghi (2010); Aoki et al. (2010); Taylor e Harris (2004).	DEA é uma técnica analítica que pode ser usada para auxiliar na identificação de melhores práticas no desempenho no uso de recursos entre um grupo de organizações.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Conforme Magalhães da Silva et al. (2003 apud Kaneshiro, 2008), o modelo DEA também pode ser visto como uma ferramenta de benchmarking, já que pode ser definido como um dos modernos instrumentos de gerência, que possibilita a melhoria do desempenho técnico-econômico das empresas de forma comparativa.

É relativamente difícil avaliar o desempenho relativo de uma organização, isto é, o desempenho comparado a um parceiro de excelência (benchmark), quando há múltiplos insumos e múltiplos produtos a serem considerados na análise do

sistema produtivo. (FERREIRA; GOMES, 2009).

Kuah e Wong (2011) ressalta que a DEA é uma metodologia simples, mas poderosa usada para medir a eficiência relativa de um grupo de empresas ou unidades homogêneas tomadoras de decisão (DMUs).

De acordo com Pereira (1995), define-se DMU como uma firma, departamento, divisão, unidades administrativas ou operacionais cuja eficiência está sendo avaliada. Cada DMU é representada por insumos (variáveis de entradas - inputs) e produtos (variáveis de saídas - outputs), sendo a ideia básica a comparação entre produtos e insumos.

A partir do relacionamento entre as variáveis de input e de output, é possível determinar as DMUs consideradas eficientes, e através delas estabelecer uma fronteira eficiente (CARLUCCI, 2012).

Casa Nova (2002) define a fronteira de eficiência como sendo uma curva de máxima produtividade, considerando a relação ótima entre inputs e outputs, onde se localizarão todas as DMUs consideradas eficientes, enquanto as ineficientes se localizarão abaixo dela.

A aplicação da metodologia DEA em um problema qualquer, compreende três etapas principais segundo Lins e Meza (2000): a definição e seleção das DMUs (Decision Making Units) para análise; a seleção de variáveis (inputs e outputs) que são relevantes e apropriadas para estabelecer a eficiência relativa das DMUs selecionadas; e, a aplicação dos modelos DEA.

Segundo os autores Vasconcelos, Canen e Lins (2006), os modelos DEA são classificados em função do tipo de superfície envoltória, a orientação (inputs ou outputs) e a medida de eficiência, os quais são classificados em: modelo com Retorno de Escala Constante - CCR ou CRS (Constant Returns to Scale) - e modelo com Retorno de Escala Variável - BCC ou VRS (Variable Returns to Scale).

## **2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS EM EDUCAÇÃO SUPERIOR**

A Análise Envoltória de Dados, de acordo com Kuah e Wong (2011), permite também a identificação de atividades deficientes em suas universidades e tomar as medidas apropriadas para a melhoria. Ainda, Johnes e Yu (2008) ressaltam que a ferramenta tornou-se popular para medir a eficiência das instituições sem fins lucrativos, tais como hospitais, escolas e universidades. O Quadro 2 demonstra algumas aplicações do DEA no ensino superior.

Quadro 2 – Aplicações da DEA no ensino superior

Autor(es)	Objetivos/Resultados
<b>Chen e Shuo Chen (2011)</b>	O estudo teve por objetivo utilizar a DEA para avaliar a eficiência de 99 universidades de Taiwan dividida em cinco tipos: pesquisa intensiva; ensino intensivo; profissão intensiva; pesquisa e ensino intensivo; e, educação em prática intensiva. Verificou-se que 73% das universidades são altamente ineficientes nos aspectos analisados.
<b>Johnes e Yu (2008)</b>	O estudo teve por objetivo analisar a eficiência relativa de produção de pesquisa de 109 universidades chinesas entre 2003 e 2004. A média de eficiência é de pouco mais de 90% quando todas as variáveis de entrada e saída estão incluídos no modelo, e isso cai para pouco mais de 80% quando as variáveis de entrada relacionadas com estudantes são excluídas do modelo.
<b>Johnes (2006)</b>	A DEA foi aplicada para 2.547 graduados de Economia nas universidades do Reino Unido em 1993, no intuito de avaliar a eficiência de ensino. A metodologia desenvolvida para avaliar a eficiência do indivíduo era composta de duas componentes: uma atribuída a universidade que o aluno estudou e outra ao próprio estudante. Os resultados avaliados pela DEA sugerem que a eficiência a um nível agregado, incluem tanto os componentes da instituição, como individual, resultando em dados enganosos.
<b>Alwadood, Noor e Kamarudin (2011)</b>	A pesquisa teve por objetivo utilizar a DEA para analisar a eficiência de departamentos acadêmicos em uma faculdade pública na Malásia. Dois inputs e três outputs com forte influência nos departamentos acadêmicos foram selecionados. O trabalho focou em elevar a eficiência do departamento menos eficiente. Todos os departamentos da faculdade atingiram um nível de eficiência acima de 90%.
<b>Agha et al. (2011)</b>	O estudo teve por objetivo avaliar a eficiência relativa dos departamentos acadêmicos da Universidade Islâmica em Gaza (IUG) durante o período de 2004-2006, utilizando a DEA. Os inputs utilizados foram: despesas operacionais; horas de crédito; e, recursos de treinamento. Os outputs utilizados foram: números de graduados; promoções; e, atividades de serviço público. Os resultados mostraram que a pontuação média de eficiência é de 68,5% e que existem 10 departamentos eficientes de 30 analisados.
<b>Ramírez e Alfaro (2013)</b>	O trabalho teve por objetivo estimar a eficiência das universidades pertencentes ao Conselho de Reitores de universidades chilenas. O trabalho baseia-se na técnica DEA, considerando uma variável de entrada (despesas operacionais) e duas de saída (publicações, número de alunos matriculados). Os resultados indicaram que três das 25 instituições são eficientes em termos de pesquisa e ensino.
<b>Taylor e Harris (2004)</b>	O trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de universidades públicas no Sul da África entre 1994 e 1997 utilizando a técnica DEA. Utilizaram-se como variáveis de saída, o número de graduados anual e o número de pesquisas, testados sobre várias variáveis de entrada. Um alto grau de estabilidade e consistência foi encontrado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

### 3. ANÁLISE DE REGRESSÃO

Regressão é o processo matemático pelo qual derivamos os parâmetros “a” e “b” de uma função  $f(x)$ . Estes parâmetros determinam as características da função que relaciona “y” com “x” que no caso do modelo linear se representa por uma reta chamada de reta de regressão. Esta reta explica de forma geral e teoricamente a relação entre x e y. Isto significa que os valores observados de x e y nem sempre serão iguais aos valores de  $x'$  e  $y'$  estimados pela reta de regressão. Sempre haverá alguma diferença, a qual é chamada de erro ou desvio (TORRES; HADDAD; ONO, 2009).

#### 3.1 DADOS EM PAINEL

Um conjunto de dados de painel (ou dados longitudinais) consiste “em uma série de tempo para cada membro do corte transversal do conjunto de dados” (Wooldridge, 2006, p.10). Um painel é dito balanceado se cada unidade de corte transversal tem o mesmo número de observações. Se cada unidade tiver um número diferente de observações, teremos um painel desbalanceado. Na literatura de painel de dados também temos os termos painel curto e painel longo. Em um painel curto, o número de sujeitos de corte transversal, N, é maior que o número de períodos de tempo, T. Em um painel longo, T é maior que N (GUJARATI; PORTER, 2011). A análise de painel pode ser realizada para dois modelos básicos: modelo de efeitos fixos; e, modelo de efeitos aleatórios.

O modelo de efeitos fixos, também conhecido por abordagem variável dummy de mínimos quadrados é uma generalização de um modelo constante-intercepto-inclinação para painel, introduzindo uma variável dummy para os efeitos das variáveis omitidas, que permanecem constantes no tempo. A especificação do modelo de efeitos aleatórios trata os efeitos específico-individuais como variáveis aleatórias. Neste modelo, supõe-se que não há correlação entre os efeitos individuais e as demais variáveis aleatórias. A sua estimação é realizada por meio de mínimos quadrados generalizados (GLS) (HOLLAND; XAVIER, 2005).

### 4. MÉTODO DE PESQUISA

Para aplicação da metodologia DEA, na primeira etapa de seleção das DMUs, foram selecionadas 27 DMUs, ou seja, 27 programas de pós-graduação.

A segunda etapa é a seleção de variáveis, de modo que a eficiência da produção técnica dos cursos de pós-graduação foi analisada tendo como referência o ano de 2014. Portanto os inputs e outputs a serem analisados serão: Inputs – X1 (Docentes Permanentes(DP)/Docentes Totais(DT)); X2 (Bolsistas do CNPq/Docentes Totais(DT)); X3 (Projetos financiados(PF)/Docentes Totais(DT)); Y1 (A1/Docentes Totais(DT)); Y2 (A2/Docentes Totais(DT)); Y3 (B1/Docentes Totais(DT)); Y4

(B2/Docentes Totais(DT)); Y5 (Outras produções técnicas/Docentes Totais(DT)); Y6 (Produção bibliográfica discente/Docentes Totais(DT)).

Conforme observa-se nos inputs e outputs a avaliação ocorre na esfera financeira e nos recursos humanos, dados os inputs e outputs pela divisão do número de docentes totais.

Os dados referentes aos inputs e outputs são dados secundários que foram extraídos da Plataforma Sucupira, dos sites dos programas de pós-graduação das universidades selecionadas, e do site da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Estes dados foram utilizados pela CAPES para avaliação dos programas de pós-graduação para o ano de 2014.

## 5. ANÁLISE DOS PROGRAMAS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

No Quadro 3 encontra-se o ranking por score das DMUs de Engenharia de Produção mais eficientes para o ano de 2014, obtidos pelo software SIAD 3.0.

Quadro 3 – Ranking por score das DMUs mais eficientes dos programas de Engenharia de Produção

DMUs	Programas	Score	Ranking
DMU_1	UFRN - Engenharia de Produção	1	1
DMU_2	UFPB/J.P - Engenharia de Produção	1	1
DMU_3	UFPE - Engenharia de Produção	1	1
DMU_4	UCAM- Engenharia de Produção	1	1
DMU_5	UENF - Engenharia de produção	1	1
DMU_8	UFPR - Engenharia de Produção	1	1
DMU_9	UFSM - Engenharia de Produção	1	1
DMU_16	UNESP/BAU - Engenharia de Produção	1	1
DMU_18	PUC/PR - Engenharia de produção	1	1
DMU_19	UTFPR - Engenharia de Produção	1	1
DMU_20	UFPE - Engenharia de Produção	1	1
DMU_21	PUC-RIO - Engenharia de Produção	1	1
DMU_22	UNIFEI - Engenharia de Produção	1	1
DMU_24	UNIP - Engenharia de Produção	1	1
DMU_25	UFSC - Engenharia de Produção	1	1
DMU_26	UFRGS - Engenharia de Produção	1	1
DMU_13	UFMG - Engenharia de Produção	0,953271	2
DMU_27	UNISINOS - Engenharia de Produção	0,896208	3
DMU_15	USP - Engenharia de Produção	0,867797	4

DMU_23	USP/SC - Engenharia de Produção	0,848513	5
DMU_14	UFSCAR - Engenharia de Produção SC	0,836464	6
DMU_17	UNINOVE - Engenharia de Produção	0,806676	7
DMU_12	CEFET/RJ - Engenharia de Produção	0,794693	8
DMU_7	UNIMEP - Engenharia de Produção	0,783989	9
DMU_11	UFF - Engenharia de Produção	0,766747	10
DMU_6	UFSCAR - Engenharia de Produção SO	0,607113	11
DMU_10	PUC - Goiás - Engenharia de Produção	0,45604	12

Fonte: SIAD (2016)

Posteriormente, no Quadro 4 encontra-se o ranking das DMUs eficientes, para o ano de 2014. Para critério de desempate entre as DMUs eficientes de maneira qualitativa, analisa-se para quantas unidades cada DMU é referência. Considera-se as benchmarkings mais eficientes, as quais possuem maior número de referências (unidades ineficientes).

Quadro 4 – Ranking das benchmarkings (Engenharia de Produção) – 2014

DMUs	Ranking (quantidade de referências)
DMU9 - UFSM - Engenharia de Produção	7
DMU24 - UNIP - Engenharia de Produção	7
DMU20 - UFPE - Engenharia de Produção	5
DMU21 - PUC-RIO - Engenharia de Produção	5
DMU26 - UFRGS - Engenharia de Produção	5
DMU25 - UFSC - Engenharia de Produção	4
DMU1 - UFRN - Engenharia de Produção	3
DMU8 - UFPR - Engenharia de Produção	1
DMU18 - PUC/PR - Engenharia de produção	1
DMU22 - UNIFEI - Engenharia de Produção	1
DMU2 - UFPB/J.P - Engenharia de Produção	0
DMU3 - UFPE - Engenharia de Produção	0
DMU4 - UCAM- Engenharia de Produção	0
DMU5 - UENF - Engenharia de produção	0
DMU16 - UNESP/BAU - Engenharia de Produção	0
DMU19 - UTFPR - Engenharia de Produção	0

Fonte: SIAD (2016)

## 6. NOTAS CAPES

Verificaram-se quais as notas estabelecidas pela Capes para as DMUs eficientes do ano de 2014. Esta análise verifica se há relação entre a eficiência adquirida pela DEA e as notas estabelecidas pela Capes para os programas. As notas das DMUs eficientes estão representadas na Figura 1.

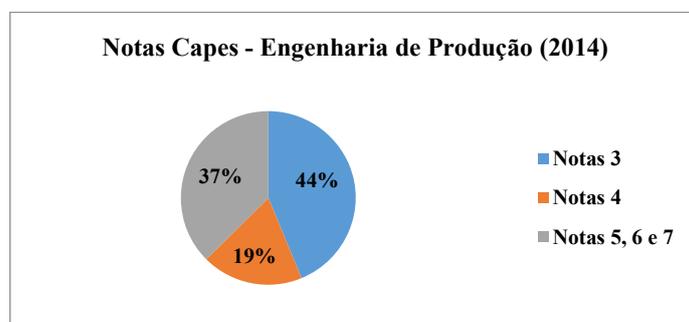


Figura 1 – Notas Capes – Engenharia de Produção (2014). Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

## 7. DADOS EM PAINEL

Aqui, são apresentados nos Quadros 5, 6 e 7 os resultados do modelo de dados em painel para os programas de Engenharia de Produção.

Quadro 5 - Dados em painel (2013-2014) para os outputs A1/DT, A2/DT e B1/DT. Coeficientes  $\beta$ . Considere: \* $p < 0,1$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ .

	Y1 = A1/DT			Y2 = A2/DT			Y3 = B1/DT		
	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls
In x1	0,779	7,682	4,288	8,558	3,354	1,373	-0,8986	-0,9618	-0,4277
In x2	0,005	0,2131	0,182	-0,013	0,155	0,037	-0,0691	-0,0050	-0,0517
In x3	0,014	-0,161	-0,047	-0,006	-0,024	0,024	-0,0334	-0,0173	-0,0222
Cons	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4,32**	3,24***	1,59***	3,868**	3,964***	1,978***	3,3074***	3,1557***	1,7579***

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Quadro 6 – Dados em painel (2013-2014) para os outputs B2/DT, (A1+A2+B1+B2)/DT e Teses/DT. Coeficientes  $\beta$ . Considere: \* $p < 0,1$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ .

	Y4 = B2/DT			Y5 = (A1+A2+B1+B2) /DT			Y6 = Teses/DT		
	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls
In x1	4,935 2	6,722 3*	4,3348* **	-0,2908	0,38 06	0,8697 **	-3,8270	-3,9910	- 6,785 4***
In x2	- 0,028 9	0,012 2	0,0648* **	-0,0264	- 0,00 88	-0,0161	-0,0002	0,0622	0,103 7
In x3	- 0,065 7	- 0,096 2	- 0,0927* *	-0,0091	- 0,01 52	-0,0140	0,0806	0,0841	0,077 2
C	-	-	-	-	-	0,0453	-	-	-

o ns	1,510 4	1,255 2	1,038** *	0,2752 **	0,17 24		5,6978* **	5,5641* **	6,172 3***
---------	------------	------------	--------------	--------------	------------	--	---------------	---------------	---------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Quadro 7 – Dados em painel (2013-2014) para os outputs B2/DT, (A1+A2+B1+B2)/DT e Teses/DT. Coeficientes  $\beta$ . Considere: \* $p < 0,1$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ .

	Y7 = Dissertações/DT			Y8 = Patentes/DT			Y9 = Outras produções técnicas			Y10 = Produção discente		
	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls	Fe	Re	Xtgls
In x1	- 3,17 47	- 0,89 62	- 1,23 48** *	3,59 73	- 5,33 19* **	0,08 39	1,02 78	1,38 49* **	1,36 27* **	- 0,7 017	- 0,40 52	- 0, 63 46
In x2	0,05 58	- 0,01 01	0,02 45* *	- 0,01 04	- 0,02 18	0,00 09	0,01 025	0,00 31	0,01 18	0,0 015	- 0,00 99	- 0, 00 75
In x3	0,39 13** *	0,38 32* **	0,15 04* *	- 0,27 58* *	- 0,21 26* **	- 0,01 22	- 0,00 18	0,00 33	0,01 083	0,1 025 ***	0,11 14** *	0, 04 15
Con s	- 0,22 02	0,16 44	- 0,02 22	- 8,51 34* **	- 9,36 02* **	- 9,23 53* **	2,30 15* **	2,32 03* **	2,36 53* **	1,7 232 ***	1,72 72** *	0, 49 15

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

No Quadro 8, apresentam os resultados dos testes de Hausman para os outputs correspondentes.

Quadro 1 - Resultados dos testes de Hausman para os outputs correspondentes.

Outputs	Prob>chi2
Y1 = A1/DT	0,8340
Y2 = A2/DT	0,8604
Y3 = B1/DT	0,8142
Y4 = B2/DT	0,9827
Y5 = (A1+A2+B1+B2) /DT	0,1443
Y6 = Teses/DT	0,1334
Y7 = Dissertações/DT	0,7820
Y8 = Patentes/DT	0,4336
Y9 = Outras produções técnicas	0,6047
Y10 = Produção discente	0,6739

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Como apresentado no Quadro 8 os testes de Hausman efetuados demonstram que o modelo de efeitos aleatórios provavelmente apresenta estimativas consistentes, e assim, utiliza-se o modelo estimado por mínimos

quadrados generalizados ajustado para a correção de possível heteroscedasticidade. Especificamente, apenas os outputs B2/DT, e Dissertações/DT apresentaram todas as variáveis estatisticamente significantes. Nos demais, apenas uma ou nenhuma variável mostrou-se significativa.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à necessidade de diagnosticar as causas do baixo desempenho educacional, pesquisadores procuram desenvolver técnicas e métodos para avaliar e mensurar o desempenho das unidades educacionais, e como observado, a ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA) destaca-se como uma ferramenta interessante para a avaliação de programas de pós-graduação, ao serem consideradas múltiplas variáveis que apresentam relação causal.

O sistema de avaliação dos programas de pós-graduação da Capes inclui critérios qualitativos e quantitativos, contudo ambos são convertidos em considerações qualitativas e, ao final da avaliação, com base nas apreciações realizadas, estabelece-se um conceito numérico, dimensionando a qualidade dos programas avaliados.

Esta analogia dos programas considerados eficientes pela metodologia DEA com as notas obtidas pela Capes, relata uma inconsistência do processo avaliativo da Capes em relação aos programas de pós-graduação, uma vez que os programas que foram considerados eficientes pela DEA, necessitariam apresentar uma porcentagem adequada de Notas 5, 6 e 7.

Na análise dos programas de Engenharia de Produção, os programas considerados mais eficientes pela DEA foram: DMU9 - UFSM - Engenharia de Produção; DMU24 - UNIP - Engenharia de Produção; e, DMU20 - UFPE - Engenharia de Produção.

Por análise, verifica-se a necessidade de um reposicionamento do processo de avaliação da Capes, em termos das variáveis a serem consideradas, bem como dos critérios que estão sendo aplicados para tal.

Desta maneira, o modelo utilizado nessa pesquisa teve por objetivo contribuir com reflexões sobre os aspectos relacionados à eficiência dos programas de pós-graduação. Para uma análise mais acurada do desempenho desses programas, torna-se necessária a realização de análises qualitativas de forma a complementar os resultados encontrados.

## REFERÊNCIAS

ABBOTT, M.; DOUCOULIAGOS, C. **The efficiency of Australian universities: a Data Envelopment Analysis**, Economics of Education Review, v.22, p.89-97, 2003.

AGHA, S. R.; KUHAIL, I.; ABDELNABI, N.; SALEM, M.; GHANIM, A. **Assessment of academic departments efficiency using data envelopment analysis**, Journal of

Industrial Engineering and Management, v.04, n.02, p.301-325, 2011.

ALWADOOD, Z.; NOOR, N. M.; KAMARUDIN, M. F. **Performance Measure of Academic Departments Using Data Envelopment Analysis**, IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA, v.11, p.395-399, 2011.

ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E. G. **ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão)**: a software package for data envelopment analysis model. Pesquisa Operacional, v.25, n.3, p 493-503. 2005.

AOKI, S.; INOUE, K.; GEJIMA, R. **Data envelopment analysis for evaluating Japanese universities**, Artif Life Robotics, v.15, p.,165–170, 2010.

BARBOSA, S. G.; WILHELM, V. E. **Influência dos fatores sociais e econômicos no desempenho de escolas públicas**, Diálogos & Saberes, Mandaguari, v,05, n,01, p,93-109, 2009.

CARLUCCI, F. V. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil**, 2012, 102p, Dissertação (Mestrado em Ciências) - Pós Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

CASA NOVA, S. P. C. **Utilização de Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**, Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHAO, Z.; MINGZHE, W. **The Evaluation Research on Higher Education Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA)**, China Institute of Industrial Relations Beijing, 2009.

FARIA, F. P.; JANNUZZI, P. M.; SILVA, S. J. **Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro**, Revista de Administração Pública, v,42, n,1, p,155-177, jan./fev, 2008.

FARIAS, P. L. D. **Comparações entre EJA e Ensino Regular**, 2012, 40f, Trabalho de Graduação (Graduação) - Curso de Especialização em Educação de Jovens e Adultos e Privados de Liberdade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2012.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria**,

**modelos e aplicações**, Viçosa: Editora UFV, 2009, 389p.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B.; MEZA, L. A.; LINS, M. P. E. **Análise Envoltória de Dados na Avaliação da Produtividade Científica de Programas de Pós-Graduação em Engenharia**, ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXII ENEGEP), 22, 2002, Curitiba, PR, Anais... 2002.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. The McGraw-Hill Companies: São Paulo, 2011.

HOLLAND; M.; XAVIER, C. L. **Dinâmica e competitividade setorial das exportações brasileiras: uma análise de painel para o período recente**. Economia e Sociedade, Campinas, v.14, n.01, p.85-108, jan./jun, 2005.

JOHNES, J. **Data Envelopment Analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education**, Economics of Education Review, v.25, p.273-288, 2005.

JOHNES, J. **Measuring teaching efficiency in higher education: An application of data envelopment analysis to economics graduates from UK Universities 1993**, European Journal of Operational Research, v.174, n.01, p.443-456, 2006.

JOHNES, J.; YU, L. **Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using Data Envelopment Analysis**, China Economic Review, v,19, p,679-696, 2008.

KANESIRO, J. C. **Desempenho Econômico-Financeiro e Análise Envoltória de Dados (DEA): um estudo em meios de hospedagem no Brasil, 2008, 155p**, Dissertação (Mestrado em Turismo e Hotelaria) - Centro de Educação Superior II, Universidade do Vale do Itajaí, Balneário Camboriú, 2008.

KUAH, C. T.; WONG, K. Y. **Efficiency assessment of universities through Data Envelopment Analysis**, Procedia Computer Science, v,3, p,499-506, 2011.

LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no ambiente de Apoio à Decisão**, Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ, 2000.

MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B.; COELHO, P. H. G. **Avaliação do Ensino nos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia: Um Enfoque Quantitativo de Avaliação em Conjunto**, Engevista, v.5, n.9, p.41-49, dez/2003.

PEREIRA, D. S. **Eficiência da produção técnica dos Cursos de Pós-graduação da UFC através de Análise Envoltória de Dados**. 2011, 55p. Dissertação (Economia) - Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PEREIRA, M. F. **Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando Análise de Envolvimento de Dados: Revisão da Teoria e Aplicações.** 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

PIACENTE, F. J.; DIAS, W. A. **Sistema Nacional de Inovação: marco institucional e regulatório brasileiro.** Sistemas produtivos: da inovação à sustentabilidade, VIII Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, São Paulo, 2013.  
PRANESH, R.V.; RAJAN, J.; NAVAS, K. B. **Evaluating the performance of state university, national important institute and private deemed universities in Chennai (India) by using data envelopment analysis.** Engineering and Computer Science, v.1, p.580-583, 2013.

RAMÍREZ, P. E.; ALFARO, J. L. **Evaluación de la Eficiencia de las Universidades pertenecientes al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas: Resultados de un Análisis Envolvente de Datos.** Formación Universitaria, v,06, n,03, p, 31-38, 2013.

RAYENI, M. M.; SALJOOGHI, F. H. **Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities.** Journal of Computer Science, v,06, n,11, p,1252-1257, 2010.

TAYLOR, B.; HARRIS, G. **Relative efficiency among South African universities: A data envelopment analysis.** Higher Education, v,47, p,73–89, 2004.

TORRES, N.; HADDAD, E.; ONO, R. **Análise de Regressão.** Departamento de Tecnologia da Universidade de São Paulo, 2009.

VASCONCELOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. **Identificando as melhores práticas operacionais através da associação Benchmarking - DEA: o caso das refinarias de petróleo.** Pesquisa Operacional, v,26, n,1, p,51-67, jan./abr, 2006.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à Econometria: Uma abordagem moderna.** Cengage Learning: São Paulo, 2006.

**ABSTRACT:** The efficiency of the graduate programs Brazil is directly linked to the country's capacity for innovation, which entails the need to diagnose the causes of low academic and scientific performance and the development of techniques and methods for evaluating and measuring the performance educational units. In this sense, this project has the objective to analyze the efficiency of post-graduate programs in brazilian production engineering with the Data Envelopment Analysis (DEA) techniques and regression analysis for the year 2014. Through the application

of DEA was identified which are the most efficient programs (benchmarking), and through multiple regression was diagnosed the degree of influence of the inputs considered outputs. The results of this project can contribute to a better understanding of the dynamics and determinants of national academic production, in order to generate knowledge about the graduate programs, particularly courses that did not meet the technical production efficiency standards required by the coordination higher education personnel (Capes), since the data used in this study were evaluation data from Capes.

**KEYWORDS:** Data Envelopment Analysis; Regression Analysis; Efficiency; Higher Education; National Innovation System.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISE DE VIABILIDADE DE MODELOS SARIMA PARA PREVISÃO DE VAZÕES DO RIO PARAÍBA DO SUL**

---

**Caroline de Oliveira Costa Souza Rosa  
Eliane da Silva Christo  
Kelly Alonso Costa**

# ANÁLISE DE VIABILIDADE DE MODELOS SARIMA PARA PREVISÃO DE VAZÕES DO RIO PARAÍBA DO SUL

**Caroline de Oliveira Costa Souza Rosa**

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

**Eliane da Silva Christo**

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

**Kelly Alonso Costa**

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

**RESUMO:** Os múltiplos usos das águas fluviais, desde abastecimento urbano e irrigação, à geração hidrelétrica e navegação, tornam-nas um recurso preciso e que deve ser monitorado, já que seus níveis dependem de fatores climáticos e variam de forma sazonal. Este estudo tem por objetivo analisar a eficiência dos modelos ARIMA para descrever as vazões do Rio Paraíba do Sul em um município do sul-fluminense, partindo de uma série histórica de 1960 a 2013 e efetuando previsões curto e longo prazo para 2014. As previsões a longo prazo apresentaram um erro relativo de 13,4%, já nas previsões a curto prazo o erro foi reduzido para menos da metade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Previsão de Vazão; SARIMA; Sistema Hidráulico

## 1. INTRODUÇÃO

A legislação vigente brasileira estabelece que a água é um recurso natural limitado, com valor econômico e que seus múltiplos usos devem ser garantidos pela gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Dentre essas diversas aplicações, pode-se citar a geração hidráulica de energia elétrica, da qual o país é fortemente dependente, a irrigação no setor agrícola, abastecimento da população e navegação (COLLISCHONN; TUCCI; CLARKE, 2005).

Em todas essas áreas, a previsibilidade dos níveis e vazões dos rios é imprescindível para o correto planejamento de sua utilização, mas, além disso, o Brasil é um dos países que mais sofrem com inundações, levando a custos que chegam até 3% do produto interno bruto, além dos danos à população (FAVA, et al., 2013).

A bacia hidrográfica do Paraíba do Sul, localizada na região sudeste, possui grande importância para a geração de hidroeletricidade e para o abastecimento da população de 28 cidades, inclusive com desvios que atendem a região metropolitana do Rio de Janeiro (ANA, 2016). No entanto, alagamentos do rio são recorrentes nos meses de verão, causando inúmeros danos às populações ribeirinhas, enquanto meses de seca podem levar a dificuldades no correto abastecimento de eletricidade.

No âmbito de previsão estocástica de diversos fenômenos climáticos, têm-se

as chamadas séries temporais, que são observações, discretas ou contínuas, ordenadas no tempo e que podem ser analisadas no domínio temporal, utilizando um número finito de elementos, ou no domínio de frequências, através de modelos não paramétricos (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Os modelos de previsão de séries temporais são utilizados de acordo com as características dos dados, e podem ser aplicados em qualquer área (BARBOSA; CHRISTO; COSTA, 2015). Eles vão desde dos modelos mais simples de Média Móveis, os Amortecimentos Exponenciais aos mais sofisticados que são os modelos de Box & Jenkins (CHRISTO; FERREIRA, 2013).

Dentre as modelagens no domínio temporal, destacam-se os modelos ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average – Autoregressivo Integrado de Média Móvel), que descrevem bem séries com comportamentos variados, com componentes sazonais e cíclicos e, para isso, necessitam de um número pequeno de parâmetros (BOX; JENKINS; REINSEL, 2013).

A utilização de tais modelos para previsão de vazões fluviais no Brasil se mostrou satisfatória para a represa de Furnas, no estado de Minas Gerais (SÁFADI, 2004) e para a bacia hidrográfica do rio Potiribú, no estado do Rio Grande do Sul (BAYER; CASTRO; BAYER, 2011).

Neste contexto, o presente trabalho visa analisar a eficiência de modelos ARIMA para modelarem vazões do rio Paraíba do Sul, no trecho sul do estado do Rio de Janeiro, e assim apresentar uma opção de previsão da disponibilidade dos recursos hídricos na região, para abastecimento e geração de energia, e de eventuais aumentos expressivos de vazão, servindo de alerta à defesa civil.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 O SISTEMA HIDRÁULICO DO RIO PARAÍBA DO SUL**

A bacia do rio Paraíba do Sul, com uma área de aproximadamente 62.074 km<sup>2</sup> engloba três estados da região sudeste do Brasil e coopera com o abastecimento de 28 cidades (ANA, 2016). O esquema de usinas hidrelétricas e reservatórios da bacia no trecho norte fluminense e divisa com o estado de São Paulo é mostrado pela Figura 1.

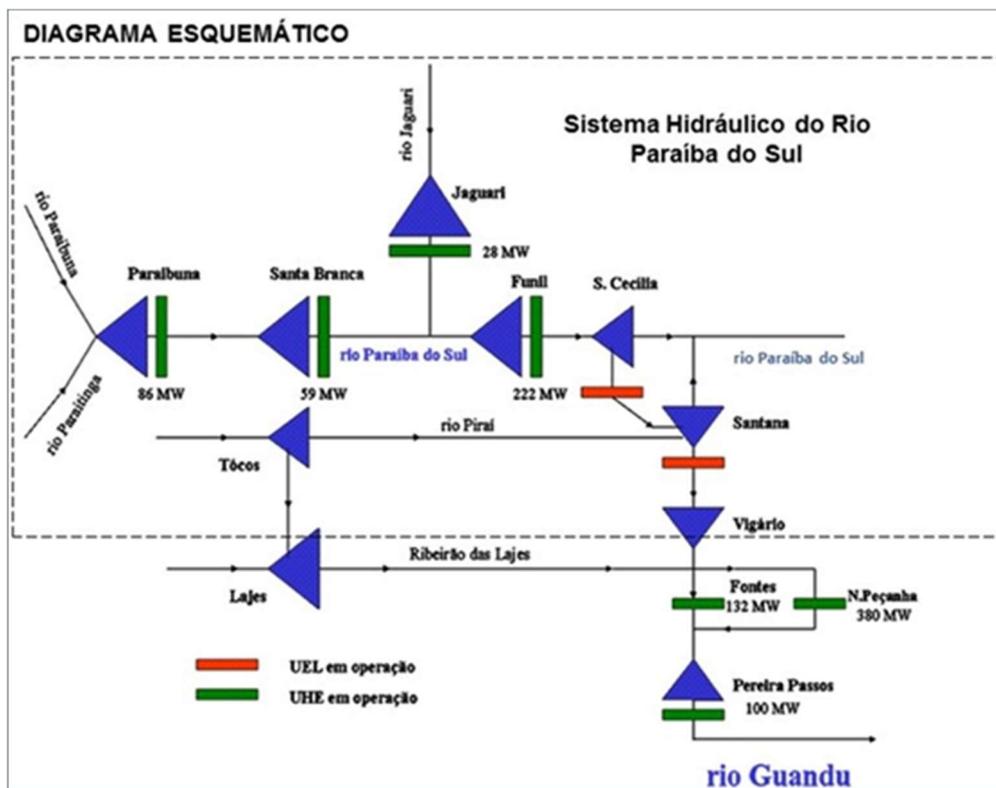


Figura 1 - Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul. Fonte: ANA (2006)

O operador nacional do sistema elétrico (ONS) disponibiliza séries históricas de vazões de vários trechos do sistema em questão. Dentre estes, tem-se o reservatório de Santa Cecília, localizado no município de Barra do Piraí. As águas que deixam a represa banham parte da região urbana da cidade, incluindo o seu centro, que é abastecida pelo rio, mas que também é afetada por suas cheias. O reservatório abastece uma usina elevatória, que bombeia parte das águas para o reservatório de Santana no município de Piraí.

Para este trecho, a série histórica vai de 01/01/1960 a 31/12/2014, em um total de 55 anos com dados diários. As medições são de “vazões naturais”, ou seja, as medições são tratadas de forma a retirar o efeito de aproveitamentos em trechos à montante e a reincorporar a evaporação ocorrida nos reservatórios e a água de uso consuntivo (ONS, 2015).

Para a análise dos dados, calculou-se a média mensal dos mesmos. O resultado é apresentado pela Figura 2.

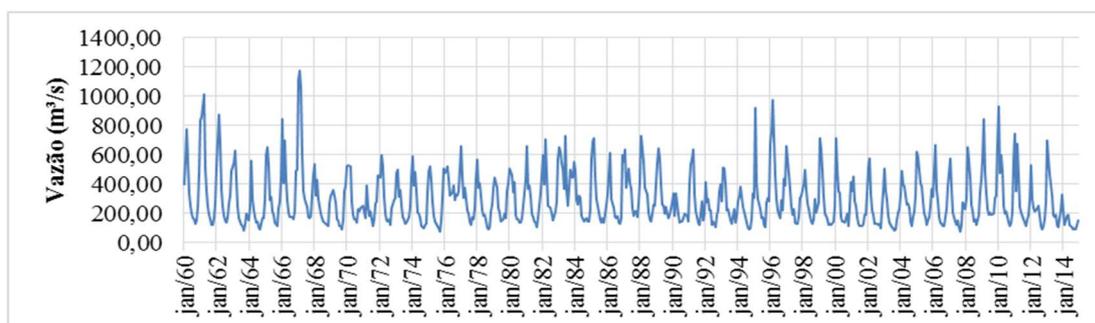


Figura 2 - Série histórica de vazões médias mensais para o reservatório de Santa Cecília

## 2.2 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS PELO MÉTODO ARIMA

A modelagem ARIMA se baseia em quatro passos básicos, sendo eles a especificação de possíveis modelos, a identificação do modelo ideal, a estimação dos parâmetros e a verificação da adequação do modelo – caso o modelo não seja aprovado, deve-se retornar ao primeiro passo e escolher outro modelo (MORETTIN; TOLLOI, 2006).

Primeiramente, antes de especificar os possíveis modelos, deve-se verificar a estacionariedade da série, ou seja, se sua média, variância e estrutura de correlação não mudam com o tempo, e também se existe sazonalidade, que apesar de violar o conceito de estacionariedade, com o diagnóstico correto, será incorporada ao modelo ARIMA (NTSH et al., 2001), tornando-o um modelo SARIMA, com o S indicando a presença de sazonalidade.

Tais identificações podem ser feitas através dos gráficos das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP). A primeira avalia quanto um valor tomado em um tempo  $t$  depende de outro em um tempo  $t-k$ , enquanto a segunda é uma extensão da autocorrelação e mede a correlação entre dois valores eliminando-se a dependência dos termos entre eles.

Caso a série não seja estacionária, devem-se transformar os dados originais. Por exemplo, de acordo com, Morettin e Tolo (2006), uma transformação logarítmica é geralmente adequada para estabilizar a variância. A transformação mais comum, no entanto, é realizar a diferenciação da série, tomando diferenças sucessivas dos valores originais.

Após a certificação de que a série é estacionária, deve-se escolher o modelo a ser testado utilizando como auxílio a construção dos gráficos FAC e FACP, cujos comportamentos podem sugerir qual modelo melhor se ajusta aos dados. A estimação dos parâmetros do modelo escolhido é geralmente feita através de softwares. Este trabalho utiliza o Minitab®.

Em seguida, a adequação do modelo é averiguada através da análise dos resíduos que devem ser aleatórios, com média e variância constantes e seguir distribuição normal (NTSH et al., 2001). Os resíduos também devem ser independentes, o que pode ser testado pelo teste Ljung-Box (também chamado Box-Pierce modificado) que “permite detectar quebras específicas no comportamento aleatório” (AMARAL, 2011). Com o modelo aprovado, podem-se realizar previsões de valores já conhecidos a fim de calcular os erros quadrado médio e relativo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise visual da Figura 2, percebe-se que a série estudada não apresenta tendência significativa, porém a variância precisa ser estabilizada. O recurso inicial utilizado foi calcular o logaritmo da série, obtendo o resultado apresentado pela Figura 3.

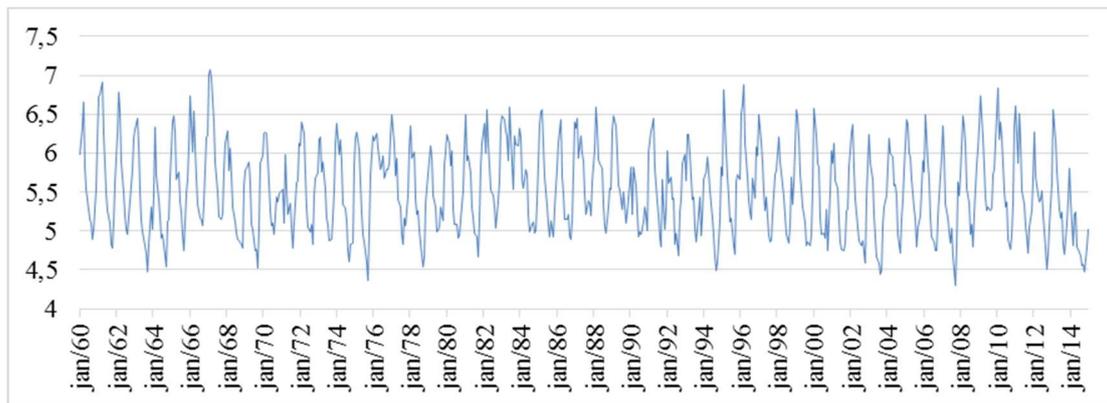


Figura 3 - Série transformada através da logaritmização por logaritmo natural

A fim de verificar a necessidade de diferenciação dos dados e a existência de sazonalidade, procedeu-se a análise dos gráficos das funções FAC e FACP mostradas pela Figura 4.

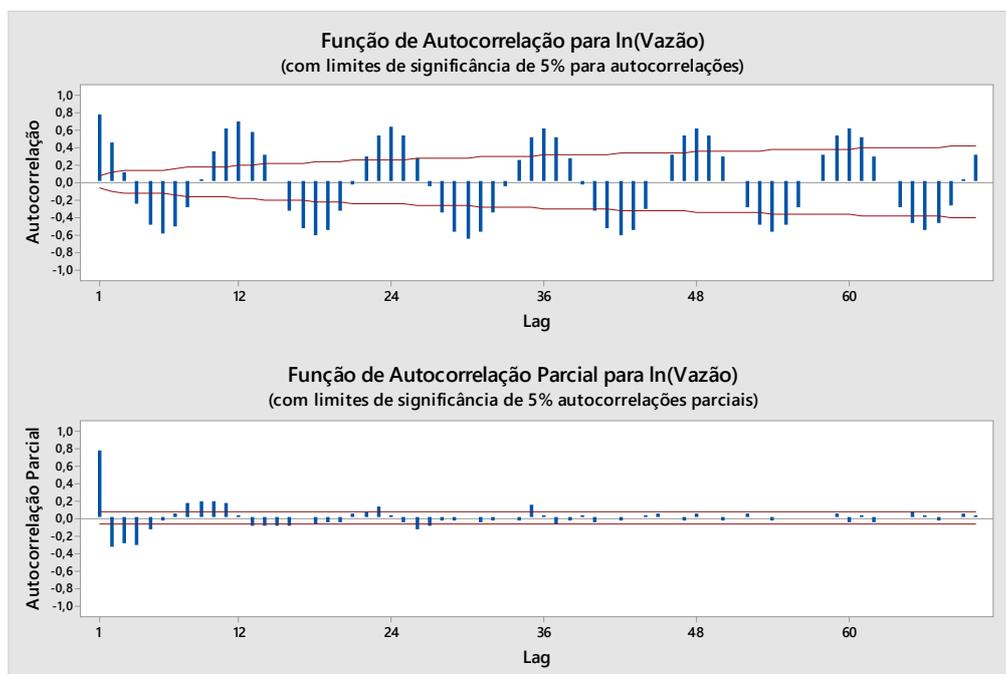


Figura 4 - Gráficos FAC e FACP da série logaritmizada

A função FAC evidencia a existência de sazonalidade de 12 meses. Como muitos valores estão fora dos limites de significância, deve-se diferenciar a série. Diferenciando-se uma vez na sazonalidade (lag 12), obtêm-se os gráficos abaixo (Figura 5), mais satisfatórios que os anteriores.

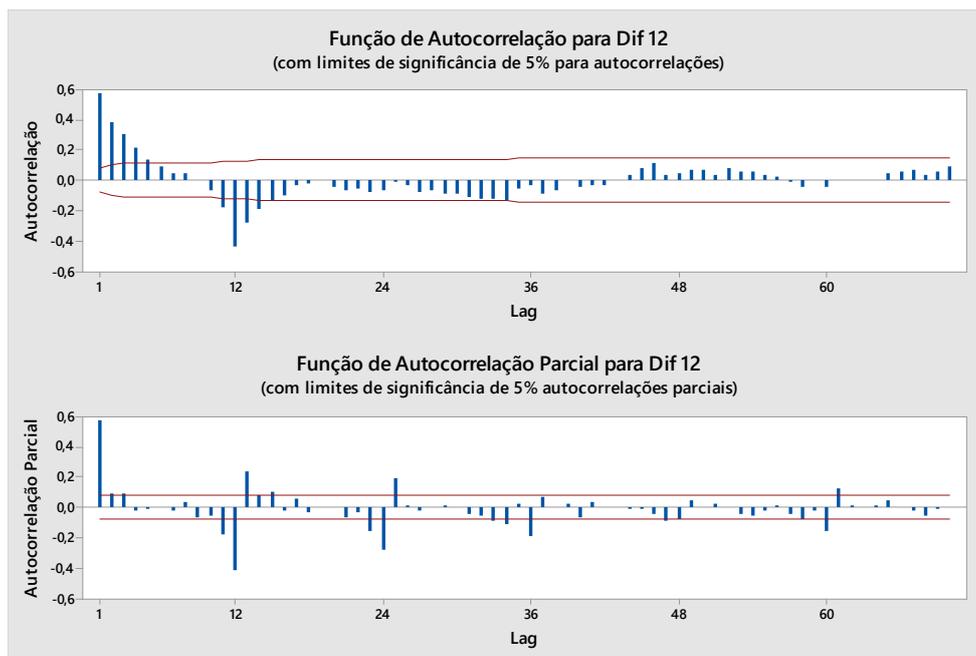


Figura 5 - Gráficos FAC e FACP da série logaritmizada e diferenciada no lag 12

A função FAC apresenta um comportamento misto exponencial-senoidal enquanto a função FACP apresenta picos, tanto nos primeiros lags quanto aos associados à sazonalidade. Dessa forma, espera-se obter um modelo SARIMA com comportamento autoregressivo. No entanto, já que a análise dos gráficos de autocorrelação e autocorrelação parcial é subjetiva, testaram-se vários modelos a fim de avaliar a significância dos parâmetros, o comportamento dos resíduos e escolher a opção com o menor erro de previsão para o ano de 2014 (para a modelagem da série, utilizaram-se as vazões até 31/12/2013). Muitas tentativas foram descartadas por terem resíduos não aleatórios, de acordo com o teste qui-quadrado de Ljung-Box. As opções pré-aprovadas e seus erros quadrados médios de previsão são mostrados pela Tabela 1.

Tabela 1 - Erros Quadrados Médios dos Três Modelos Selecionados

Modelo Analisado	Erro Quadrado Médio
$(1,0,1) \times (0,1,1)_{12}$	0,5098
$(2,0,0) \times (0,1,1)_{12}$	<b>0,5051</b>
$(3,0,0) \times (0,1,1)_{12}$	0,5112

Dessa forma, optou-se pelo modelo  $(2,0,0) \times (0,1,1)_{12}$ , com menor erro médio, para descrever a série. Para este, também foi feita a análise de um passo com atualização, na qual para cada novo dado real mensal, a previsão para o mês seguinte incorpora este valor à série e recalcula os parâmetros do modelo. O gráfico apresentado na Figura 6 mostra o bom ajuste do modelo à série e a Figura 7 e a Tabela 2 apresentam a comparação dos resultados da previsão feita originalmente (12 passos à frente) para todo o ano de 2014 e a previsão atualizada a cada mês.

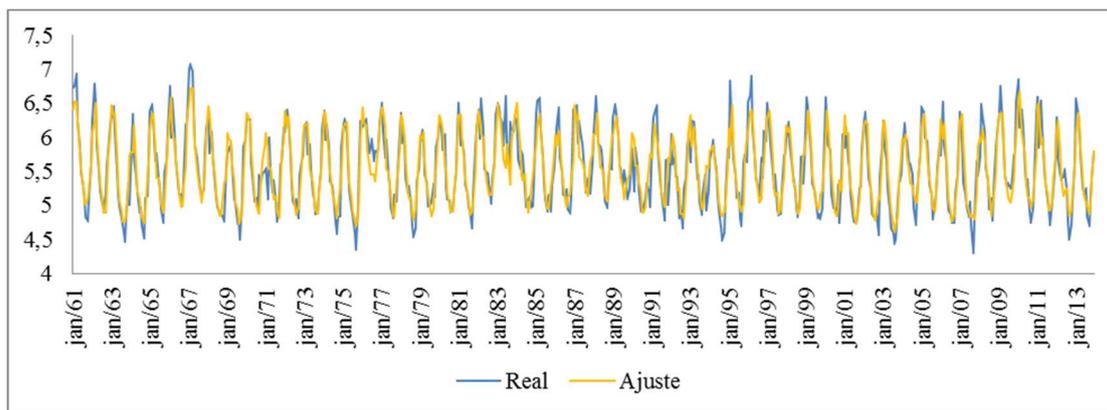


Figura 6 - Série Original (logaritmizada) e Série Gerada pelo Modelo SARIMA

Figura 7 - Comparação entre a Previsão de 12 Passos e 1 Passo com Atualização

Tabela 2 - Comparação dos Erros Médios das Duas Previsões

Previsão	Erro Quadrado Médio	Erro Relativo Médio
12 Passos	0,5051	13,4%
1 Passo com Atualização	0,1672	5,9%

O ano de 2014 foi anormal em relação à precipitação, especialmente no estado de São Paulo, onde está localizada a nascente do rio Paraíba do Sul, fato este que diminuiu de forma atípica o nível de rios e reservatórios e pode ter sido o principal causador da dificuldade do modelo em prever as vazões do ano inteiro de uma só vez. Essa dificuldade pôde em grande parte ser superada pelo modelo com valores atualizados, diminuindo o erro relativo médio das previsões em mais de 50%.

#### 4. CONCLUSÃO

A série de vazões do Rio Paraíba do Sul pôde ser modelada de forma satisfatória pelo modelo SARIMA escolhido, com ajustes próximos aos valores reais ao longo da série e resíduos aleatórios. O erro relativo da previsão de ano inteiro foi considerado alto (acima de 10%), porém este fato é em parte explicado por

condições meteorológicas pouco usuais que marcaram o ano de 2014 e, por outro lado, a previsão atualizada a cada mês conseguiu incorporar essa queda da vazão durante o ano e apresentou previsões com boa precisão.

Assim sendo, este trabalho apresenta fortes indícios de que a previsão por modelagem SARIMA pode se tornar grande aliada na previsão de cheias do Rio Paraíba do Sul no trecho norte fluminense, permitindo alertar as populações ribeirinhas, e dos níveis de reservatórios, já que a região depende fortemente da energia hidrelétrica gerada pelo sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul, além da água destinada ao abastecimento público.

Como sugestão a trabalhos futuros, sugere-se avaliar se variáveis como temperatura e precipitação de mês anterior (ou de cidades à montante) podem ser incorporadas à série, aprimorando ainda mais a qualidade de previsão.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, B. M. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. 2011. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Bacia do Rio Paraíba do Sul**. 2016. Disponível em:  
<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/outorgaefiscalizacao/RioParaibadoSul.aspx> >. Acesso em 4 jul. 2016.

BARBOSA, N. DE P., CHRISTO, E.D. S.; COSTA, K. A. **Demand Forecasting For Production Planning In A Food Company**. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, V. 10, n 16, P. 7137-7141, 2015.

BAYER, D. M.; CASTRO, N. M. R.; BAYER, F. M. **Modelagem e previsão de vazões médias mensas do Rio Potiribu utilizando modelos de séries temporais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, p. 229-239, 2012.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time Series Analysis**. Wiley Online Library. 2013.

CHRISTO, E. D. S.; FERREIRA, M. B. **Comparação Entre Modelos De Previsão De**

**Demanda Para O Setor Automobilístico.** XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal, 2013.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. **Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 2: Previsão Climática-Hidrológica.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 10 n.4, p.61-72. Out/dez 2005.

FAVA, M. C. et al. **Proposta metodológica para previsões de enchentes com uso de sistemas colaborativos.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-8, 2013.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais.** Blucher, 2006.

NTSH (National Institute Of Standards And Technology (US)) et al. **Engineering statistics handbook.** The Institute, 2001.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). **Atualização de séries históricas de vazões – período 1931 a 2014.** 38p. Rio de Janeiro, dez. 2015. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx)>. Acesso em 25 jun. 2015.

SÁFADI, T. **Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de furnas.** Ciência e Agrotecnologia, v. 28, n. 1, p. 142-148, 2004.

**ABSTRACT:** The multiple uses of river water from urban water supply and irrigation, hydropower and navigation generation, make them an accurate resource that should be monitored, since their levels depend on climatic factors and vary seasonally. This study aims to analyze the efficiency of ARIMA models to describe the Paraíba southern River flows in a city of South Fluminense, from a historical series from 1960 to 2013 and forecasts making short and long term to 2014. The predictions long-term had a relative error of 13.4%, since the short-term forecast error was reduced to less than half.

**KEYWORDS:** Flow Forecast; SARIMA; Hydraulic System

## **CAPÍTULO VI**

### **APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO DE POSTES**

---

**Fabiana dos Reis de Carvalho  
Kathleen Kelly de Paula Araujo Ferreira  
Saint Clair Lobato Portugal  
Eriton Carlos Martins Barreiros  
Hailton Barreto Morais**

# APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO DE POSTES

## **Fabiana dos Reis de Carvalho**

Universidade do estado do Pará, UEPA  
Belém – Pará

## **Kathleen Kelly de Paula Araujo Ferreira**

Universidade do estado do Pará, UEPA  
Belém – Pará

## **Saint Clair Lobato Portugal**

Universidade do estado do Pará, UEPA  
Belém – Pará

## **Eriton Carlos Martins Barreiros**

Universidade do estado do Pará, UEPA  
Belém – Pará

## **Hailton Barreto Moraes**

Universidade do estado do Pará, UEPA  
Belém – Pará

**RESUMO:** Hoje no mercado competitivo as empresas necessitam de um estudo matemático para um planejamento adequado dos processos de produção, por interferir na qualidade do produto e no tempo de fabricação, entre outras causas. Devido a isso, a forma como os recursos estão sendo utilizados atingem os custos de produção e o lucro da empresa. Este artigo foi voltado a demonstração do modelo matemático de programação linear da pesquisa operacional, para elaborar um modelo de planejamento agregado objetivando à alocação otimizada dos recursos e dos custos de uma fábrica de postes de iluminação. O modelo foi construído a partir de dados de custos, quantidade de funcionários, de produção, de estoque e demanda repassados pela empresa em estudo e resolvido com o auxílio da ferramenta solver do software excel. As observações realizadas foram sobre quantos empregados contratar ou demitir, quanto produzir, quanto de estoque, quantas horas extras deveriam ser utilizadas em cada período para que o custo fosse o mínimo possível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programação linear; Planejamento agregado; Minimização de custos.

## **1. Introdução**

Com as crescentes e constantes mudanças no setor de pré-moldados e com as inovações tecnológicas faz-se necessário uma eficiente minimização dos custos tanto na matéria prima quanto na disponibilidade da mão-de-obra necessária, sendo as formulações matemáticas ferramentas de suma importância.

Segundo Gebauer (2004), o sucesso de um empreendimento depende do

máximo da racionalidade aplicada no desenvolvimento dos projetos e das atividades produtivas, realizadas com o menor trabalho e tendo como meta os menores custos, com a mais elevada taxa de produtividade e o máximo de segurança no ambiente de trabalho.

Podemos entender a tomada de decisão como um processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo. Um problema ocorre quando o estado atual de uma situação é diferente do estado desejado. Uma oportunidade ocorre quando as circunstâncias oferecem a chance de o indivíduo e/ou organização ultrapassar seus objetivos ou metas (LACHTERMACHER, 2004).

Além da tomada de decisão utilizou-se também o planejamento agregado, o qual segundo (Leonardo Lustosa, 2004) o planejamento agregado é típico do nível tático. Nele se busca dimensionar outros recursos, como a mão-de-obra pouco especializada, contrato de fornecimentos e materiais básicos.

Assim, este estudo busca propor por meio da pesquisa operacional e do planejamento agregado a otimização da alocação do quadro de funcionários em uma fábrica de postes, situada no município de Marituba-PA, que possui um grande mix de produtos, sendo considerada empresa de médio porte. Neste trabalho é desenvolvido um modelo linear de planejamento agregado para um período de seis meses com o objetivo de minimizar os custos. Faz-se ainda a análise econômica comparativa entre os resultados alcançados com os resultados reais da empresa no mesmo período.

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1 Pesquisa operacional (PO)**

O segmento da ciência administrativa que fornece instrumentos para tomada de decisão denomina-se Pesquisa Operacional, a qual foi utilizada pela primeira vez na Segunda Guerra Mundial, quando equipes de pesquisadores buscavam o desenvolvimento de métodos que sanassem os problemas das operações militares. Com o bom desempenho desses métodos, os âmbitos acadêmico e empresarial passaram a utilizar tais técnicas criadas para solucionar problemas de administração (ANDRADE, 2009).

Andrade (2009) coloca que a tomada de decisão é um processo sequencial e complexo, uma vez que resulta de uma compilação de várias decisões a cerca dos aspectos de dado problema e consiste em uma inter-relação entre pessoas, responsabilidades pelo serviço, sistemas de informações, códigos de ética e moral, e comunicação, com valores subjetivos e desenvolvidos em um ambiente institucional com regras parcialmente definidas.

Conforme Ragsdale (2009) os modelos normalmente sugerem as informações necessárias para determinadas situações e são úteis para examinar coisas que dificilmente seriam realizadas. Embora um modelo, na maioria das vezes,

seja uma representação simplificada da realidade, ele é útil desde que represente de maneira precisa as características relevantes do objeto ou problema de decisão que está sendo estudado.

## **2.2 Programação linear**

A programação linear trata de problemas relacionados à alocação ótima de recursos escassos no que diz respeito à realização de atividades, de forma que não exista solução melhor que a oferecida, sendo possível a existência de outras tão boas quanto. Os recursos escassos são a representação da realidade de recursos finitos, mesmo que haja abundância. As atividades são relacionadas com o interesse na fabricação de produtos, na mistura de substâncias, no atendimento ao público, no transporte e armazenagem de mercadorias, entre outras situações (COLIN, 2011).

Ainda segundo Colin (2011), o modelo de uma programação linear é uma representação simples do comportamento da realidade expressada matematicamente, em forma de equações, que servem para simular determinada realidade.

### **2.2.1 Variáveis do problema**

Em qualquer situação que exija uma decisão, a principal etapa para entender a natureza do problema é a identificação de todos os fatores envolvidos, que fornecem elementos para análise e conclusão. No processo de construção de um modelo, esses fatores são chamados de variáveis do problema, já que podem assumir diferentes valores durante o desenvolvimento da solução (ANDRADE, 2009).

As variáveis de um modelo podem ser divididas em três categorias:

- Variáveis de decisão: São aquelas que foram definidas pelo elaborador do modelo como fornecedoras das informações que servirão de base para a tomada de decisão;
- Variáveis controláveis ou endógenas: São as variáveis criadas pelo próprio modelo, durante o processo de solução, sendo dependente dos dados fornecidos inicialmente, das possibilidades estabelecidas e da própria estrutura do modelo. A variável de decisão é uma variável controlável especial por indicar decisão;
- Variáveis não controláveis ou exógenas: São informações externas fornecidas ao modelo e que representam as hipóteses assumidas ou condições que devem ser respeitadas.

### **2.2.2 Restrições**

São regras que dizem o que podemos (ou não) fazer e/ou quais são as

limitações dos recursos ou das atividades que estão associados ao modelo. Em grande número de modelos de otimização, as variáveis são sujeitas a algumas restrições, que devem ser escritas de forma matemática. Da mesma forma, o relacionamento entre variáveis deve ser formulado matematicamente (COLIN, 2011).

### **2.2.3 Função objetivo**

A função objetivo reflete o critério de otimização das variáveis de decisão e deve ser escrita na forma matemática (ANDRADE, 2009).

É uma função matemática que representa o principal objetivo do tomador de decisão. A função objetivo pode ser classificada de duas maneiras: Minimização (de custos, erros, chance de perda, desvio do objetivo etc.) ou de maximização (de lucro, receita, utilidade, bem estar, riqueza, chance de sobrevivência etc.) (COLIN, 2011).

### **2.3 Softwares utilizados para solução de programação linear**

Existe um conjunto de programas chamado de ferramentas de análise hipotética que tem como objetivo encontrar um valor otimizado (ideal) para uma dada equação, como o Solver, o LINDO, Prolin e Multisimplex. Dentre essas ferramentas, para o problema de programação linear abordado neste trabalho, o Solver se mostrou o mais apropriado (JESUS e FAVONI, 2008).

Segundo Hillier (2010), o software Excel oferece uma maneira conveniente para formular e resolver problemas de fluxo de mínimo custo, bem como alguns problemas ligeiramente maiores. Assim, juntamente com a Pesquisa Operacional, que busca frequentemente encontrar uma melhor solução (conhecida como solução ótima) para o problema considerado.

O Solver é uma ferramenta de otimização linear, não-linear e inteira do Excel. O algoritmo Simplex é utilizado pelo Solver com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite. Segundo Winston (2004), o modelo de otimização no Excel pode ser montado em três partes. A primeira é a célula de destino, que possui a fórmula da função objetivo, a segunda é composta pelas células variáveis, e as restrições, assim é possível transformar os dados do modelo matemático convencional em uma planilha do Excel de forma mais rápida, e em seguida manipulá-los através do Solver.

## **3. Metodologia da pesquisa**

De acordo com o proposto por Silva e Menezes (2005) esta pesquisa é classificada como aplicada, quantitativa, exploratória e estudo de caso. Entende-se como aplicada, pois, tem o objetivo de produzir conhecimento e aplicar os resultados,

obtidos por meio de verificação das ferramentas da pesquisa operacional. É quantitativa, pois todas as informações obtidas foram traduzidas em números relacionados a modelagem, além da elaboração de dados estatísticos que auxiliaram em uma melhor visualização dos problemas e conseqüentemente uma eficaz tomada de decisão. Exploratória, pois envolveu levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado. E finalmente, estudo de caso, pois visa analisar as formas que a empresa busca atualmente para setor em estudo, além de propor melhorias a partir de ferramentas da pesquisa operacional (SILVA e MENEZES, 2005).

### 3.1 Caracterização da empresa

A empresa a qual foi realizado o estudo, foi fundada em 1996, com os anos vem solidificando sua posição no setor de pré-moldados de concreto e prestação de serviços de Engenharia. A empresa é constituída atualmente por 8 gerencias com 588 colaboradores distribuídos na matriz em Marituba-PA e filiais em Pacatuba-CE, nova Ipixuna-PA, Tucuruí-PA, Marabá-PA e Bacabal -MA. Seu parque fabril produz um mix de produtos, como postes para redes elétricas, estruturas completas para subestações e linhas de transmissão, tubos para águas pluviais, peças empregadas nas construções de engenharia em geral e projetos específicos, galpões em concreto armado para uso geral e muito mais.

### 3.2 Coleta de dados

O primeiro passo para iniciar uma modelagem, é efetuar a coleta de dados fazendo-se um levantamento claro e objetivo para se obter a solução ótima. Para elaboração do presente estudo, efetuou-se uma visita técnica a empresa, uma coleta de dados nos setores da empresa tanto no setor produtivo quanto no setor de recursos Humanos. Os gerentes de produção e de recursos humanos forneceram os dados necessários, sendo eles: da capacidade produtiva, dos custos envolvidos com a mão de obra da produção de postes, além de informações da capacidade produtiva como: quantidade de funcionários, média salarial, custo de admissão, carga horário, custo de demitir, custo de manter o estoque. Abaixo os dados coletados e em seguida a construção do modelo utilizado. Os quais podem ser observados a seguir.

#### **Informação da capacidade produtiva:**

- |   |       |
|---|-------|
| • Limite máximo da capacidade mensal    | 1.806 |
| • Limite máximo de horas extras         | 20%   |
| • Limite máximo de horas subcontratadas | 0     |

#### **Informação de custos:**

- |  |              |
|--|--------------|
| • Gastos mensais com funcionários (com encargos) | R\$48.431,78 |
|--|--------------|

• Remuneração mensal do funcionário (com encargos)	R\$ 1.048,47
• Horas extras do funcionário	R\$ 4,01
• Horas subcontratadas	R\$ 0,0
• Custo de manter o estoque por unidade	R\$ 4,00
• Custo de contratar	R\$356,66
• Custo de demitir	R\$1322,66
<b>Informação de produção:</b>	
• Numero inicial de funcionário	91
• Produtividade individual mensal	8,79unid.mensal/h
• Carga mensal de operários em horas normais	220 H.M
• Estoque inicial	299 unid

### 3.3 Construção do modelo

Antes de entrar no mérito da resolução de problemas por programação linear, atenção especial deve ser dispensada a construção da modelagem. Devido a isso estudar o problema para saber quais serão as variáveis de decisão.

#### Variáveis de decisão:

- Emp1, Emp2, Emp3, Emp4, Emp5, Emp6 – Número de Empregados que atuam no processo de fabricação dos postes.
- Hx1, Hx2, Hx3, Hx4, Hx5, Hx6 – Quantidade de horas extras utilizadas em cada mês.
- Ad1, Ad2, Ad3, Ad4, Ad5, Ad6 – Número de empregados admitidos em cada mês.
- De1, De2, De3, De4, De5, De6 – Número de empregados demitidos em cada mês.
- Ef1, Ef2, Ef3, Ef4, Ef5, Ef6 – Estoque ao final de cada mês.

#### 3.3.1 Função Objetivo

A função objeto é voltada para a minimização dos custos no quadro de funcionários:

- Min Z = CT produção + CT manter estoque
- Min Z = ( 1.048,47\*(Emp1 + Emp2 + Emp3 + Emp4+ Emp5 + Emp6) + 4,01\*(Hx1 + Hx2 +Hx3 + Hx4 + Hx5 +Hx6) +356,66\*(Ad1 +Ad2 +Ad3 + Ad5 +Ad5 +Ad6) +1.322,66\*(Di1 + Di2 + Di3 + Di4 + Di5 + Di6) + 4\*(Ef1 + Ef2 + Ef3 + Ef4 + Ef5 + Ef6))

### 3.3.2 Restrições de não negatividade

- $Emp1; Emp2; Emp3; Emp4; Emp5; Emp6 \geq 0$
- $Hx1; Hx2; Hx3; Hx4; Hx5; Hx6 \geq 0$
- $Ad1; Ad2; Ad3; Ad4; Ad5; Ad6 \geq 0$
- $Di1; Di2; Di3; Di4; Di5; Di6 \geq 0$
- $Ef1; Ef2; Ef3; Ef4; Ef5; Ef6 \geq 0$
- $P1; P2; P3; P4; P5; P6 \geq 0$

### 3.3.3 Restrições de continuidade (ou de balanço) de estoque

- Estoque no final do mês 1       $EF0 + P1 - d1 = EF1$
- Estoque no final do mês 2       $EF1 + P2 - d2 = EF2$
- Estoque no final do mês 3       $EF2 + P3 - d3 = EF3$
- Estoque no final do mês 4       $EF3 + P4 - d4 = EF4$
- Estoque no final do mês 5       $EF4 + P5 - d5 = EF5$
- Estoque no final do mês 6       $EF5 + P6 - d6 = EF6$

### 3.3.4 Restrições de disponibilidade de mão de obra

- $hpu1 * P1 \leq Cdisp1$
- $hpu2 * P2 \leq Cdisp2$
- $hpu3 * P3 \leq Cdisp3$
- $hpu4 * P4 \leq Cdisp4$
- $hpu5 * P5 \leq Cdisp5$
- $hpu6 * P6 \leq Cdisp6$
- $Cdispt = crgt * Empt + Hxt$
- $Crgt = 220$       horas por funcionário por mês.
- $PROD\ ind = 8,79$       unidades por funcionários por mês.
- $Hput = 25,02844141$       horas por funcionário para fabricar um produto.

### 3.3.5 Restrições de capacidade dos equipamentos e instalações

- $P1; P2; P3; P4; P5; P6 \leq 1806$
- Capacidade máxima de produção por mês (unid/mês) = 1806
- $Pt \leq$  capacidade máxima de produção no mês t

### 3.3.6 Restrições de continuidade (ou de balanço) de empregados

- $Emp1 = 91 + Ad1 - Di1$
- $Emp2 = 174 + Ad2 - Di2$
- $Emp3 = 243 + Ad3 - Di3$
- $Emp4 = 324 + Ad4 - Di4$
- $Emp5 = 257 + Ad5 - Di5$
- $Emp6 = 347 + Ad6 - Di6$

### 3.3.7 Restrições de limite máximo de horas extras

- $Hxt \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx1 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx2 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx3 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx4 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx5 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$
- $Hx6 \leq 0,2 * (crgt * Empt)$

## 4. Resultados e discussões

Tal estudo desenvolveu dois cenários, o primeiro cenário enfatiza a real situação da empresa com todos os seus custos, já o segundo cenário demonstra como seria os custos da empresa com a aplicação do solver para minimização dos mesmos.

### Cenário 1:

No primeiro momento, verificou-se a real situação da empresa, a qual encontrou-se o referente valor de R7\$ 1.667.324,76, o qual se da aos custos de produção de 3648 portes nos últimos seis meses da empresa (de Abril a Setembro de 2014). O calculo de custos obtidos, foi feito baseado nos meses estudados, sendo que esse quadro de funcionários sofreu bastantes oscilações, ocasionadas por períodos considerados sazonais, devido a essa sazonalidade a empresa se ver obrigada a manter uma inconstância em sua mão de obra, principalmente a operacional. Além disso, a empresa não utiliza estoques e horas subcontratadas, pois adota em seu sistema de produção a produção baseada no modelo JUST IN TIME, o qual significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, não antes para que não formem estoques, e não depois para que seus clientes não tenham que esperar.

Por outro lado, também observou-se a sobra considerável da capacidade em hora (ch) de produção de postes em alguns meses como pode ser observado na tabela abaixo.

TABELA 1 – Ch necessária p/ produção e Ch disponível por mês.

Meses	Ch necessária p/ produção	Ch disponível
Mês 1	20022,75313	20020
Mês 2	12288,96473	38280
Mês 3	10987,48578	53460
Mês 4	19171,78612	71280
Mês 5	9560,864619	56540
Mês 6	19271,89989	76340

Fonte: Autores. (2016).

## Cenário 2

Com a modelagem do modelo matemático, para minimizar os custos na produção de postes obteve-se o seguinte valor de R\$ 1.062.774,85 para produzir 3648 postes de uma forma eficiente com o mínimo de custos necessários.

O cálculo do segundo custo foi exatamente igual ao do primeiro custo do cenário 1, gerando dessa forma uma diferença de R\$ 604.549,91 (cerca de 63,74% de diferença para o primeiro cenário). Além disso, com esse resultado otimizado verificou-se que a carga horária (Ch) de produção também foi otimizada o que conseqüentemente gera um aumento na lucratividade proporcionando dessa forma uma melhor visão e absorção dessas horas, respeitando claro as restrições. Utilizou-se o máximo da carga horária disponível diminuindo a ociosidade no quadro de funcionários, como podemos observar na tabela abaixo.

TABELA 2 – Ch necessária p/ produção e Ch disponível por mês - Ociosidade.

Meses	Ch necessária p/ produção	Ch disponível
mês 1	0	14040,95563
Mês 2	14040,95563	14040,95563
Mês 3	44075,08532	44075,08532
Mês 4	0	44075,08532
Mês 5	0	44075,08532
Mês 6	44075,08532	44075,08532

Fonte: Autores. (2016).

Outras vertentes observadas foram: De acordo com os dados da empresa, admitiram-se no mês de Maio 83 funcionários no mês de junho 64 funcionários e no mês de Agosto 91. E foram efetuadas 54 demissões no mês de julho. Dados que comprovam as flutuações existentes no decorrer do ano.

Com a otimização do modelo matemático, houve a necessidade de admitir apenas 136 funcionários no mês de junho e demitir apenas 20 funcionários no mês de Abril.

De acordo com a tabela 3 a seguir.

TABELA 3 – Relação de empregados por mês.

Emp. Inicial =91	Emp. Dispensado	Emp. Admitido	Emp. No mês t
Emp. mês 01	20	0	63
Emp. mês 02	0	0	63
Emp. mês 03	0	136	200
Emp. mês 04	0	0	200
Emp. mês 05	0	0	200
Emp. mês 06	0	0	200

Fonte: Autores. (2016).

Não há necessidade de se adicionar horas extras, tanto no primeiro cenário, quanto no segundo cenário. O que comprovam as reais políticas que a empresa adota.

## 5. Conclusão

As variações existentes no processo produtivo das instituições acabam gerando custos altíssimos, quando os mesmos não são bem administrados acabam influenciando diretamente na receita da empresa gerando muitas das vezes insatisfações e demissões, e uma das formas de se manter sob controle, custos, despesas sejam elas de qualquer natureza, é a otimização dos mesmos e a programação linear auxilia de forma clara e objetiva como os gestores devem agir diante de tais custos, além disso, auxilia na tomada de decisão. As empresas precisam administrar de forma coerente e segura seus custos, pois assim é a única forma de manter-se competitiva no mercado, o que possibilita concorrer com as demais em preço e qualidade seja de um produto ou até mesmo um serviço.

Com a aplicação da programação linear em específico o solver do Excel, o mesmo é uma ferramenta de suma importância para tomada de decisões, o qual ira orientar a gerencia para atender as demandas e as constantes oscilações do mercado, atendendo demandas futuras de acordo com as restrições cabíveis da empresa, como: tempo, funcionários, estoque, entre outras, por um menor custo possível.

Portanto, através dos resultados obtidos pelo modelo, tanto no cenário 1 quanto no cenário 2 pode-se comprovar a minimização de custos da produção de postes, gerando assim um custo mínimo de R\$1.062.774,85 com uma diferença de R\$ 604.549,91 nos meses de Abril a Setembro de 2014. Além disso indicou qual o melhor mês para se fazer contratações, e por outro lado também foi possível mensurar as demissões necessárias em determinado período, o que possibilita acima de tudo manter um determinado controle em tais custos de acordo com as necessidades da empresa.

O estudo foi extremamente importante, pois além de propor um modelo de

redução de custos adequado, conseguiu-se verificar que a pesquisa operacional pode ser usada na otimização de outros setores da empresa em estudo como na otimização da matéria prima, englobando toda uma cadeia produtiva da empresa.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. DE. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para a análise de decisão**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Pesquisa Operacional, técnicas de otimização aplicadas as sistemas agroindustriais**. 2ª Edição, São Paulo: Atlas, 2004.

COLIN, Emerson Carlos. **Pesquisa Operacional – 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. LTC. 2011.

HILLIER, FREDERICK S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8ª Edição, Porto Alegre. 2010.

JESUS, João Batista de; Favoni, Célio. **O uso da ferramenta Solver do Excel na resolução de problemas de programação linear**. 2008. Disponível em: <[http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po\\_2/material/apostilas/Arigo\\_Solver.pdf](http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po_2/material/apostilas/Arigo_Solver.pdf)>. Acesso em: fev. de 2015.

LUSTOSA, Leonardo. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro : Elsevier, 2008.

OLIVEIRA, Renata Melo e Silva. **Engenharia de produção: Tópicos e aplicações**. Belém: EDUEPA, 2010.

SILVA, Edna Lucia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

WINSTON, Wayne L. **Introdução à otimização com a ferramenta Solver do Ms-Excel**. 2006. Disponível em: <<http://office.microsoft.com/ptbr/assistance/ha011245951046.aspx>>. Acessado em: nov. de 2014.

**ABSTRACT:** Today in the market competitive the companies needs a mathematical study for a proper planning of production processes, it affects the quality of the product and in the time of manufacturing, among other causes. Because of this, the way resources are being used affect the production costs and the company's profit. This article was intend for demonstration of the linear programming mathematical model of operational research, to develop an aggregate planning model aiming to optimized allocation of resources and costs of a manufactures lighting poles. The

model was construct from cost data, number of employees in production, in the stock and demand transferred by the company under study and solved with the help of the solver tool of software excel. The observations made were about how many employees hire or fire, how much to produce, how much to stock, how many extra hours should be used in each period so that the cost is a minimum. Keywords: linear programming, aggregate planning, minimization of costs, manufactures of post-production.

**KEYWORDS:** Linear programming; Aggregate planning; Minimization of costs.

## **CAPÍTULO VII**

### **APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS EM UMA PANIFICADORA LOCALIZADA NA CIDADE DE BELÉM/PA**

---

**Yvelyne Bianca Iunes Santos  
Amanda Claudino Almeida  
Gabriel Silva Pina  
Lucas Erick Pereira Lima  
Robert Romano Monteiro**

# APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS EM UMA PANIFICADORA LOCALIZADA NA CIDADE DE BELÉM/PA

**Yvelyne Bianca Iunes Santos**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – PA

**Amanda Claudino Almeida**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – PA

**Gabriel Silva Pina**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – PA

**Lucas Erick Pereira Lima**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – PA

**Robert Romano Monteiro**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – PA

**RESUMO:** Os longos tempos de espera nas filas são hoje um dos principais motivos de insatisfação dos clientes, o que afeta na qualidade total do serviço prestado pelas empresas. Visando isso, o presente trabalho tem como objetivo aplicar os conceitos da teoria das filas para analisar o comportamento da fila de uma panificadora localizada na cidade de Belém, e posteriormente apresentar possíveis melhorias para a empresa nesse âmbito. Para o estudo do comportamento do sistema, foi contabilizado, no período de 1 (uma) hora, as taxas de chegada de cliente por minuto e os tempos de atendimento por cliente. Os resultados mostraram que a capacidade do sistema da empresa é adequada com a utilização de dois postos de atendimento, e que o cliente passa em média 1,05 minutos no sistema. O trabalho pôde também mostrar resultados para a projeção em dias de pico e para variação no número de postos de atendimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria das filas; Tempo de espera; Panificadora.

## 1. INTRODUÇÃO

No ano de 2015, as empresas do segmento de panificação brasileiras registraram um crescimento de 2,7%, com o faturamento chegando a R\$84,7 bilhões. Esse foi o menor patamar registrado nos últimos cinco anos, mesmo com a desaceleração nos números de faturamento do setor que vinha se registrando desde 2010. O número de empresas que compõem o setor se manteve estável em torno de 63,2 mil, já o tíquete, médio registrado teve uma média de crescimento de 7,6%. Contudo, não foi capaz de melhorar o desempenho das empresas, que registraram uma queda de 4,2% no fluxo de clientes (ABIP, 2016).

Um fator importante para aumentar o desempenho das empresas frente aos clientes é a eliminação dos tempos de espera, que segundo Bielen e Demoulin (2007), influenciam negativamente na percepção do serviço. Esta ideia é também compartilhada por Bitner et al. (1990) e Taylor (1994) que afirmam que longos tempos de espera são uma das principais causas de insatisfação apontadas pelos clientes e afetam o nível global de satisfação e futuras intenções de repetição do serviço.

As filas são algo constante na rotina das pessoas, seja em supermercados, lotéricas, padarias, bancos, dentre outros estabelecimentos onde existe uma grande movimentação de pessoas. Normalmente, as mesmas são longas e o tempo de espera se torna cansativo e desconfortável para os clientes. Nesse intuito, dentro da pesquisa operacional o estudo de teoria das filas é de suma importância, visando atender o cliente de forma satisfatória, obtendo melhor desempenho na espera do atendimento, melhorando o sistema e proporcionando satisfação.

Existem diversas características que condicionam a operação de um sistema, ou seja, podem interferir tanto que o desempenho do sistema passa a ser função deles, essas características podem ser classificadas em: forma dos atendimentos, forma das chegadas, disciplina da fila e estrutura do sistema (ANDRADE, 2009).

Este estudo baseou-se no trabalho realizado pela VIEIRA et al. (2015) e tem como intuito averiguar a produtividade e operacionalidade dos processos do comportamento das filas, além de determinar a quantidade de servidores suficientes para atender a demanda de clientes ou produtos, buscar a padronização do tempo dos atendimentos, de modo a evitar os gargalos e melhorar o desempenho do processo como um todo.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. TEORIA DAS FILAS**

A Teoria das Filas pode ser considerada uma ciência utilizada para resolução de problemas que estejam relacionados com o tempo de espera de usuários que demandam um determinado serviço. O tempo de espera é caracterizado pelo intervalo decorrido entre o momento em que a pessoa chega para ser atendida, a duração do atendimento e sua retirada do estabelecimento em questão (ROMERO et al, 2010).

Segundo Guedes e Araújo (2013) a teoria das filas é um ramo da probabilidade que estuda a formação de filas, através de análises matemáticas precisas e propriedades mensuráveis das filas. Ela se utiliza de modelos para confirmar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes e ser viável economicamente para o provedor do serviço, evitando desperdícios e gargalos.

Nesse mesmo sentido, Taha (2016) define a mesma como sendo a quantificação do fenômeno da espera em filas usando medidas representativas de

desempenho como o comprimento médio de uma fila, o tempo médio de espera em fila e a média de utilização da instalação.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DE UMA FILA

Segundo Krajewski (2009), a análise dos problemas de filas de espera começa com uma descrição dos elementos básicos da situação. Cada situação específica terá características diferentes, mas quatro elementos são comuns a todas as situações:

- I. Um input, ou população de clientes, que gera clientes potenciais.
- II. Uma fila de espera de clientes.
- III. A instalação de serviço, consistindo em uma pessoa (ou equipe), uma máquina (ou grupo de máquinas) ou ambos, necessários para executar o serviço para o cliente.
- IV. Uma regra de prioridade, que seleciona o próximo cliente a ser atendido pela instalação de serviço.



FIGURA 1 – Funcionamento de uma fila. Fonte: Krajewski (2009)

A figura 1 retrata um modelo básico de uma fila de espera. Os triângulos, círculos e quadrados mostram uma diversidade de clientes com necessidades diferentes. O sistema de serviço descreve o número de filas e a disposição das instalações. Após o serviço ter sido executado, os clientes atendidos deixam o sistema.

- Processo de chegadas ( $\lambda$ ): Os elementos da população que chegam para o sistema de filas de espera descrevem o processo de chegada. Em sua grande maioria, nos sistemas de filas, as chegadas são aleatórias e não ocorrem de forma ordenada. Deste modo para descrever o processo de chegada, é necessário defini-lo por meio de uma distribuição probabilística (AURELIO, 2004).

- Atendimento aos usuários ( $\mu$ ): o modelo de serviço é normalmente especificado pelo tempo de serviço, isto é, o tempo requerido pelo atendente para concluir o atendimento. Da mesma forma que o modelo de chegada, pode ser determinístico ou uma variável aleatória. Neste último caso, valem as mesmas considerações feitas à distribuição de probabilidades associada ao modelo de chegada dos usuários ao serviço (MORAES et al, 2011).

- Regra de prioridades: é uma disciplina da fila ou um conjunto de regras que

determinam a ordem de atendimento dos clientes que estão em uma fila. As regras selecionadas podem exercer efeito drástico no desempenho geral no sistema. O número do cliente na fila, o tempo médio de espera, a amplitude de cliente na fila, a amplitude da variabilidade no tempo de espera e a eficiência no local de serviços são alguns fatores influenciados pela escolha das regras de prioridades (JACOBS e CHASE, 2012). Segundo Taha (2016) o modo como os usuários são atendidos definem a disciplina da fila que pode ser:

- a) FIFO (First In, First Out): primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido;
- b) LIFO (Last In, First Out): último a chegar é o primeiro a ser atendido;
- c) Aleatório: isto é, os atendimentos são feitos na medida em que os clientes entram no sistema de filas sem qualquer preocupação com a ordem de chegada;
- d) Com prioridade: quer dizer, os atendimentos são feitos de acordo com prioridades estabelecidas.

### 2.2.1 TIPOS DE FILA

- e) Canal único, fase única: um único atendente e uma única fila.
- f) Canal único, fases múltiplas: um único atendente e várias filas.
- g) Canais múltiplos, fase única: vários atendentes e uma única fila.
- h) Canais múltiplos, fases múltiplas: vários canais e várias filas.
- i) Misto: este consiste em duas subcategorias, as estruturas múltiplas para canais únicos e as estruturas de caminhos alternativos.

Este estudo foi realizado para uma fila com canais múltiplos e fase única.

### 2.3 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Segundo Winston (2004) suponha que ao observar alguma característica de um sistema em pontos discretos no tempo marcados (0, 1, 2, ...) digamos que  $X_t$  é o valor da característica do sistema no tempo  $t$ . Na maioria das situações, não se conhece com certeza antes do tempo  $t$ , e pode ser visto como uma variável aleatória. Um processo estocástico de tempo discreto é simplesmente uma descrição da relação entre o aleatório das variáveis  $X_0, X_1, X_2$ .

### 2.4 DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

Para a realização dos cálculos da distribuição de Poisson, alguns cálculos são necessários, para isto são utilizadas algumas fórmulas expostas abaixo, no que se refere aos dados estatísticos. De acordo com Guimarães (2008), a distribuição de Poisson é uma distribuição de variável aleatória discreta, que determina a probabilidade de uma sucessão de eventos acontecerem em certo intervalo de

tempo. A distribuição é feita através da seguinte fórmula:

$$f_{(k;\lambda)} = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^k}{k!}$$

### **Equação 1 - Distribuição de Poisson**

Onde,

$\lambda$  = taxa de ocorrências em determinado intervalo de tempo

k = número de ocorrência ou eventos

e = 2,718

## **2.5 DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL**

A distribuição Exponencial é um tipo de distribuição contínua de probabilidade. Segundo Guimarães (2008), essa distribuição é muito importante na descrição de uma grande classe de fenômenos, em particular nos assuntos relacionados à teoria de confiabilidade.

A distribuição Exponencial é determinada por meio da Equação 2 a seguir, sendo x uma variável contínua ( $x \geq 0$ ).

$$F_1(x, \mu) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot x} \text{ ou } F_2(x, \mu) = 1 - e^{-\mu \cdot x}$$

Equação 2 - Distribuição Exponencial, sendo F1 não acumulada e F2 acumulada

## **2.6 VARIÁVEIS DE DECISÃO DENTRO DE UM SISTEMA DE FILAS**

Para Marins (2011), há várias Variáveis de Decisão importantes para a análise do desempenho do sistema:

- a) Tempo que um cliente permanece na fila (TF);
- b) Número de clientes na fila (NF);
- c) Tempo que um cliente permanece no sistema (TS);
- d) Número de clientes no sistema (NS);
- e) Ociosidade dos atendentes  $P(N < c)$ .

Como, em geral, estas variáveis são aleatórias, pois dependem do comportamento das chegadas e dos atendimentos, uma maneira de conseguir medir o desempenho de um sistema de filas é introduzir medidas de eficiência que sejam funções dos valores médios destas variáveis aleatórias.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA**

O sistema em questão trata-se de uma panificadora localizada em Belém do Pará. O local dispõe de quatro postos de atendimentos (denominados caixas), que tem como função realizar a cobrança das compras efetuadas por clientes, possuindo um sistema informatizado de atendimento. Sendo que na maior parte do horário comercial, a empresa funciona com apenas dois postos de atendimento, aumentando este número em horário de pico.

O pagamento das compras pode ser realizado em dinheiro, vale alimentação ou cartão de crédito/débito. Os clientes do estabelecimento aguardam em uma fila única e são direcionados a um caixa organizados para atendimento de acordo com a ordem de chegada, caracterizando uma fila de tipo FIFO (o primeiro a entrar é o primeiro a sair) de estágio único. O dia escolhido para a análise foi uma quarta-feira com movimento normal, no início do mês de maio, e a pesquisa foi feita das 17:00 às 18:00 horas.

#### **3.1 MODELAGEM DO SISTEMA**

Foi feita a análise e coleta de dados referentes às filas e ao atendimento de clientes para definição das técnicas de teorias de fila que serão abordadas. Para coleta de dados foram contabilizados o número de clientes que chegam na fila por minuto e o tempo de atendimento. Além disso, foram observadas as características da fila e o comportamento do sistema. Sendo o objetivo do trabalho apresentar as técnicas da teoria de Filas, apenas uma amostra foi coletada.

#### **3.2 CHEGADA DOS CLIENTES**

A coleta de dados dos tempos de chegada foi feita a partir da anotação de quantos clientes chegavam na fila em cada minuto, durante um total de 60 minutos. Assim, tipo de distribuição onde se enquadram as chegadas dos clientes foram feitos em intervalos de 1 minuto, percebe-se que o máximo de pessoas que chegam por minutos é 5, obtendo-se a frequência observada para cada minuto considerado no estudo. Com base nisso, pôde-se construir a Tabela 1 para encontrar as Frequências Relativas Observadas e Acumuladas do sistema.

TABELA 3 - Frequência de chegada por minuto no sistema

Nº de chegadas em 1 Minuto	Frequência Observada (O <sub>i</sub> )	Frequência Relativa Observada (%)	Frequência Observada Acumulada (%)
0	7	0,12	0,1
1	14	0,23	0,3
2	22	0,37	0,7
3	9	0,15	0,9
4	6	0,10	1,0
5	2	0,0	1,0
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>1,00</b>	

Fonte: Autores (2016)

Em primeira análise, pode-se perceber a não existência de sazonalidade, assim como uma tendência da curva da frequência relativa. A distribuição de Poisson possibilita a apuração da taxa média ( $\lambda$ ) de 1,983 clientes por minuto através da Equação 3:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=0}^{n=3} (\text{Frequência Observada}) * (\text{Número de chegadas por minuto})}{(\text{Total de minutos observados})}$$

Equação 3 – Taxa média de chegadas

Para verificar se os dados se comportam de acordo com distribuição de Poisson, calcularam-se as frequências absolutas e relativas de Poisson, os resultados encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4 - Teste da Distribuição de Poisson.

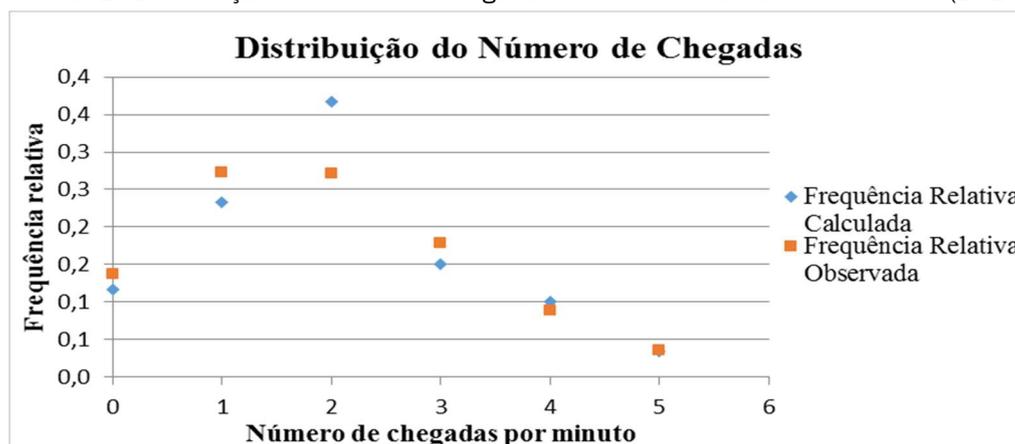
Nº de chegadas em 1 Minuto	Distribuição de Poisson (K)	Frequência Calculada Acumulada (%)	Frequência Calculada (E <sub>i</sub> )	(O <sub>i</sub> -E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /E <sub>i</sub>
0	0,14	0,14	8,25659	0,19124
1	0,27	0,41	16,37556	0,34462
2	0,27	0,68	16,23910	2,04371
3	0,18	0,86	10,73585	0,28066
4	0,09	0,95	5,32319	0,08605
5	0,04	0,98	2,11153	0,00589
<b>Total</b>	<b>0,98</b>		<b>59,04182</b>	<b>2,95217</b>

Fonte: Autores (2016)

### 3.3 TESTE DE ADERÊNCIA GRÁFICA

Prosegue-se para o teste de aderência gráfica e do chi-quadrado após o tratamento dos dados nas tabelas 1 e 2. Os testes são importantes por determinarem, após análise, se a frequência de chegada segue uma distribuição de Poisson. Após isso, com a fórmula de Poisson, utilizaram-se os dados da frequência relativa observada e frequência relativa calculada com parâmetro de taxa média de chegada igual a 1,983.

FIGURA 2 - Distribuição do número de chegadas: Aderência Gráfica. Fonte: Autores (2016)



Fonte: Os Autores (2016)

Com análise da figura, evidencia-se que a frequência observada possui um comportamento similar a frequência calculada de Poisson. Em seguida, fez-se o teste do chi-quadrado para admitir a utilização da distribuição de Poisson para o processo de chegada.

Percebe-se na tabela 2 que o resultado está abaixo do máximo permitido para a distribuição com grau de liberdade 4, a 5% de significância, que é de 9,488, sendo assim os dados de chegada se adequam a distribuição de Poisson.

### 3.4 ATENDIMENTO DE CLIENTES

Para coleta de dados fez-se cronometragens dos tempos que cada funcionário gastava para atender cada cliente. Destaca-se que o tempo pode variar de acordo com o serviço dos clientes.

Para desenvolvimento da Tabela, utilizando a amplitude máxima do tempo de atendimento, igual a 2 minutos e 2 segundos (00:02:02), fez-se o cálculo da amplitude dos intervalos. A partir dos valores obtidos, considerando intervalos de 0,10 segundos, distribuídos em treze classes, testou-se a distribuição da frequência de atendimento.

TABELA 5 - Frequência Observada (O<sub>i</sub>)

Tempo (segundos)	Frequência Observada (O <sub>i</sub> )		Tempo Médio
	Caixa 1	Caixa 2	
[0 - 10]	9	5	5
]10 - 20]	11	5	15
]20 - 30]	15	7	25
]30 - 40]	10	8	35
]40 - 50]	8	9	45
]50 - 60]	7	5	55
]60 - 70]	6	3	65
]70 - 80]	0	2	75
]80 - 90]	3	0	85
]90 - 100]	0	0	95
]100 - 110]	0	1	105
]110 - 120]	2	1	115
]120 - 130]	1	0	125
<b>Total</b>	72	46	<b>Média</b>
T. A. méd (seg)	37,222	39,130	<b>38,176</b>
T. A. méd (min)	0,620	0,652	<b>0,636</b>
μ méd (min)	1,612	1,533	<b>1,573</b>

Fonte: Autores (2016)

Assim com o uso da Tabela 3, puderam-se desenvolver outras tabelas, que utilizam das mesmas treze classes, necessárias para o cálculo do Chi-quadrado. Sendo estas: Frequência Relativa Observada; Frequência Calculada(E<sub>i</sub>); e a Frequência Relativa Calculada.

TABELA 4 - Frequência Calculada (E<sub>i</sub>).

Tempo (segundos)	Frequência Calculada (E <sub>i</sub> )	
	Caixa 1	Caixa 2
[0 - 10]	16,9628	10,3736
]10 - 20]	12,9665	8,0342
]20 - 30]	9,9116	6,2224
]30 - 40]	7,5765	4,8192
]40 - 50]	5,7915	3,7324
]50 - 60]	4,4271	2,8907
]60 - 70]	3,3841	2,2388
]70 - 80]	2,5868	1,7339
]80 - 90]	1,9774	1,3429
]90 - 100]	1,5115	1,0400
]100 - 110]	1,1554	0,8055
]110 - 120]	0,8832	0,6239
]120 - 130]	0,6751	0,4832
<b>Total</b>	69,8095	44,3407
<b>Média dos totais</b>	57,0751	

Fonte: Os autores (2016).

Após obtidos os valores de “O<sub>i</sub>” e “E<sub>i</sub>”, realizou-se o teste não paramétrico, construindo a Tabela 5, que revelou o valor a ser comparado com o Chi-quadrado

correspondente ao grau de liberdade (v). Sendo a variável, representada pelo tempo de atendimento em questão, temos que o grau  $v = 11$ . Este valor, aos 5% de significância, corresponde ao Chi-quadrado de 19,675.

TABELA 5 - Teste não paramétrico do Chi-Quadrado.

Tempo (segundos)	(O <sub>i</sub> - E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /E <sub>i</sub>	
	Caixa 1	Caixa 2
[0 - 10]	3,738	2,784
]10 - 20]	0,298	1,146
]20 - 30]	2,612	0,097
]30 - 40]	0,775	2,099
]40 - 50]	0,842	7,434
]50 - 60]	1,495	1,539
]60 - 70]	2,022	0,259
]70 - 80]	2,587	0,041
]80 - 90]	0,529	1,343
]90 - 100]	1,512	1,040
]100 - 110]	1,155	0,047
]110 - 120]	1,412	0,227
]120 - 130]	0,156	0,483
<b>Total</b>	<b>19,134</b>	<b>18,539</b>
<b>Chi-Quadrado</b>	<b>19,675</b>	<b>19,675</b>

Fonte: Autores (2016)

O teste do Chi-quadrado demonstra os totais possuindo menores índices que o limite inferido, a partir disso conclui-se que o modelo está dentro dos parâmetros de aceitação.

#### 4. ANÁLISE E RESULTADOS

O modelo foi ajustado pela notação de Kendall correspondente a M/M/C/∞/FIFO, com canais múltiplos e fila única. Os parâmetros a serem calculados para operacionalidade do sistema são:

- $r$  (taxa de ocupação do atendente) =  $\frac{\lambda}{\mu}$
- $\rho$  (taxa de ocupação) =  $\frac{\lambda}{c * \mu}$ , sendo  $c$  igual ao número de atendentes.
- NS (nº médio de clientes no sistema) =  $R + \frac{Po(c) \cdot \rho \cdot R^c}{c! \cdot (1 - \rho)^2}$
- TS (tempo médio de permanência do cliente no sistema) =  $TF + \frac{1}{\mu}$
- NF (nº médio de clientes na fila aguardando por atendimento) =  $\frac{Po \cdot (r^{c+1})}{(c-1)! \cdot (c-r^2)}$
- TF (tempo médio do cliente na fila) =  $\frac{NF}{\lambda}$
- Po (ociosidade total no sistema) =  $\left[ \left( \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} \right) + \frac{r^c}{c! \cdot (1 - \rho)} \right]^{-1}$

Para a situação do sistema ( $\lambda = 1,983$ ,  $\mu = 1,573$  e  $c = 2$ ), têm-se:

TABELA 6 - Resultados dos parâmetros de operacionalidade do sistema.

R	$\rho$	Po	Nf	NS	TF	TS
1,26065	0,63032	0,22675	0,83105	2,09170	0,41909	1,05482

Fonte: Autores (2016)

A partir da Tabela 6, pode-se inferir que há ocupação de 63% e que o tempo médio de espera na fila é em torno de 25 segundos ou 0,41 minutos, logo o sistema está com o limite de ocupação aceitável.

#### 4.1 PROJEÇÃO PARA DIAS DE PICO

Para dias de pico, analisou-se o sistema com uma variação no número de atendentes, com o objetivo de encontrar a melhor condição para esses tipos de dias. A taxa de atendimento no sistema manteve-se constante, apenas variando o valor da demanda.

Pôde-se construir a tabela a seguir, fixando o limite de ocupação em 80%.

TABELA 7 - Parâmetros de operacionalidade em dias de pico com dois e três atendentes.

$\mu$ Geral	1,573	Constante	$\mu$ Geral	1,573	Constante
$\lambda$	2,5168	151 clientes/h	$\lambda$	3,7752	227 clientes/h
	Ns	4,090272374		Ns	4,988764045
	Ts	1,625187688		Ts	1,321456888
<b>Para dois</b>	Nf	2,490272374	<b>Para três</b>	Nf	2,588764045
<b>atendentes</b>	Tf	0,98945978	<b>atendentes</b>	Tf	0,68572898
	$\rho$	0,8		$\rho$	0,8
	R	1,6		R	2,4
	Po	0,097276265		Po	0,056179775

Fonte: Autores (2016).

A análise dessa tabela indica que, em dias de pico, dois atendentes atendem os clientes de forma adequada até o valor de  $\lambda = 2,5168$ , que se refere a 151 clientes/h, com o tempo de espera médio na fila de 0,98 minutos. Aumentar o número de atendentes para 3 faz-se necessário para uma quantidade maior do que a mencionada, de forma a atendê-los confortavelmente com um tempo de espera médio na fila de 0,68 minutos. O treinamento dos caixas para que atendam os clientes mais rapidamente também pode ser uma proposta para prevenir problemas em dias de movimento de pessoas mais intenso.

## 5. VARIAÇÃO DE DEMANDA

Como a demanda de clientes sofre diversas variações durante o dia, é interessante analisar o número ideal de atendentes a partir da variação na taxa de ingresso, depois de fixa-la a no máximo 80% de ocupação.

TABELA 9 - Número de postos de atendimento a serem mantidos segundo  $\lambda$ 

Taxa de Ingresso		Postos de Atendimento
0	$< \lambda \leq 2,5168$	2
2,5168	$< \lambda \leq 5,0336$	3
5,0366	$< \lambda \leq 7,5504$	4

Fonte: Autores (2016).

A análise dessa tabela nos informa que, em momentos de baixa demanda de clientes, ou seja, com o  $\lambda \leq 2,5168$  os dois caixas atuais seriam suficientes para manter a taxa de ocupação do sistema. Com  $\lambda$  variando entre 2,5168 e 5,0336 se faz necessário acrescentar mais um atendente para a taxa de ocupação não ultrapassar o limite de 80% imposto pela análise. Com o valor de  $\lambda$  acima de 5,0366 o número de atendentes necessários seria de 4. O local estudado realoca algum funcionário de outra função para trabalhar como atendente quando a demanda de clientes aumenta durante o dia, podendo atrapalhar o andamento da sua tarefa real na empresa. Sugere-se observar a frequência com que a demanda aumenta a ponto de deslocar funcionários. Se a frequência for alta seria interessante contratar mais um funcionário.

## 6. CONCLUSÕES

Percebe-se que, por meio dos fatos mencionados, em locais de atendimento ao público, o estudo de como se comportam as filas torna-se essencial na busca pelo aperfeiçoamento do desempenho geral do sistema. Dessa forma, alguns métodos de controle desse sistema foram expostos e a sua função foi tentar aperfeiçoar o arranjo da fila da Panificadora estudada, com o objetivo de alcançar o bem-estar dos clientes e dos atendentes dos caixas durante o expediente.

A análise dos parâmetros calculados indicou que o modelo atual de 2 atendentes não gera congestionamento no sistema, pois a taxa de ocupação ( $\rho$ ) é aceitável e igual a 63%, e o tempo médio de espera na fila é de 0,41 minutos.

Foram ainda feitas projeções para variação de demanda que ocorre durante o dia, constatando-se que a empresa deve observar a frequência dessa variação, para evitar possíveis transtornos em outras áreas, pois os funcionários serão realocados de suas funções para trabalhar nos postos de atendimento. Sugere-se, em caso de alta frequência na variação de demanda, a contratação de mais um funcionário.

Ao final do estudo, percebe-se que com a aplicação de ferramentas matemáticas em uma situação do cotidiano empresarial, foi possível a realização de um diagnóstico sobre o modelo de fila adotado pela panificadora e destaca-se que o sistema utilizado atende a demanda de maneira eficiente e não causa grandes custos ou prejuízos à empresa. A proposta para dias que ocorra picos na quantidade de clientes é a empresa capacitar seus funcionários e treina-los para atender de forma mais rápida e assim, garantir a satisfação do cliente.

## REFERÊNCIAS

ABIP - Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria. **Sobre o setor 2015**. Disponível em: < <http://www.abip.org.br/site/sobre-o-setor-2015/>>. Acesso: 07.06.2016

ANDRADE, E. L. Problemas de Congestionamento das Filas. In: ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para análise de decisões**. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Cap. 6, p. 104-120.

AURELIO, Marco. **Teoria das filas e das simulações (apostila)**. Santo André: UNIA, 2004.

BIELEN, F. e Demoulin, N. (2007), “Waiting time influence on the satisfaction-loyalty relationship in services”, *Managing Service Quality*, Vol. 17 No. 2, pp. 174-193

BITNER, M.J., Booms, B. e Tetreault, M.S. (1990), “The service encounter: diagnosing favorable and unfavorable incidents”, *Journal of Marketing*, Vol. 54, pp. 71-84.

GUEDES D. B.; ARAÚJO, A. C. **Gestão de filas: um estudo de caso em torno da qualidade dos serviços numa agência bancária da região metropolitana do Recife – PE**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXXIII, 2013, Salvador, BA: ENEGEP, 2013.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo Bittencourt. **Métodos Quantitativos Estatísticos**. Curitiba. IESDE. 2008.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de Operações e da Cadeia de Suprimentos**. 13. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2012.

KRAJEWSKI, L.RITZMAN, L., MALHOTRA, M.; **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011.

MORAES, F. G.; SILVA, G. F.; REZENDE, T. A. **Introdução à Teoria das Filas**. Universidade Estadual do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das filas e simulação**. Rio de Janeiro: Falconi,

2014.

ROMERO, C. M.; SALES, D. S.; VILAÇA, L. L.; CHAVEZ, J. R. A.; CORTES, J. M. (2010). **Aplicação da teoria das filas na maximização do fluxo de paletes em uma indústria química**. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v.2, n.3, p.226-231.

TAHA. H. A.; **Operations Research: An Introduction** 10th Edition. Published by Pearson Education, Inc. Upper Saddle river, New Jersey, 2016.

TAYLOR, S. (1994), “**Waiting for service: the relationship between delays and evaluation of service**”, Journal of Marketing, Vol. 58, pp. 56-69.

VIEIRA, A. T. S. et al. **Aplicação da teoria das filas em uma casa lotérica – PA**. In XXII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Bauru, SP: SIMPEP, 2015.

WINSTON, Wayne.L. **Operations Research: Applications and Algorithms**. 4 ed. California: BrooksCole Thomson Learning, 2004.

**ABSTRACT:** The long waiting times in queues are now one of the main reasons of customer dissatisfaction, which affects the overall quality of the service by companies. For this reason, the present work aims to apply the concepts of the queues theory to analyze the behavior of the queue for a bakery in the city of belém, and then present possible improvements for the company in this area. For the study of system behavior, it was recorded in the period of one (1) hour customer arrival rates per minute and per customer service times. The results showed that the capacity of the system is now appropriate to use two service points, and the customer spends on average 1.05 minutes in the system. The work could also show results for the projection on peak days and variation in the number of service stations.

**KEYWORDS:** Queue theory; Waiting time; Bakery.

## **CAPÍTULO VIII**

### **APLICAÇÃO DE INFERÊNCIA FUZZY NO APOIO À SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA**

---

**Ricardo Martins dos Santos  
Francisco Rodrigues Lima Junior**

# APLICAÇÃO DE INFERÊNCIA FUZZY NO APOIO À SELEÇÃO DE PROJETOS SEIS SIGMA

## **Ricardo Martins dos Santos**

Unifeg, Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé, Engenharia de Produção e Qualidade  
Guaxupé-MG

## **Francisco Rodrigues Lima Junior**

Unifeg, Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé, Engenharia de Produção e Qualidade  
Guaxupé-MG

**RESUMO:** A metodologia Seis Sigma é uma das mais eficientes abordagens estratégicas para o alcance de altos níveis de desempenho e excelência organizacional. Sua implantação é feita por meio de ferramentas estatísticas e de projetos liderados por um time. Na literatura acadêmica, diferentes técnicas de tomada de decisão multicritério e de inteligência computacional vêm sendo usadas para apoiar a avaliação e escolha dos projetos Seis Sigma que devem ser implantados prioritariamente. Esse estudo propõe um novo modelo baseado em sistemas de inferência fuzzy para apoiar a seleção de projetos Seis Sigma, considerando um conjunto de critérios de seleção relacionados ao potencial de retorno do projeto, impacto no desempenho das operações e viabilidade de implantação do projeto. Quatro sistemas de inferência foram desenvolvidos usando a ferramenta fuzzy toolbox do software MATLAB®. Uma aplicação em um caso ilustrativo envolvendo uma empresa fabricante de circuitos eletrônicos evidencia a adequação desta proposta para apoiar a seleção de projetos Seis Sigma. Os resultados fornecidos pelo modelo sugerem que um projeto de melhoria nos sistemas de inspeção de produtos e materiais deve ser implantado prioritariamente. Quando comparado com outros modelos existentes na literatura, o modelo proposto por este estudo apresenta diversas vantagens de uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Seleção de projetos Seis Sigma, inferência fuzzy, tomada de decisão multicritério.

## **1. INTRODUÇÃO**

A metodologia “Seis Sigma” atualmente é tida como uma das mais eficientes abordagens estratégicas para se alcançar um alto desempenho operacional e promover a excelência na gestão da qualidade (JACOBS; SWINK; LINDERMAN, 2015). A metodologia Seis Sigma utiliza ferramentas e métodos estatísticos para medir, avaliar e melhorar o desempenho dos processos, possibilitando assim a redução dos desperdícios, da variabilidade dos processos, da taxa de erro e dos custos operacionais. Essa metodologia também auxilia no alcance de metas corporativas, como o aumento dos resultados financeiros e da satisfação dos clientes (PARAST, 2011; ERDOGAN; CANATAN, 2015).

A aplicação da metodologia Seis Sigma é realizada por meio da implantação

de projetos, nos quais um time é responsável por corrigir algum problema ou promover melhorias. Padhy e Sahu (2011) ressaltam que um dos fatores chave para o sucesso da implantação da metodologia Seis Sigma é a escolha dos projetos corretos. Devido à complexidade dos projetos e aos múltiplos objetivos que devem ser atendidos por meio da implantação destes, é necessário avaliar todas as opções de projeto considerando múltiplos critérios a fim de selecionar uma ou mais alternativas adequadas. Um processo de tomada de decisão estruturado é fundamental para apoiar a seleção de projetos Seis Sigma, pois o investimento na implantação de um projeto inadequado pode afetar a efetividade e a produtividade da empresa (RATHI; KHANDUJA; SHARMA, 2015). Farsijani, Nikabadi e Amirimoghadam (2015) complementam que a seleção de um projeto inapropriado pode levar a complicações estratégicas e perdas financeiras.

Na literatura acadêmica, diversos modelos de apoio à tomada de decisão vêm sendo propostos para apoiar a seleção de projetos Seis Sigma. Esses modelos vêm testando o uso de diversos métodos de tomada de decisão multicritério, tais como o ANP - Analytic Network Process (BÜYÜKÖZKAN; ÖZTÜRKCAN, 2010; WANG; HSU; TZENG, 2014; VINODH; SWARNAKAR, 2015), DEMATEL - Decision-making trial and evaluation laboratory (BÜYÜKÖZKAN; ÖZTÜRKCAN, 2010; WANG; HSU; TZENG, 2014) e TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (RATHI; KHANDUJA; SHARMA, 2015; VINODH; SWARNAKAR, 2015).

Além de métodos multicritério, também são utilizadas técnicas de inteligência artificial, tais como o sistema neuro-fuzzy ANFIS - Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (SAGHAEI; DIDEHKHANI, 2011). Um fator que dificulta a aplicação de sistemas ANFIS na seleção de projetos Seis Sigma se refere à necessidade de um conjunto de dados históricos contendo as amostras dos valores das variáveis de entrada e saída do modelo. Esses dados são requeridos para o ajuste das funções de pertinência das variáveis de entrada e nos consequentes das regras de decisão. Uma forma de contornar essa dificuldade consiste na adoção de sistemas de inferência fuzzy do tipo Mamdani, cujas variáveis e regras de decisão podem ser ajustadas usando os julgamentos linguísticos de especialistas do domínio de problema em questão. Esses sistemas armazenam o conhecimento desses especialistas a respeito dos possíveis cenários do problema, possibilitando apoiar a tomada de decisão em cenários de incerteza (LIMA JR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

Apesar dos benefícios que podem ser alcançados por meio da aplicação de sistemas inferência fuzzy no apoio à seleção de projetos Seis Sigma, na literatura acadêmica não são encontrados modelos que utilizem inferência fuzzy para este propósito. Diante dessa oportunidade de pesquisa, este estudo propõe um modelo de apoio à tomada de decisão para a seleção de projetos Seis Sigma baseado em sistemas de inferência fuzzy. Os procedimentos metodológicos utilizados para a condução desta pesquisa são detalhados a seguir.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo a classificação proposta por Bertrand e Fransoo (2002), esta pesquisa se caracteriza como sendo quantitativa, descritiva e baseada em modelagem e simulação, por utilizar modelos computacionais quantitativos, que abrangem um conjunto de variáveis relativas a um domínio de problema específico, a fim de modelar os relacionamentos casuais e quantitativos entre as estas variáveis. Esta pesquisa é constituída pelas seguintes etapas:

**a) Pesquisa bibliográfica:** foi realizada com base na análise de artigos sobre a metodologia Seis Sigma, seleção de projetos Seis Sigma e sistemas de inferência fuzzy. A pesquisa bibliográfica forneceu embasamento teórico para o desenvolvimento e a aplicação do modelo proposto por este estudo;

**b) Modelagem e simulação computacional:** nesta etapa, utilizou-se a ferramenta fuzzy toolbox do software MATLAB® para o desenvolvimento de quatro sistemas de inferência fuzzy. A parametrização do sistema durante a etapa de modelagem foi feita pelos autores deste estudo. Uma aplicação do modelo foi realizada em um caso ilustrativo que simula o cenário de uma empresa do setor eletroeletrônicos. A aplicação envolveu definição e a avaliação de nove projetos Seis Sigma, com base em nove subcritérios de decisão definidos com base na literatura. O modelo proposto e os resultados da aplicação são apresentados na seção 4.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 A Metodologia Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma tem sido buscada para auxiliar as empresas a alcançar excelência organizacional, alta competitividade e novos mercados (SAGHEI; DIDEHKHANI, 2011). Essa metodologia foi desenvolvida por gestores da Motorola após uma de suas fábricas de televisores nos Estados Unidos da América ter sido comprada por japoneses (ERDOGAN; CANATAN, 2015). Embora seja mais utilizada nas operações de manufatura, a aplicação metodologia Seis Sigma vem se expandindo para diferentes funções organizacionais, como marketing, engenharia, serviços, vendas, financeiro e funções de suporte administrativo. Além das indústrias de manufatura, também tem sido implantada em empresas dos setores de saúde e serviços, nas quais também vem conduzindo a diversos resultados positivos (KWAK; ANBARI, 2006; BÜYÜKÖZKAN; ÖZTÜRKCAN, 2010).

Kwak e Anbari (2006) realizaram um estudo a fim de identificar os resultados de pesquisas a respeito das melhorias e ganhos obtidos após a implantação de projetos Seis Sigma em diferentes áreas e com objetivos distintos. Esses autores concluíram que essa metodologia pode conduzir a benefícios como a redução no tempo de ciclo, redução nos níveis de inventário, melhoria da qualidade do processo e do produto, aumento da capacidade e ganhos financeiros. Para implantar um projeto Seis Sigma, é necessário formar um time que será responsável pela

elaboração, mediação, acompanhamento, validação e conclusão do projeto. Dentre os membros do time, existem alguns que assumem um papel liderança com responsabilidades específicas visando à garantia do sucesso do projeto. O nível de responsabilidade e a nomenclatura desses líderes são dadas a partir da coloração de suas faixas (belts), definindo-se assim os papéis denominados champion, master black belt, black belt e green belt (ERDOGAN E CANATAN, 2015), conforme detalha a Tabela 1.

TABELA 1 - Papéis e responsabilidades segundo a metodologia Seis Sigma

<p>Champion: criar a visão Seis Sigma da companhia, identificar os caminhos do Seis Sigma, desenvolver o plano de treinamento para implementação das estratégias, auditoria dos black belts.</p>
<p>Master black belt: ajudar no treinamento e certificação dos black belts, cooperar com o Champion, treinar o pessoal de qualquer nível da organização, auxiliar na identificação de projetos, dar suporte aos black belts nos projetos, participar das revisões de projeto como um consultor técnico.</p>
<p>Black belt: identificar as barreiras dos projetos, direcionar e gerenciar os times dos projetos, reportar os desenvolvimentos aos líderes, em caso de necessidade requisitar ajudar ao Champion, determinar as ferramentas mais efetivas para serem usadas nos projetos.</p>
<p>Green belt: participar dos projetos dos black belts para realizar suas tarefas, aprender os métodos e ferramentas Seis Sigma durante os projetos e completar os projetos.</p>

Fonte: Erdogan e Canatan (2015)

A aplicação da metodologia Seis Sigma é operacionalizada por meio de projetos que têm como objetivo corrigir algum problema ou alcançar resultados mais satisfatórios. O planejamento, implantação e controle desses projetos são feitos pelo time usando a abordagem DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) (ERDOGAN; CANATAN, 2015). Farsijani, Nikabadi e Amirimoghadam (2015) alertam que os projetos Seis Sigmas precisam estar claramente conectados com as prioridades organizacionais, com o planejamento estratégico e os planos das operações.

Os membros dos times juntamente com os belts tendem a identificar e propor diversas iniciativas que podem ser conduzidas para melhorar o desempenho da organização. Para escolher os projetos Seis Sigma que serão implantados prioritariamente, múltiplos critérios relacionados à viabilidade de implantação e aos potenciais impactos nos resultados da empresa devem ser considerados (YANG; HSIEH, 2009, WANG; HSU; TZENG, 2014; FARSIJANI; NIKABADI; AMIRIMOGHADAM, 2015). Diante da necessidade de avaliar múltiplas opções de projeto considerando um conjunto de fatores com diferentes níveis de importância relativa, a seleção de projetos Seis Sigma tem sido abordada na literatura como um problema de tomada de decisão multicritério (ORTÍZ; FELIZZOLA; ISAZA, 2015; RATHI; KHANDUJA; SHARMA, 2015; VINODH; SWARNAKAR, 2015), cujos métodos e critérios utilizados são discutidos a seguir.

### 3.2 Metodologias e Critérios de Seleção de Projetos Seis Sigma

A aplicação de métodos quantitativos de tomada de decisão no apoio à seleção de projetos Seis Sigma é relativamente recente na literatura acadêmica. A partir de buscas realizadas nas bases de dados science direct ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)), IEEE-xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>), emerald ([www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com)), scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) e google acadêmico ([scholar.google.com](http://scholar.google.com)), foram encontrados apenas nove estudos que propõem a aplicação de metodologias de tomada de decisão na seleção de projetos Seis Sigma. A Tabela 2 lista esses estudos, destacando as técnicas utilizadas.

TABELA 2 – Aplicações de metodologias de apoio à tomada de decisão na seleção de projetos Seis Sigma

Abordagem	Autores	Técnica(s) usada(s)
Técnica isolada	Yang e Hsieh (2009)	Fuzzy Delphi
	Saghaei e Didekhani (2010)	ANP
Combinação de duas ou mais técnicas	Büyükoçkan e Öztürkcan (2010)	ANP e DEMATEL
	Saghaei e Didekhani (2011)	ANFIS e programação por metas fuzzy
	Wang, Hsu e Tzeng (2014)	DEMATEL, ANP, DANP e VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
	Farsijani, Nikabadi e Amirimoghadam (2015)	Fuzzy network-analysis, fuzzy MADM (Multi attribute decision making)
	Ortíz, Felizzola e Isaza (2015)	DEMATEL e ANP
	Rathi, Khanduja e Sharma (2015)	Fuzzy TOPSIS e MDL (modified digital logic)
	Vinodh e Swarnakar (2015)	Fuzzy DEMATEL, ANP e TOPSIS

Fonte: Autor

O método ANP, utilizado pela maioria dos estudos (SAGHAEI; DIDEHKHANI, 2010; BÜYÜKÖZKAN; ÖZTÜRKCAN, 2010; WANG; HSU; TZENG, 2014; ORTÍZ; FELIZZOLA; ISAZA, 2015; VINODH; SWARNAKAR, 2015), possibilita representar as alternativas e os critérios do problema em uma estrutura de rede, modelando assim as relações de interdependência que podem existir entre os critérios ou entre os projetos. Contudo, como o método ANP requer a coleta de julgamentos comparativos de especialistas para avaliar os pesos dos critérios, o desempenho das alternativas e as relações de interdependência entre os critérios, dependendo da quantidade de alternativas e critérios considerados, a coleta de dados pode consumir muito tempo e comprometer a agilidade da tomada de decisão. Outra limitação se refere à baixa quantidade de projetos que pode ser comparados simultaneamente.

Além da técnica utilizada, outro aspecto importante dos modelos quantitativos de apoio à seleção de projetos Seis Sigma se refere aos critérios adotados. Farsijani, Nikabadi e Amirimoghadam (2015) ressaltam que a identificação e utilização de critérios adequados para a seleção de projetos Seis Sigma influencia o sucesso da implantação dos projetos, e conseqüentemente afeta

o alcance dos resultados esperados da metodologia Seis Sigma. A Tabela 3 lista os critérios de seleção de projetos Seis Sigma utilizados pelos modelos quantitativos encontrados na literatura. Esses critérios incluem fatores relacionados ao alinhamento do projeto com os objetivos estratégicos da empresa, à viabilidade de implantação do projeto em termos de recursos e competências disponíveis, ao potencial de retorno e ao impacto sobre os clientes e os processos operacionais.

TABELA 3 - Critérios considerados durante a seleção de projetos Seis Sigma

<b>Yang e Hsieh (2009):</b> estratégia de informação, desenvolvimento de mercado, gestão de processos, gestão estratégica, liderança, pesquisa e inovação, recursos humanos, gestão do conhecimento e resultados empresariais.
<b>Büyüközkan e Öztürkcan (2010):</b> benefícios, oportunidades, riscos e custos.
<b>Saghaei e Didekhani (2010):</b> negócio, impacto financeiro e sobre os processos.
<b>Saghaei e Didekhani (2011):</b> benefícios financeiros, satisfação do cliente e melhoria de processo.
<b>Wang, Hsu e Tzeng (2014):</b> estratégia significativa para organização, estratégia crítica para qualidade, estratégia variável é mensurável, viabilidade técnica, viabilidade dos recursos são disponíveis, viabilidade do calendário, satisfação do cliente, reclamação dos clientes, novos negócios, retorno do investimento, redução de custo, geração de lucro, redução no tempo de ciclo, melhoria de desempenho operacional, melhoria em reclamações e controles, retenção de taxa e melhoria de capacidade.
<b>Farsijani, Nikabadi e Amirimoghadam (2015):</b> competência dos empregados, competência dos gestores, melhoria de processo, fatia de mercado, redução de custo, rentabilidade e risco.
<b>Ortíz, Felizzola e Isaza (2015):</b> estratégias, benefício, oportunidade, custo e risco.
<b>Rathi, Khanduja e Sharma (2015):</b> ambiente de trabalho, confiança, custo de tempo parado, produtividade, rejeição, segurança e tempo de reparo.
<b>Vinodh e Swarnakar (2015):</b> produção puxada e processo enxuto, duração do projeto, recursos e disponibilidade de informação, nível sigma, viabilidade da técnica, satisfação dos clientes, reclamação dos clientes, novas vias empresariais, redução de custos do projeto, retorno dos investimentos, compromisso da alta gestão, força de espírito dos membros do time e motivação, retenção de taxas, partilha transparente das informações, melhoria de processo, múltiplas habilidades e força de trabalho flexível, fatores críticos para projetos de qualidade e política da limpeza de ativos.

Fonte: Autor

Por considerar critérios relacionados ao desempenho e ao impacto futuro dos projetos, a seleção de projetos Seis Sigma se configura como um problema de tomada de decisão sob incerteza, que requer a utilização de técnicas adequadas para modelar cenários aproximados, considerando aspectos quantitativos e qualitativos, avaliados a partir de estimativas imprecisas e julgamentos subjetivos (ORTÍZ; FELIZZOLA; ISAZA, 2015). Embora os sistemas de inferência fuzzy ainda não tenham sido aplicados à seleção de projetos Seis Sigma, suas características sugerem que estes sejam adequados para atender a tais requisitos.

### 3.3 Sistemas de Inferência Fuzzy

A teoria dos conjuntos fuzzy vem sendo amplamente utilizada na modelagem de sistemas que envolvem incerteza, imprecisão ou informações subjetivas. Os números fuzzy são constituídos por conjuntos fuzzy e são capazes de quantificar a imprecisão associada a uma dada informação, permitindo a representação de grandezas associadas a julgamentos como “em torno de 80” ou “aproximadamente 100”. A morfologia de um número fuzzy se define por meio do comportamento da função de pertinência  $\mu(x)$ . Conforme ilustra a Figura 1, um número fuzzy triangular é constituído por segmentos lineares na forma de um triângulo, onde  $m$  é um valor crisp formal para o conjunto fuzzy,  $l$  é o limite inferior e  $u$  é o limite superior (LIMA JR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

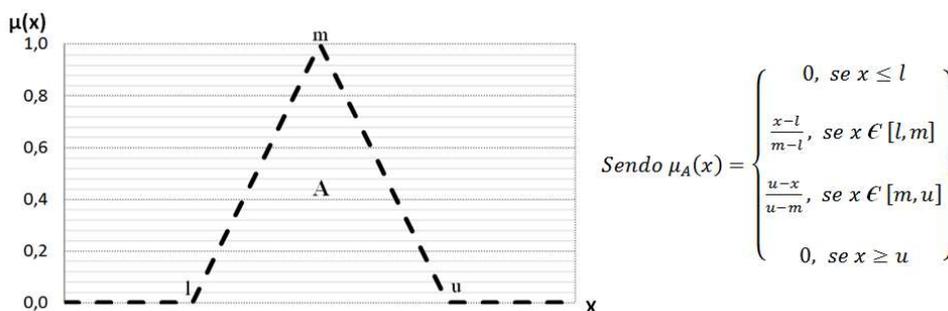


FIGURA 1 – Número fuzzy triangular. Fonte: Lima Jr, Cervi e Carpinetti (2014).

O primeiro sistema de inferência fuzzy foi proposto por Mamdani e Assilian (1975), sendo constituído de cinco principais elementos: interface de fuzificação, base de regras, mecanismo de inferência, base de dados e interface de defuzificação. A base de dados é onde o número de variáveis de entrada, os tipos de variáveis, os possíveis valores para as variáveis linguísticas, operadores fuzzy utilizados e o mapeamento de variáveis linguísticas em conjuntos fuzzy são definidos. Na interface de fuzificação são captados os valores de entradas e as variáveis numéricas são convertidas em variáveis fuzzy. Na base de regras, são acionadas as regras de inferência (ou de decisão) que melhor descrevem o cenário atual do modelo. Essas regras de inferência possuem uma estrutura do tipo If-then, que são capazes de modelar os relacionamentos de causa e efeito entre as variáveis de entrada e de saída (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; LIMA JR; CERVI; CARPINETTI, 2014). A estrutura de uma regra de um sistema com três variáveis de entrada e uma variável de saída é ilustrada na Figura 2.

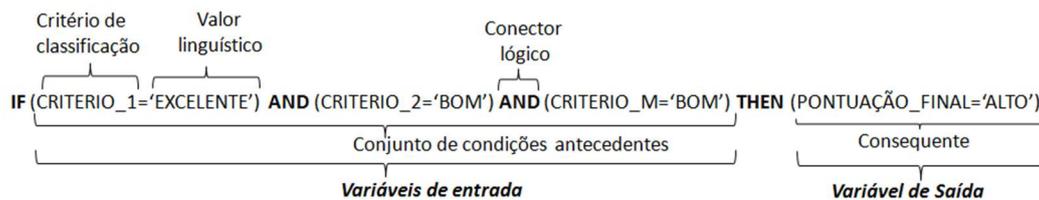


FIGURA 2 – Estrutura de uma regra de inferência fuzzy. Fonte: Lima Jr, Cervi e Carpinetti (2014).

As regras de inferência possuem conectores que representam um relacionamento lógico entre os termos linguísticos das variáveis de entrada. O conector “AND” realiza uma operação de interseção entre os conjuntos fuzzy com uso de um operador T-norma. Em cada regra ativada, o mecanismo de inferência realiza uma relação de implicação R entre o conjunto fuzzy resultante das operações lógicas e o consequente da regra. Logo após, os graus de pertinência dos conjuntos de entrada e de saída são relacionados por meio de um operador de implicação (MAMDANI; ASSILIAN, 1975; LIMA JR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

Cada regra de inferência gera uma saída, que é determinada pela composição de relacionamentos entre um conjunto singleton (criado na fuzificação) e a relação de implicação R, utilizando o operador de composição “max-min”. Os resultados gerados pelas regras são agregados em um único conjunto fuzzy, geralmente usando o operador de agregação “máximo”. Por último, a interface de desfuzificação realiza a conversão do conjunto fuzzy de saída para o formato crisp. O operador de desfuzificação “centro de área” é muito utilizado devido ao seu maior comprometimento com a solução, uma vez que considera regiões fuzzy com valores de pertinência baixos no cálculo da saída (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; LIMA JR; CERVI; CARPINETTI, 2014).

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Modelo Proposto para Apoiar a Seleção de Projetos Seis Sigma

A Figura 3 representa o modelo desenvolvido para apoiar a seleção de projetos Seis Sigma. Esse modelo utiliza quatro sistemas de inferência fuzzy, denominados FIS 1, FIS 2, FIS 3 e FIS 4, os quais estão organizados em cascata. Cada um dos sistemas possui 27 regras de inferência. Os critérios e subcritérios adotados foram baseados nos estudos propostos por Yang e Hsieh (2009), Saghaei e Didekhani (2011), Wang, Hsu e Tzeng (2014), Ortíz, Felizzola e Isaza (2015) e Vinodh e Swarnakar (2015). O sistema de inferência 1 (FIS 1) utiliza os subcritérios impacto sobre o resultado financeiro da companhia (SC<sub>1</sub>), impacto na satisfação do cliente (SC<sub>2</sub>) e impacto no market share (SC<sub>3</sub>) para avaliar o desempenho dos projetos no critério potencial de retorno do projeto (C<sub>1</sub>). O FIS 2 utiliza os subcritérios potenciais melhorias na qualidade do produto e/ou do processo (SC<sub>4</sub>), impacto sobre os níveis de inventário (SC<sub>5</sub>) e desenvolvimento de competência dos colaboradores (SC<sub>6</sub>) para avaliar o impacto no desempenho das operações (C<sub>2</sub>). O

FIS 3 utiliza os subcritérios potencial de envolvimento da alta gestão (SC<sub>7</sub>), custos com treinamentos (SC<sub>7</sub>) e custo de implantação do projeto (SC<sub>8</sub>) para avaliar a viabilidade de implantação (C<sub>3</sub>). O FIS 4 utiliza como entrada os critérios C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> para avaliar o desempenho global das alternativas de projeto.

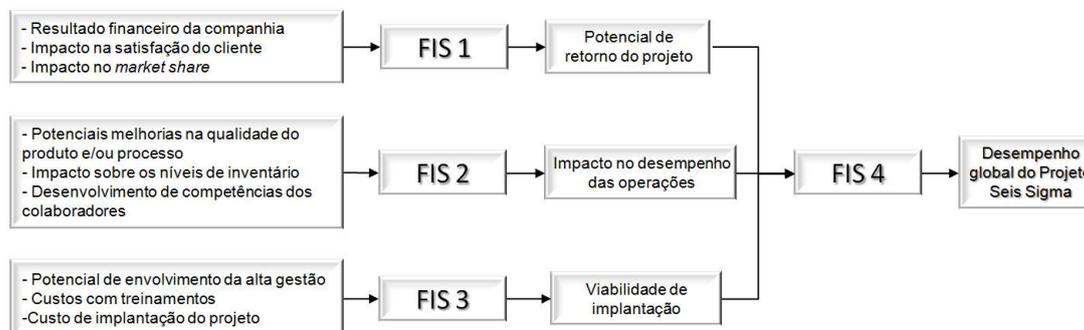


FIGURA 3 – Modelo proposto para seleção de projetos Seis Sigma. Fonte: Autor.

Em aplicações reais, a parametrização dos sistemas de inferência deve ser realizada com base na opinião do time Seis Sigma, principalmente do master black belt e do black belt. Essa etapa envolve a modelagem das variáveis linguísticas e a definição dos consequentes das regras de inferência. Esses ajustes devem ser realizados apenas durante o processo de modelagem do sistema. Durante a etapa de uso, é necessário apenas escolher os projetos Seis Sigma que serão avaliados e pontuá-los de acordo com os critérios escolhidos. Essas pontuações devem ser inseridas nos sistemas de inferência. Como o universo de discurso das variáveis foi definido no intervalo  $[0,1]$ , os valores das pontuações dos projetos Seis Sigma também devem estar definidos neste intervalo.

## 4.2 Aplicação Ilustrativa

Uma empresa do setor de eletroeletrônicos, que fabrica circuitos eletrônicos para televisores, deseja avaliar qual dos projetos Seis Sigma deve implantar prioritariamente. O time Seis Sigma desenvolveu nove alternativas de projetos Seis Sigma a fim de buscar a melhoria do desempenho da empresa, sendo elas: melhorar a habilidade da solução de problemas de engenharia (P<sub>1</sub>), aumentar o número de patentes de produtos (P<sub>2</sub>), melhoria nos sistemas de inspeção de produtos e materiais (P<sub>3</sub>), implantar o sistema de produção lean (P<sub>4</sub>), melhoria na gestão da cadeia de suprimento (P<sub>5</sub>), melhoria no processo de manufatura (P<sub>6</sub>), melhoria nos processos administrativos e de gestão (P<sub>7</sub>), melhoria das condições de armazenagem e da gestão de inventário (P<sub>8</sub>) e melhoria no processo de desenvolvimento e design de produto (P<sub>9</sub>). Os membros do time Seis Sigma forneceram alguns julgamentos para a parametrização dos sistemas de inferência fuzzy, incluindo o conjunto de termos das variáveis linguísticas e os consequentes das regras de decisão. A Tabela 4 descreve os termos linguísticos e os parâmetros adotados para as variáveis de entrada dos 4 sistemas de inferência. Em todas as

variáveis de entrada e saída, foram usados números fuzzy triangulares devido à sua maior sensibilidade às variações dos valores. A Tabela 5 apresenta os resultados da parametrização das variáveis de saída dos quatro sistemas de inferência. A Tabela 6 mostra um extrato da base de regras de inferência do FIS 1 com o propósito de exemplificação.

TABELA 4 – Parâmetros utilizados nas variáveis de entrada dos FIS 1, 2, 3 e 4

FIS	Entradas	Parâmetros usados nas funções de pertinência						
1	SC <sub>1</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,25$	$m_m=0,5$	$u_m=0,75$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>2</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,20$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>3</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,15$	$m_m=0,5$	$u_m=0,85$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
2	SC <sub>4</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,2$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>5</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,15$	$m_m=0,5$	$u_m=0,85$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>6</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,2$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
3	SC <sub>7</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,2$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>8</sub>	Alto		Médio			Baixo	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,15$	$m_m=0,5$	$u_m=0,85$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	SC <sub>9</sub>	Alto		Médio			Baixo	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,1$	$m_m=0,5$	$u_m=0,9$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
4	C <sub>1</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,25$	$m_m=0,5$	$u_m=0,75$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	C <sub>2</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,1$	$m_m=0,5$	$u_m=0,9$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
	C <sub>3</sub>	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,15$	$m_m=0,5$	$u_m=0,75$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$

Fonte: Autor.

TABELA 5 – Parâmetros utilizados nas variáveis de saída dos FIS 1, 2, 3 e 4

FIS	Variável de saída	Parâmetros usados nas funções de pertinência						
1	Potencial de retorno do projeto (C <sub>1</sub> )	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,2$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
2	Impacto no desempenho das operações (C <sub>2</sub> )	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,2$	$m_m=0,5$	$u_m=0,8$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
3	Viabilidade de implantação (C <sub>3</sub> )	Baixa		Média			Alta	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,1$	$m_m=0,5$	$u_m=0,9$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$
4	Desempenho global	Baixo		Médio			Alto	
		$l_b=m_b=0,0$	$u_b=0,5$	$l_m=0,15$	$m_m=0,5$	$u_m=0,85$	$l_a=0,5$	$m_a=u_a=1,0$

Fonte: Autor.

TABELA 6 – Algumas regras de inferência do FIS 1

Regra	IF	AND	AND	THEN
	Impacto sobre o resultado financeiro	Impacto na satisfação do cliente	Impacto no market share	Potencial de retorno do projeto
1	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
:	:	:	:	:
25	Alto	Alto	Baixo	Alto
26	Alto	Alto	Médio	Alto
27	Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Autor.

Após a parametrização do sistema, o time Seis Sigma pontuou os projetos de acordo com os subcritérios apresentados na Figura 4, conforme mostra a Tabela 7. Essas pontuações foram inseridas nos sistemas de inferência 1, 2 e 3. A Figura 4 representa o processo de inferência para o projeto P<sub>3</sub> utilizando o FIS 4. Nessa figura, as três primeiras colunas representam as variáveis de entrada e a quarta coluna representa a variável de saída. As regiões destacadas em amarelo nas colunas das variáveis de entrada representam os conjuntos fuzzy gerados na fuzificação do projeto P<sub>3</sub>. As regiões destacadas em azul na coluna da variável de saída representam os valores fuzzy gerados por cada regra ativada. Nesse exemplo, considerando os valores de entrada para P<sub>3</sub> como sendo 0,608; 0,594 e 0,567, são ativadas as regras 14, 15, 17, 18, 23, 24, 26 e 27, que resultam em uma região fuzzy de saída gerada a partir da agregação dos resultados de cada regra ativada, representada na última linha da última coluna à direita, que após a defuzificação fornece um valor para P<sub>3</sub> de 0,553.

Na Tabela 8, para cada um dos nove projetos avaliados, são apresentados os valores de desempenho calculados para os critérios C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, bem como o desempenho global e a classificação final, que indica a prioridade de implantação de tais projetos. Como o projeto P<sub>3</sub> (melhoria no material e sistemas de inspeção em produtos) alcançou o maior desempenho global, este deve ser implantado prioritariamente. Para os demais projetos, a prioridade de implantação corresponde a P<sub>4</sub> > P<sub>2</sub> > P<sub>5</sub> > P<sub>8</sub> > P<sub>6</sub> > P<sub>9</sub> > P<sub>1</sub> > P<sub>7</sub>.

TABELA 7 – Pontuações dos projetos Seis Sigmas em relação a cada critério

	SC <sub>1</sub>	SC <sub>2</sub>	SC <sub>3</sub>	SC <sub>4</sub>	SC <sub>5</sub>	SC <sub>6</sub>	SC <sub>7</sub>	SC <sub>8</sub>	SC <sub>9</sub>
P <sub>1</sub>	0,55	0,30	0,25	0,65	0,30	0,35	0,70	0,35	0,40
P <sub>2</sub>	0,60	0,50	0,70	0,30	0,40	0,35	0,60	0,65	0,45
P <sub>3</sub>	0,55	0,65	0,45	0,70	0,60	0,50	0,55	0,65	0,40
P <sub>4</sub>	0,60	0,50	0,30	0,70	0,70	0,65	0,60	0,30	0,35
P <sub>5</sub>	0,60	0,60	0,55	0,40	0,60	0,40	0,70	0,40	0,45
P <sub>6</sub>	0,60	0,50	0,40	0,70	0,50	0,45	0,40	0,35	0,40
P <sub>7</sub>	0,40	0,25	0,25	0,30	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50
P <sub>8</sub>	0,45	0,35	0,30	0,55	0,85	0,40	0,40	0,60	0,55
P <sub>9</sub>	0,60	0,60	0,50	0,65	0,30	0,45	0,50	0,40	0,45

Fonte: Autor.

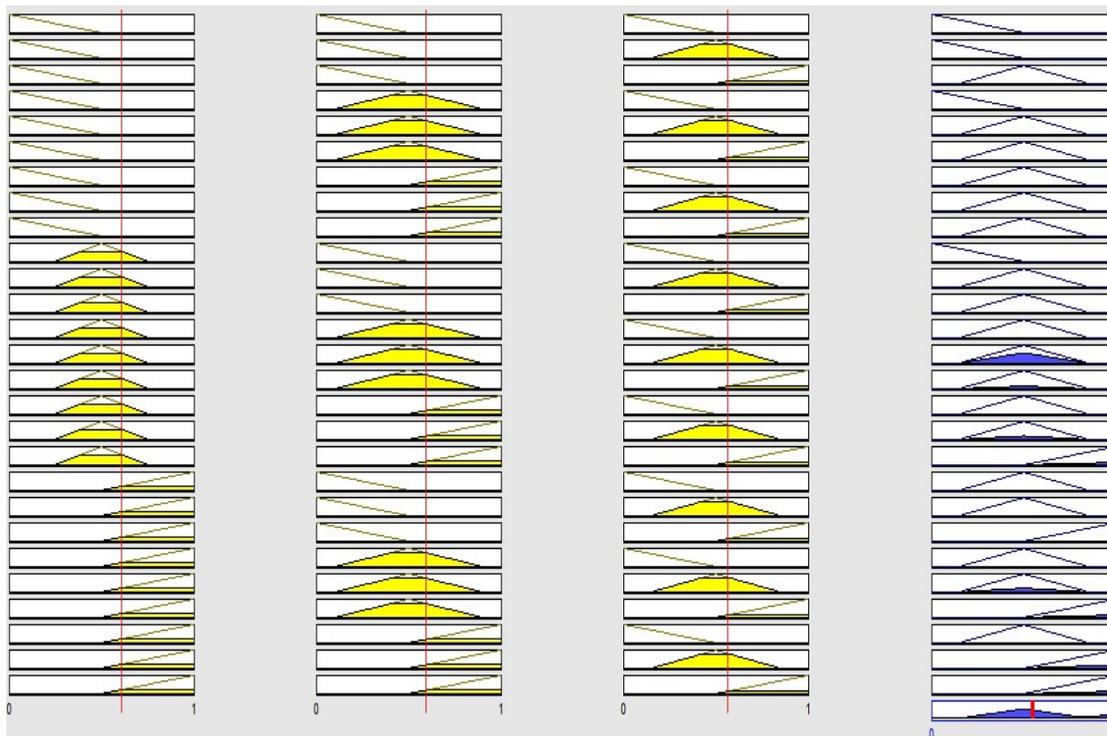


FIGURA 4 – Processo de inferência usando o FIS 4 para a avaliação do projeto P<sub>3</sub>. Fonte: Autor

TABELA 8 – Desempenho global e classificação dos projetos Seis Sigma

Projetos	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>
Desempenho em C <sub>1</sub>	0,38 0	0,58 9	0,60 8	0,58 9	0,56 7	0,56 7	0,29 3	0,37 9	0,56 7
Desempenho em C <sub>2</sub>	0,35 3	0,32 9	0,59 4	0,65 4	0,43 9	0,50 0	0,31 4	0,53 2	0,35 3
Desempenho em C <sub>3</sub>	0,56 6	0,56 7	0,56 7	0,47 0	0,60 4	0,45 6	0,50 0	0,53 8	0,48 3
Desempenho global	0,42 7	0,53 8	0,55 3	0,54 7	0,53 1	0,50 0	0,37 4	0,52 0	0,49 1
Classificação	8°	3°	1°	2°	4°	6°	9°	5°	7°

Fonte: Autor.

## 5. CONCLUSÃO

A metodologia Seis Sigma vem sendo cada vez mais utilizada pelas empresas. Um processo de seleção de projetos Seis Sigma estruturado e com critérios bem definidos é fundamental para se alcançar os objetivos da empresa associados a essa metodologia e ao desempenho organizacional como um todo. Este estudo apresentou um novo modelo de apoio à seleção de projetos Seis Sigma. Uma aplicação ilustrativa foi realizada considerando a avaliação de nove projetos com base em nove critérios.

Comparando a abordagem proposta com aquelas existentes na literatura, verificam-se as seguintes vantagens de uso da inferência fuzzy na seleção de

projetos Seis Sigma: capacidade de avaliação simultânea de uma quantidade não limitada de projetos Seis Sigma, diferentemente das técnicas baseadas em comparação par a par como o AHP, ANP e fuzzy AHP; quantificação da incerteza de informações através da representação de valores em formato linguístico; capacidade de modelar os possíveis cenários usando a base de regras de inferência e; capacidade de modelar relacionamentos de causa e efeito não lineares entre as variáveis.

Para a realização de pesquisas futuras, sugere-se a aplicação do modelo proposto em casos reais de seleção de projetos Seis Sigma em empresas de diferentes setores. Nessas aplicações, os critérios de avaliação utilizados e os parâmetros dos sistemas de inferência devem ser escolhidos conforme as necessidades e os objetivos estratégicos da empresa em questão. Outra sugestão é a aplicação dos sistemas de inferência fuzzy na seleção de projetos lean e de projetos de gestão da qualidade.

## REFERÊNCIAS

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, v.22, p.241-264, 2002.

BÜYÜKÖZKAN, G.; ÖZTÜRKCAN, D. An integrated analytic approach for Six Sigma project selection. *Expert Systems with Applications*, v.37, p.5835-5847, 2010.

ERDOGAN, A.; CANATAN, H. Literature Search Consisting of the Areas of Six Sigma's Usage. *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship*, v.195, p.695-704, 2015.

FARSIJANI, H.; NIKABAI, M. S.; AMIRIMOGHADAM, H. Six sigma project selections using fuzzy network-analysis and fuzzy MADM. *Decision Science Letters*, v 4, p.87-96, 2015.

JACOBS, B. W.; SWINK, M.; LINDERMAN, K. Performance effects of early and late Six Sigma adoptions. *Journal of Operations Management*, v.36, p.244-257, 2015.

KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, v.26, p.708-715, 2006.

LIMA JR, F.R.; CERVI, A.F.C.; CARPINETTI, L.C.R. Uma metodologia multicritério baseada em inferência fuzzy para classificação ABC de estoques. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v.6, p.343-366, 2014.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, v.7, p.1-13, 1975.

ORTÍZ, M. A.; FELIZZOLA, H. A.; ISAZA, S. N. A contrast between DEMATEL-ANP e ANP methods for six sigma project selection: a case study in healthcare industry. *Medical Informatics & Decision Making*, v.15, 2015.

PADHY, R. K.; SAHU, S. A real option based Six Sigma project evaluation and selection model. *International Journal of Project Management*, v.29, p.1091-1102, 2011.

PARAST, M. M. The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance. *International Journal of Project Management*, v.29, p.45-55, 2011.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. Fuzzy systems engineering. In: *Toward Human-Centric Computing*, John Wiley & Sons, New Jersey: 2007.

RATHI, R.; KHANDUJA D.; SHARMA S. K. Six Sigma project selection using Fuzzy TOPSIS decision making approach. *Management Science Letters*, v.5, p.447-456, 2015.

SAGHAEI, A.; DIDEHKHANI, H. Application of Analytic Network Process in Selection of Six-Sigma Projects. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, v.20, n.4, p.157-164, 2010.

SAGHAEI, A.; DIDEHKHANI, H. Developing an integrated model for the evaluation and selection of six sigma projects based on ANFIS and fuzzy goal programming. *Expert Systems with Applications An International Journal*, v.38, p.721-728, 2011.

VINODH, S.; SWARNAKAR, V. Lean Six Sigma project selection using hybrid approach based on fuzzy DEMATEL-ANP-TOPSIS. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.6, p.313-338, 2015.

WANG, F.; HSU, C.; TZENG, G. Applying a Hybrid MCDM Model for a Six Sigma Project Selection. *Mathematical Problems in Engineering*, v.2014, p.1-13, 2014.

YANG, T.; HSIEH, C. Six-Sigma Project selection using national quality award criteria and Delphi fuzzy multiple criteria decision-making method. *Expert Systems with Applications*, v.36, p.7594-7603, 2009.

**ABSTRACT:** The Six Sigma methodology is one of the most efficient strategic approaches to achieving high performance levels and organizational excellence. Its implementation can be made based on statistical tools and projects led by a team. In the academic literature, different techniques of multicriteria decision making and computational intelligence have been used to support the Six Sigma project selection. This study proposes a new model based on fuzzy inference systems to support the

Six Sigma project selection, that considers a set of criteria related to the project return potential, impact on the operations performance and implementation feasibility. Four inference systems were developed using the toolbox fuzzy tool MATLAB® software. An application to an illustrative case to support the selection of Six Sigma projects was made in an electronic circuit company. The results model suggests that a project aiming improvement of product and material inspection systems should be implemented. When compared with other models of the literature, the model proposed provides several advantages of use.

**KEYWORDS:** Six Sigma project selection; fuzzy inference; multicriteria decision making

## **CAPÍTULO IX**

### **AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SOFTWARE DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

---

**Matheus Lani Regattieri Arrais  
Milton Etharl Junior  
Dalessandro Soares Vianna**

## AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE SOFTWARE DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

**Matheus Lani Regattieri Arrais**

Universidade Cândido Mendes

Campos dos Goytacazes – RJ

**Milton Etharl Junior**

Universidade Cândido Mendes/Instituto Federal Fluminense

Campos dos Goytacazes – RJ

**Dalessandro Soares Vianna**

Universidade Cândido Mendes/Universidade Federal Fluminense

Rio das Ostras – RJ

**RESUMO:** Este artigo tem o objetivo de identificar o melhor software de gestão de uma construtora de médio porte. A escolha de um software de gestão é uma tarefa crucial e complexa. É crucial, porque exerce grande influência em todo funcionamento da empresa. E é complexa por envolver múltiplas variáveis a serem analisadas. Esse tipo de problema requer o uso de métodos multicritérios que conjuguem as diversas variáveis para então se ter uma decisão final. Neste artigo foi aplicado o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para escolha do software de gestão da empresa de construção civil. O método foi operacionalizado através do software IPÊ com base em questionários para perfis de profissionais diferentes e com foco distinto para que analisassem cada critério segundo sua atuação. Os critérios utilizados foram: financeiro, negócio, software, tecnológico e fornecedor. As alternativas de softwares aferidas foram: SAP, TOTVS, Sienge e Mega. Os resultados mostraram grande competitividade entre os softwares Sienge e Mega, ao final software escolhido através do método foi o Sienge, onde os dados, julgamentos e preferências podem ser acompanhadas ao final deste trabalho.

**PALAVRAS-CHAVES:** construção civil, AHP, software, gestão.

### 1. INTRODUÇÃO

Os softwares de gestão empresarial, também são conhecidos como Enterprise Resources Planning (ERP), se caracterizam por apresentar um pacote com várias aplicações que interagem entre si para atender a todas as funções da empresa.

Segundo Vlachoupoulou (2006), os principais benefícios ofertados pelo software ERP, são a integração e gerenciamento de todas as áreas da empresa, possibilidade de acesso remoto, investimentos relativamente baixos, facilidade de implantação e utilização ampla nos departamentos da empresa.

Dado as razões e benefícios de se ter um ERP, é necessário garantir o retorno esperado e melhorar a eficiência nos processos, para isso, fica claro que as empresas precisam investir em ferramentas de gestão e controle. Pois, as

informações permitem controlar os resultados e na tomada de decisão diante de um cenário projetado como negativo.

A organização e disponibilidade das informações é fator determinante para gestão de resultados. Porém muitas empresas ainda insistem no modo de obter controles e sistemas estruturados, principalmente por conta do custo. Existem outras que buscam diariamente o apoio de consultoria e especialistas para desenvolver seus negócios. Uma dessas empresas de apoio ao desenvolvimento ao negócio são as empresas de tecnologia da informação, que buscam através de softwares de gestão empresarial agregar valores para que a empresa requerente possa gerir, estar preparada e enfrentar a concorrência mais rapidamente com resultados melhores. (Marçon, 2011).

Segundo Choudhury (2009), é muito difícil analisar os benefícios que um ERP oferece para a empresa sem definir qual será o software específico a ser implementado. Porém há características necessárias e fundamentais, que o ERP traz como benefício para a empresa, são eles: aprimoramento da flexibilidade, melhoramento da qualidade, economia de recursos, aprimoramento em tomada de decisões.

Na construção civil, um ERP pode ser utilizado para melhorar a capacidade de resposta em relação aos consumidores, fortalecer as parcerias nas cadeias de suprimentos, aumentar a flexibilidade organizacional, melhorar a tomada de decisão, reduzir o prazo de finalização do projeto e diminuir os custos.

No mercado de software atual, existem diferentes opções de ERP para o ramo da construção civil. Esses softwares podem ser de caráter proprietário (pago) ou livre (gratuito). Este trabalho almeja expor as opções de softwares disponíveis no mercado, que se enquadrem no perfil de uma construtora de médio porte situada no estado do Rio de Janeiro.

O presente artigo tem como objetivo é propor uma modelagem para seleção de softwares ERP usados na gestão de empresas do ramo da construção civil através de técnicas de auxílio multicritério à decisão.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. BIBLIOMETRIA**

Inicialmente, para desenvolver este trabalho, foi feita uma pesquisa na literatura para mapear e selecionar modelos multicritério para seleção de softwares de gestão. Esta pesquisa foi realizada nas bases Google Acadêmico e SCOPUS, acessadas por meio do portal de periódicos da CAPES. Tais periódicos são amplamente utilizados por acadêmicos, pesquisadores e profissionais para disseminar novos conhecimentos e conceitos, o que auxilia para melhor aprofundamento dos itens correlacionados ao tema do trabalho.

As palavras-chave inicialmente utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa foram: “construction industry”, “criteria for software selection”. Os registros

encontrados foram 8 artigos na Google Acadêmico; 12 artigos e 2 dissertações nos periódicos da CAPES, tendo sido selecionados alguns artigos que fizeram uma excelente bibliometria, porem apenas um com o foco no ramo da construção civil.

Na base científica Science Direct ainda foi utilizado como termo de pesquisa na base “selection criteria software”, “AHP method” e “construction industry”, onde foram encontrados 872 artigos. Foi encontrado artigos para seleção de software com abordagem Fuzzy e TOPSIS, mas grande parte do material encontrado foi com base na técnica de análise hierárquica.

Segundo Santos et al. (2011), a produção de artigos relacionados à ERP no ramo da construção civil ainda é pequena. Essa conclusão foi embasada em um estudo feito para identificar como o setor de construção civil tem abordado a utilização de ERP, na base Science Direct. O resultado deste estudo foi utilizado com a sigla ERP, na busca bibliográfica, entre janeiro de 2000 a março de 2011, retorno 25 artigos publicados, sendo que a maioria destes discute a implantação de ERP ou tecnologia de informação e comunicação.

A seleção de um software com potencial poder de gestão pode impactar a empresa em diferentes áreas, tanto para lado positivo ou negativo. Um sistema de gestão é indiscutivelmente o software mais complexo para aplicar uma seleção, pois afeta diretamente o orçamento e o dia-a-dia dos colaboradores. Os elevados riscos de aquisição são óbvios, uma decisão equivocada pode afetar toda a organização, por isso é importante estabelecer requisitos, critérios e/ou categorias primordiais para a escolha.

O foco para esse trabalho é uma construtora de médio porte, é importante ressaltar que existe diferença significativa quando comparado a uma empresa de grande e pequeno porte.

Através da Figura 1 é possível identificar os principais critérios para tomada de decisão que são avaliados na escolha de um software de gestão para qualquer empresa, esses critérios serão levados em consideração dentro do escopo de escolha do tema deste trabalho.

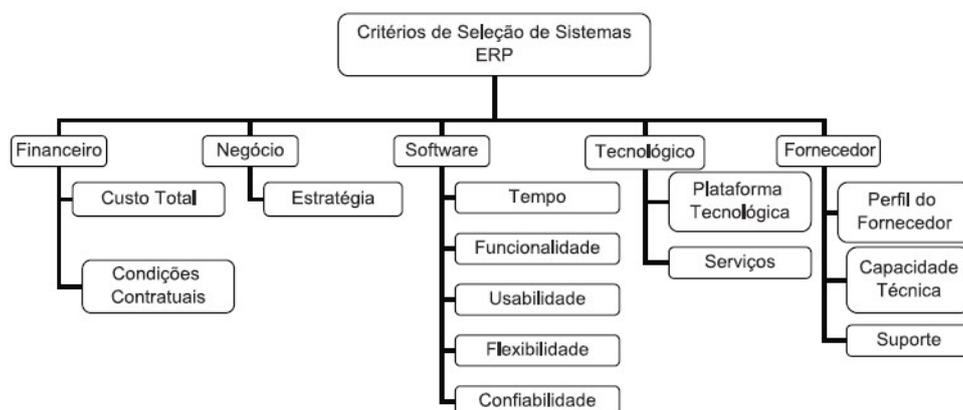


Figura 1. Árvore de critérios e subcritérios para seleção de sistemas. Fonte: MEXAS et al. (2013)

Segundo Mexas et al. (2013), os principais critérios apurados em sua pesquisa foram:

- a) **Financeiro** – onde são levados em consideração o custo total para aquisição do software.
- b) **Negócio** – os principais pontos a serem observados nesse critério é o alinhamento de nível estratégico e tecnológico, bem como a política de produção da empresa.
- c) **Software** – onde tempo de implementação, treinamento e produção são pontos de atenção para escolha do software. Outras características como funcionalidade, usabilidade, flexibilidade confiabilidade são importantes estarem destacadas para o analista saber julgar qual é o melhor software de gestão cada aspecto.
- d) **Tecnológico** - esse é um critério mais técnico do ponto de vista da tecnologia da informação. Diz respeito a plataforma tecnológica que o software foi desenvolvido, bem como, a integração com outros ambientes e lançamentos de novas versões do produto.
- e) **Fornecedor** – esse critério é fundamental para enxergar a capacidade técnica, perfil e o suporte do fornecedor. Evidentemente esses itens estão diretamente conectados com as referências que o fornecedor perante o mercado, disponibilidade de recursos e experiência, serviço de suporte, tempo de atendimento e relacionamento entre cliente e fornecedor, respectivamente.

## 2.2. Método de Análise Hierárquica (AHP)

O método a ser utilizado é conhecido como análise de hierarquia (AHP), proposto por Saaty (1991), método esse mais amplamente utilizado e conhecido para o apoio à tomada de decisão na resolução de problemas com diferentes conflitos e multicritérios.

Este método é baseado no método newtoniano e cartesiano de pensamento, que trata a complexidade do problema em forma de decomposição e divisão em fatores, que ainda, os mesmos podem ser novamente decompostos em novos fatores até níveis mais baixos, estabelecendo uma relação de sintetização da compreensão do problema.

Segundo Costa (2002, p. 16-17), este método baseia-se em três etapas:

- I. **Construção de hierarquia:** o problema é estruturado em níveis hierárquicos, sendo que o primeiro nível é o objetivo geral do problema, o segundo nível corresponde aos critérios e o terceiro nível as alternativas, podendo estes dois últimos haver subdivisão. Na Figura 2, é possível ter uma visão de como isso facilita uma melhor compreensão e avaliação do problema estudado.

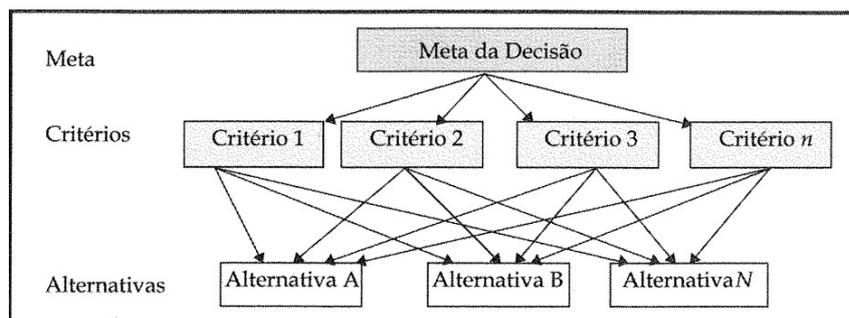


Figura 2. Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão. Fonte: Saaty (1991)

- II. **Definição de prioridades:** Após concluída a etapa anterior do problema, são iniciadas as seguintes etapas:
- Julgamentos paritários- julgar os elementos de um nível da hierarquia à luz de cada elemento em relação ao nível superior, gerando matrizes de julgamento.
  - Normalização das matrizes de julgamento: com base nas matrizes anterior, através da soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento e posterior divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna, obtém-se a conclusão dessa etapa.
  - Cálculo das prioridades médias locais – médias das linhas dos quadros normalizados.
  - Cálculo das prioridades globais – identificação de um vetor de prioridades global para armazenar a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal.

Os critérios avaliados são comparados a uma escala de julgamentos, descrita na Figura 3, que referência as importâncias relativas de cada critério (pesos).

INTENSIDADE	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Importância igual	Duas atividades <sup>4</sup> contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação a outra é do mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso.
Recíprocos	Se a atividade <i>i</i> tem uma das intensidades de importância ou de preferência de 1 a 9 quando comparada com a atividade <i>j</i> , então <i>j</i> tem o valor recíproco quando comparado com <i>i</i> .	

Figura 3. Escala de julgamento de importância do AHP. Fonte: Saaty (1990,1991)

- III. **Consistência lógica:** necessário fazer o cálculo da razão de consistência, segundo SAATY (2000), que consiste em  $RC=IC/IR$ , onde IR é o Índice de Consistência Randômico, IC é dado por  $(\lambda_{max}-n) / (n-1)$ , onde  $\lambda_{max}$  é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo o autor, a condição de consistência dos julgamentos é  $RC \leq 0,10$ .

### 3. METODOLOGIA

No mercado de software existem vários softwares para gestão de construtoras. Contudo, os softwares que foram analisados ficaram restritos as seguintes empresas: Sienge, Totvs, Mega e SAP. Essas empresas foram escolhidas por se destacarem no cenário nacional, serem fortes concorrentes entre si, por serem empresas maduras e que já possuem produtos de outros segmentos.

#### 3.1 Critérios e Estrutura Hierárquica

Com base no item 2.2, o foco ou objetivo principal para o método é escolher o melhor software gestão para uma construtora à luz de critérios e julgamentos. Para isso, uma vez que os critérios já foram estabelecidos é necessário dar pesos aos mesmos para seguir com o processo do método AHP.

No critério Financeiro, que inclui o custo total da implementação do software, será com um foco de minimizar, isto é, quanto menor for o custo, melhor. Nos critérios Negócio, Software, Tecnológico e Fornecedor o foco é maximizar, ou seja, quanto maior o valor do julgamento, a alternativa se torna melhor em relação aos concorrentes.

Na Tabela 1, possui uma etapa importante, pois determina as diferenças de pesos entre os critérios. Ou seja, quanto que cada critério é visto em relação a outro. É importante ressaltar que os pesos estão obedecendo a escala de Saaty (1991), e que os mesmos foram estabelecidos por analistas, engenheiros e colaboradores operacionais de empresas do ramo da construção civil.

Tabela 1. Tabela de peso para os critérios

Critério	Peso
Financeiro	8
Negócio	5
Software	6
Tecnológico	4
Fornecedor	5

O item 2.1 é base para escolha de critérios, através dele foi possível estruturar de forma hierárquica o problema, para que se pudesse aplicar o método AHP. Na Figura 4 segue a estruturação do modelo hierárquico para o problema proposto.

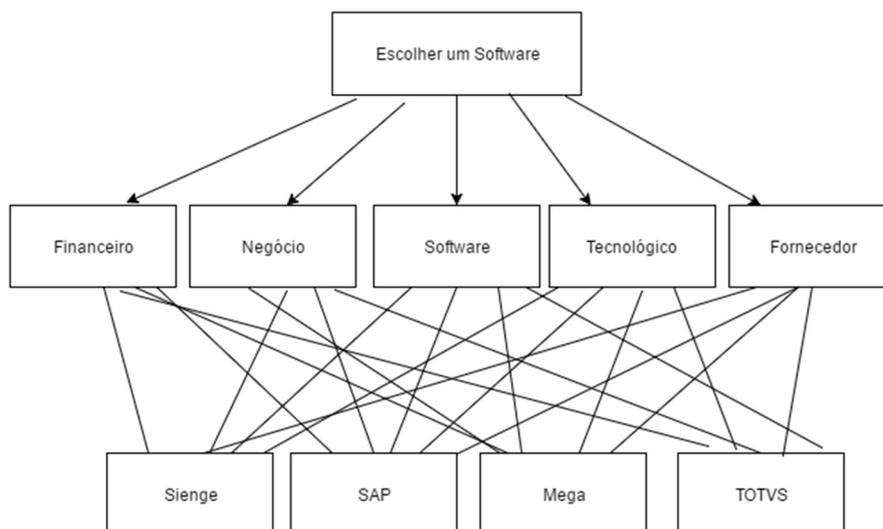


Figura 4. Estrutura hierárquica do problema de escolha de software para gestão de uma construtora

### 3.2. Avaliações e opiniões

Como explicado no item 2.2, a segunda etapa do método AHP consiste em definir prioridades, com base em julgamentos feitos por especialistas. Nesta etapa foram feitos questionários onde engenheiros, gestores, diretores, profissionais de tecnologia da informação e colaboradores operacionais responderam. Foi possível comparar as alternativas de softwares indicadas para cada critério estabelecidos atribuindo um valor numérico de acordo com a Escala de Likert, que mede a opinião do respondente mediante a alternativa elencadas segundo à um nível de concordância com o preceito apresentado.

Para este estudo, foi utilizada uma survey (investigações que envolve coleta de informações utilizando questionários), eletrônica gerenciada pela plataforma SurveyMonkey, essa plataforma foi escolhida pois é gratuita e permite customização das perguntas e respostas.

O critério Financeiro não foi feito um questionário específico, pois, foi realizado uma pesquisa nos sites das empresas fornecedoras dos softwares que disponibilizam as informações de custos com contato direto ao fabricante.

Os critérios que foram mensurados através dessas pesquisas foram: Negócio, Software, Tecnológico e Fornecedor. Onde nas colunas temos as alternativas para avaliação utilizando a escala de Likert com a segunda gradação: 1- Muito Forte, 2- Forte, 3-Regular, 4-Fraco, 5-Muito Fraco e NS como abstenção. Nas linhas temos as opções de software de gestão na construção civil mais atuantes e concorrentes entre si do mercado, são eles: Sienge, Mega, TOTVS e SAP.

Esses questionários estão disponibilizados nos links <https://pt.surveymonkey.com/r/LJMHGQQ>, <https://pt.surveymonkey.com/r/S6PQ5X6>, <https://pt.surveymonkey.com/r/SPN32SK>, que são questionário para os perfis de Negócio, focado para gestores e diretores, no segundo tem foco tecnológico onde foi lançado para profissionais de TI nas construtoras e por último, questionário com foco

no operacional para profissionais da construção civil, como engenheiros e técnicos, respectivamente. Os questionários foram enviados por email para respondentes com os perfis citados acima. Foram enviados para 23 profissionais do ramo da construção civil. Cerca de 13 respostas foram contabilizadas entre os períodos de 23 de junho a 8 de julho de 2016.

Para a análise de dados e cálculos dos julgamentos com base nas opiniões dos especialistas, foi utilizado o software IPÊ, que de forma fácil e intuitiva nos permite cadastrar os critérios e alternativas. Em segunda etapa, nos permite fazer os julgamentos a luz dos critérios e a importância dos critérios à luz do foco principal do problema. Por último, nos mostra a razão de consistência e a escolha da melhor alternativa utilizando porcentagem de decisão, onde toda a parte de julgamentos de critérios e das alternativas são baseada na Escala de Saaty. COSTA (2004).

Como no questionário foram definidas apenas 6 opções de respostas para julgamento de pesos, vale a análise a seguir para ser equivalente e proporcional a escala de Saaty (1991): muito forte equivale peso 9 ou 8, forte equivale peso 8 ou 7, regular equivale peso 7 até 5, fraco equivale peso 5 até 3 e muito fraco equivale peso 3 até 1.

#### 4. RESULTADOS

A Tabela 2 representa a matriz de critérios baseados nos pesos dados da Tabela 2. Dela concluímos que: o critério Financeiro é dominante em relação aos outros, o critério Software perde apenas para o critério Financeiro, o critério Negócio é superior ao critério Tecnológico e que este por sua vez é dominado por todos os outros critérios. O utilizando o software IPE foi calculado que a razão de consistência (RC) desses julgamentos é de 0,08, o que é interessante pois é abaixo do valor máximo que é de 0,1 tolerado assim pelo método AHP. SAATY (1991)

Tabela 2. Matriz de critérios

1	7	6	8	7	RC = 0,08
1/7	1	1/3	3	1	
1/6	3	1	6	5	
1/8	1/3	1/6	1	1/3	
1/7	1	1/5	3	1	

Onde a coluna e linha 1, diz respeito ao critério Financeiro, seguindo temos a coluna e linha 2 que diz respeito ao critério Negócio, depois a coluna e linha 3, diz respeito ao critério Software, próxima coluna e linha diz respeito ao critério Tecnológico e última coluna e linha, diz respeito ao critério Fornecedor

De acordo com os julgamentos feitos, os critérios para escolha de software de gestão para uma construtora de médio porte apresentam a seguinte ordem de importância: 1- Financeiro (57%), 2-Software (22,3%), 3-Negócio (8,6%), 4-Fornecedor (8,2) e 5-Tecnológico (4%).

Na Tabela 3 foi criada a partir da visão de especialistas com julgamentos para cada critério e software em análise. A opinião foi colhida através dos três

questionários, pesquisas e contato direto com o fabricante, conforme descrito no item 3.2.

Tabela 3. Tabela de Pagamentos

Empresa	Financeiro	Negócio	Software	Tecnológico	Fornecedor
Sienge	50.000	7	8	7	5
SAP	550.000	7	6	7	5
TOTVS	300.000	5	5	7	5
Mega	35.000	5	7	5	3

#### 4.1 Matrizes de comparação dos Pares a luz de cada critério

A seguir na Tabela 4 é demonstrado para cada critério sua respectiva matriz de comparação a luz de cada critério.

Tabela 4. Tabela de comparação de critérios

	Sienge	SAP	TOTVS	Mega	RC
<b>Financeiro</b>					<b>0,097</b>
Sienge	1	8	7	1/2	
SAP	1/8	1	1/4	1/9	
TOTVS	1/7	4	1	1/8	
Mega	2	9	8	1	
<b>Negócio</b>					<b>0,0</b>
Sienge	1	1	5	5	
SAP	1	1	5	5	
TOTVS	1/5	1/5	1	1	
Mega	1/5	1/5	1	1	
<b>Software</b>					<b>0,052</b>
Sienge	1	5	7	3	
SAP	1/5	1	3	1/3	
TOTVS	1/7	1/3	1	1/7	
Mega	1/3	3	7	1	
<b>Tecnológico</b>					<b>0,0</b>
Sienge	1	1	1	5	
SAP	1	1	1	5	
TOTVS	1	1	1	5	
Mega	1/5	1/5	1/5	1	
<b>Fornecedor</b>					<b>0,0</b>
Sienge	1	1	1	5	
SAP	1	1	1	5	
TOTVS	1	1	1	5	
Mega	1/5	1/5	1/5	1	

#### 4.2. Preferência entre software a luz de cada critério

Na Tabela 5, segue as preferências a luz de cada critério. Todos os valores

estão em porcentagem (%).

Tabela 5. Prioridades médias locais à luz de cada critério

	Sienge	SAP	TOTVS	Mega
Financeiro	34,7	4,1	9	<b>52,2</b>
Negócio	41,7	<b>41,7</b>	8,3	8,3
Software	<b>54,8</b>	11,7	5,2	28,3
Tecnológico	<b>31,3</b>	<b>31,3</b>	<b>31,3</b>	6,1
Fornecedor	<b>31,3</b>	<b>31,3</b>	<b>31,3</b>	6,1

Os valores destacados representam as prioridades médias locais (PML), ou seja, para o critério Financeiro, o software Mega é que obteve maior preferência entre os softwares analisados. No critério Negócio, o software SAP e Sienge empataram. No critério Software, o Sienge é que teve maior preferência. Nos critérios Tecnológico e Fornecedor, os softwares Sienge, SAP e TOTVS empataram na preferência nos softwares analisados.

#### 4.3 Resultado final

Com os resultados dos itens anteriores já calculados e demonstrados, o software IPÊ, nos fornece um resultado final com base nos julgamentos, razão de consistência e preferência referente a cada critério. No Gráfico 1 é possível verificar esses valores em porcentagem.

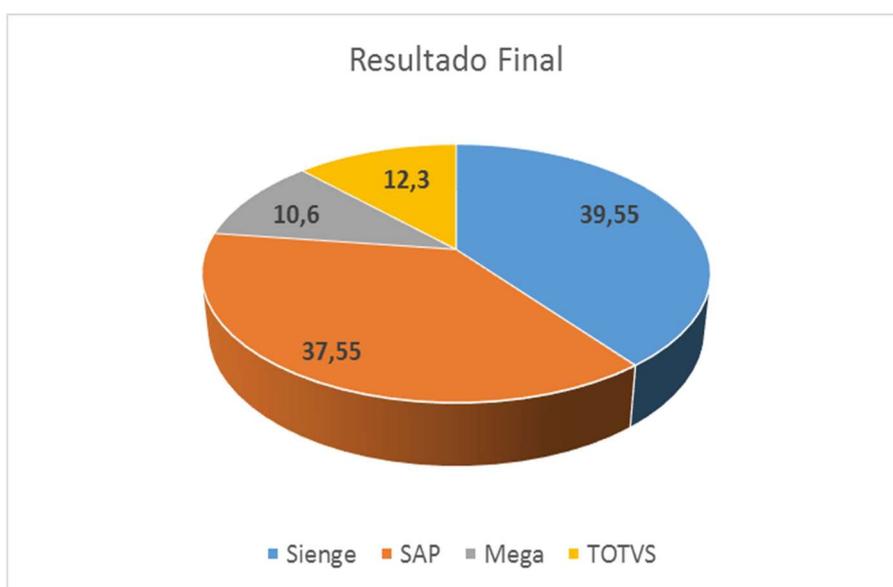


Gráfico 1. Conclusão de escolha de software

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi apresentado, em termos de critérios, alternativas,

cálculos, julgamentos e preferências podemos verificar a grande flexibilidade e versatilidade que o método AHP possui.

De acordo com Tabela 5 e o Gráfico 1, podemos então afirmar que neste trabalho com base nas respostas dos questionários, o melhor software para gestão de uma construtora de médio porte é o Software Sienge.

## REFERÊNCIAS

CHOU DHURY, I. Enterprise resource planning: A study of user satisfaction with reference to construction industry. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION CONFERENCE, Austin, USA, 2009.

COSTA, H. G. Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. Niteroi, 2002.

COSTA, H.G. IPÊ 1.0: Guia do Usuário. Universidade Federal Fluminense, 2004.

MEXAS, M.; COSTA, H.; QUELHAS, O. Evaluation of the importance of criteria for the selection of Integrated Management Systems for use in civil construction companies. *Gestão Produção*, São Carlos, v.20, n.2, p. 337-356, 2013.

MARÇON, E. A busca pelo melhor ERP: Dez passos para escolher sistemas de ERP para empresas de médio porte da construção. 2011. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/118/a-busca-pelo-melhor-erp-282507-1.aspx>>. Acesso em: 28 jun 2016.

SAATY, T.L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, North Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Makron Books do Brasil, 1991.

SAATY, T. L. Decision making for leaders. Pittsburg, USA, Publications, 2000.

SANTOS, L. M. et al. Levantamento na literatura recente considerando a utilização dos sistemas ERP em empresas do setor de construção civil. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2011.

VLACHOPOULOU, M.; MANTHOU, V. Enterprise Resource Planning (ERP) in a construction company. *International Journal of Business Information Systems*, v.1, n. 3, p. 339-351, 2006.

## **CAPÍTULO X**

### **BALANCEAMENTO DE LINHA DE MONTAGEM COM USO DE PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR INTEIRA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA CALÇADISTA**

---

**Rafhael Souza e Silva  
Francisco Jocivan Carneiro Costa Júnior  
Anselmo Ramalho Pitombeira Neto**

# BALANCEAMENTO DE LINHA DE MONTAGEM COM USO DE PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR INTEIRA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA CALÇADISTA

**Rafhael Souza e Silva**

Universidade Federal do Ceará

Fortaleza – Ceará

**Francisco Jocivan Carneiro Costa Júnior**

Universidade Federal do Ceará

Fortaleza – Ceará

**Anselmo Ramalho Pitombeira Neto**

Universidade Federal do Ceará

Fortaleza – Ceará

**RESUMO:** Este trabalho tem como finalidade apresentar o desenvolvimento e aplicação de um modelo matemático, tendo como base a programação não linear inteira, para auxiliar o balanceamento em uma linha de montagem. São levados em consideração os tempos das operações, as taxas de produção e o espaço disponível para a alocação de operadores e equipamentos. O modelo busca a minimização do tempo de ciclo da linha, por meio da determinação do número de operadores em cada operação e da taxa de produção adequada. Para a implementação do modelo foi utilizado o software Microsoft Excel, por meio da ferramenta solver. O estudo de caso foi realizado em uma empresa especializada na produção de calçados. Após o cálculo do balanceamento ótimo, os resultados obtidos foram utilizados como base para o projeto de um novo arranjo físico. Os resultados mostraram que ocorreu uma diminuição considerável do tempo ciclo, uma diminuição da ociosidade da linha e um maior aproveitamento do espaço disponível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Balanceamento da linha de montagem. Otimização. Projeto de arranjo físico.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela melhoria contínua faz parte da cultura das empresas líderes nos dias atuais. Este princípio surgiu através da criação do kaizen, por meio do sistema Toyota de produção. Com este interesse a indústria calçadista tem buscado o aperfeiçoamento dos seus processos produtivos, para o aumento da eficiência produtiva.

O processo de produção de calçados é organizado em linhas de montagem, nas quais esteiras movimentam os produtos a uma taxa constante. Em torno das esteiras há montadores que realizam uma sequência de operações até a finalização dos produtos. Este trabalho foi motivado pelo seguinte problema: como balancear a linha de montagem com o melhor aproveitamento da mão de obra e gerando o menor tempo de ciclo possível, levando em consideração os limites de espaços de uma esteira de montagem?

Para obter o balanceamento ótimo, foi desenvolvido um modelo de programação não linear inteira. O modelo foi implementado na planilha eletrônica Microsoft Excel, e resolvido por meio da ferramenta Solver. O estudo de caso foi realizado em uma empresa calçadista de grande porte. Foram coletados dados referentes à linha de montagem, como por exemplo: quantidade de operações e seus respectivos padrões de cronoanálise, as relações de precedências de cada operação, os postos de trabalho de cada operação, suas respectivas metragens e tempo ciclo. Com base no balanceamento ótimo obtido pelo modelo, foi proposto um novo layout para a linha de montagem.

Este artigo está dividido nas seguintes seções: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica utilizada no desenvolvimento do estudo assim como trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve o estudo de caso e os resultados obtidos; por fim, a Seção 4 relata as conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM**

Slack, Chambers e Johnston (2002) definem arranjo físico como a manifestação de um tipo de processo, onde o foco principal é com o posicionamento físico dos recursos de transformação. Projetar um arranjo físico consiste em decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção, e determinar a maneira segundo a qual os recursos transformados fluem pela operação. Para Gonçalves Filho (2005), os tipos de arranjo físicos mais frequentes são classificados em: arranjo físico posicional, arranjo físico por produto, arranjo físico celular e arranjo físico por processo.

Becker e Scholl (2006) definem de forma detalhada linha de montagem como um conjunto de estações distribuídas de forma sequenciada e conectadas por um dispositivo de movimentação de materiais. Os elementos a serem processados são então alimentados na primeira estação. Eles passam para as estações seguintes em intervalos de tempo determinados, chamados de tempo de ciclo, até atingir o último posto de trabalho. De acordo com Simaria (2001), uma linha de montagem é um conjunto de postos de trabalho dispostos sequencialmente e interligados por um sistema de transporte de materiais. Em cada posto de trabalho é executado um conjunto de tarefas (ou operações) pré-especificadas num processo de montagem.

Gaither e Frazier (2002) definem balanceamento de linhas como a análise de linhas de produção que divide igualmente o trabalho a ser feito entre estações de trabalho, a fim de que o número de estações de trabalhos necessário na linha de produção seja minimizado. Para Farnes e Pereira (2007), balancear uma linha significa atribuir tarefas às estações de trabalho, para otimizar uma medida de desempenho. Usualmente, a medida de desempenho relaciona-se ou com o número de estações, minimizando os custos de produção, ou com o tempo de ciclo,

maximizando a taxa de produção por eliminar tempos ociosos nas estações.

Segundo Alvarez e Antunes Jr. (2001), o takt time é o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível considerado de demanda, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula, enquanto o tempo de ciclo corresponde ao intervalo de tempo entre as ocorrências consecutivas de um mesmo evento. O tempo de ciclo de uma linha de produção é definido então como o intervalo de tempo entre o término da montagem de produtos consecutivos. Portanto, para uma linha de produção atender à demanda prevista, deve ter seu tempo de ciclo menor ou igual ao takt time.

## 2.2 APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE OTIMIZAÇÃO

Os modelos de otimização para balanceamento de linhas de montagem são em geral baseados em programação inteira e resolvidos por meio de um algoritmo do tipo branch-and-bound implementados em solvers (Battaia; Dolgui, 2013). No caso do Solver incluído no Microsoft Excel, os modelos lineares são resolvidos por meio do método simplex, enquanto modelos não lineares são resolvidos por meio do método gradiente reduzido generalizado (GRG), dentro da busca branch-and-bound (Ragsdale, 2009). Para Dantas et al. (2007), o algoritmo de gradiente reduzido generalizado pode tratar da solução de problemas de otimização não lineares nos quais a função objetivo podem ter não linearidades de qualquer forma, contanto que essa função seja diferenciável.

Fernandes et al. (2008) apresentam dois estudos de caso em que obtêm o balanceamento ótimo por meio da solução exata de modelos de programação inteira, obtendo uma redução de mais de 10% no número de estações de trabalho. Fontes et al. (2013) aplicam um modelo de programação linear inteira binária para o balanceamento de uma linha de montagem em uma fábrica de eletrodomésticos, conseguindo uma redução da ociosidade da linha de 34% para 17,8%. Já para Bueno et al. (2014) a aplicação do balanceamento de linha, a partir de dois métodos heurísticos diferentes e apoio de software de simulação computacional, resultou em um balanceamento com melhoria de 12,49% com relação à eficiência e de 54,39% quanto ao atraso de uma linha de montagem de automóveis de uma empresa do setor automotivo.

## 3. ESTUDO DE CASO

O estudo foi aplicado numa empresa, localizada no estado do Ceará, onde ela teve sua fundação no ano de 1971 e é uma das maiores produtoras mundiais de calçados. Totalmente integrada e com capacidade instalada em suas seis unidades industriais, compostas por 12 fábricas de calçados e, aproximadamente, 24.000 funcionários, com capacidade instalada total de 200 milhões de pares/ano. A empresa tem uma perspectiva de grande crescimento, necessitando de constantes

ações de melhorias relacionado à sua capacidade produtiva, portanto o presente estudo torna-se uma ferramenta de suma importância para o alcance deste crescimento.

### 3.1 DESCRIÇÃO ATUAL DO PROCESSO E COLETA DE DADOS

Para o estudo utilizou-se a linha de montagem de um modelo de sandália do tipo rasteira. Este tipo de sandália apresenta um alto volume no quadrimestre e tem uma estrutura de média complexidade, sendo satisfatório o seu uso como objeto de estudo.

As peças que compõem o produto são: cabedal, palmilha, soleta, enfeite "M", enfeite ABS e enfeite ASB inferior. O arranjo físico atual é considerado como arranjo físico por produto, onde os postos de trabalhos estão dispostos conforme a sequência de montagem do produto, levando em consideração as dependências de tarefas. Nesta linha de montagem o fluxo do material obedece a restrições de precedência. A definição das relações de precedência deve ser analisada de forma detalhada, pois esta relação será de suma importância para o projeto do arranjo físico. Estas relações estão apresentadas no Quadro 1.

Ao analisar a configuração atual, pode-se identificar as operações 70 e 100 como o gargalo da linha, pois o seu padrão cronoanálise define o padrão-hora do produto, sendo a capacidade produtiva destas operações iguais ao padrão-hora do modelo. A Figura 1 ilustra o layout atual da linha de montagem do produto em estudo. Através do setor de engenharia de processo da empresa coletaram-se informações sobre quais operações o modelo de sandália em estudo contém, a capacidade produtiva de cada operação, o aproveitamento da mão de obra para cada operação e as relações de precedências. Estes dados foram necessários para a montagem da base do modelo matemático e usado como comparativo para medição da melhoria alcançada.

Operação	Descrição	Precedências
10	Limpar área de colagem da palmilha + Área de colagem da soleta	
20	Limpar soleta na área de montagem com o cabedal	
30	Aplicar cola no cabedal - área de montagem da palmilha	10
40	Aplicar cola no cabedal - área de montagem da soleta	20
50	Aplicar 1° e 2° d'mão de cola na palmilha + Aplicar 1° d'mão de cola na soleta	
60	Montar palmilha no cabedal	30, 40 e 50
70	Embutir fôrma + Montar soleta + Prensar colagens Limpar área externa do cabedal	60
80	Limpar área externa do cabedal	70
90	Preparar cabedal com primer	80
100	Aplicar verniz no cabedal	90
110	Retirar gabarito e abastecer da esteira inferior + Montar enfeite "M" + Rebitar	100
120	Retirar enfeite de ABS inferior da embalagem + Encaixar enfeite no cabedal	110
130	Rebitar enfeite cabedal	120
140	Retirar enfeite de ABS inferior da embalagem + Encaixar enfeite no cabedal	130
150	Rebitar enfeite cabedal	140
160	Revisar rebitagem dos enfeites ABS + Enfeite "M"	150
170	Amassar papel bucha + Inserir papel bucha na sandália	160
180	Colocar papel filme na sandália	170
190	Revisar + Acondicionar	180

QUADRO 1 - Relações de precedência.



montagem com duas lonas tem uma extensão disponível de 30 metros, e quando usado duas lonas é contabilizado um espaço disponível de 60 metros. A seguir serão descritas algumas das variáveis e as restrições utilizadas com suas formulações matemáticas:

- $MO_n$  – Número real de operadores alocados para a operação  $n$ ;
- $MON_n$  – Número necessário de operadores para a operação  $n$ ;
- $PH_n$  – Padrão/hora estabelecido pela cronoanálise para a operação  $n$ ;
- $MP_n$  – Espaço utilizado pelo posto de trabalho em metros para a operação  $n$ ;
- $ME_n$  – Espaço utilizado por equipamentos em metros para a operação  $n$ ;
- $MS_n$  – Espaço necessário para secagem do componente em metros para a operação  $n$ .

No modelo existem restrições associadas à mão de obra, ao gargalo e ao espaço, onde função objetivo é minimizar o tempo ciclo da linha de montagem.

$$TC = (60/P) \times MO_{total}$$

Portanto, o modelo matemático pôde ser representado da seguinte forma:

$$\min TC = (60/P) \times MO_{real\ total}$$

Sujeito a:

$$MO_{10}; MO_{20}; \dots; MO \geq 1$$

$$MON_{total} \geq 85\% \times MO_{total}$$

$$[PH \times MO] - P \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^{20} (MP + ME + MS)_n \leq 60$$

$$MO_{10}; MO_{20}; \dots; MO \in Z$$

As restrições dispostas no Quadro 2 referem-se à utilização da estrutura. A linha de montagem limita-se a um espaço de 60 metros, portanto, o modelo define que a soma total dos espaços utilizados pelos postos, equipamentos e para a secagem dos componentes devem ser alocadas na estrutura disponível e devem ter um valor inferior a 60 metros para que a qualidade e a eficácia da produção sejam alcançadas.

Operação	Posto de trabalho	Metragem do posto	Equip.	Metragem do Equip.	Tempo de secagem (seg.)	Metragem do tempo de secagem
10	Bancada + Caixa plástica	2,40				0,0
20	Bancada + Caixa plástica	2,40				0,0
30	Bancada Frente	1,60				0,0
40	Bancada Frente	3,20				0,0
50	Coleiro	2,20	VN	1,00	180	5,85
60	Bancada Frente	1,60	Flash	1,00		0,0
70	Sorveteira a vácuo	4,40	Flash	2,00		0,0
80	Bancada Frente	1,60				0,0
90	Bancada Frente	1,60			60	1,15
100	Cabine de verniz	3,20	Flash	0,50	60	1,95
110	Rebitadeira	2,40				0,0
120	Bancada Frente	3,20				0,0
130	Rebitadeira	1,20				0,0
140	Bancada Frente	3,20				0,0
150	Rebitadeira	1,20				0,0
160	Bancada Frente	0,80				0,0
170	Bancada + Caixa plástica	2,40				0,0
180	Bancada Frente	1,60				0,0
190	Bancada + Caixa plástica	2,40				0,0
C.Q.	Bancada Frente	1,60				0,0
<b>Total</b>		<b>44,20</b>		<b>4,50</b>		<b>8,95</b>
<b>Restrição do espaço utilizado</b>						
Total do Posto		44,20				
Total do Equip.		4,50				
Total do tempo de sec.		8,95				
<b>Soma</b>		<b>57,65</b>	<b>≤ 60</b>			

QUADRO 2 – Exemplo da disposição da restrição do espaço.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO BALANCEAMENTO ÓTIMO

Para alcançar os resultados teve-se que fazer o preenchimento da planilha conforme especificações já estabelecidas e novas especificações que tem como objetivos melhorar a qualidade do produto, a ergonomia do operador e a simplificação do cálculo do balanceamento, dentre estas novas especificações tem-se a padronização de postos individuais, a padronização de postos frontais, quando não se utilizam máquinas e a inclusão de tempo de secagem nas operações de limpeza.

Foram cadastrados todos os postos de trabalho para cada operação, conforme necessidade, identificando o espaço utilizado por cada posto. Em seguida, incluíram-se os equipamentos de secagem, para isso foram identificados os equipamentos que variam de acordo com a quantidade de postos da operação e os que independem desta quantidade.

Posteriormente, foram inseridos os tempos de secagem para as operações de limpeza, aplicação de cola, preparação e pintura. Para as operações de limpeza é necessário um tempo de 60 segundos, para aplicação de cola 180 segundos, para a preparação 60 segundos e para a pintura 60 segundos. Na metragem utilizada para a secagem após a operação de preparação subtrai-se 0,80 m devido à posição da cabine da operação posterior, a operação de pintura, o espaço ocupado pela cabine ocupa o mesmo espaço utilizado para a secagem, portanto, é necessário fazer esta subtração.

Após todas estas informações serem inseridas na planilha foi utilizado a

ferramenta Solver, que através do algoritmo do gradiente reduzido generalizado gerou os seguintes resultados da mão de obra real, mão de obra necessária, padrão-hora, eficiência da mão de obra e o menor tempo ciclo possível, conforme resumo na Tabela 1.

TABELA 6 – Resumo dos resultados

Padrão (Pares/h)	Metragem utilizada (m)	Metragem disponível (m)	M.O. Necessária Total	M.O. Real Total	Eficiência	Tempo ciclo proposto (min.)
260	57,65	60	38,6	43	89,80%	9,92

Fonte: Autoria própria.

O cálculo do balanceamento ótimo proporcionou os resultados da quantidade de mão de obra para cada operação, podendo assim verificar a capacidade produtiva que cada operação poderá realizar. Percebeu-se que todas as operações satisfaziam o padrão-hora proposto de 260 pares.

No que diz respeito às restrições, é de salientar a informação sobre a distância a que, na solução ótima, está do limite desta restrição. Com relações aos padrões, a operação 10 é constituída por dois operadores cada um podendo produzir 167 pares/hora, ao todo a operação pode produzir 334 pares/hora. No entanto, a linha de montagem foi configurada para um padrão de produção de 260 pares/hora, conforme descrito anteriormente, o que dá uma folga de 74. Isso significa que esta restrição não está ativa. O mesmo não se pode dizer da restrição correspondente à operação 160, a qual apresenta uma folga de 0, ou seja, a capacidade produtiva da operação é igual ao padrão de produção da linha de montagem, sendo esta situação que caracteriza a operação como o gargalo da linha.

Da mesma forma que o cálculo do balanceamento proporcionou um ótimo resultado relacionado a restrições do gargalo, para a restrição da mão de obra obteve-se um aumento considerável no aproveitamento total da linha. Em um número considerável de postos o aproveitamento elevou-se e outros se mantiveram dentro de uma variação de  $\pm 1$ . Abaixo encontra-se um comparativo entre as situações.

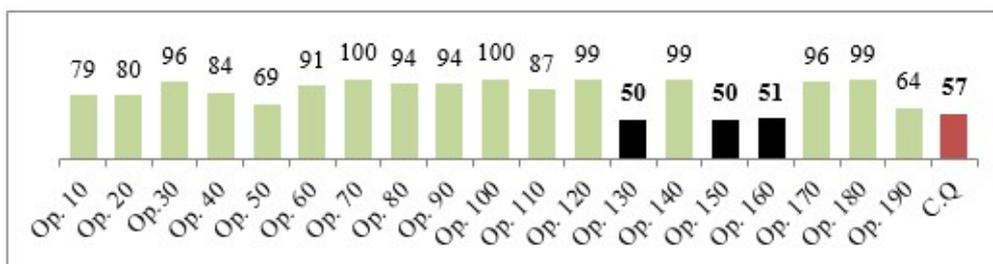


FIGURA 2 – Eficiência atual (%).

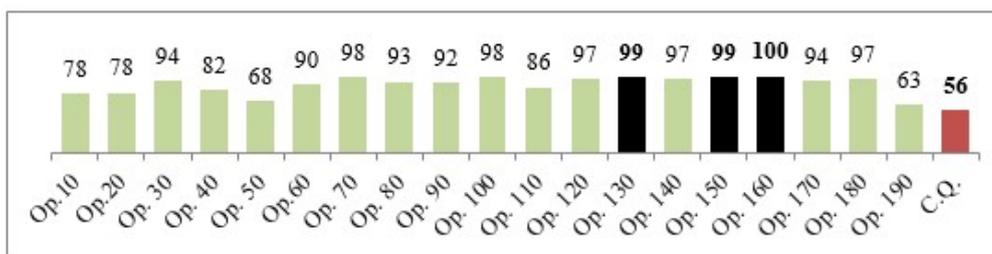


FIGURA 3 – Eficiência proposta (%).

Diante dos resultados, pode-se criar um plano para implantação desta estrutura no processo produtivo. As mudanças muitas vezes podem gerar desconforto nos colaboradores, portanto, o uso deste balanceamento será feito progressivamente.

### 3.4 PROJETO DO LAYOUT

O arranjo físico para o balanceamento ótimo é proposto nesta etapa. O desenho do arranjo físico atual, conforme figura 1, foi utilizado como base para o projeto proposto, para evitar grandes alterações estruturais e facilitar a sua aplicação e aceitação.

Foi necessária a realização de algumas adequações, no balanceamento ótimo, como por exemplo, a padronização dos postos de trabalhos individuais, diferenciando as dimensões que atualmente são usadas. Na figura 5, apresenta-se o layout proposto com as operações dispostas em uma nova ordem, conforme mudanças citadas anteriormente e levando em consideração os resultados da otimização do balanceamento.

### 3.5 RESULTADOS FINAIS DO ESTUDO DE CASO

Através do indicador de redução do tempo de ciclo, pode-se identificar a eficácia do uso da Programação Não Linear Inteira (PNLI) para o balanceamento da Linha de montagem. O tempo ciclo proposto de 9,92 teve redução de 5,04%, quando comparado ao tempo ciclo atual que é de 10,45.

Um dos fatores que influenciaram a minimização do tempo ciclo foi o aumento do padrão-hora do modelo, comparando-se o padrão-hora atual com o proposto pelo modelo pode-se perceber um aumento de 96,96%, comprovando o aumento da produtividade da linha em estudo. Pode-se, também, identificar a eficácia do uso da PNLi através do aumento do aproveitamento da mão de obra. Através do balanceamento ótimo obteve-se redução de 14,8% de ociosidade para 10,2%, obtendo-se um decréscimo em uma proporção de 31%.

A eficiência da mão de obra teve um aumento de 5%, pois a eficiência atual que é de 85,2% elevou-se para 89,8% no balanceamento proposto.

Outro ganho considerável foi a de utilização da linha, no balanceamento



da solução ótima referente ao balanceamento da linha. Através da programação não linear inteira obteve-se a minimização do tempo ciclo da linha em estudo. Conseqüentemente, o takt time e o dimensionamento da mão de obra necessária e real, para cada operação, puderam ser definidos.

Diante dos pressupostos e problema levantados, percebe-se que a programação não linear inteira se apresenta como uma eficiente ferramenta para o balanceamento da linha de montagem na empresa calçadista. O desenvolvimento do processo de construção do modelo de otimização nesta empresa levou a um resultado satisfatório, apresentando o menor tempo ciclo possível, bem como diminuindo a resistência dos colaboradores às mudanças quanto ao método de balanceamento, em virtude dos bons resultados que o mesmo pode proporcionar à empresa. Nota-se ainda que, o processo de construção do modelo, permitiu aos um melhor aproveitamento da estrutura (esteira) disponível para a produção do produto.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização deste modelo para calcular o balanceamento de outras linhas de montagem, e pesquisas acerca de processos para a implementação eficiente e eficaz do modelo proposto na realidade fabril, a metodologia usada atualmente permeia há vários anos e os conceitos da programação não linear devem ser incorporadas a cultura da empresa, facilitando a realização de trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES JR., José Antonio Valle. Takt Time: conceitos e contextualização dentro do sistema Toyota de produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1-18, abr. 2001.

BATTAÏA, Olga; DOLGUI, Alexandre. A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. **International Journal of Production Economics** v. 142, n. 2, p. 259–277, 2013.

BECKER, Christian; SCHOLL, Armin. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**. v.168, p.694-715, 2006.

BUENO, Cynthia Carneiro; JUNIOR, Muris Lage; BACHEGA, Stella Jacyszyn. Balanceamento de linha de montagem a partir de métodos heurísticos em uma empresa do setor automotivo. In: ENEGEP 2014. **Anais**, Curitiba, outubro, 2014.

DANTAS, Ozanival Dario; SILVA, Euzebio Medrado da; BARIONI, Luís Gustavo; OLIVEIRA, Marco Antônio Assfalk de; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. Comparação dos métodos GRG2 (Solver do Excel) e Downhill Simplex para a parametrização da função beta. In: XXXIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. A pesquisa operacional e o desenvolvimento sustentável. **Anais**,

Fortaleza, 28 a 31 de agosto de 2007.

FARNES, Vanessa Carolina Fernandes; PEREIRA, Néocles Alves. Balanceamento de linha de montagem com o uso de heurística e simulação: estudo de caso na linha branca. **Revista GEPROS**, ano 2, v. 2, p. 125-136, jan./abr. 2007.

FERNANDES, Flávio César Farias; GODINHO FILHO, Moacir; CUTIGI, Ricardo Augusto; GUIQUET, Aline Malerbo. O uso da programação inteira 0-1 para o balanceamento de linhas de montagem: modelagem, estudos de caso e avaliação. **Produção v.18**, n.2, p.210-22, 2008.

FONTES, Rafael Bezerra; DE SOUZA, Francisco Jerley Solon; DE CASTRO, Carlos Henrique Cunha; SIMPLICIO, Camilla Carvalho; PITOMBEIRA NETO, Anselmo Ramalho. Balanceamento de linha de produção por meio de programação inteira binária: Um estudo de caso em uma fábrica de eletrodomésticos. In: XX SIMPEP 2013. **Anais**, Bauru, 2013.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2002.

GONÇALVES FILHO, Eduardo Vila. **Arranjo físico**. Apostila. São Carlos, SP: Universidade de São Carlos, 2005.

RAGSDALE, Cliff T. **Modelagem e análise de decisão**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

SIMARIA, Ana Sofia de Almeida. **Uma metodologia para o balanceamento de linhas de montagem**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Gestão do Porto, Universidade do Porto, 2001.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

**ABSTRACT:** This work aims to present the development and application of a mathematical model, based on integer nonlinear programming, to assist in balancing an assembly line. We take into account the operation times, production rates and the space available for the allocation of operators and equipment. The model seeks to minimize the assembly line's cycle time, by determining the number of operators in each operation and the adequate production rate. To implement the model, we used Microsoft excel software by means of the solver tool. The case study was carried out in a company specializing in the production of footwear. After calculating the optimum balance, the results were used as a basis for the design of a new layout. The results showed that there was a considerable reduction of cycle time, a decrease in the line idleness and better use of available space.

**KEYWORDS:** Assembly line balancing. Optimization. Facility layout.

## **CAPÍTULO XI**

### **EFICIÊNCIA DOS HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS FEDERAIS NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS**

---

**Naja Brandão Santana  
Ana Elisa Périco  
Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**

# EFICIÊNCIA DOS HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS FEDERAIS NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

**Naja Brandão Santana**

Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências da Natureza  
Buri – São Paulo

**Ana Elisa Périco**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Economia  
Araraquara – São Paulo

**Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção  
São Carlos – São Paulo

**RESUMO:** Os Hospitais Universitários Federais (HUFs) se destacam no cenário da saúde pública nacional por serem centros de atendimento, principalmente, de alta e média complexidade e, também, por seu papel no ensino e na geração de conhecimento na área da saúde. A análise da eficiência destes hospitais na utilização de seus recursos se apresenta como uma importante ferramenta de auxílio na tomada de decisões gerenciais. Este tipo de estudo é ainda mais crucial nas regiões em que o atendimento à saúde da população é mais deficiente, como é o caso das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é analisar a eficiência dos HUFs dessas regiões, tanto na assistência à saúde da população, quanto na produção de ensino e pesquisa, utilizando-se a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA). Os resultados obtidos indicaram que as unidades mais eficientes apresentaram baixo volume de inputs em relação aos valores apresentados pelas unidades menos eficientes, demonstrando assim, a necessidade de uso mais eficiente de recursos por parte de alguns HUFs.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hospitais Universitários Federais; Análise envoltória de dados; Saúde; Eficiência

## 1. INTRODUÇÃO

A Constituição Federal, promulgada no ano de 1988, garante o acesso gratuito à saúde para todos como um dever do Estado e, a partir disso, o Sistema Único de Saúde (SUS) foi criado, regulado pela Lei n° 8.080 de 19 de setembro de 1990, que dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde pública, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes (BRASIL, 1990).

Nesse contexto, são observados os Hospitais Universitários Federais (HUFs), considerados centros de referência de média e alta complexidade para o SUS, com a finalidade de realizar atividades de ensino, pesquisa e extensão, além do atendimento ao público (BRASIL, 1990). Dentre as 59 Universidades Federais existentes no país, existem 50 HUFs, vinculados a 35 Universidades Federais

(EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES – EBSEH, 2016).

O processo de formação dos profissionais da área da saúde necessita da disponibilidade de um aparato tecnológico para realização dos internatos e residências, os HUFs se destacam como centro de formação de referência nesse contexto. Visto a importância dos HUFs para o processo de formação dos profissionais da área da saúde, vale questionar qual a eficiência desses hospitais não apenas em relação ao ensino e à pesquisa, mas também no atendimento ao público nas regiões Norte e Nordeste.

A região Norte possui 449 municípios, com 15.865.678 habitantes, composta pelos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins. A região Nordeste agrega 1.794 municípios, com 53.078.137 habitantes e é composta pelos Estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (IBGE, 2010).

Essas são as regiões mais desfavorecidas do país, também no que diz respeito ao acesso à saúde, uma vez que no Brasil a relação é de 1,8 médicos por 1.000 habitantes, a região Norte possui relação de apenas 0,92 médicos/1.000 habitantes e a região Nordeste 1,04/1.000 habitantes. É possível notar a discrepância ao comparar este índice com o da região sudeste, por exemplo, de 2,43 médicos/1.000 habitantes (CONSELHO REGIONAL DE MEDICINA DO ESTADO DE SÃO PAULO – CREMESP, 2010).

De acordo com a EBSEH (2016), essas regiões possuem um total de 21 HUFs, vinculados a 14 Universidades Federais. Considerando o cenário apresentado, verifica-se a importância do aumento de produtividade nos hospitais dessas regiões, com o intuito de melhorar a saúde pública. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), dos HUFs do Norte e do Nordeste do Brasil, no atendimento à população, em atividades de pesquisa e na formação de recursos humanos. Os resultados alcançados poderão ser úteis para indicar possíveis nichos de investimentos e práticas gerenciais de excelência, de forma a melhorar a qualidade de vida da população.

## **2. HOSPITAIS UNIVERSITÁRIOS BRASILEIROS E EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES (EBSEH)**

A saúde consiste como um direito social e o SUS é o principal sistema de saúde do país. De acordo com Barata, Mendes e Bittar (2010), esse sistema tem algumas finalidades que merecem destaque, que são elas: a) a formação de profissionais da área médica capazes de enfrentar os problemas de saúde prioritários da população brasileira, b) o desenvolvimento de pesquisa para auxiliar no atendimento adequado desses problemas e c) a garantia do acesso à população da integralidade da assistência médica. Nos pontos destacados anteriormente, os Hospitais de Ensino possuem papel fundamental para melhoria da saúde no país.

Hospitais Universitários (HU) são entidades de tratamento, principalmente de média e alta complexidade, cujos principais papéis consistem no desenvolvimento

da saúde da população por meio de atendimento médico de nível terciário e na geração de conhecimento de qualidade (OZCAN et al., 2010). De acordo com Médico (2001), um HU é entendido como um centro de atenção médica de média e alta complexidade que: a) tem importante papel no atendimento médico de nível terciário, b) apresenta forte envolvimento em atividades de ensino e pesquisa relacionada ao tipo de atendimento médico que dispensa, c) atrai alta concentração de recursos físicos, humanos e financeiros em saúde e d) exerce um papel político importante na comunidade que está inserido, dada sua escala, dimensionamento e custos.

O papel dos Hospitais de Ensino mudou ao longo do tempo, até a década de 80, esses hospitais tinham foco exclusivo de serem hospitais-escola, em que era oferecido atendimento de pessoas não credenciadas no Instituto Nacional de Medicina e Previdência Social (INAMPS). Após a criação do SUS, a missão dos Hospitais de Ensino sofreu modificações, passando a ter a finalidade de ensino e pesquisa, servindo, conjuntamente, como referência em assistência secundária e terciária para o SUS (PILOTTO, 2009).

HUFs são hospitais com relevante papel social, uma vez que promovem a qualidade na formação de profissionais da área médica e, também, a geração de conhecimento pela assistência qualificada e pelos seus Programas de Residência em Saúde, atuando, de forma significativa, na consolidação do SUS.

As Portarias Interministeriais dos Ministérios da Educação e da Saúde números 1.000, 1.005 e 1.006 (BRASIL, 2004a; BRASIL, 2004b; BRASIL, 2004c), estabeleceram a certificação dos hospitais de ensino e definiram tais instituições como aquelas que servem de “campo para a prática de atividades curriculares na área de saúde, sejam hospitais gerais ou especializados, de propriedade de Instituição de Ensino Superior, pública ou privada, ou ainda, formalmente conveniados com Instituição de Ensino Superior” (BRASIL, 2004a).

A certificação dos hospitais de ensino visa garantir a qualidade dos serviços prestados e tem como pilares o cumprimento de pré-requisitos referentes à assistência, ensino, pesquisa e integração ao SUS (LINS et al., 2007). Além disso, diante desta certificação, alterou-se o mecanismo de financiamento das unidades que contam com repasses federais, o qual agora é baseado em orçamentação fixa de acordo com o cumprimento de metas contratuais que abrangem tanto indicadores de produção assistencial, quanto de produção de ensino e pesquisa.

Até o ano de 2004, o Ministério da Saúde adotava um Sistema de Pagamento Prospectivo para pagar reembolsos adicionais para despesas indiretas de ensino com base em um percentual do total de procedimentos médicos em cada hospital. A mudança dos critérios de repasse de verbas visou, principalmente, o aumento dos valores recebidos pelos hospitais universitários, paralelamente ao aumento da qualidade dos serviços aprimorados pelo esforço gerencial. Os recursos para financiar os hospitais de ensino vêm do Ministério da Saúde e do Ministério da Educação e a distribuição entre as unidades é baseada no cumprimento das metas estabelecidas e da eficiência relativa de cada unidade (OZCAN et al., 2010).

Hospitais Universitários compreendem 10% do total de leitos no sistema

nacional de saúde, 26% dos leitos em Unidade de Tratamento Intensivo (UTI), atendendo a 12% do total de internações e realizando cerca de 40% dos procedimentos de alta complexidade realizados pelo SUS (OZCAN et al., 2010). Médici (2001) destaca que o fato de esses hospitais prestarem serviços básicos é considerado um desperdício de recursos públicos, uma vez que essas instituições possuem alto custo para seu funcionamento e manutenção. Assim, seria mais efetivo se os atendimentos de alta complexidade fossem priorizados. Nos últimos anos, Pilotto (2009) tem observado que, por conta da falta de financiamento do SUS, os HUFs ficaram sobrecarregados tendo em vista sua grande capacidade e qualidade. Desse modo, tem-se observado que o sistema de saúde pública tem passado por uma crise de financiamento e de dívida acumulada pelos hospitais, o que acarretou em “quadro de servidores insuficientes, fechamento de leitos e serviços, sucateamento, contratação de pessoal via fundação de apoio (terceirizados, quarterizados e estagiários) e a subutilização da capacidade instalada para alta complexidade” (PILOTTO, 2009, p.2).

Diante desse cenário, são necessárias mudanças estruturais no modelo de gestão dos HUFs, de modo que eles consigam, cada vez mais, exercer sua função de assistencialismo, ensino e pesquisa – que é o desafio do Programa Nacional de Reestruturação dos Hospitais Universitários Federais (REHUF) e da EBSEH.

O REHUF, criado em 2010 pelo Governo Federal, com o objetivo de criar condições materiais e institucionais para que os hospitais possam desempenhar plenamente suas funções em relação às dimensões de ensino, pesquisa e extensão e à dimensão da assistência à saúde. Visando dar continuidade a esse processo de recuperação dos HUFs, efetuou-se a criação da EBSEH como empresa pública vinculada ao Ministério da Educação, tendo como principais pilares de atuação a administração e a gestão hospitalar dos HUFs; o apoio ao ensino e à pesquisa no âmbito dos HUFs; e a prestação de serviços de atenção à saúde totalmente gratuitos a população pelo SUS (MESSINA; FILHO; LOPES, 2014).

Nesse contexto, é possível observar que as competências da EBSEH são voltadas para sanar os principais problemas de gestão dos hospitais universitários, tais como controle e prestação de contas e a contratação de funcionários. Além disso, apoiar a execução de planos de ensino e pesquisa, bem como a prestação de serviços médicos à comunidade e a coordenação do processo de certificação dos Hospitais de Ensino de forma articulada, também fazem parte das missões a serem cumpridas pela EBSEH (EBSEH 2016).

### **3. ANÁLISE DE EFICIÊNCIA NA ÁREA DE SAÚDE**

Grande parte dos problemas de gestão de hospitais apresenta relação com o gerenciamento de custos e com a produtividade de seus insumos. Diante disso, pode-se afirmar que a compreensão das ineficiências na utilização de recursos é crucial para o direcionamento das decisões gerenciais. De acordo com Chen et al. (2005), maior eficiência operacional nos hospitais é capaz de auxiliar o controle de

custos de serviços médicos e, conseqüentemente, proporcionar tratamentos mais acessíveis, facilitando o acesso ao público.

A DEA tem sido utilizada para avaliação de eficiência de unidades de saúde desde sua primeira publicação, em 1983, em estudo que comparou serviços de enfermagem nos Estados Unidos da América. A partir de então, as unidades mais frequentemente estudadas têm sido os hospitais (50%) (LOBO et al., 2011). Em relação ao conhecimento gerado por meio de estudos que consideram os hospitais, questões relacionadas à eficiência como financiamentos e modelos de gestão são as de maior destaque, pois são importantes apoios na tomada de decisão dos gestores de saúde nas suas diversas esferas.

Segundo Lobo (2010), as aplicações DEA têm sido bem recebidas na área de saúde, uma vez que: a) não exige a escolha prévia e o entendimento das distribuições de probabilidade, já que é um método não paramétrico; b) aceita vários inputs e outputs simultaneamente, permitindo estender a análise dos indicadores de saúde para razões mais complexas; c) se baseia nos melhores modelos a serem alcançados por meio das políticas de saúde; d) identifica os benchmarks e os caminhos para atingi-los.

No entanto, a autora identificou, também, algumas dificuldades de aplicação DEA na área de saúde, que diz respeito à exigência de modelagens e conhecimentos da realidade mais aprofundados e, também, da constante necessidade de interação entre analistas de pesquisa operacional e especialistas da área de saúde.

Pode-se comentar também que, alguns dos principais postulados, considerados como consenso entre pesquisadores, profissionais e os tomadores de decisões das políticas de saúde, são o de que existe uma pressão crescente para que os serviços de saúde tenham seus desempenhos aferidos e o de que a pesquisa operacional é útil para o desenvolvimento de metodologias que estudem formas equitativas de alocação de recursos e de avaliação de eficiência dos provedores em saúde (Smith, 1985).

#### **4. MÉTODO DA PESQUISA**

A delimitação espacial do presente estudo se refere aos HUFs da região Norte e Nordeste do Brasil que apresentaram os dados necessários para avaliação. Assim, apesar de as duas regiões juntas somarem 21 HUFs, foram analisados 17 deles, listados a seguir: a) Hospital Universitário Professor Alberto Antunes, b) Hospital Universitário Professor Edgard Santos, c) Maternidade Climério de Oliveira, d) Hospital Universitário Walter Cantídio, e) Maternidade Escola Assis Chateaubriand, f) Hospital Universitário Alcides Carneiro, g) Hospital Universitário de São Luís, h) Hospital Universitário Lauro Wanderley, i) Hospital das Clínicas de Recife, j) Hospital Universitário Ana Bezerra, k) Hospital Universitário Onofre Lopes, l) Maternidade Escola Januário Ciocco, m) Hospital de Pediatria Professor Heriberto Ferreira Bezerra, n) Hospital Universitário de Sergipe, o) Hospital Universitário Getúlio Vargas, p) Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza, q) Hospital Universitário João de Barros

Barreto.

No que diz respeito à delimitação temporal, foram analisados os 17 HUFs em cinco períodos (2009 à 2013), esse recorte temporal é justificado pela disponibilidade de dados.

Como o objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a eficiência dos HUFs do Norte e do Nordeste do Brasil no atendimento à população, em atividades de pesquisa e na formação de recursos humanos, as variáveis selecionadas buscaram retratar tais questões para que esse objetivo pudesse ser alcançado.

Diante deste contexto, considerou-se que os principais outputs gerados pelos HUFs, dentro do objetivo proposto para essa pesquisa, envolvem a produção assistencial, as atividades de pesquisa e, também, o alunado.

Por outro lado, para auxiliar a seleção das variáveis de input, elegeu-se como critério o conceito de fatores de produção, proposto pela microeconomia. Kates (2011) argumenta que os economistas clássicos classificam os fatores de produção segundo três categorias: mão de obra, matéria-prima e capital.

Como o objetivo do presente estudo aponta para duas diferentes vertentes, assistência e ensino/pesquisa, optou-se por estabelecer uma separação no que diz respeito à produção assistencial e à produção de pesquisa e ensino, desse modo, foram realizadas duas aplicações DEA.

A primeira delas se refere à realização de atendimento de excelência à saúde por meio do SUS, ou seja, a produção assistencial do hospital. As variáveis de input selecionadas para esta aplicação foram: número de docentes; força de trabalho; estrutura de ensino e pesquisa; estrutura assistencial (nº de leitos ativos); área construída total; despesa com materiais e despesa de capital. Já a variável de output utilizada foi: produção assistencial (quantidade de Autorização de Internação Hospitalar – AIH).

A segunda aplicação faz referência à formação adequada dos profissionais que o país necessita e à geração de conhecimento de qualidade (produção de ensino e pesquisa). As variáveis de input selecionadas para esta aplicação foram as mesmas da primeira aplicação, no entanto, como variáveis de output têm-se as atividades de pesquisa (nº anual de dissertações de mestrado e teses de doutorado) e o alunado (soma do nº de alunos de residência médica e residência multiprofissional).

Os dados foram coletados no Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle (SIMEC), portal operacional e de gestão do Ministério da Educação, e foram organizados em painéis que contam com os 17 HUFs ao longo de cinco anos (de 2009 a 2013), gerando um total de 85 observações.

#### **4.1 DEFINIÇÃO DO MODELO DEA**

Para o presente trabalho foi escolhido o modelo BCC/VRS (Retorno Variável de Escala) pelo fato de ele considerar que o aumento ou a diminuição dos inputs não afeta de forma diretamente proporcional os outputs. Além disso, para o presente

estudo foi adotada a orientação para outputs, considerou-se que o aumento da eficiência deverá se dar pela maximização do output.

Para realizar o processamento DEA foi utilizado o software Frontier Analyst Professional e, para que cada unidade no tempo fosse considerada como uma unidade distinta, foi necessária a aplicação da análise de janela. Como o número de períodos analisados foi de cinco anos ( $k=5$ ), o cálculo de janela se apresenta a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Tamanho da janela (p)} &= (5 + 1) / 2 = 3 \\ \text{Quantidade de janelas} &= 5 - 3 + 1 = 3 \end{aligned}$$

Tem-se, a partir destes cálculos, que o ideal para a aplicação DEA seria três janelas, com amplitude de três períodos cada.

Como é comum obter, dentre os resultados da DEA, diversos empates entre as unidades analisadas, foi utilizado o método da Fronteira Invertida, com o intuito de diferenciar estas unidades empatadas (MEZA et al., 2002), que consiste em: I. Calcular os índices de eficiência dos inputs e outputs atuais; II. Inverter posição de inputs e outputs; III. Calcular novamente as eficiências; IV. Calcular o índice composto que relaciona as fronteiras clássica e invertida; V. Normalizar os índices compostos.

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os índices de eficiência dos HUFs, obtidos em cada uma das três janelas, permitiram o cálculo de um índice de eficiência média para cada uma das unidades analisadas, mantendo sempre a divisão pré-estabelecida das duas aplicações DEA (ensino/pesquisa e assistência).

### 5.1 APLICAÇÃO DE ENSINO E PESQUISA

Na aplicação em que foi investigada a eficiência dos HUFs em relação à produção de ensino e pesquisa, os índices de eficiência média obtidos estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Ranking de eficiência em ensino e pesquisa

Ranking de eficiência	HUF	UF	Eficiência média total
1°	H-Prof.HeribertoF.Bezerra	RN	0,76
2°	H-BettinaFerrodeSouza	PA	0,73
3°	H-Sergipe	SE	0,63
4°	M-ClimériodeOliveira	BA	0,62
5°	H-AnaBezerra	RN	0,61
6°	H-WalterCantídio	CE	0,53
7°	H-GetúlioVargas	AM	0,52

8°	H-Prof.EdgardSantos	BA	0,50
9°	H-ClínicasdeRecife	PE	0,49
10°	H-SãoLuis	MA	0,45
11°	H-JoãodeBarrosBarreto	PA	0,39
12°	H-LauroWanderley	PB	0,38
13°	H-AlcidesCarneiro	PB	0,35
14°	H-Prof.AlbertoAntunes	AL	0,35
15°	H-OnofreLopes	RN	0,33
16°	M-JanuárioCicco	RN	0,30
17°	M-EscolaAssisChateaubriand	CE	0,29

É possível observar, que Hospital de Pediatria Professor Heriberto Ferreira Bezerra (RN) apresentou a melhor eficiência média na produção de ensino e pesquisa, apontando um índice de 76%. Além disso, convém destacar que o menor índice apresentado neste ranking foi o da Maternidade Escola Assis Chateaubriand, apresentando um escore de 29%.

## 5.2 APLICAÇÃO DE ASSISTÊNCIA

Na aplicação em que foi investigada a eficiência dos HUFs em relação à produção assistencial, os índices de eficiência média obtidos estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Ranking de eficiência assistencial

Ranking de eficiência	HUF	UF	Eficiência média total
1°	H-AnaBezerra	RN	0,86
2°	H-Prof.HeribertoF.Bezerra	RN	0,82
3°	M-ClimériodeOliveira	BA	0,81
4°	H-BettinaFerrodeSouza	PA	0,70
5°	M-JanuárioCicco	RN	0,70
6°	M-EscolaAssisChateaubriand	CE	0,68
7°	H-Prof.AlbertoAntunes	AL	0,60
8°	H-Sergipe	SE	0,58
9°	H-AlcidesCarneiro	PB	0,50
10°	H-SãoLuis	MA	0,44
11°	H-GetúlioVargas	AM	0,43
12°	H-JoãodeBarrosBarreto	PA	0,38
13°	H-Prof.EdgardSantos	BA	0,36
14°	H-WalterCantídio	CE	0,36
15°	H-ClínicasdeRecife	PE	0,34
16°	H-OnofreLopes	RN	0,31
17°	H-LauroWanderley	PB	0,26

A partir da Tabela 2, é possível observar que o Hospital Universitário Ana Bezerra (RN) apresentou a maior eficiência na produção assistencial, atingindo um índice de eficiência média de 86%. É conveniente ressaltar que o Hospital Universitário Lauro Wanderley (PB) foi classificado como HUF de menor eficiência na produção assistencial, apresentando uma média de 26%.

### 5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o intuito de explicar as classificações obtidas pelos HUFs, julgou-se necessária a análise dos dados das variáveis utilizadas no modelo.

Ao comparar os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 com os dados referentes às variáveis de análise, foi possível observar que os HUFs com maiores escores de eficiência apresentaram inputs consideravelmente menores do que aqueles que obtiveram baixos índices de eficiência, em pelo menos uma das aplicações. No entanto, considerando os dados das variáveis de output, observa-se que tal relação não foi tão evidente. Pode-se entender, então, que os HUFs mais eficientes produziram mais outputs por recurso consumido do que aqueles considerados ineficientes.

Foi possível observar que o Hospital Universitário Ana Bezerra (RN), o Hospital de Pediatria Professor Heriberto Ferreira Bezerra (RN), a Maternidade Climério de Oliveira (BA) e o Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza (PA), considerados os mais eficientes em pelo menos uma aplicação DEA, apresentaram níveis inferiores de inputs do que os hospitais de menor eficiência, com exceções apenas em relação ao número de docentes, às despesas com materiais e às despesas de capital, em que apenas algum dos HUFs menos eficientes apresentou menores níveis de inputs do que das unidades eficientes citadas.

Na aplicação referente à produção assistencial, notou-se que a Maternidade Climério de Oliveira (BA), terceira no ranking de eficiência, apresentou outputs bastante similares aos dos Hospitais Universitário Onofre Lopes (RN) e Lauro Wanderley (PB), últimos do ranking, apesar de apresentar níveis de input consideravelmente inferiores aos destes HUFs. Tal fato confirma o que havia sido concluído anteriormente, sobre a capacidade dos HUFs mais eficientes obterem resultados expressivos de outputs mesmo com inputs relativamente menores.

É interessante comentar o caso da Maternidade Januário Cicco (RN), apesar de possuir a penúltima classificação na eficiência em ensino/pesquisa, foi a quinta colocada no ranking relacionado à produção assistencial. Observou-se que tal HUF apresentou os menores níveis de input, dentre o grupo das unidades menos eficientes, no que se relaciona ao número de docentes, às instalações de ensino e pesquisa, ao número de leitos ativos, às despesas com materiais e à área construída dos HUFs. No entanto, foi a unidade que apresentou maior número médio do output autorização de internação hospitalar (AIH) do período estudado, demonstrando, assim, o uso eficiente dos recursos para a produção assistencial, mesmo tendo baixa eficiência na produção de ensino e pesquisa.

Analogamente, pode-se observar o caso da Maternidade Escola Assis Chateaubriand (CE) que ocupa o último lugar na aplicação de ensino/pesquisa e sexto lugar em produção assistencial, observou-se que, apesar de ter apresentado baixos níveis de input, obteve o segundo melhor nível do output de produção assistencial (AIH).

A partir dos casos comentados, foi possível inferir que as maternidades apresentaram resultados diferenciados em relação aos HUFs que englobam diversas especialidades, o que despertou para a necessidade de serem analisadas separadamente, por meio de outra aplicação DEA.

Em relação às unidades que apresentaram melhor desempenho na aplicação ensino/pesquisa, é interessante destacar o Hospital Universitário de Sergipe (SE), que apresentou os maiores níveis de input dentre os mais eficientes no que se refere ao número de docentes, às instalações de ensino e pesquisa, ao número de leitos ativos, à área construída dos HUFs e às despesas de capital. Nesse sentido, foi possível observar que alguns dos inputs destacados anteriormente, estão diretamente relacionados à produção de ensino/pesquisa e isso poderá justificar o fato de este HUF ocupar o terceiro lugar em relação à produção de ensino e pesquisa, apesar de encontrar-se em oitavo lugar no ranking de produção assistencial.

A partir de tais comparações, é válido destacar que as unidades que apresentaram altos níveis de inputs poderão ser capazes de aumentar seus níveis de outputs, alcançando maiores índices de eficiência. Em alguns casos, a melhoria de eficiência deve ser voltada principalmente para um dos enfoques, assistencial ou de ensino/pesquisa, para que a unidade apresente índices de eficiência satisfatórios em ambas dimensões.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho propôs a avaliação da eficiência dos HUFs das Regiões Norte e Nordeste em relação ao atendimento à população e às atividades de pesquisa e ensino, por meio da DEA, utilizando a análise de janela e a fronteira invertida. Deve-se ressaltar que os índices de eficiência obtidos não se referem às eficiências absolutas das unidades pesquisadas, mas sim às eficiências relativas dos HUFs dentre o grupo analisado.

Em ambas as abordagens, os Hospitais Universitários Ana Bezerra (RN) e Bettina Ferro de Souza (PA), o Hospital de Pediatria Professor Heriberto Ferreira Bezerra (RN) e a Maternidade Climério de Oliveira (BA), se destacaram por estarem entre os cinco primeiros nos rankings. Por outro lado, observou-se os Hospitais Universitários Onofre Lopes (RN) e Lauro Wanderley (PB) ocupando posições inferiores nos rankings de ambas as aplicações, demonstrando um baixo desempenho nas suas atividades, embora tenham apresentado níveis, tanto de input como de output, relativamente altos.

Vale destacar, também, os casos das Maternidades Januário Cicco (RN) e Escola Assis Chateaubriand (CE), as quais exibem índices de eficiência consideráveis

na aplicação assistencial, porém se colocam entre as piores no ranking de eficiência em ensino/pesquisa. Tal tipo de observação é importante para identificar, dentre todas as funções que um HUF possui, quais são aquelas que ele já opera com eficiência e aquelas que necessitam de maior atenção e maiores esforços para serem realizadas de maneira mais eficiente.

É válido mencionar que as discussões dos resultados apresentadas estão baseadas apenas nos dados obtidos no SIMEC, no entanto, para analisar mais a fundo a realidade dessas unidades seria necessário um maior acesso às informações das unidades, a partir de visitas aos HUFs ou contato com especialistas.

De maneira geral, pode-se afirmar que o estudo aqui desenvolvido pode ser de interesse de gestores hospitalares, uma vez que pode auxiliar na identificação de possíveis nichos de investimentos que possibilitarão incrementos no que diz respeito à produção assistencial e produção de ensino e pesquisa, de forma a melhorar a qualidade do atendimento à população e desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BARATA, L.R.B.B.; MENDES, J.D.V; BITTAR, O.J.N.V. **Hospitais de Ensino e o Sistema Único de Saúde**. Revista de Administração em Saúde, v.12, n.46, 2010.

BRASIL. **Lei nº 8.080**, de 19 de setembro de 1990. Publicada no Diário Oficial da União em 20 de setembro de 1990.

BRASIL. **Portaria nº 1.000**, de 15 de abril de 2004. Publicada no Diário Oficial da União em 16 de abril de 2004, 2004a.

BRASIL. **Portaria nº 1.005**, de 27 de maio de 2004. Publicada no Diário Oficial da União em 31 de maio de 2004, 2004b.

BRASIL . **Portaria nº 1.006**, de 27 de maio de 2004. Publicada no Diário Oficial da União em 31 de maio de 2004, 2004c.

CHEN, A.; HWANG, Y.; SHAO, B. **Measurement and sources of overall and input inefficiencies: Evidences and implications in hospital services**. European Journal of Operational Research, v.161, p.447-468, 2005.

CONSELHO REGIONAL DE MEDICINA DO ESTADO DE SÃO PAULO - CREMESP, 2010. Disponível em: < <http://www.cremesp.org.br>>. Acesso em: 05 de julho de 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES – EBSERH, 2016. Disponível em: < <http://ebserh.mec.gov.br>>. Acesso em: 05 de julho de 2016.

I

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico**

**2010: Características da população e dos domicílios - resultados do universo.** São Paulo, 2011. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas\\_da\\_populacao/resultados\\_do\\_universo.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf)>. Acesso em: 28 de outubro de 2014.

KATES, S. **Free market economics: an introduction for the general reader.**

Cheltenham: E. Elgar, p.71-74, 2011.

LINS, M.P.E; LOBO, M.S.C; SILVA, A.C.M.; FISZMAN, R.; RIBEIRO, V.J.P. **O Uso da Análise Envoltória de Dados – DEA - para Avaliação de Hospitais Universitários Brasileiros.** Revista Ciência e Saúde Coletiva, v.2, n.4, p.985-998, 2007.

LOBO, M.S.C. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para apoio às políticas públicas de saúde: o caso dos Hospitais de Ensino.** Tese (doutorado), UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Produção, 2010.

LOBO, M.S.C.; LINS, M.P.E. **Avaliação da eficiência dos serviços de saúde por meio da análise envoltória de dados.** Caderno Saúde Coletiva, v.19, n.1, p.93-102, 2011.

MEDICI, A.C. **Hospitais universitários: passado, presente e futuro.** Revista da Associação Médica Brasileira, v.47, n.2, p.149-156, 2001.

MESSINA, L.A.; FILHO, J.L.R.; LOPES, P.R.L. **Rute 100: As 100 primeiras unidades de telemedicina no brasil e o impacto da Rede Universitaria de Telemedicina (rute).** Rio de Janeiro: E-papers, 2014.

MEZA, L. A; LINS, M. P. E. **Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis.** Annals of Operations Research, v.116, n.1-4, p.225-242, 2002.

OZCAN, Y.A.; LINS, M.P.E.; LOBO, M.S.C.; SILVA, A.C.M.; FISZMAN, R.; PEREIRA, B.B. **Evaluating the performance of Brazilian university hospitals.** Annals of Operations Research, v.178, n.1, p.247–261, 2010.

PILOTTO, B. **Os Hospitais Universitários e sua crise!**, 2009. Disponível em:

<<http://pt.scribd.com/doc/36023434/Os-Hospitais-Universitarios-e-Sua-Crise>>.

Acesso em: 22 de maio de 2014.

SMITH, P. **Large scale models and large scale thinking: the case of the health services.** Omega, v.23, n.2, p. 145-157, 1995.

**ABSTRACT:** Federal University Hospitals (HUFs) stand out in the Brazilian national public health system as they are not only centers of health care, mainly of medium and high complexity, but also for their role in teaching and knowledge output in health

area. The efficiency analysis in the use of resources of these hospitals is a very important tool to aid in the making of managerial decisions. This kind of study is even more crucial in regions where the health care of the population is more deficient, as is the case in the North and Northeast regions of Brazil. Therefore, the aim of the present work is analyze the efficiency of the HUFs of these regions, both in the health care provide to the population, and the output of teaching and research, using the technique of Data Envelopment Analysis (DEA). Furthermore, showed that the most efficient units presented low volume of inputs in relation to the values presented by less efficient units, thus demonstrating the need for more efficient use of resources by some HUFs. Results showed that the most efficient units presented low volume of inputs in relation to the values presented by less efficient units, thus demonstrating the need for more efficient use of resources by some HUFs.

**KEYWORDS:** Federal University Hospitals; Data envelopment analysis; Health Care; Efficiency

## **CAPÍTULO XII**

### **ENTENDENDO A FILA COMO UMA ATIVIDADE QUE NÃO AGREGA VALOR: APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS NA REDUÇÃO DO TEMPO DE ATENDIMENTO**

---

**Marcos dos Santos  
Bruna Russo Bahiana  
Beatriz Duarte Magno  
Mariane Cristina Borges Dowsley Grossi  
Fabrício da Costa Dias  
Renato Santiago Quintal**

# ENTENDENDO A FILA COMO UMA ATIVIDADE QUE NÃO AGREGA VALOR: APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS NA REDUÇÃO DO TEMPO DE ATENDIMENTO

## **Marcos dos Santos**

Centro de Análises de Sistemas Navais – Divisão de Pesquisa Operacional  
Rio de Janeiro – RJ

## **Bruna Russo Bahiana**

Faculdade SENAI CETIQT – Curso de Engenharia de Produção  
Rio de Janeiro – RJ

## **Beatriz Duarte Magno**

Faculdade SENAI CETIQT – Curso de Engenharia de Produção  
Rio de Janeiro – RJ

## **Mariane Cristina Borges Dowsley Grossi**

Faculdade SENAI CETIQT – Curso de Engenharia de Produção  
Rio de Janeiro – RJ

## **Fabrcio da Costa Dias**

Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia Civil  
Niterói – RJ

## **Renato Santiago Quintal**

Pagadoria de Pessoal da Marinha – Departamento de Sistemas de Pagamento  
Rio de Janeiro – RJ

**RESUMO:** A formação de filas é uma atividade que não agrega valor e, portanto, deve ser evitada. Além disso, traz inúmeros custos tangíveis e intangíveis que afetam diretamente a sobrevivência de um negócio. Neste trabalho será feita a análise do trade off econômico entre o custo da espera e a capacidade de atendimento de um estabelecimento comercial da cidade do Rio de Janeiro. Metodologicamente, utilizou-se a Simulação de Eventos Discretos por meio do software ARENA. Assim, pode-se analisar o tamanho médio da fila, o tempo médio de atendimento e a quantidade total de atendimento. A partir desses indicadores estatísticos, pode-se sugerir ações capazes de melhorar a performance do sistema, e, conseqüentemente, atuar positivamente na percepção dos clientes com relação ao serviço prestado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação de Eventos Discretos; qualidade em serviços; identificação de gargalos

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo GROSS & HARRIS (1998 apud ALMEIDA et al, 2009), o fenômeno de formação de filas é um processo rotineiro na atualidade. Dentre diversas aplicações, umas delas seria a fila de pessoas esperando por um serviço. Este contexto é desafiador, porque abrange o estudo dos clientes do sistema e sua disponibilidade e disposição a enfrentar tais filas.

Ainda de acordo com GROSS & HARRIS (1998 apud ALMEIDA et al, 2009), as filas constituem uma situação aborrecedora para consumidores e até mesmo proprietários e gerentes de estabelecimentos. Isto se deve ao fato de que, na realidade, para os consumidores não é agradável esperar por um serviços. A espera custa dinheiro e, em casos, prejuízo, devendo ser tratada da maneira mais cuidadosa possível.

A fila é uma atividade que não agrega valor para o cliente e nem para a organização. Portanto, principalmente em situações simples, deve ser evitada. O atendimento no caixa de uma panificadora, de forma que os clientes paguem por sua compras, é uma tarefa simples. Entretanto, é usual encontrar filas, principalmente porque nestes estabelecimentos geralmente existem apenas dois ou três caixas efetuando esta atividade.

A formação de filas pode ocorrer por diversos motivos. O motivo mais básico é o volume de compras de cada cliente: uns compras mais quantidade; outros compram menos quantidade de produtos. Da mesma forma, o pagamento das compras com dinheiro costuma ser mais rápido do que aquele feito com cartão de crédito. Esses e outros fatores contribuem para a formação de filas, uma situação inconveniente que, na maioria das vezes incomoda o cliente, que pode, inclusive, desistir de sua compra ou eliminar o estabelecimento de suas opções de compra.

No setor de serviços, como é o caso da panificadora em estudo neste trabalho, o cliente é o foco principal. A presença, ou não, de filas - considerada um dos parâmetros de medição da qualidade do serviço - é uma situação imprevista pelo cliente e que afeta sua decisão de compra no estabelecimento prestador de serviço. É mais custosa a tentativa de trazer novos clientes do que a tentativa de agradecer os clientes já fidelizados. Deste modo, deve ser realizado todo e qualquer esforço para evitar a formação de filas.

Outro fator que incentiva o estudo das filas, beneficiando os serviços, é o constante crescimento no setor de serviços e os esforços que concorrentes do setor promovem de forma a saírem na frente na busca do diferencial competitivo que, neste caso, é a redução dos tempos de espera nas filas.

O objetivo deste trabalho é a coleta de dados através da realização de pesquisa de campo, desenvolvida pela autora do trabalho, em uma panificadora do Rio de Janeiro. As estatísticas geradas pela análise dos dados serão posteriormente comparadas com os resultados estatísticos gerados pela inserção dos mesmos dados no software de simulação ARENA Simulation.

## **1.1 Mapa Mental**

Por volta de 1970, o psicólogo inglês Tony Buzan desenvolveu uma técnica de memorização eficaz conhecida como mapeamento mental. O mapa mental é um diagrama de informações, no qual é possível identificar facilmente as relações e os vínculos entre as informações nele contidas. É voltado para a gestão de informações, solução de problemas e para a gestão estratégica, entre outras aplicações. É uma

ferramenta utilizada para ilustrar ideias e conceitos e dar-lhes forma e contexto, para que se possa planejar ações e estratégias de forma a alcançar objetivos específicos.

Para BUZAN (2005 apud WILLE, 2010), os mapas mentais são "ferramentas de ordenamento do pensamento, que ajudam na introdução e extração de informações do cérebro". O mapa mental deste projeto pode ser visto abaixo, na Figura 1.



FIGURA 1 – Mapa Mental do processo de atendimento  
Fonte: Autores (2016)

## 1.2 Bibliometria

A criação de técnicas bibliométricas foi motivada pelas constantes mudanças ocorridas na ciência e na técnica, a partir da propagação do conhecimento. A bibliometria é um objeto da ciência que aplica métodos estatísticos para explorar a evolução da informação científica e tecnológica de determinadas áreas.

Como refere ROSTAING (1997 apud HAYASHI, 2012), esta atividade teve início nos anos 1980, com o americano Francis Narin, com seus trabalhos sobre as bases de dados de patentes americanas. Ainda segundo o autor, futuramente o foco seria voltado para a aplicação das técnicas bibliométricas em dados de propriedade industrial, facilitada pela existência de bancos de dados que reportam as patentes nacionais e internacionais sob a forma de referências bibliográficas.

Foi pesquisado, na plataforma de periódicos CAPES, o número de registros das palavras-chave "discrete event simulation", a tradução em inglês do termo "simulação de eventos discretos", do período compreendido entre 1990 e 2015. A Figura 2 mostra o gráfico dos resultados obtidos na bibliometria aplicada a este

trabalho.



FIGURA 2 – Quantidade de registros do termo "Discrete Event Simulation", de 1990 até 2015.  
Fonte: Autores (2016)

Interpretando o gráfico, vê-se um expressivo crescimento no número de registros de trabalhos no campo de simulação de eventos discretos, principalmente após os anos 2000, onde a faixa de registros começou a ser por volta de mil publicações por ano. O ápice foi o ano de 2010, que registrou mais de duas mil pesquisas. Embora tenha ocorrido um decréscimo a partir de 2011, a quantidade de publicações manteve-se relativamente alto, evidenciando assim a relevância do tema para a comunidade acadêmica.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o maior embasamento do propósito, desenvolvimento e conclusão deste trabalho, utilizou-se de fundamentação teórica. No decorrer deste tópico está evidenciada as principais fontes e áreas de estudo compreendidas para o entendimento do artigo em questão.

### 2.1 Simulação de Eventos Discretos

Segundo BANKS (1999), a simulação é a reprodução da operação de um sistema real ou processo real ao longo do tempo. A simulação envolve a geração de uma história "artificial" do sistema representado. É uma metodologia indispensável para a solução de muitos problemas do sistema real, utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema e auxiliar na concepção de sistemas reais.

MATLOFF (2008) considera a simulação de eventos que evoluem ao longo do tempo e verifica que existe grande variedade em tais aplicações. A simulação de um sistema climático, por exemplo, é um cenário em que os eventos são contínuos, como em um gráfico de temperatura contra o tempo, onde a curva seria contínua.

Entretanto, ao simular o funcionamento de uma loja qualquer, analisando-se o inventário, ou seja, o número de itens atualmente em estoque para um determinado produto e representando graficamente este número contra o tempo, obtém-se um conjunto de segmentos de linha plana com intervalos entre elas, porque trata-se de uma variação discreta.

A simulação de eventos discretos representa o funcionamento de um sistema real como uma sequência discreta de acontecimentos no tempo. Cada evento ocorre em um momento particular e marca uma mudança de estado no sistema.

Segundo PIDD (2002 apud LIRA JUNIOR et al, 2012), a simulação de eventos discretos utiliza modelos representativos de sistemas de interesse de forma a investigar alterações ou descobrir efeitos sobre o mesmo, permitindo a análise de tal sistema com pouca ou nenhuma interferência. Esta característica faz da simulação de eventos discretos uma potente ferramenta que pode ser empregada para diferentes cenários e situações.

## **2.2 Utilização de Softwares de Simulação**

A simulação de processos é importante porque permite a análise de sistemas reais sem a necessidade de real intervenção no mesmo. Todas as mudanças desejadas são feitas no modelo computacional e não no sistema real. A técnica computacional, que nos primórdios era extremamente complicada, tornou-se mais fácil a partir do surgimento de linguagens orientadas à simulação. Com o passar dos anos estas linguagens foram se desenvolvendo, de modo a torná-las uma ferramenta de alta capacidade.

O software de simulação ARENA Simulation, utilizado para a simulação neste artigo, é pertencente à empresa Rockwell Software. O seu custo de aquisição para aplicação em grandes modelos, principalmente em abordagem empresariais, é relativamente alto. Entretanto, os fabricantes do ARENA Simulation disponibilizam o software em versão grátis voltada para os estudantes, através da plataforma Paragon Decision Science, o que o tornou acessível e viável a realização deste trabalho.

## **3. METODOLOGIA**

Os subitens a serem descritos abaixo descrevem os processos para a realização do projeto, desde a pesquisa de campo e coleta de dados até antes do input e análise das estatísticas geradas pelo software de simulação ARENA Simulation.

### 3.1 Pesquisa de Campo

O processo escolhido para simulação foi o atendimento e a formação de filas no caixa de uma panificadora. A coleta dos dados para a elaboração da pesquisa de campo foi realizada em um sábado, em uma panificadora localizada no bairro Grajaú, no Rio de Janeiro (RJ). A medição destes dados foi realizada por dois dos autores deste trabalho: um foi responsável por capturar o tempo da duração do atendimento de cada cliente; outro foi responsável por adquirir informações do momento em que cada cliente entrou na fila para ser atendido.

A meta era documentar os dados do atendimento de cento e cinquenta clientes. Foram registrados o momento da chegada do cliente na fila do caixa e o tempo de atendimento de cada cliente pelo atendente do caixa. É importante frisar que o cronômetro apenas foi ativado quando a primeira pessoa foi atendida no caixa.

A medição teve início às 18 horas e 50 minutos e teve duração de 1 hora, 41 minutos e 44 segundos, totalizando 6.104 segundos de processo. A unidade de tempo considerada será segundos. O registro da coleta de dados encontra-se no ANEXO A, ao final deste trabalho.

Na análise qualitativa destas estatísticas, principalmente no tempo de atendimento dos clientes na fila do caixa da panificadora, percebe-se claramente que existe grande discrepância entre alguns dados. Apenas para observação, este agrupamento de dados possui moda de 25 segundos, valor mínimo de 10 segundos e valor máximo de 146 segundos.

Esta grande diferença entre os dados pode ser atribuída a fatores que interferem no tempo de serviço entre o atendente do caixa e o clientes. Alguns destes fatores foram observados durante a coleta dos dados, e podem ser: conversa paralela entre funcionários, forma de pagamento (dinheiro, cartão de crédito ou cartão de débito), volume de compras, parada para troca do rolo de papel que imprime a nota fiscal e parada para contagem do dinheiro no caixa.

### 3.2 Análise preliminar dos dados

As estatísticas básicas referidas neste subcapítulo são: duração total da coleta de dados, tempo médio de chegada, tempo médio de atendimento, tempo de trabalho do atendente, tempo de ociosidade do atendente, taxa de produtividade do atendente e taxa de ociosidade do atendente.

O tempo de duração total da coleta foi de 1 hora, 41 minutos e 44 segundos. Como a unidade de tempo considerada neste trabalho é em segundos, o tempo total de duração da coleta dos dados foi de 6.104 segundos. Para obter o tempo médio de chegada, deve-se, primeiro, fazer, para cada um dos 150 valores, o cálculo de variação do tempo de chegada ( $\Delta$ ).

De acordo com a tabela de registro dos dados coletadas, o tempo de chegada (TC) é TC1 = 0 segundos, TC2 = 40 segundos, TC3 = 77 segundos e assim por diante, até chegar ao TC150 = 6.071 segundos.

Com base nestas informações, pode-se calcular as variações do tempo de

chegada ( $\Delta$ ). Têm-se, então:  $\Delta 1 = TC1 - TC0 = 0$ ;  $\Delta 2 = TC2 - TC1 = 40$ ;  $\Delta 3 = TC3 - TC2 = 37$ ; e assim por diante, consecutivamente, até chegar a  $\Delta 150 = TC150 - TC149 = 8$ .

De posse de todos os cento e cinquenta intervalos de tempos entre chegadas, calcula-se a média. O somatório ( $\Sigma$ ) de todas as variações é igual a 6.071 segundos. Como existem 150 valores diferentes de variação, faz-se o cálculo:  $[\Sigma(\Delta 1 + \Delta 2 + \Delta 3 + \dots + \Delta 149 + \Delta 150)] / 150 = 6.071 / 150 = 40,47$  segundos.

Sendo assim, o tempo médio do momento de chegada dos clientes na fila do caixa da panificadora, durante o período da coleta de dados, é de 40,47 segundos. A partir dos cento e cinquenta valores de tempo de atendimento (TA), calcula-se a média. O somatório ( $\Sigma$ ) de todos os tempos de atendimento é de 5.630 segundos. Como existem 150 valores diferentes, faz-se o cálculo:  $[\Sigma(TA1 + TA2 + TA3 + \dots + TA149 + TA150)] / 150 = 5.630 / 150 = 37,53$  segundos.

Com isso, o tempo médio de atendimento dos clientes na fila do caixa da panificadora, durante o período da coleta de dados, é de 37,53 segundos. Para tomar conhecimento do tempo total de atendimento do atendente do caixa, ou seja, a quantidade de tempo em que o atendente manteve-se trabalhando, basta considerar a soma de todos os cento e cinquenta valores de tempo de atendimento registrados. O somatório de todos os tempos de atendimento é de 5.630 segundos. Sendo assim, conclui-se que este foi o tempo total de trabalho do atendente, durante o período da coleta de dados.

Para tomar conhecimento do tempo total de ociosidade do atendente do caixa, ou seja, a quantidade de tempo em que o atendente não manteve-se trabalhando, basta considerar a soma de todos os cento e cinquenta valores de tempo de atendimento registrados e subtrair o valor encontrado do tempo total da coleta dos dados. Conforme visto anteriormente, o tempo de duração total da coleta dos dados foi de 6.104 segundos. E o somatório de todos os tempos de atendimento é de 5.630 segundos. Sendo assim, conclui-se que o total de ociosidade do atendente, durante o período da coleta de dados, foi de 474 segundos.

Para o cálculo da taxa de produtividade do atendente, deve-se dividir o valor do tempo trabalhado do atendente pelo tempo de duração total da coleta dos dados. Para isso, faz-se o cálculo: Taxa de Produtividade =  $(5.630) / (6.071) = 0,9223$ . Sendo assim, a taxa de produtividade do atendente, durante o período da coleta de dados, foi de 92,23%.

Para o cálculo da taxa de ociosidade do atendente, deve-se dividir o valor do tempo ocioso do atendente pelo tempo de duração total da coleta dos dados. Para isso, faz-se o cálculo abaixo: Taxa de Ociosidade =  $(474) / (6.071) = 0,077$ . Sendo assim, a taxa de ociosidade do atendente, durante o período da coleta de dados, foi de 7,77%.

O processo de input dos dados medidos e registrados, para posterior simulação, no software de simulação ARENA Simulation, ocorreu conforme será descrito adiante.

## 4. SIMULAÇÃO

Os subitens a serem descritos abaixo descrevem os processos de input dos dados colhidos na pesquisa de campo no software de simulação ARENA Simulation.

### 4.1 Montagem do Modelo e Desenvolvimento do Processo

Para a introdução dos dados do processo no software ARENA Simulation, devem-se seguir alguns passos, que serão descritos a seguir.

O primeiro passo é criar o modelo. Neste caso, serão utilizados três blocos diferentes para ilustrarem o processo. São eles: bloco "Create", bloco "Process" e bloco "Dispose". Para inserir no ARENA Simulation os dados coletados na pesquisa de campo, faz-se uso da ferramenta Input Analyzer (ARENA > Tools > Input Analyzer). Nesta ferramenta, pode ser utilizado um arquivo já existente, em formato txt, para gerar um gráfico com os dados registrados. Diante deste gráfico, a ferramenta encontrará a curva que mais se adequa a distribuição dos dados e, conseqüentemente, também gerará a expressão que representa esta curva.

A Figura 3 representa o gráfico de barras e a curva ajustada geradas através do input dos dados do momento da chegada dos clientes na fila do caixa, em segundos.



FIGURA 3 – Função densidade de probabilidade dos tempos de chegada.

Fonte: Autores (2016)

A Figura 4 representa o gráfico de barras e a curva ajustada geradas através do input dos dados do tempo de atendimento de cada cliente pelo atendente do caixa.

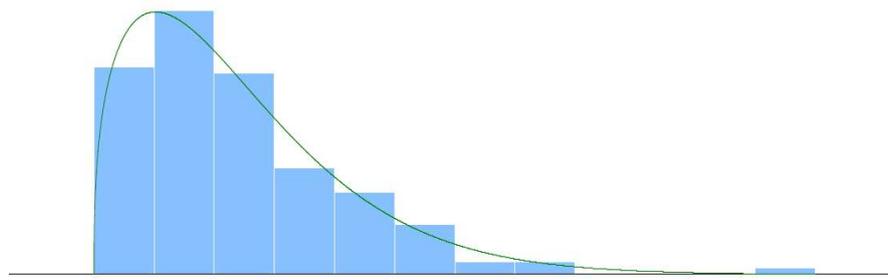


FIGURA 4 – Função de distribuição de probabilidade dos tempos de atendimento  
 Fonte: Autores (2016)

As Figuras 3 e 4 são funções de distribuição de probabilidade Weibull, cujas expressões são dadas por  $-0,001+WEIB(17; 0,452)$  e  $10+WEIB(29,9; 1,37)$ , respectivamente.

De volta ao processo, atribuiu-se diferentes informações a cada bloco. No bloco Create, determina-se o tipo de intervalo de tempo entre chegadas, que será denominado pela expressão encontrada na curva da Figura 3, ou seja,  $-0.001+WEIB(17; 0,452)$ . No bloco Process, deve-se alterar a ação lógica do projeto, que deve ser denominada "tipo de Delay" será denominado pela expressão encontrada na curva da Figura 4.

No bloco Dispose, deve-se alterar o nome do processo para 'Saida da Fila do Caixa da Panificadora'.

A Figura 5, abaixo, ilustra o desenho do processo do atendimento na fila do caixa na panificadora em estudo.

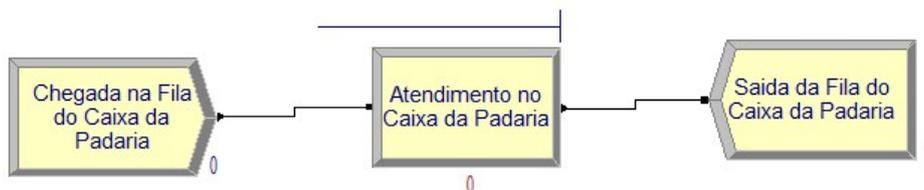


FIGURA 5 – Processo de atendimento no software Arena  
 Fonte: Autores (2016)

Após a finalização dos dados do processo, deve-se fazer o "Setup" do modelo (ARENA > Run > Setup).

Determina-se o comprimento do projeto, em unidade de tempo. Este valor, como já visto anteriormente, deve ser de 6.401 segundos. A quantidade de horas por dia deve ser equivalente ao tempo de funcionamento da panificadora no sábado, já que este foi o dia da semana em que foram coletados os dados. Neste dia, a panificadora funciona das 08 horas às 22 horas. Portanto, a quantidade de horas por dia, neste dia da semana, deve ser 14.

Com a inclusão destes parâmetros, o modelo está pronto para ser executado no software (ARENA > Run > Go). Após a execução do modelo, o software disponibiliza um relatório com as estatísticas do projeto.

## 4.2 Release das Estatísticas do Software ARENA Simulation

Os dados descritos abaixo foram extraídos do relatório com as estatísticas geradas pelo processo de atendimento na fila do caixa da panificadora rodando no ARENA Simulation.

Foram atendidos 110 clientes nos 6.104 segundos do processo. Passaram pelo atendente 111 clientes; isto quer dizer que, no fim do processo, 1 cliente ainda estava sendo atendido. Entraram no processo 127 clientes; isto quer dizer que, no fim do processo, 17 clientes ainda estavam esperando para serem atendidos.

O atendente passou 74,6% do tempo do processo ocupado. Conseqüentemente, em 25,4% do tempo do processo, o atendente ficou ocioso.

O tamanho médio da fila é 4,6, ou seja, aproximadamente 5 clientes. O menor tamanho da fila (melhor cenário) foi com 0 clientes. O maior tamanho da fila (pior cenário) foi com 16 clientes.

O tempo médio da fila é de 234 segundos. O menor tempo da fila (melhor cenário) foi de 0 segundos. O maior tempo da fila (pior cenário) foi de 595 segundos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando os resultados obtidos com a simulação do sistema, cujos dados foram trabalhados no software ARENA Simulation, percebe-se que são estatísticas muito diferentes das obtidas durante a medição no sistema real.

Enquanto no sistema real, durante os 6.104 segundos de medição, foram atendidas e liberadas 150 pessoas, no modelo simulado este número foi reduzido para 110 pessoas.

No sistema real, o atendente possui taxa de produtividade de 91,8%, enquanto sua taxa de ociosidade foi de 8,2%. Já no modelo de simulação, estas taxas foram 74,6% e 25,4%, respectivamente.

Da mesma forma, no modelo simulado no ARENA Simulation, o tempo médio da fila foi de 234 segundos e o maior tempo de fila foi de 595 segundos. Porém, no sistema real, durante a coleta de dados, em nenhum momento, com nenhum cliente, foi verificado tempo de atendimento superior a 146 segundos, sendo este o único valor registrado cujo tempo de atendimento durou mais de 100 segundos.

Diante deste cenário crítico, observa-se a necessidade de melhora no sistema, onde, para complementar o atendimento, são adicionados outros atendentes. Uma possível solução seria a criação de uma fila única, mas com aproximadamente três ou quatro caixas de atendimento diferentes.

Também deve-se aventar a possibilidade de diferenciar caixas quanto à forma de pagamento e volume de compras, assim como em supermercados. Isto evita que alguns clientes, que irão pagar poucas compras e em dinheiro, fiquem na mesma fila dos que vão pagar muitas compras com cartão, já que a demora pode levá-los a insatisfação e, possivelmente, procurar outro estabelecimento, mais estruturado neste aspecto, para fazer suas compras.

Desta forma, concluindo, o ideal para a melhora na situação da formação de

filas na panificadora estudada, seria adicionar novas caixas e atendentes ao processo, diminuindo o tempo e tamanho de fila, aumentando assim a capacidade de atendimento do estabelecimento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. E. P.; BARBOSA, R. A.; ESPINDOLA, J. R. A.; MOREIRA, D. F. V.; RODRIGUES, T. L. Modelagem e análise do sistema de filas de caixas de pagamento em uma drogaria: uma aplicação da teoria das filas. **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2009. Salvador, Bahia, Brasil.

BANKS, J. Introduction to Simulation. **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**, 1999.

DEBASTIANI, C. A. **Definindo Escopo em Projetos de Software**. Novatec, 2015.

HAYASHI, M. C. P. Sociologia da Ciência, Bibliometria e Cientometria: contribuições para a análise da produção científica. **Seminário de Epistemologia e Teorias da Educação**, 2012. Campinas, São Paulo, Brasil.

LIRA JUNIOR, J. J.; MEDEIROS, F. H. R.; SENA, D. C. A aplicação de ferramentas de modelagem e simulação para melhoria nos processos produtivos: o caso de uma indústria ceramista da região de Russas/CE. **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2012. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

MATLOFF, N. **Introduction to Discrete-Event Simulation and the SimPy Language**. 2008.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. England: John Wiley & Sons, 1998.

PRADO, Darci. **Usando o ARENA em Simulação**. Falconi, 2014.

PRITCHARD, A. **Statistical bibliography or bibliometricas?** *Journal of Documentation*, 1969.

ROBINSON, Stewart. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**. Wiley, 2004.

WILLE, M. F. C. **O uso do Mapa Mental como um facilitador para a criação de conhecimento**. 155 f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência, Gestão e Tecnologia da Informação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

**ABSTRACT:** the queue training is an activity that no adds value and therefore should be avoided. Furthermore, bring numerous charges tangible and intangible affecting directly to a business survival. This work will be made a trade analysis off between economic cost of waiting and service capability of a commercial establishment of Rio de Janeiro city. The method employed to discrete events simulation software through the arena. So, you can analyze the average size of fila, call average time and quantity service total. The from such statistical indicators, can be prompt action to improve the system capable of performance, and therefore perform positively in perception of clients with respect to the service provided.

**KEYWORDS:** Discret Event Simulation; quality services; identification of bottlenecks

ANEXO A – coleta de dados realizada em um estabelecimento comercial da cidade do Rio de Janeiro

Cliente	Momento de Chegada (segundos)	Tempo de Atendimento (segundos)	Cliente	Momento de Chegada (segundos)	Tempo de Atendimento (segundos)	Cliente	Momento de Chegada (segundos)	Tempo de Atendimento (segundos)
1	0	42	51	2253	55	101	4512	28
2	40	50	52	2282	28	102	4534	27
3	77	25	53	2328	41	103	4549	12
4	106	39	54	2367	37	104	4583	23
5	149	22	55	2440	15	105	4607	28
6	172	65	56	2457	36	106	4631	59
7	231	19	57	2503	28	107	4646	44
8	267	25	58	2509	33	108	4650	27
9	286	59	59	2539	36	109	4661	32
10	310	31	60	2559	16	110	4668	35
11	332	21	61	2603	86	111	4677	42
12	352	15	62	2733	40	112	4682	28
13	363	25	63	2738	15	113	4697	31
14	401	33	64	2784	68	114	4720	43
15	435	31	65	2792	45	115	4737	52
16	474	20	66	2858	18	116	4756	25
17	552	40	67	2911	51	117	4769	18
18	558	70	68	2969	18	118	4929	57
19	611	14	69	3061	60	119	4958	17
20	680	50	70	3158	21	120	5020	45
21	712	43	71	3181	146	121	5026	77
22	767	75	72	3256	68	122	5029	58
23	982	38	73	3276	60	123	5150	13
24	1003	45	74	3437	92	124	5190	15
25	1040	43	75	3468	62	125	5260	26
26	1090	15	76	3514	64	126	5278	38
27	1142	18	77	3586	26	127	5310	90
28	1146	50	78	3644	35	128	5322	39
29	1185	53	79	3662	42	129	5339	42
30	1223	17	80	3673	38	130	5394	15
31	1285	18	81	3753	62	131	5463	24
32	1323	52	82	3840	34	132	5520	26
33	1426	25	83	3879	31	133	5544	31
34	1476	48	84	3909	14	134	5560	24
35	1494	52	85	3929	18	135	5672	26
36	1533	19	86	3947	25	136	5713	28
37	1587	25	87	3981	20	137	5744	54
38	1634	24	88	4017	38	138	5749	30
39	1667	72	89	4056	41	139	5773	29
40	1726	32	90	4089	10	140	5794	37
41	1831	42	91	4099	23	141	5840	29
42	1873	20	92	4129	70	142	5878	87
43	1896	25	93	4202	58	143	5908	21
44	1928	30	94	4272	56	144	5930	17
45	1957	67	95	4336	61	145	5941	15
46	2011	22	96	4390	28	146	5942	30
47	2082	33	97	4402	38	147	5977	43
48	2102	46	98	4415	19	148	6002	12
49	2160	25	99	4421	51	149	6063	35
50	2220	26	100	4500	15	150	6071	33

Fonte: Dados coletados pelos autores (2016)

## **CAPÍTULO XIII**

### **ESCOLHA DE ESTRATÉGIA ÓTIMA PARA COMPETIÇÃO EM LEILÕES DE ENERGIA EM UM MERCADO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

---

**Fernando Gontijo Bernardes Júnior  
Rodrigo de Carvalho  
Rodney Rezende Saldanha**

# ESCOLHA DE ESTRATÉGIA ÓTIMA PARA COMPETIÇÃO EM LEILÕES DE ENERGIA EM UM MERCADO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

**Fernando Gontijo Bernardes Júnior**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Belo Horizonte, MG, Brasil

**Rodrigo de Carvalho**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte, MG, Brasil

**Rodney Rezende Saldanha**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte, MG, Brasil

**RESUMO:** A desverticalização das empresas do mercado de energia brasileiro propiciou a concorrência entre os agentes do meio e a criação de pequenas usinas distribuídas na rede. Hoje a maior parte da energia é comercializada através de leilões, onde os agentes interagem. Este trabalho propõe utilizar o equilíbrio de Nash na avaliação das estratégias adotadas nos leilões de compra de energia para otimizar os resultados dos agentes que operam no mercado livre. A Teoria de Jogos é utilizada para representar os leilões e os resultados dos agentes em cada rodada licitatória, onde os agentes tentam arrematar lotes de energia escolhendo a melhor resposta em relação ao seu oponente. Foram explorados dois cenários: no primeiro o agente tem o objetivo de maximizar seu lucro e no segundo minimizar as perdas elétricas na rede podendo ainda minimizar os ganhos dos oponentes. Utilizando o conceito de Equilíbrio de Nash foi possível determinar o ponto de retorno ótimo das estratégias adotadas auxiliando os decisores a atingir os objetivos esperados em detrimento de seus pares no mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Leilão de energia elétrica, teoria de jogos, equilíbrio de Nash, redução de perdas, geração distribuída.

## 1. Introdução

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) sofreu intervenções importantes nas últimas décadas, migrando de um modelo completamente regulado e de monopólio estatal para um modelo desverticalizado com atuação mista entre agentes privados e públicos.

Em 1995 foi instituído o novo marco do SEB criando um modelo de livre mercado com a intenção de diminuir a influência do governo e incentivar a competição entre os geradores. A desverticalização passou a aparecer de forma gradativa em todas as empresas do setor. A meta final era que todos os consumidores se tornassem livres e capazes de adquirir energia de qualquer gerador

interligado a rede e as empresas de transmissão e distribuição receberiam um aluguel pelos serviços de transporte de energia.

A segunda mudança ocorreu em 2004, quando foram inseridas novas premissas no modelo de livre mercado. O chamado novo modelo do SEB procurou manter algumas características do modelo anterior como o incentivo a participação de agentes privados, mas procurou também manter o governo no controle de algumas empresas. No modelo vigente, é mantida a comercialização livre entre os grandes clientes e geradores distribuídos. Já os pequenos consumidores são cativos e de responsabilidade das empresas de distribuição.

No mercado atual as empresas distribuidoras de energia e os grandes clientes recorrem ao mercado gerador para obter a energia necessária ao atendimento de suas necessidades. A interação da distribuição com a geração de energia se dá através de leilões, onde o preço máximo de compra é definido e os agentes geradores competem com seus pares para fornecer os lotes de energia, reduzindo o preço da energia. Os agentes geradores também podem realizar leilões, nesse caso leilões privados para a comercialização de energia. Nestes leilões se estabelece um preço mínimo e os clientes livres interagem com seus pares para obter a energia, elevando o preço de venda dos geradores.

O problema tratado neste trabalho aborda a interação entre os agentes do Ambiente de Contratação Livre (ACL) e os agentes geradores através dos leilões de venda de energia. Apresentamos uma estratégia para buscar o melhor resultado desta interação com base nos conceitos da teoria dos jogos.

Este trabalho está organizado como segue. Na próxima seção é feita uma breve revisão bibliográfica sobre a metodologia aplicada a problemas correlatados. Na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada. A seção 4 apresenta os resultados experimentais. Finalmente, a seção 5 conclui o trabalho.

## **2. Revisão Bibliográfica**

Yang et al. (2012b) define a teoria de jogos como o estudo da procura por estratégias racionais em situações em que o resultado não depende apenas da estratégia própria de um agente e das condições de mercado, mas também das estratégias escolhidas por outros agentes que possivelmente têm estratégias diferentes aos objetivos comuns. Assim, o jogo permite conhecer, previamente, o melhor resultado para os jogadores (agentes) diante das estratégias praticadas.

Dechenaux et al. (2015) descreve metodologias para se trabalhar com dados de leilões, sendo sugerida a modelagem do problema através dos conceitos da Teoria de Jogos. Em Saad (2012) encontramos a modelagem de um jogo complexo não cooperativo para representar o comportamento de veículos elétricos autônomos que se conectam de forma autônoma a um smart grid com a premissa de reduzir os custos de abastecimento. É utilizado o equilíbrio de Nash para balizar as decisões dos agentes (veículos) utilizando um ambiente de leilão para comercialização da energia abastecida. O equilíbrio de Nash (Nash, 1951) acontece em um jogo quando ambos os agentes conhecem a estratégia do outro e nenhum deles consegue

melhorar a própria estratégia.

Song et al. (2002) estuda o mercado de energia a curto prazo, em mercados com despacho descentralizado utilizando o equilíbrio de Nash. No trabalho apresentado por Kang et al. (2007) o equilíbrio de Nash é utilizado para maximizar o lucro das empresas geradoras de energia maximizando seus ganhos em leilões. Dados dos preços de comercialização de energia são utilizados para gerar uma tendência de preços e conduzir o algoritmo para a estratégia ótima de lances para a compra de energia. Yang et al. (2012a) propuseram um modelo de mercado de eletricidade onde é possível calcular todos os equilíbrios de Nash.

Dusse et al. (2015) apresenta uma formulação baseada em teoria dos jogos para o problema de sazonalização do setor de energia elétrico brasileiro. A sazonalização é realizada por agentes de geração hidrelétrica e consiste definir alocações mensais do montante de energia contratado, sendo uma forma de dividir o risco hidrológico entre todos os agentes.

### **3. Descrição do Problema**

O Leilão de energia elétrica no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é um processo licitatório, ou seja, uma concorrência promovida pelo poder público com vistas a se obter energia elétrica em um prazo futuro (pré-determinado nos termos de um edital), seja pela construção de novas usinas de geração elétrica, linhas de transmissão até os centros consumidores ou mesmo a energia que é gerada em usinas em funcionamento e com seus investimentos já pagos, conhecida no setor como “energia velha”.

Os leilões são a principal forma de contratação de energia no Brasil. Por meio desse mecanismo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) obtém a energia necessária para prover aos clientes finais. Em termos de coordenação hierárquica, todos os leilões públicos de energia passam pela coordenação e controle da Agência reguladora do setor elétrico, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ligada ao Ministério das Minas e Energia (MME).

No leilão público de compra de energia, as empresas de geração interagem entre si para fornecer a energia para as distribuidoras e a ANEEL organiza o leilão para que as distribuidoras obtenham a energia necessária a seus consumidores na condição mais vantajosa. O mais vantajoso nem sempre é comprar a energia no leilão pelo preço mais baixo, obtendo o maior lucro na revenda, embora esta seja a regra. Em dado momento, pode ser importante comprar energia de forma a minimizar o ganho dos concorrentes. Por outras vezes é interessante comprar a energia de um agente gerador específico para atender a um contrato, ou mesmo adquirir energia de um gerador próximo a certa região permitindo reduzir as perdas de transmissão na rede elétrica. Outra variável que pode ser considerada é o balanço hídrico, uma vez que a geração brasileira é predominantemente hidroelétrica. Em momentos de escassez de água nos reservatórios é necessário obter energia por outras fontes, tais como as termelétricas. Assim é importante para o agente distribuidor arrematar nos

leilões de energia alguns lotes de energia alternativa, mesmo a preços mais altos que o seu suprimento hidroelétrico, para garantir o cumprimento de seus contratos de distribuição e a perenidade do fornecimento de energia na região.

Existem várias topologias de condução de leilão, tais como: leilão inglês (preço ascendente); leilão holandês (preço descendente); leilão discriminatório (primeiro preço); leilão de segundo preço; entre outros. O critério de menor tarifa é mais adotado no Brasil para definir os vencedores do certame, visando a eficiência na contratação de energia (TOZIEL, 2014). Existem também os leilões privados, pouco explorados no mercado de energia nacional, mas que podem ser uma ferramenta interessante para que consumidores livres e produtores independentes interajam para obter energia em condições mais flexíveis e vantajosas que os leilões públicos das distribuidoras. Nos leilões privados tanto os agentes consumidores como geradores são livres para estabelecer contratos bilaterais de fornecimento em condições particulares que atendam aos envolvidos. Este é um fator importante em favor do leilão privado no ACL. A liberdade na negociação permite que o organizador do leilão receba um benefício adicional ao definir o tipo de leilão, uma vez que este determina como a competição do mercado irá interagir para maximizar seu objetivo (TOELCH, 2014).

A sistemática dos leilões envolvem vários outros aspectos importantes que devem ser levados em consideração, tais como: o princípio da revelação, que consiste na constatação de que é possível definir um conjunto de regras que leve os agentes a revelar suas verdadeiras percepções sobre o valor do produto, mesmo que não sejam conhecidos os perfis dos demais participantes; descoberta de preços, que consiste no processo de revisão das avaliações dos proponentes no decorrer de um certame, processo este decorrente da observação do comportamento dos outros agentes; concorrência, que consiste na disputa entre os agentes; e interdependência, que consiste na existência, ou não, de relações interdependentes entre os valores dos diversos produtos leiloados.

Como pode ser percebido os procedimentos de comercialização de energia utilizando leilões são complexos, extensos e envolvem diferentes aspectos. Para simplificar e modelar este cenário foi adotado os conceitos da Teoria de Jogos.

#### **4. Metodologia**

Teoria de jogos é um ramo da matemática aplicada que estuda situações em que o resultado de um problema não depende exclusivamente da estratégia adotada por um agente, mas sim pela sua interação com outros agentes que possivelmente possuem estratégias distintas aos objetivos comuns (YANG, 2012b). Neste contexto, o propósito de um jogo é fazer com que os participantes sejam capazes de compreender melhor os processos complexos e sutis de comportamento em ambientes organizacionais e educacionais (SAAD, 2012).

Um jogo é caracterizado por um conjunto de regras e um conjunto de resultados. As regras buscam descrever a realidade, delimitando as ações possíveis de cada jogador. Os agentes tomam suas decisões de modo racional e que

maximizem seus ganhos com base no conjunto de resultados esperados. Assim, para definir um jogo são necessários os seguintes elementos: os jogadores, os conjuntos de estratégias ou ações ( $S_1, S_2, \dots, S_n$ ) que cada jogador pode tomar e o conjunto de informações disponíveis a cada jogador.

Podem ser definidas funções  $\{f_1(S_1, S_2, \dots, S_n), \dots, f_n(\dots, S_{n-2}, S_{n-1}, S_n)\}$  que exprimem o ganho de cada participante em função das estratégias escolhidas por todos eles. Tais funções também são conhecidas como payoffs. Função ou matriz de payoffs nada mais é que a matriz que representa os ganhos que cada jogador pode obter em cada estratégia adotada. Os resultados podem ser quantitativos ou qualitativos e são avaliados de acordo com as preferências dos jogadores.

Para solucionar problemas modelados como jogos uma das estratégias mais tradicionais é o equilíbrio de Nash. O equilíbrio de Nash representa a situação em um jogo envolvendo dois ou mais jogadores onde nenhum jogador tem a ganhar mudando sua estratégia unilateralmente. Em um jogo com  $n$  participantes cada um dos  $n$  participantes seleciona sua melhor estratégia, ou seja, aquela que lhe traz o maior benefício. Então, se cada jogador chegar à conclusão que ele não tem como melhorar seu ganho, dadas as estratégias escolhidas pelos seus  $n-1$  adversários, então as estratégias escolhidas pelos participantes deste jogo definem um "equilíbrio de Nash".

Seja  $(S, f)$  um jogo com  $n$  participantes, onde  $S_i$  é o conjunto de estratégias possíveis para o participante  $i$ ,  $S = \prod_{i=1}^n S_i = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$  o conjunto de estratégias que especificam todas as ações em um jogo e  $f = \{f_1(x), \dots, f_n(x)\}$  a função de payoffs (matriz de payoffs) ou o conjunto de funções de utilidade dos jogadores. Ainda, sendo  $x_{-i}$  o conjunto de estratégias de todos os jogadores com exceção do jogador  $i$ . Quando cada jogador  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  seleciona sua estratégia  $x_i$ , resultando no conjunto de estratégias  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , o jogador  $i$  obtém o payoff  $f_i(x)$ . Note que o payoff depende da estratégia selecionada pelo jogador  $i$  e também das estratégias escolhidas pelos seus adversários. Um conjunto de estratégias  $x^* \in S$  é um equilíbrio de Nash quando nenhuma alteração unilateral da estratégia é rentável para este jogador, ou seja: quando  $\forall i, x_i \in S_i, x_i \neq x_i^* : f_i(x_i^*, x_{-i}^*) \geq f_i(x_i, x_{-i}^*)$ , sendo esta a função a ser otimizada no trabalho. Para fins didáticos as funções de utilidade dos agentes foram representadas de forma discreta através das matrizes de payoff.

Com o objetivo de compreender melhor o comportamento dos agentes do sistema elétrico, propomos a modelagem do leilão através de um jogo não cooperativo. Neste modelo iremos considerar a interação entre dois agentes que pretendem comprar energia no mercado livre, os agentes A e B. O agente A será uma empresa para a qual traçaremos a estratégia. O agente B será um conjunto de agentes do mercado que são concorrentes do agente A e sobre os quais o agente A não possui influência.

As regras estabelecidas para o jogo são conhecidas por todos os agentes mediante edital, todos os participantes do leilão farão movimentos simultâneos e haverá apenas um vencedor em cada leilão. As funções de payoff com o conjunto de estratégias de cada jogador serão apresentadas na forma de uma matriz de payoffs,

sendo que para escolher a melhor estratégia será utilizado o equilíbrio de Nash juntamente com as premissas dos agentes.

O problema foi modelado e resolvido utilizando o software Matlab onde as funções de payoff dos agentes foram implementadas e o jogo modelado como um problema de otimização onde se procura obter a máxima utilidade para cada jogador. Ou seja, encontrar o ponto no jogo onde nenhum jogador pode melhorar seu resultado mudando sua própria decisão. Esse ponto de equilíbrio será avaliado em relação a decisão de diversos agentes indicando ser a melhor escolha em um jogo não cooperativo simultâneo. Para avaliar o desempenho da metodologia proposta, são apresentados casos baseados em situações reais, simulando o comportamento dos agentes.

## 5. Resultados

Com o objetivo de exemplificar os conceitos citados anteriormente, foram criados dois cenários de interesse para agentes distribuidores, geradores e consumidores que operam no ACL. Foi implementado um cenário de maximização dos lucros e um cenário de minimização das perdas de energia.

### 5.1 Cenário 1: Maximizar o lucro:

No primeiro cenário, os geradores de energia que operam no ACL, organizam um leilão privado para venda da energia gerada esperando a venda no maior valor possível. Os consumidores livres (agente A e agente B-Mercado) disputam entre si para comprar a energia disponível no leilão. O objetivo dos compradores é obter a energia ao menor valor possível. Neste caso, serão analisadas as ações do consumidor livre A (agente A) que decide escolher a estratégia que dará o maior lucro, independente da escolha dos demais agentes consumidores do mercado. Ou seja, escolherá o ponto em que ocorra um equilíbrio de Nash com o maior payoff e manterá este lance independente do lance escolhido pelos demais agentes do mercado (agente B). As estratégias de cada um dos agentes são apresentadas na Tabela 1, representada na forma de uma matriz de payoffs:

TABELA 1 - Matriz de Payoffs (ganhos) dos agentes A e B para cada estratégia adotada.

		Agente B - Mercado				
		Bids	R\$150	R\$110	R\$100	R\$90
Agente A	R\$150	=	-50,0	-50,0	-50,0	-50,0
	R\$110	0,-50	=	-10,0	-10,0	-10,0
	R\$100	0,-50	0,-10	=	0,0	0,0
	R\$90	0,-50	0,-10	0,0	=	10,0
	R\$50	0,-50	0,-10	0,0	0,10	=

Cada linha da matriz representa uma estratégia do agente A, e as colunas as

estratégias do agente B (demais agentes do mercado). Os valores em cada célula representam o ganho dos agentes A e B para cada conjunto de estratégias (A, B) adotado. Cada estratégia é um lance que pode ser apresentado pelo agente ao leilão. O lance mínimo é de R\$50,00, subindo sucessivamente até R\$150,00. Se os lances dos dois agentes forem iguais será realizada uma nova rodada de lances uma vez que pode haver apenas um vencedor como resultado do leilão. O agente A já contrata energia a um preço médio de R\$100,00, desta forma seu lucro no leilão será calculado como a diferença entre sua tarifa já contratada e o preço de compra no leilão. Se ele compra energia no leilão mais barato do que sua energia já contratada ele tem um payoff positivo, e logo um lucro por conseguir uma condição mais vantajosa. Caso ele compre energia no leilão mais caro do que sua energia contratada, o agente vence o leilão mas tem um payoff negativo ou um prejuízo na compra de energia. Este cálculo serve como referência para se obter a matriz de payoffs. Por força de contrato, estratégia do agente, ou necessidade operacional pode ser necessário comprar a energia mesmo com um payoff negativo caso o agente não possua outra fonte de energia suficiente para exercer sua atividade fim. Para atingir o objetivo de maximizar o lucro calculamos o equilíbrio de Nash da matriz de payoffs com auxílio do software MATLAB. Os resultados mostraram que a matriz possui 9 equilíbrios, sendo a maioria em pontos de empate entre os agentes nos quais é iniciada uma nova rodada de lances. A estratégia que levará ao resultado desejado será o equilíbrio de Nash com o maior payoff. Para o agente A será a estratégia de oferecer um lance de R\$ 90,00 pela energia, esperando que o agente B (mercado), ofereça um lance de R\$50,00. Neste primeiro caso é considerado um jogo simétrico onde os dois jogadores possuem as mesmas informações e as mesmas opções de estratégias.

A Figura 1 (a) apresenta o ganho do agente A aplicando várias estratégias diferentes. Como pode ser observado nenhuma das estratégias apresentou melhor resultado que a estratégia onde o agente A escolhe o lance com maior retorno, baseado no equilíbrio de Nash (lance de R\$90,00). A estratégia foi implementada 100 vezes consecutivas simulando a interação de diversos agentes contra o agente A, obtendo a tendência de comportamento da estratégia escolhida.

A Figura 1 (b) apresenta o resultado acumulado das estratégias do agente A em relação às estratégias adotadas pelo mercado. Percebe-se que ao longo do tempo a estratégia no equilíbrio de Nash se mostra bem mais vantajosa que as demais. Além disso, foi representado o resultado de B quando A e B estão jogando no equilíbrio. O melhor resultado que B pode obter quando A joga no equilíbrio é também adotar uma estratégia que esteja no equilíbrio de Nash com A. Toda vez que o agente B deixar de jogar no ponto de equilíbrio de Nash este agente terá um resultado pior.

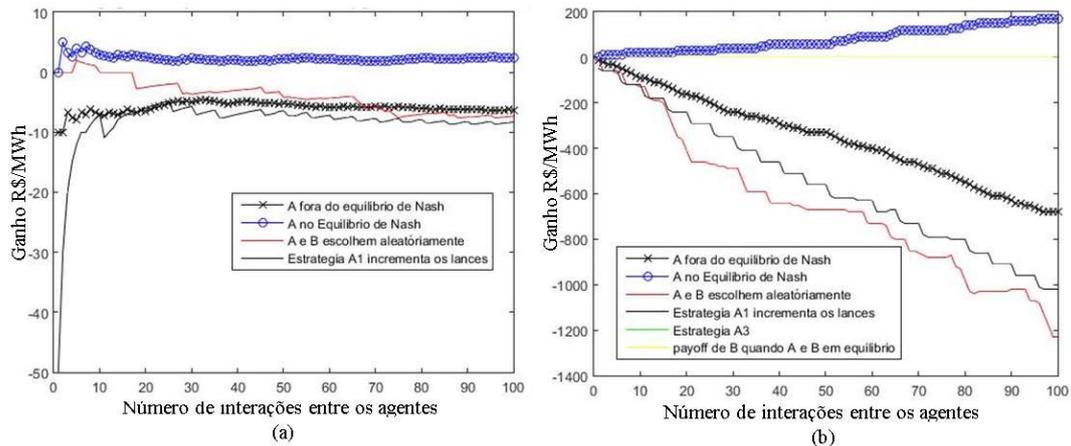


FIGURA 1 – (a) Lucro médio do agente A adotando várias estratégias dentro e fora do equilíbrio de Nash. (b) Lucro acumulado do agente A adotando várias estratégias dentro e fora do equilíbrio de Nash.

## 5.2 Cenário 2 – Minimizar as perdas de energia

No segundo cenário a matriz de payoffs do agente é otimizada com a inclusão de informações adicionais sobre o mercado, tais como perdas e topologia da rede de distribuição (Figura 2).

Para suprir a demanda deste sistema o agente possui a opção de comprar energia de duas empresas de geração: do gerador G1, instalado na Barra 1 e do gerador distribuído G10 instalado na barra de número 10. A empresa G1 possui capacidade para suprir toda a malha do agente A, no entanto tem uma perda de energia elevada para transportar a energia do gerador G1 até as barras 5, 8 e 10. Já o gerador G10 possui uma quantidade de energia limitada, típica de Geradores Distribuídos, podendo suprir apenas as barras 5, 8 e 10. No entanto o custo desta energia pode ser menor para o agente A se descontadas as perdas de se transportar a energia de G1 até estas barras.

Para simplificar o entendimento do sistema foi estabelecido que cada barra consome 1 MWh. Além disso, em cada trecho é perdido 5% de energia devido as perdas nos cabos e acoplamentos. Segundo (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016) as perdas totais de transmissão estão em torno de 16% no mercado brasileiro, sendo uma parcela relevante da produção total nacional. Quanto maior a distância entre a geração e a barra maiores são as perdas. Assim, para minimizar as perdas no sistema o agente A deve decidir adquirir energia de fontes alternativas mais próximas aos seus consumidores.

A Figura 3 (a) mostra a comparação das perdas na rede do agente A se esta for alimentada com três configurações diferentes: somente pelo gerador G1, somente pelo gerador G10 e por uma combinação de fornecimento dos dois geradores G1 e G10. O fornecimento por apenas uma das unidades geradoras não é interessante para a distribuidora de energia pois não permite distribuir de forma eficiente a carga na rede. A inserção de mais uma fonte permite diminuir a distância entre a carga e os geradores e com isto diminuir a energia perdida com o transporte

nas barras. Da mesma forma, os benefícios da geração distribuída e da compra de energia de fontes conjugadas pelo agente A é mostrado na Figura 3 (b), onde estão representadas as perdas em KWh.

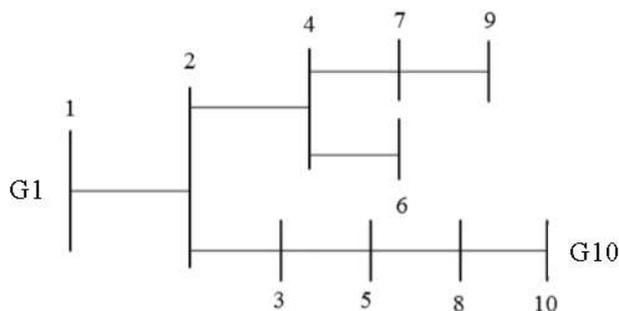


FIGURA 2 – Sistema de 10 barras de distribuição do agente A

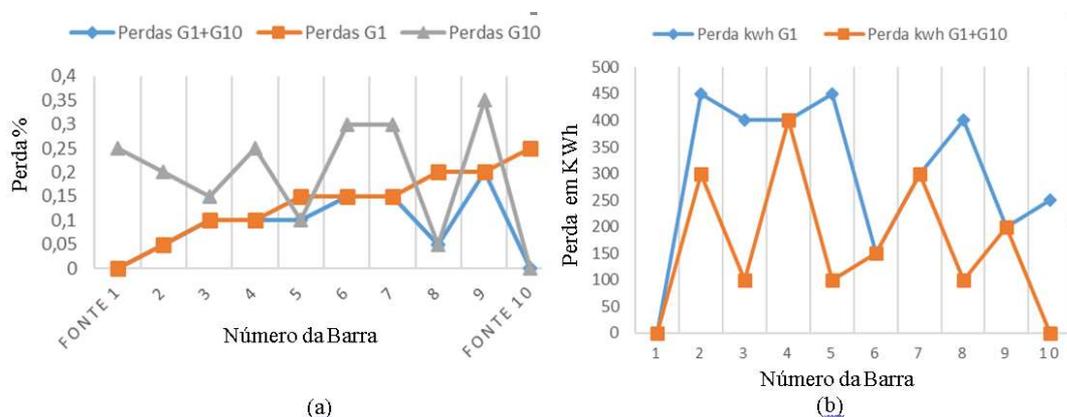


FIGURA 3 – (a) Perdas percentuais de energia em cada barra simulando as configurações de alimentação com G1, G10 e G1+G10. O eixo y é o valor % da perda e o x a barra em que a perda ocorre (b) Perdas em kWh na rede do agente A em duas configurações de alimentação: G1 e G1+ G2

A Tabela 2 mostra a relação entre a demanda de uma barra e a quantidade de energia necessária para supri-la considerando as perdas de transporte. Avaliando o preço da energia do agente A e considerando as perdas relativas a compra de energia em G1, percebe-se que o agente A pode pagar 15% a mais pela energia de G10 e ainda terá uma redução de 4,5% nos gastos de energia na rede. Para isto é necessário optar pela compra combinada de energia das empresas de geração G1 e G10. Além disso, caso consiga pagar em G10 o mesmo preço da energia adquirida de G1 teremos uma redução nos gastos com compra de energia da ordem de R\$ 49.700,00.

O valor economizado com a redução dos gastos com perdas viabilizaria ao agente pagar um maior valor na energia disponibilizada pelo gerador G10, aumentando a chance de arrematar o lote de energia. Por exemplo, oferecendo um lance de até R\$110,00 pela energia de G10 o agente A não teria ganho financeiro com a compra de energia, mas teria uma redução da sobrecarga média da rede de 4,5%, chegando a 30% em alguns pontos.

TABELA 2 – Comparação entre os gastos em kwh em cada barra, considerando as perdas nas configurações de fornecimento de G1 e G1+G10 e um preço fixo de energia para cada um dos geradores.

Nº da barra	Demanda em KWh em cada barra	KWh gerado apenas por G1 para atender a demanda das barras (com perdas de transporte)	KWh gerado por G1 + G10 para atender a demanda das barras (com perdas de transporte)
Fonte G1 Barra 1	1.000 KWh	11.435 KWh	7.786 KWh
Barra 2	1.000 KWh	9.938 KWh	6.463 KWh
Barra 3	1.000 KWh	4.310 KWh	1.000 KWh
Barra 4	1.000 KWh	4.203 KWh	4.203 KWh
Barra 5	1.000 KWh	3.153 KWh	1.000 KWh
Barra 6	1.000 KWh	1.000 KWh	1.000 KWh
Barra 7	1.000 KWh	2.050 KWh	2.050 KWh
Barra 8	1.000 KWh	2.050 KWh	2.050 KWh
Barra 9	1.000 KWh	1.000 KWh	1.000 KWh
Fonte G10 Barra 10	1.000 KWh	1.000 KWh	3.153 KWh
Demanda total da rede	<b>10.000 KWh</b>	<b>11.435 KWh</b>	<b>10.938 KWh</b>
Preço base do kwh	R\$100,00	R\$100,00	R\$100,00
<b>Custo total em R\$</b>	<b>R\$ 1.000.000,00</b>	<b>R\$ 1.143.500,00</b>	<b>R\$ 1.093.800,00</b>

O objetivo do agente A é reduzir a sobrecarga na rede. Assim, torna-se viável o aumento no valor do lance pela energia de G10 de forma proporcional ao recurso economizado com as perdas. Esta estratégia aumenta a chance do agente A integrar G10 em sua rede. A Tabela 3 ilustra a tática que será utilizada pelo agente A (matriz de payoffs).

TABELA 3 – Payoffs com os novos objetivos para o agente A.

		Agente B – Mercado				
Bids		R\$150	R\$110	R\$100	R\$90	R\$50
Agente A	R\$150	=	-35,0	-35,0	-35,0	-35,0
	R\$110	0,-50	=	0,0	0,0	0,0
	R\$100	0,-50	0,-10	=	15,0	15,0
	R\$90	0,-50	0,-10	0,0	=	30,0
	R\$50	0,-50	0,-10	0,0	0,10	=

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos com a estratégia adotada realizando as mesmas análises realizadas no cenário 1. No eixo y está representado o lucro em R\$/MWh obtido pelo agente e no eixo x o número de vezes que o agente A utilizou a estratégia contra o mercado.

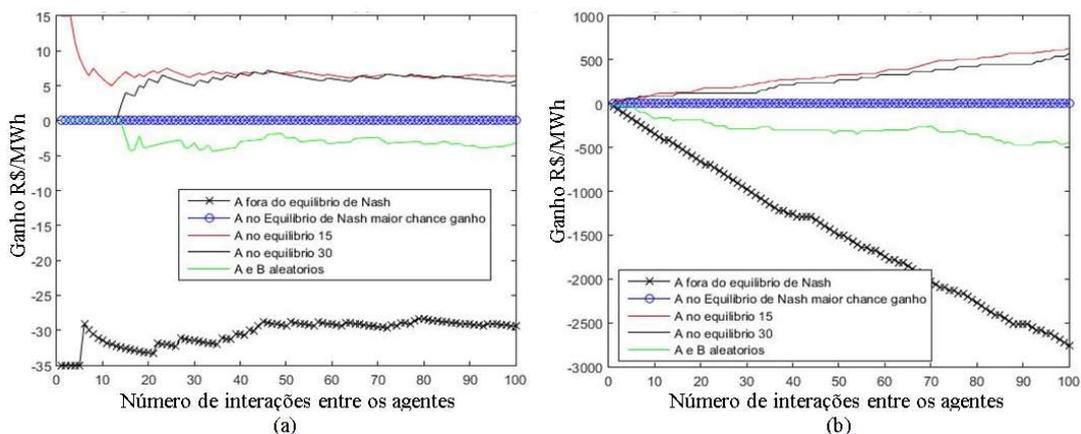


FIGURA 4 - (a) Resultado médio do agente A adotando várias estratégias. (b) Resultado acumulado do agente A adotando várias estratégias.

Neste exemplo, a estratégia em equilíbrio de Nash que aumentaria as chances do agente A arrematar o lote de energia do gerador G10 é oferecer um lance de R\$110,00/KWh. Nestas condições o lucro do agente A com a compra de energia é 0, mas o agente B não teria opções de estratégias vencedoras com lucro, minimizando o interesse do mercado pelo lote.

O agente poderia ser menos agressivo em seus objetivos e compensar um aumento do risco marginal de perder o lote G10 com o aumento do risco de se obter um payoff positivo. Neste caso o equilíbrio a ser escolhido seria o lance de R\$ 100,00. Esta não é a opção com o maior payoff, que seria a opção de lance com R\$90,00, mas como existe mais de um equilíbrio com lucro positivo nesta estratégia, e estatisticamente a chance de obter lucros maiores neste caso é maior, está seria a estratégia mais rentável. Este comportamento pode ser visto na linha vermelha (estratégia A no equilíbrio 15) da Figura 5 (a) e 5 (b).

## 6. Conclusões

Neste estudo foram demonstradas aplicações da Teoria de Jogos na avaliação da melhor estratégia a ser utilizada por agentes em um ambiente de disputa, através de lances ofertados para a concessão de lotes de energia. Observou-se que agentes que escolhem estratégias no equilíbrio de Nash obtêm resultados melhores do que agentes que escolhem estratégias fora do equilíbrio. Também foi possível demonstrar que o equilíbrio de Nash aponta a melhor estratégia a ser escolhida dentre as estratégias disponíveis. Caso as estratégias disponíveis sejam aprimoradas utilizando informações complementares do sistema, os pontos em equilíbrio de Nash serão atraídos para os melhores resultados destas novas estratégias, representando melhor os objetivos desejados pelos agentes. Conclui-se que cabe ao agente traçar as estratégias de ação segundo seus objetivos sendo o equilíbrio de Nash uma ótima ferramenta para escolher qual destas ações trará o melhor resultado. O método pode ser utilizado com funções de utilidade discretas ou contínuas para melhor representar as interações entre os agentes. Além disto se

demonstrou adequado para representar situações reais do mercado de energia, cabendo ao agente definir o número de variáveis representadas pelo jogo. Também foi evidente a utilidade do leilão privado entre agentes do ACL como ferramenta adicional no aumento das receitas dos agentes organizadores.

## REFERÊNCIAS

**CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, CCEE, [www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br), 2016.

DECHENAUX, D., KOYENOCK, D.; Roman M. SHEREMETA, R.M.; **A survey of experimental research on contests, all-pay auctions and tournaments**, *Experimental Economics*, Volume 18, Issue 4, p. 609–669, 2015

DUSSE, A.C.S.; LISBOA, A.C.; RODRIGUES, A.C.C.; SANTOS, F.F.G.; SALDANHA, R.R. **Equilíbrio de Nash e Competição de Stackelberg na Sazonalização no Mercado de Energia Brasileiro**. Simpósio de Engenharia de Produção, XIII SIMPEP, 2015.

KANG, D.J; KIM, B.H.; HUR,D.; **Supplier bidding strategy on non-cooperative game theory concepts in single auction power pools**, *IEEE-Electric Power Systems Research*, v. 77, p.630-636, 2007.

NASH, J.; **Non-cooperative games**. *Annals of Mathematics*, v. 54, p.286-295,1951.

SAAD, W.; HAN, Z.; POOR, H.V.; BSAR, T.; **A Noncooperative Game for Double Auction-Based Energy Trading between PREYs and Distribution Grids**, *Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids*, *IEEE SmartGridComm*, p.1-6, 2012.

SONG, H.; LIU, C.C.; LAWARRÉE, J.; **Nash Equilibrium bidding strategies in a bilateral electricity market**, *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n.1 2002

TOELCH, u.; GARCIA, E.J.; NELSON, Z.K.; DOLAN, R.J.; **Competition strength influences individual preferences in an auction game**, *Cognition*, 133, p 480-487, 2014.

TOZIEL, N.P.; VIEIRA,W.C.; MATTOS, L.B.; **Efeitos da participação de consórcios nos lances e deságios em leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil**, *Economia Aplicada*, V.18, N.1 Ribeirão Preto, 2014.

YANG, D.; FANG, X.; XUE, G.; **Game Theory in cooperative communication**, *IEEE Wireless Communications*, v. 19, i.2, p. 44-49, 2012.

YANG, Y., ZHANG, Y., LI, F., AND CHEN, H. **Computing all Nash equilibria of**

multiplayer games in electricity markets by solving polynomial equations, IEEE Transactions on Power Systems, 27, p.:81-91, 2012.

## **CAPÍTULO XIV**

### **ESTUDO REALIZADO SOBRE TEORIA DAS FILAS APLICADO EM UMA FARMÁCIA NA CIDADE DE BELÉM-PA**

---

**Yvelyne Bianca Iunes Santos  
Fernanda Quitéria Arraes Pimentel  
Jessé Andrade Dias  
Rafael Pereira Guerreiro  
Roberta Guedes Guilhon Cruz**

## ESTUDO REALIZADO SOBRE TEORIA DAS FILAS APLICADO EM UMA FARMÁCIA NA CIDADE DE BELÉM-PA

**Yvelyne Bianca lunes Santos**

Universidade do Estado do Pará

Belém – Pará

**Fernanda Quitéria Arraes Pimentel**

Universidade do Estado do Pará

Belém – Pará

**Jessé Andrade Dias**

Universidade do Estado do Pará

Belém – Pará

**Rafael Pereira Guerreiro**

Universidade do Estado do Pará

Belém – Pará

**Roberta Guedes Guilhon Cruz**

Universidade do Estado do Pará

Belém – Pará

**RESUMO:** Este artigo teve como objetivo a realização de um estudo aplicando teoria das filas no sistema operacional de uma farmácia de médio porte na cidade de Belém, os dados foram coletados durante o intervalo de uma hora, quando foi contabilizado o número de clientes que chegam à fila a cada minuto, o tempo de atendimento e o tempo de espera dos clientes na fila. Foi observado que três atendentes em horários de movimento moderado eram o suficiente para atender com eficiência e sem ociosidade. Notou-se também que a adição de um caixa tornaria o sistema ocioso. Foram feitas simulações e propostas de melhorias para dias de pico no estabelecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filas; processos operacionais; farmácia.

### 1. Introdução

O segmento farmacêutico mantém expansão superior ao do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, mesmo enfrentando desafios como a atual economia instável do país, representada pela alta do dólar e o crescimento da inflação. A indústria de farmacêuticos elevou suas vendas em 12% com faturamento de R\$ 65,8 bilhões, passando a cada vez mais ganhar destaque e movimentando a economia do país. No setor varejista também foi constatado crescimento das grandes redes de farmácia do país, atingindo 12,8% de faturamento em relação ao ano anterior, apresentando faturamento de R\$ 32,39 bilhões. (VALÉCIO, 2015)

As filas são elemento quase sempre frequente nas grandes redes de farmácias do país, às vezes não podendo ser evitadas, devido à alta demanda da população, tendem a ser toleradas gerando atrasos e inconveniências. No entanto,

é possível realizar estudos nos processos formadores de filas, visando o controle das mesmas, de forma a dimensionar e determinar soluções para diminuir os prejuízos causados e aumentar a produtividade do estabelecimento, assim como aumentar a satisfação dos clientes.

A proposta do artigo é a realização de um estudo, aplicando a Teoria das Filas em uma farmácia de médio porte, visando analisar e definir o comportamento da fila em questão. Os resultados poderão ser utilizados para tomadas de decisões, visando reduzir custos de operação do estabelecimento.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Teoria das filas

Segundo Melo (2014), a Teoria das Filas “se baseia no comportamento de um conjunto de elementos que aguarda, por um tempo variável ou não, por um serviço ou ação de benefício” e um sistema de filas “é composto de elementos que querem ser atendidos em um posto de serviço e que, eventualmente, devem esperar até que o posto esteja disponível” (ANDRADE, 2000).

A teoria das filas consiste em um método analítico que aborda, por meio de formas matemáticas, relações entre demandas e atrasos sofridos pelo usuário do sistema, para a avaliação de medidas de desempenho dessa relação em função da disposição deste sistema (ARENALES et al, 2007).

#### 2.1.1 Características de uma fila

Segundo Fogliatti e Matos (2007), a definição de um sistema de filas ocorre quando existe um processo em que usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam. Para entender seu funcionamento, é necessário conhecer quatro elementos básicos do processo de filas:

**a) Chegada ( $\lambda$ ):** Prado (2014), define o processo de chegada como sendo a taxa média de chegada dos clientes. São conhecidos os números de chegadas e os instantes de tempo em que elas acontecem, o processo é chamado determinístico, caso contrário, tem-se um processo aleatório constituindo um processo estocástico, caracterizado por uma distribuição de probabilidade. Nos casos mais comuns, considera-se que as chegadas obedecem a uma distribuição de Poisson. (FOGLIATTI E MATOS, 2007).

**b) Atendimento ( $\mu$ ):** O modelo de atendimento é normalmente especificado pelo tempo de serviço, isto é, o tempo requerido pelo atendente para concluir o atendimento. Da mesma forma que o modelo de chegada pode ser determinístico (constante), ou uma variável aleatória (quando o tempo de atendimento é variável e segue uma distribuição de probabilidades presumidamente conhecida). A constante

representa a taxa média de atendimentos por unidade de tempo. (AZEVEDO et al, 2015).

**c) Disciplina da Fila:** Segundo Chwif e Medina (2007), a disciplina da fila é a regra que define qual o próximo cliente a ser atendido, ou seja, a ordem em que os usuários são selecionados da fila para o atendimento. Esta ordem pode ser classificada em FIFO (First In, First Out), o primeiro que chega é o primeiro a sair, PRI (Priority Service), onde o objetivo é manter um cliente específico na fila por menos tempo possível, LIFO (Last In, First Out), o primeiro usuário atendido é o último que chega e SIRO (Service In Random Order), onde o atendimento segue uma ordem aleatória.

**d) Estágios:** O sistema pode ainda possuir estágios, onde há filas em série, uma para cada processo dos mesmos e cada estágio pode ter características distintas umas das outras. (MOREIRA et al, 2014). Para Gross (1998), a maior parte dos modelos estocásticos de filas assume a forma de distribuição exponencial para os tempos de serviço e sua correspondente, a distribuição de Poisson, para as ordens de chegada.

### 2.1.2. Processos estocásticos e cadeia de Markov

De acordo com Winston (1994), um processo estocástico é simplesmente uma descrição da relação entre as variáveis aleatórias  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_t$ . Sendo que maioria das situações,  $X_t$  não é conhecido antes do tempo  $t$ , e pode ser visto como uma variável aleatória.

Processo estocástico é um conjunto ordenado de variáveis aleatórias  $\{X_t\}$ , em que o índice  $t$  percorre um dado conjunto  $T$ , que descreve o comportamento de um sistema que opera ao longo de algum período (se altera com o tempo).

Ainda segundo Hiller e Lieberman (2013), o processo estocástico é uma cadeia de Markov se ele possuir a propriedade markoviana dita a seguir: a probabilidade condicional de qualquer “evento” futuro ocorrer, dado quaisquer “eventos” passados e o estado presente, depende somente desde estado atual, ou seja, independe de qualquer evento passado.

### 2.2. Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade e é utilizada, segundo Ferreira (2005) quando se deseja contar o número de eventos de certo tipo, em um intervalo de tempo, ou superfície ou volume. Os eventos devem ser: aleatórios, independentes uns dos outros e ter a mesma probabilidade sobre o intervalo considerado; para que seja aplicada a distribuição de probabilidade de Poisson, e pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$P(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

Onde:

$x$  = número de ocorrências do evento em um intervalo;

$\lambda$  = taxa de ocorrência do evento;

$e$  = constante natural ( $\approx 2,71828$ ).

### 2.3. Distribuição exponencial

Se a distribuição de chegadas está ligada à Poisson, a de atendimento está ligada à exponencial (PRADO, 2006). Para Portnoi (2010), Essa distribuição é utilizada para intervalos de chegadas sucessivas com intervalo variado de uma para outra, ou de tempo, ou de serviço. A distribuição é dada pela Equação 02, sendo  $x$  uma variável contínua ( $x \geq 0$ ).

$$F(x,\mu) = 1 - e^{-(\mu \cdot x)}$$

### 2.4 O modelo M/M/c

De acordo com PRADO (1999), o modelo M/M/c é aquele que apresenta uma fila e diversos servidores, população finita ou infinita e que tanto a chegada quanto o atendimento seguem a distribuição de Poisson ou a distribuição Exponencial Negativa. E ainda considera que a capacidade dos servidores ( $\mu$ ) é a mesma.

Segundo KLEINROCK (1975), esse modelo representa uma realidade onde usuários ingressam no sistema, com tempos entre chegadas sucessivas seguindo uma distribuição exponencial de parâmetro( $\lambda$ ), buscando por um determinado serviço.

### 2.5 Teste Qui-quadrado

Este teste mede a eficiência do ajuste da distribuição, ou seja, quando a frequência observada está próxima da frequência esperada, daí o nome de aderência. “Os testes de aderência são utilizados para avaliar afirmações feitas sobre a distribuição de valores numa população” (STEVENSON, 1981).

Para obter um valor da tabela Qui-Quadrado para fins de comparação, deve-se determinar o grau de liberdade. Conforme Stevenson (1981) “o n mero de grau de liberdade para um teste de aderência é igual ao número  $k$  de categorias menos o número de vínculos nos dados amostrais”.

### 2.6 Modelagem analítica

Vieira et al (2015), ressaltam a importância da análise das características de

um sistema. Dentre as medidas de desempenho, podemos citar o número médio de usuários na fila (NF) e no sistema (NS), tempo médio de espera de um usuário na fila (TF), tempo médio de permanência de um usuário no sistema. A taxa de ocupação  $r$  do atendente é definida pela equação:  $r = \lambda / \mu$ , tendo uma relação inversa com a quantidade de atendentes disponíveis. O parâmetro  $\rho$  definido na equação:  $\rho = \lambda / c * u$ , é denominado taxa de ocupação.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Descrição do sistema

O sistema analisado no estudo de caso trata-se de uma farmácia localizada em um shopping Center de Belém do Pará. O local possui três postos de atendimento aos clientes (caixas), em paralelo, onde se efetua o serviço de pagamento. Os clientes disponibilizam-se em uma fila, seguindo o modelo FIFO (o primeiro que entra é o primeiro que sai). O dia selecionado para coleta de dados foi uma sexta-feira, no início do mês de maio, das 19h00min às 20h00min, horário considerado de pico de atendimento no estabelecimento.

#### 3.2. Modelagem do sistema

Com o intuito de definir as técnicas a serem utilizadas, foi efetuada uma coleta de dados e análise dos dados coletados nas filas de atendimento do estabelecimento. Dados coletados referem-se ao número de clientes que chegavam à fila a cada minuto, ao tempo de espera na fila e ao tempo de atendimento desse cliente. O tipo segue a organização de uma fila para três caixas.

#### 3.3. Chegada dos clientes

O processo de chegada dos clientes na fila foi observado e cronometrado de acordo com quantos clientes chegavam por minuto, totalizando uma hora de observações. A tabela com a frequência observada e frequência relativa, encontra-se abaixo:

TABELA 1- Frequência observada

Ritmo	Frequência observada (O <sub>i</sub> )	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	17	0,2833	0,2833
1	19	0,3167	0,6000
2	9	0,1500	0,7500
3	9	0,1500	0,9000
4	5	0,0833	0,9833

5	1	0,0167	1,0000
Total	60	1	1

Fonte: Autores (2016)

Observando a tabela acima, é possível definir quantos clientes chegam, em média, por minuto na fila, através da fórmula:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=0}^{n=5} (\text{Frequência observada}) * (\text{número de chegadas por minuto})}{(\text{tempo total observado})}$$

O  $\lambda$  encontrado foi de 1,4833 pessoas chegando por minuto na fila, então calculou-se a frequência de Poisson para posteriormente realizar o teste do chi-quadrado, como pode ser observado na tabela abaixo:

TABELA 2- Frequência de Poisson

Ritmo	Frequência de Poisson	Frequência acumulada	Frequência calculada (Ei)	(O <sub>i</sub> -E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /E <sub>i</sub>
0	0,2269	0,2269	13,6128	0,8428
1	0,3365	0,5634	20,1923	0,0704
2	0,2496	0,8130	14,9760	2,3846
3	0,1234	0,9364	7,4048	0,3437
4	0,0458	0,9822	2,7459	1,8503
5	0,0136	0,9958	0,8146	0,0422
Total	0,9958	0,9958	59,7465	5,5340

Fonte: Autores (2016)

### 3.4. Atendimento dos clientes

Realizada a parte referente ao tempo de chegada, é testada outra distribuição para o tempo de atendimento do cliente. Para isto, foi necessário cronometrar o tempo que cada funcionário gastava para atender cada cliente. Após isso, encontrou-se o valor da amplitude dos intervalos (0,37), distribuídos para cada classe.

TABELA 3 - Frequência observada (O<sub>i</sub>).

Tempo (minuto)	Média do Intervalo	caixa 1	caixa 2	caixa 3
0	0,37	2	3	3
0,37	0,72	1	3	2
0,72	1,07	6	8	5
1,07	1,42	5	6	7
1,42	1,77	5	5	3
1,77	2,12	4	3	1
2,12	2,47	1	1	1

2,47	2,82	2,645	2	0	2
2,82	3,17	2,995	2	2	2
3,17	3,52	3,345	0	1	2
3,52	3,87	3,695	1	0	0
		<b>Total</b>	29	32	28

Fonte: Autores (2016)

Multiplicaram-se cada atendimento pela média dos intervalos, fazendo a somatória com todos os termos e por fim, dividiu-se pela soma de todos os atendimentos realizados. Aplicou-se o mesmo método para os outros caixas, obteve-se a média dos tempos de atendimentos dos servidores estudados, o qual foi 1,483 minutos. Com o tempo de atendimento fez-se o cálculo do  $\mu$  para cada operador, o qual é o inverso do tempo de atendimento. O  $\mu$  médio é dado pela média do  $\mu$  de cada servidor, o qual foi igual a 0,688.

TABELA 4 - Valores do ritmo de atendimento por servidores.

	Taméd (min)	$\mu$ méd (min)
<b>Caixa 1</b>	1,5702	0,6369
<b>Caixa 2</b>	1,3206	0,7572
<b>Caixa 3</b>	1,4939	0,6694
<b>Média</b>	1,4833	0,6878

Fonte: Autores (2016)

Assim como para a chegada, foi necessário construir outras tabelas para calcular o qui-quadrado, tais como a Frequência Relativa Observada, Frequência Calculada ( $E_i$ ) e Frequência Relativa Calculada. Para sua aprovação todos os valores de  $\Sigma(O_i - E_i)^2/E_i$  devem estar dentro do valor do qui-quadrado para 4 graus de liberdade e 5% de significância (16,919), o que ocorre como mostrado na tabela a seguir.

TABELA 5 - Teste do qui-quadrado.

		<b>(<math>O_i - E_i</math>)<sup>2</sup>/<math>E_i</math></b>		
Tempo (minuto)		<b>caixa 1</b>	<b>caixa 2</b>	<b>caixa 3</b>
0	0,37	2,7452	2,9701	1,6078
0,37	0,72	2,7964	1,2283	1,4413
0,72	1,07	1,4906	3,1372	0,5337
1,07	1,42	1,4599	2,1782	6,0062
1,42	1,77	3,0038	2,3766	0,2419
1,77	2,12	2,4015	0,5651	0,3476
2,12	2,47	0,1677	0,1646	0,1217
2,47	2,82	0,5301	1,1479	0,6928
2,82	3,17	1,1211	1,4229	1,4024
3,17	3,52	0,7695	0,1558	2,4099
3,52	3,87	0,2398	0,5183	0,5543
<b>Total</b>		<b>16,7256</b>	<b>15,8649</b>	<b>15,3597</b>

Fonte: autores (2016)

Novamente o teste do qui-quadrado aponta que o modelo está dentro dos parâmetros de aceitação, portanto os totais são menores que o limite tabelado.

## 4. Resultados discussões

### 4.1. Parâmetros

Após a aplicação das fórmulas apresentadas anteriormente para o dimensionamento do sistema, foi utilizado o  $\lambda$  (1,48333) e o  $\mu$  geral (0,68782) encontrados para calcular os seguintes parâmetros que representam a fila estudada com três atendentes no sistema:

TABELA (6) – Parâmetros (3 caixas)

Taxa de utilização do servidor	
	71,89%
Probabilidade de sistema ocioso	
	8,75%
Nº médio de clientes na fila	
	1,330
Nº médio de clientes no sistema	
	3,487
Tempo médio de espera na fila	
	0,897
Tempo médio de espera no sistema	
	2,351

Fonte: autores (2016)

O sistema em questão apresenta-se como um sistema estável, visto que a taxa de utilização do servidor está abaixo de 80%. Foi calculado, também, até quantos clientes poderiam chegar, em média, por minuto, sem que o sistema ficasse congestionado (considerando um sistema congestionado a partir de uma taxa de 80% de utilização do servidor), esse  $\lambda$  é em média de 1,7 clientes por minuto. Os parâmetros para essa taxa de utilização estão representados abaixo:

TABELA (7) – Parâmetros com 80% de utilização do servidor

Probabilidade de sistema ocioso	
	5,61%
Nº médio de clientes na fila	
	2,589
Nº médio de clientes no sistema	
	4,989
Tempo médio de espera na fila	
	1,745
Tempo médio de espera no sistema	
	3,363

Fonte: autores (2016)

#### 4.1. Análise de cenários

A partir dos dados obtidos elaboraram-se cenários para a observação do comportamento do sistema caso o número de caixas fosse alterado. O primeiro teste adicionou-se mais um caixa ao sistema. Com a adição o sistema fica visivelmente ocioso e com uma taxa de utilização baixa, como pode ser observado na tabela abaixo:

TABELA (8) – Parâmetro para 4 caixas

Taxa de utilização do servidor
53,91%
Probabilidade de sistema ocioso
0,134
Nº médio de clientes na fila
0,308
Nº médio de clientes no sistema
2,464
Tempo médio de espera na fila
0,207
Tempo médio de espera no sistema
1,661

Fonte: autores (2016)

Mantendo o atendimento com 4 caixas e considerando que a taxa de utilização máxima para o sistema permanecer estável é de 80%, percebe-se que podem chegar, em média, até 2,2 pessoas por minuto. E os parâmetros gerados nessa situação podem ser observados a seguir:

TABELA (9) – Parâmetro para 4 caixas e utilização de 80%

Probabilidade de sistema ocioso
3,21%
Nº médio de clientes na fila
2,804
Nº médio de clientes no sistema
6,004
Tempo médio de espera na fila
1,274
Tempo médio de espera no sistema
2,728

Fonte: autores (2016)

O segundo teste leva em conta o acréscimo de 2 caixas em relação ao sistema original. Dessa forma, com o acréscimo de 2 caixa o tempo médio de espera para um cliente é aproximadamente 6 segundos e o número médio de clientes na fila chega a ser 94% menor do que o sistema original, gerando assim, um sistema ocioso.

TABELA (10) – Parâmetro para 5 caixas

Taxa de utilização do servidor	
	43,13%
Probabilidade de sistema ocioso	
	16,21%
Nº médio de clientes na fila	
	0,084
Nº médio de clientes no sistema	
	2,241
Tempo médio de espera na fila	
	0,057
Tempo médio de espera no sistema	
	1,510

Fonte: autores (2016)

Considerando este atendimento com 5 caixas, seria possível chegar, em média, até 2,75 pessoas por minuto para o sistema chegar à taxa de 80% de utilização. Neste caso, a probabilidade de ociosidade do sistema cairia de 16,2% para 1,8%. Como pode ser observado na tabela:

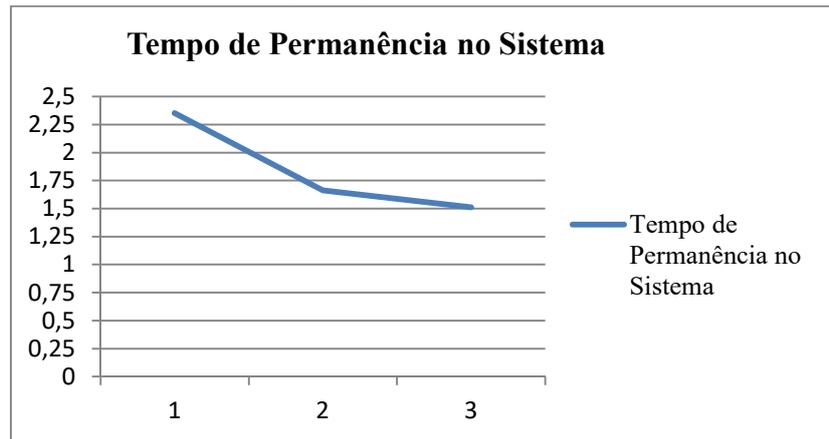
TABELA (11) – Parâmetro para 5 caixas com utilização de 80%

Probabilidade de sistema ocioso	
	1,8%
Nº médio de clientes na fila	
	3,066
Nº médio de clientes no sistema	
	7,066
Tempo médio de espera na fila	
	1,114
Tempo médio de espera no sistema	
	2,568

Fonte: autores (2016)

Ao comparar o tempo médio de espera no sistema, considerando 2, 3 e 4 caixas para um dia de movimento moderado, foi observado que houve uma redução mais significativa quando observadas as situações com 2 e 3 caixas. Isto porque o sistema com 3 caixas já encontrava-se ocioso e o acréscimo de mais um caixa quase não faz diferença. Essa análise pode ser comprovada pela observação do gráfico abaixo:

GRÁFICO (1)- tempo de permanência do cliente no sistema



Fonte: autores (2016)

## 5- Conclusões

Diante da necessidade de estar à frente dos concorrentes, a satisfação do cliente torna-se um ponto estratégico para garantir a vantagem competitiva de quem trabalha diretamente com o público. Sendo a fila um elemento que provoca constante insatisfação de clientes, o conhecimento do comportamento da mesma pode representar a diferença entre um bom e um mau atendimento.

A partir dos dados coletados e dos cálculos realizados, o objetivo do estudo de analisar e definir o comportamento da fila em questão foi alcançado. Foi observado que três atendentes em horários de movimento moderado eram o suficiente para atender com eficiência e sem ociosidade.

Porém, se a taxa média de chegada de clientes por minuto aumentar, como acontece em horários de pico, será necessária a colocação de mais um caixa, a fim de manter o atendimento sem gerar uma grande espera para o cliente. O ideal é manter funcionários de outras funções treinados, para quando necessário, fazer a alocação desses na fila.

Sugerem-se também, como pesquisas futuras, a observação dos horários em que costumam chegar mais clientes à farmácia, para um melhor controle da quantidade de caixas e pesquisas de satisfação com os clientes para que haja uma melhora contínua no atendimento.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E L. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ARENALES, M.; ARMETANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2007.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Estatística Básica**. Lavras: UFLA, 2005.

KLEINROCK, L. **Queueing Systems, Vol. I: Theory**. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1975.

MELO, I M; MIRANDA, C. C; BARBOSA, H. S; MOREIRA, C. R. M; SANTOS; Y. B. I. **Aplicação da Teoria das Filas em uma agência dos Correios**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21., 2014. Anais... Bauru: UNESP, 2014.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional – Curso Introductório. 2. ed.** São Paulo: Thomson Learning, 2010.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Série Pesquisa Operacional, Vol. 2. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial. 2014. 5a Edição.

STEVENSON, W. J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Ed. Harbra, 1981.

VIERA, A.T.S; DANTAS S.B; ALCANTARA L.V; SANTOS Y.B.I; SILVEIRA M.; **Aplicação da Teoria de Filas em uma Casa Lotérica**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2015. Anais... Bauru: UNESP, 2015.

WINSTON, Wayne L. **Operations research: applications and algorithms**. 3.ed. California: ITP. 1994.

**ABSTRACT:** This article objectived a study applying queuing theory in the operating system from a pharmacy businesses in the Belém city, the data were collected during an interval of one hour, which was recorded the number of clients that arrive at the queue every minute, the service time and the waiting time for customers in the queue. Was observed that three clerks in zones of moderate movement were enough to meet with efficiency and without idleness. It was noted that the addition of a box, would make the system idle, simulations were made and was proposed improvements for peak days in the establishment.

**KEYWORDS:** Queues; operational processes; pharmacy.

## **CAPÍTULO XV**

### **HIERARQUIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO NA DISTINÇÃO DE MEIOS OPERATIVOS DA MARINHA DO BRASIL**

---

**Marcos dos Santos  
Carlos Francisco Simões Gomes  
Jonathan Cosme Ramos  
Hudson Hübner de Sousa  
Rubens Aguiar Walker  
Fabrício da Costa Dias**

## HIERARQUIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO NA DISTINÇÃO DE MEIOS OPERATIVOS DA MARINHA DO BRASIL

### **Marcos dos Santos**

Centro de Análises de Sistemas Navais – Divisão de Pesquisa Operacional  
Rio de Janeiro – RJ

### **Carlos Francisco Simões Gomes**

Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia de Produção  
Niterói – RJ

### **Jonathan Cosme Ramos**

Faculdade SENAI CETIQT – Curso de Engenharia de Produção  
Rio de Janeiro – RJ

### **Hudson Hübner de Sousa**

Faculdade SENAI CETIQT – Curso de Engenharia de Produção  
Rio de Janeiro – RJ

### **Rubens Aguiar Walker**

Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia de Produção  
Niterói – RJ

### **Fabício da Costa Dias**

Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia de Produção  
Niterói – RJ

**RESUMO:** Fundamentar a escolha de um navio de guerra de médio porte a ser construído no Brasil, apresentando as opções de maneira hierarquizada, dentre três opções de navios disponíveis. Dentre as inúmeras ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), foi utilizado o método AHP. Os critérios foram elencados e as comparações paritárias foram feitas à luz da Estratégia Nacional de Defesa (END), do Programa Estratégico da Marinha (PEM) e de entrevistas realizadas com alguns Oficiais da Marinha do Brasil (MB) com mais de vinte anos de experiência operacional. Embora o AHP seja um método consagrado pela escola americana e amplamente utilizado pela comunidade científica, na MB não se tem registros de que tal método tenha sido aplicado nos Estudos de Estado Maior (EEM) visando à aquisição e/ou à construção de meios navais. Sendo um método hierárquico e compensatório, em muito se adequa à cultura da organização. O método apontou que a melhor opção é construir um navio totalmente novo, com modernizações mais significativas; pois este será capaz de prover as necessidades operacionais da MB, e, conseqüentemente, trazer maior retorno para a sociedade. Finalmente, foi apresentada uma breve análise de risco em relação ao modelo apontado pelo método.

**PALAVRAS-CHAVE:** construção de navios de guerra; processo de análise hierárquica; Marinha do Brasil; análise de risco

## 1. INTRODUÇÃO

A Estratégia Nacional de Defesa prevê que a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Defesa Nacional tem como propósito estimular o desenvolvimento científico e tecnológico e a inovação de interesse para a defesa nacional. Isso ocorrerá por meio de um planejamento nacional para desenvolvimento de produtos de alto conteúdo tecnológico, com envolvimento coordenado das instituições científicas e tecnológicas (ICT) civis e militares, da indústria e da universidade, com a definição de áreas prioritárias e suas respectivas tecnologias de interesse e a criação de instrumentos de fomento à pesquisa de materiais, equipamentos e sistemas de emprego de defesa ou dual, de forma a viabilizar uma vanguarda tecnológica e operacional pautada na mobilidade estratégica, na flexibilidade e na capacidade de dissuadir ou de surpreender. Dentro deste escopo, a despeito de outras dificuldades políticas e/ou financeiras, a Marinha do Brasil (MB) vem tentando desenvolver os seus próprios meios navais com tecnologia nacional.

## 2. METODOLOGIA

Buscou-se o estado da arte por meio da pesquisa em livros e consulta a artigos na base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) sobre o tema em tela. O objetivo deste levantamento foi realizar uma análise quantitativa e qualitativa dos artigos que abordam os métodos multicritério de apoio à decisão, mormente o método Analytic Hierarchy Process (AHP).

Pritchard (1969) define a bibliometria como os estudos que buscam quantificar os processos de comunicação escrita. Diante do tema tratado neste trabalho, foi realizado o levantamento bibliométrico da expressão Analytic Hierarchy Process.

Na figura 1, no período de 2005 a 2015, observa-se uma tendência de crescimento do número de artigos que abordam o método AHP. O que sugere uma relevância crescente no âmbito acadêmico.

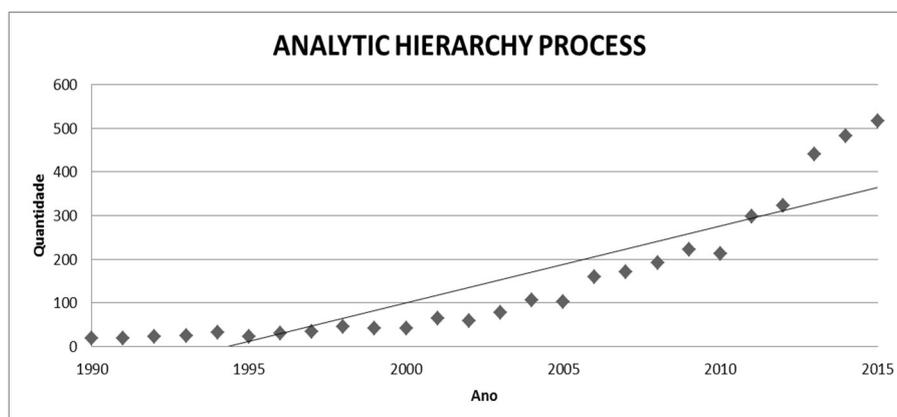


FIGURA 1 – Termo Analytic Hierarchy Process no portal de periódicos da CAPES.

Fonte: Autores (2016)

A partir dos dados publicados na Revista Marítima Brasileira (2013), buscou-se compreender o desafio da construção ou compra de novos navios para a Esquadra Brasileira seguindo sete fases, quais sejam:

**Primeira fase:** análise das principais características técnicas operacionais dos três navios possíveis de serem construídos no Brasil.

**Segunda fase:** definição da ferramenta de modelagem matemática a ser utilizada na seleção hierarquização dos possíveis navios.

**Terceira fase:** entrevista com oficiais da MB com mais de vinte anos de experiência operacional, com o propósito de elencar os critérios pertinentes para a escolha do navio mais adequado à necessidade da Força, bem como estabelecer as comparações inter-critérios e intra-critérios.

**Quarta fase:** definição dos critérios finais para a escolha do navio.

**Quinta fase:** aplicação do modelo matemático, neste caso, o método AHP.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Os métodos multicritério de apoio à decisão (AMD) têm sido aplicados em diversos tipos de problemas, como nas áreas de finanças, agronegócios, ecologia, saneamento básico, planejamento civil e militar, segurança e políticas públicas, educação, medicina, biologia, planejamento energético, telecomunicações, desenvolvimento sustentável e planejamento e controle da produção (COSTA, 2006).

Segundo Almeida (2013), um problema de decisão multicritério consiste em uma situação, em que existam pelo menos duas alternativas de ação para serem escolhidas e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos que muitas vezes são conflitantes entre si.

Para Saaty (1980), o método AHP é a decomposição e a síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho. O AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Assim, a primeira questão que se pode associar a um problema de decisão multicritério é a presença de um decisor, que exerce um importante papel em nome da organização. Ele estabelece as suas preferências e analisa as consequências que podem advir de cada escolha.

### 4. PROBLEMA

O artigo 142 da Constituição Federal, do Brasil, estabelece a destinação das Forças Armadas (FFAA):

“As FFAA, constituídas pela Marinha, pelo Exército e pela Aeronáutica, são instituições nacionais permanentes e regulares, organizadas com base na hierarquia e na disciplina, sob a autoridade suprema do Presidente da República e destinam-se à defesa da Pátria, à garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de

qualquer destes, da lei e da ordem”.

Alinhada a essa destinação, a Marinha tomou para si a seguinte missão:

“Preparar e empregar o Poder Naval, a fim de contribuir para a defesa da Pátria. Estar pronta para atuar na garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem; atuar em ações sob a égide de organismos internacionais e em apoio à política externa do País; e cumprir as atribuições subsidiárias previstas em Lei, com ênfase naquelas relacionadas à Autoridade Marítima, a fim de contribuir para a salvaguarda dos interesses nacionais.”

Desde a década de 1990, o orçamento disponibilizado pelo Governo Federal tem ficado aquém do valor necessário para atender às necessidades da MB, impossibilitando a alocação dos créditos necessários e suficientes à operação, à manutenção e ao seu reaparelhamento. As Forças Armadas, especialmente a MB, têm sofrido restrições orçamentárias que resultam no não atendimento das necessidades mínimas da Força Naval, acarretando a redução da capacidade operacional e a acumulação de demandas de diversas ordens. Cumpre ressaltar que o processo de obsolescência e envelhecimento do poder naval brasileiro se agrava ano a ano, gerando demandas que se acumulam. Caso se mantenha essa tendência, está prevista a retirada do serviço ativo até 2025, de cerca de 87% dos navios da MB hoje em operação.

Dentro deste contexto pouco favorável, no ano de 1994, a MB iniciou a construção da Corveta Barroso, figura 2, no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Um navio de médio porte, de 2.500 toneladas, que foi lançada ao mar apenas em 2008, ou seja, decorridos 14 anos do início dos trabalhos. Esse hiato temporal faz com que ela seja um navio novo, mas não moderno.



FIGURA 2 – Corveta Barroso.

Fonte: <http://www.defesaaereanaval.com.br>

Hoje, com a necessidade da construção de novos navios para a Esquadra Brasileira, a MB encontra-se diante de um novo desafio, qual seja: escolher entre replicar o modelo da atual Corveta Barroso, construir um navio com pequenas modernizações (corveta de 2.600 toneladas) ou construir um modelo totalmente novo com modernizações mais significativas (corveta com 3.000 toneladas),

ilustrado na figura 3.



FIGURA 3 – Corveta de 3.000 toneladas.  
Fonte: <http://www.defesaaereanaval.com.br>

A tabela 1 a seguir, resume as principais características técnicas-operacionais dos três modelos de navios.

TABELA 1 – Comparação dos dados das três corvetas

<b>COMPARAÇÃO</b>			
<b>Características</b>	<b>Barroso (*) Configuração 1</b>	<b>CV -2600 Configuração 2</b>	<b>CV-3000 Configuração 3</b>
Peso leve	1710	1.815	2.030
Desloc. Máx. (toneladas)	2.231	2.513	2.880
T roll (segundos)	6,97	7,99	8,3
T pitch (segundos)	5,19	5,40	5,48
Sup. de área molhada (m2)	1.215	1.348	1.463
Propulsão (modo)	(**)Codog/Codad	Codad/Codoe	Codad/Codoe
Raio de ação (n.m.)/15	4.000	9.330	10.660
Fuel endurance (dias)/15	11	26	30
Autonomia (dias)	(***) 30	25	35
Tripulação (pessoas)	150	100+20	100+20
Velocidade máx. (nós)	27	28	28
Geração elétrica (KW)	2.600	3.240KW + 408 KW	3.240 KW + 408 KW
Canhão principal	BA e 114 mm MK	Oto Melara 76mm Sp	Oto Melara 76mm Sp
Canhão secundário	Bofors 40mm MK-3	2x Bofors 40mm MK-4	2x Bofors 40mm MK-4
Mísseis ASuW	8x Exocet SSM40 BI 3	8x Exocet SSM40 BI 3	8x Exocet SSM40 BI 3
Mísseis AAW	0	1	1
Torpedos ASW	2x III Raytheon MK-46	2x III Raytheon MK-46	2x III Raytheon MK-46
Helicóptero	1x lynx / AW 159	1x lynx / AW 159	1x lynx / AW 159
Custo inicial de obtenção	US\$ 290 milhões	US\$ 310 milhões	US\$ 310 milhões
Custo do ciclo de vida de	US\$ 592 milhões	US\$ 633 milhões	US\$ 633 milhões

35 anos			
Tempo de construção	6 anos	(****) 8 anos	(****) 8 anos

Fonte: Revista Marítima Brasileira, v.133, abr./jun. 2013

## 5. MODELAGEM MATEMÁTICA

Utilizando a matriz de decisão A, o método AHP calcula resultados parciais do conjunto A dentro de cada critério  $v_i(A_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , denominado valor de impacto da alternativa j em relação à alternativa i, em que esses resultados representam valores numéricos das atribuições dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas. Os resultados são normalizados pela expressão  $\sum_{i=1} v_i(A_j) = 1$ ,  $j = 1, \dots, n$ ; onde n corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados. Cada parte do somatório consiste em  $v_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1} a_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Isso faz com que o vetor de prioridades da alternativa i em relação ao critério  $C_k$  seja:  $v_k(A_i) = \frac{\sum_{j=1} v_i(A_j)}{n}$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Depois de obtido o vetor de prioridades ou de impacto das alternativas sob cada critério  $C_k$ , continuar-se-á com o nível dos critérios. Nesse caso, adota-se novamente a escala verbal para a classificação par a par dos critérios, que são normalizados pela expressão:  $w_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1} c_{ij}}$ ,  $j = 1, \dots, m$ ; onde m é o número de critérios de um mesmo nível.

O vetor prioridade é dado por:  $w_i(C_i) = \frac{\sum_{i=1} w(C_j)}{m}$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Finalmente, os valores finais das alternativas são gerados a partir de um processo de agregação, tal que:  $f(A_j) = \sum_{i=1} w(C_i) * v_i(A_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ ; onde n é o número de alternativas. Dessa forma, determina-se uma ordenação global das alternativas por intermédio de uma função global de valor.

Também faz parte do método AHP o cálculo da Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por  $RC = IC/IR$ , em que IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é calculado por  $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$ , sendo  $\lambda_{\text{máx}}$  o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos deve ser  $RC \leq 0,10$ .

### 5.1 Seleção dos critérios

Os critérios foram elencados por meio de entrevistas realizadas com alguns Oficiais da MB com mais de vinte anos de experiência no que diz respeito à operação e manutenção de navios de guerra. A partir dessas entrevistas, os aspectos relevantes na escolha de um navio de guerra no atual contexto vivenciado pela MB, naturalmente emergiram, conduzindo à estruturação do problema na forma do mapa cognitivo apresentado na figura 4.

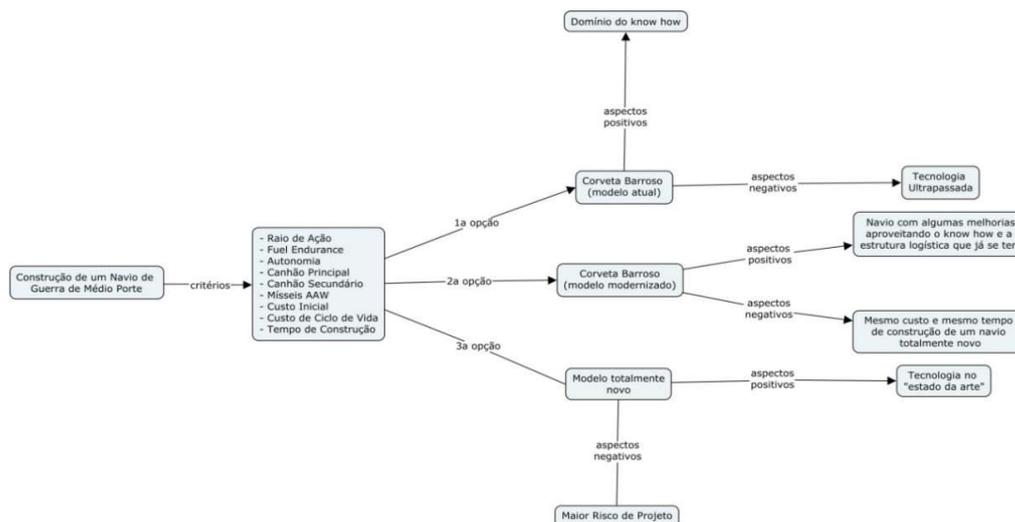


FIGURA 4 – Mapa cognitivo da escolha de um navio  
Fonte: Autores (2016)

A partir do mapa cognitivo apresentado na figura 4 e das 21 características apresentadas na tabela 1, chegou-se a 9 características que compuseram os critérios para a escolha do navio a ser construído, quais sejam:

- **Raio de Ação:** maior distância (em milhas náuticas) até onde o navio pode afastar-se de sua base, e a ela regressar, sem se reabastecer de combustível.
- **Fuel Endurance:** intervalo de tempo (em dias) que um navio pode navegar sem reabastecer de combustível, desenvolvendo a velocidade de 15 nós.
- **Autonomia:** intervalo máximo de tempo (em dias) que um navio é capaz de operar sem qualquer tipo de reabastecimento (combustível, água potável, gêneros alimentícios etc.).
- **Canhão Principal:** é um armamento de grande cadência de tiro que tem a função de advertir ou neutralizar possíveis ameaças, tais como navios, aeronaves ou mísseis. Recebe o nome de “principal” quando o navio possui outros canhões alternativos, normalmente de menor calibre.
- **Canhão Secundário:** é um canhão alternativo ao “canhão principal”, normalmente sendo de menor calibre que este.
- **Mísseis AAW:** a sigla AAW significa "anti-aircraft warfare", ou seja, são mísseis de defesa antiaérea.
- **Custo Inicial:** é o custo de obtenção ou de construção de um navio.
- **Custo de Ciclo de Vida:** o custo de ciclo de vida de um navio inclui a compra (ou construção), operação e modernização. A compra representa cerca de 25%. Os gastos com a tripulação e operação chegam a 67%. A eventual modernização corresponde de 5% a 8%.
- **Tempo de Construção:** o critério é auto-explicativo, levando em consideração desde o projeto até a entrega efetiva do navio ao setor operativo.

Adita-se que muitas características dos três modelos de navios apresentadas na Tabela 1 são irrelevantes para um navio de guerra, como “ângulo de balanço”, por exemplo. Algumas características são muito relevantes, no entanto aparecem

com mesmos valores nos três modelos de navios, como as 8 unidades de mísseis AsuW Exocet, o que não geraria discriminação entre as três opções. Tais características não foram elencadas como critérios de aquisição.

## 5.2 Matriz de decisão

A seguir, a tabela 2 apresenta a matriz de decisão com todas as células preenchidas, onde cada célula corresponde a uma alternativa de navio e seu respectivo critério. Posteriormente, tais valores da matriz foram normalizados.

TABELA 2 – Matriz de decisão

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
<b>Raio de Ação</b>	4000	9330	10660
<b>Fuel Endurance</b>	11	26	30
<b>Autonomia</b>	30	25	35
<b>Canhão Principal</b>	25	25	120
<b>Canhão Secundário</b>	1	2	2
<b>Mísseis AAW</b>	0	1	1
<b>Custo Inicial</b>	R\$290.000.000	R\$310.000.000	R\$310.000.000
<b>Custo Ciclo de Vida</b>	R\$592.000.000	R\$633.000.000	R\$633.000.000
<b>Tempo Construção</b>	6 anos	8 anos	8 anos

Fonte: Autores (2016)

## 5.3 Comparações paritárias intercritérios e intracritérios

Os nove critérios elencados foram comparados dois a dois, também por meio de uma entrevista com um especialista na área naval. A entrevista teve como propósito, elencar os critérios pertinentes para a escolha do navio mais adequado as necessidades da MB, bem como estabelecer as comparações intercritérios e intracritérios, a partir da Escala Fundamental de Saaty, tabela 3.

TABELA 3 – Escala Fundamental de Saaty

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Pouco mais importante	a análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Muito mais importante	a análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Bastante mais importante	a análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
2, 4, 6, 8 valores recíprocos dos anteriores	Valores intermediários	também podem ser utilizados

Fonte: Saaty (1980)

A tabela 4 aponta que nenhuma comparação paritária dos critérios do segundo nível passou do valor 3, ou seja, pouco mais importante na Escala Fundamental de Saaty, tendo em vista o pequeno trade off existente entre os

referidos critérios. Ato contínuo, tais valores também foram normalizados para aplicação do método.

TABELA 4 – Matriz de Ponderações

<b>MATRIZ DE PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO SEGUNDO NÍVEL</b>				
	CUSTO	BÉLICO	DESEMPENHO	TEMPO
CUSTO	1,00	2,00	2,00	0,33
BÉLICO	0,50	1,00	3,00	0,33
DESEMPENHO	0,50	0,33	1,00	0,33
TEMPO	3,00	3,00	3,00	1,00

Fonte: Autores (2016)

A tabela 5 apresenta o vetor prioridade dos critérios de segundo nível. O tempo de construção teve maior peso, seguido do custo, bélico e por último o desempenho.

TABELA 5 – Vetor prioridade dos critérios do segundo nível

<b>VETOR PRIORIDADE DOS CRITÉRIOS DO SEGUNDO NÍVEL NORMALIZADA</b>	
CRITÉRIO	VALOR
CUSTO	0,226
BÉLICO	0,189
DESEMPENHO	0,108
TEMPO	0,477

Fonte: Autores (2016)

A tabela 6 apresenta a comparação paritária dos subcritérios do critério custo. Tal matriz também teve seus valores normalizados.

TABELA 6 – Matriz de comparação dos subcritérios do critério custo

<b>MATRIZ DE PONDERAÇÃO DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO CUSTO</b>		
	CUSTO INICIAL	CUSTO CICLO DE VIDA
CUSTO INICIAL	1,000	3,000
CUSTO CICLO DE VIDA	0,333	1,000

Fonte: Autores (2016)

Assim, a ordem de prioridade dos subcritérios do critério custo é custo inicial e custo do ciclo de vida. Conforme a tabela 7, a seguir.

TABELA 7 - Vetor prioridade dos subcritérios do critério custo

<b>VETOR PRIORIDADE DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO CUSTO</b>	
CRITÉRIO	VALOR
CUSTO INICIAL	0,750
CUSTO CICLO DE VIDA	0,250

Fonte: Autores (2016)

A tabela 8 apresenta a comparação paritária dos subcritérios do critério bélico. Tal matriz também teve seus valores normalizados.

TABELA 8 - Matriz de comparação dos subcritérios do critério bélico

<b>MATRIZ DE PONDERAÇÃO DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO BÉLICO</b>			
	CANHÃO PRINCIPAL	CANHÃO SECUNDÁRIO	MÍSSEIS
CANHÃO PRINCIPAL	1	7	1
CANHÃO SECUNDÁRIO	0,14	1	0,14
MÍSSEIS	1	7	1

Fonte: Autores (2016)

A tabela 9 apresenta o vetor prioridade dos subcritérios do critério bélico. O canhão principal e os mísseis AAW ficaram empatados em primeiro lugar, seguidos do canhão secundário.

TABELA 9 - Vetor prioridade dos subcritérios do critério bélico

<b>VETOR PRIORIDADE DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO BÉLICO</b>	
CRITÉRIO	VALOR
CANHÃO PRINCIPAL	0,467
CANHÃO SECUNDÁRIO	0,067
MÍSSEIS	0,467

Fonte: Autores (2016)

Para a construção da matriz de ponderações dos subcritérios do critério desempenho, o decisor fez as comparações paritárias conforme apresentado na tabela 10. Tais valores, posteriormente, também foram normalizados.

TABELA 10 - Matriz de ponderação dos subcritérios do critério desempenho

<b>MATRIZ DE PONDERAÇÃO DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO DESEMPENHO</b>			
	FUEL ENDURANCE	AUTONOMIA	RAIO DE AÇÃO
FUEL ENDURANCE	1	0,17	0,33
AUTONOMIA	6	1	4
RAIO DE AÇÃO	3	0,25	1

Fonte: Autores (2016)

A Tabela 11 traz o vetor prioridade dos subcritérios. O subcritério Autonomia ficou em primeiro lugar, seguida pelo Raio de Ação e Fuel Endurance.

TABELA 11 - Vetor prioridade dos subcritérios do critério desempenho

VETOR PRIORIDADE DOS SUBCRITÉRIOS DO CRITÉRIO DESEMPENHO	
CRITÉRIO	VALOR
FUEL ENDURANCE	0,093
AUTONOMIA	0,685
RAIO DE AÇÃO	0,221

Fonte: Autores (2016)

### 5.4 Razão de consistência

Posteriormente, calculou-se a RC dos juízos realizados pelo decisor nas comparações paritárias, obtendo-se  $RC = 0,0811$  para a comparação dos quatro critérios de segundo nível. Para a comparação dos subcritérios do critério bélico obteve-se  $RC = 0$  e para a comparação dos subcritérios do critério desempenho obteve-se  $RC = 0,0602$ . Portanto, a inconsistência dos juízos do decisor é aceitável.

## 6. RESULTADOS ALCANÇADOS

Os cálculos realizados por meio das comparações paritárias inter-critérios e intra-critérios, resultaram na estrutura hierárquica apresentada na figura 5.

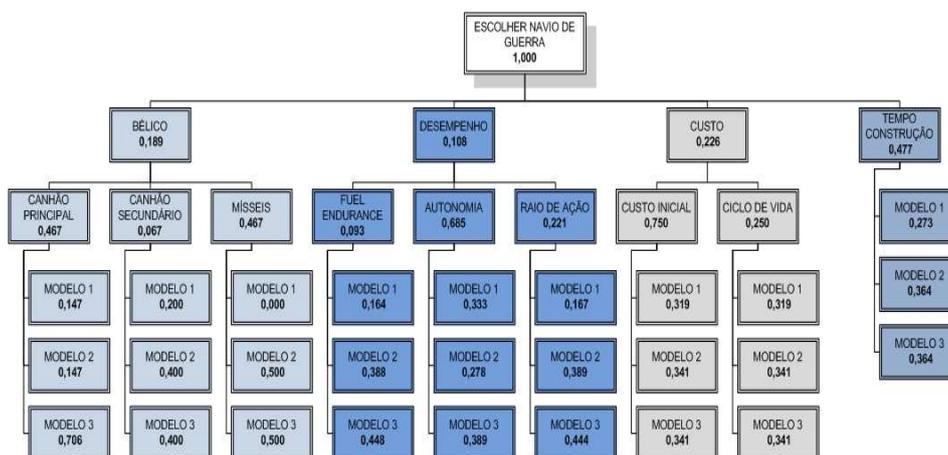


FIGURA 5 – Estrutura hierárquica do problema.

Fonte: Autores (2016)

A partir da multiplicação da matriz de decisão normalizada pelo vetor prioridade dos critérios, com todos os subcritérios agregados, chegou-se ao ranking apresentado na tabela 12, sendo este o objetivo desse trabalho.

TABELA 12 – Ranking das opções de modelos

RANKING DAS ALTERNATIVAS		
MODELO	PONTUAÇÃO	RANKING
MODELO 3	0,406	1º
MODELO 2	0,346	2º
MODELO 1	0,248	3º

Fonte: Autores (2016)

Assim sendo, a aplicação do Método AHP indica que a melhor alternativa é a construção de um navio totalmente novo. Além disso, observa-se que a pior alternativa seria replicar a atual Corveta Barroso.

### 6.1 Gestão de riscos da escolha apontada pelo modelo

Verzuh (2001) aponta que todas as técnicas de gestão são, na verdade, técnicas de prevenção de riscos. Todo projeto existente têm algum risco incorporado. Assim, o decisor que optar pela construção do modelo 3, apontado pelo método AHP, deve levar em consideração os riscos envolvidos na construção de um modelo de navio totalmente novo. A partir de riscos discutidos entre os especialistas da área militar-naval, chegou-se ao gerenciamento do risco, apresentado na tabela 13.

TABELA 13 – Gestão de riscos do modelo 3

Gerenciamento de riscos da escolha apontada pelo método											
Identificação dos Riscos		Impacto					Probabilidade	Impacto X Probabilidade	Prioridade do Risco		
Nº	Descrição dos Riscos	Custo	Cronograma	Escopo	Qualidade	Geral			Alto	Médio	Baixo
1	Contingenciamento de Recursos	0,1	0,9	0,3	0,7	0,9	0,8	0,72	Alto		
2	Atraso na entrega de componentes	0,1	0,7	0,1	0,5	0,7	0,5	0,35	Alto		
3	Alterações no projeto	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,7	0,63	Alto		
4	Erros de execução do projeto	0,7	0,7	0,1	0,7	0,7	0,7	0,49	Alto		
5	Ocorrência de acidentes	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,06	Médio		
6	Falha ou parada de equipamento crítico	0,1	0,5	0,1	0,5	0,5	0,2	0,1	Médio		
7	Perda de pessoal chave	0,7	0,7	0,1	0,7	0,7	0,7	0,49	Alto		
8	Greve; paralisações; outros problemas com sindicatos	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,2	0,1	Médio		
9	Falta de experiência em construção naval (navio de guerra)	0,7	0,5	0,1	0,7	0,7	0,4	0,28	Alto		
SOMA								3,22	Risco Geral		44%

Fonte: Autores (2016)

Esse risco geral de 44% congrega todos os fatores que podem comprometer a prontificação do navio, que em casos extremos, podem resultar na execução errada do projeto ou no atraso demasiado do mesmo.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, as questões de segurança internacional têm se pautado mais por aspectos econômicos e sociais do que políticos e militares. Devido ao fenômeno da

globalização, a luta pela defesa dos interesses nacionais, sejam eles políticos, econômicos ou estratégico-militares, paradoxalmente, tem sido muito mais contundente do que em décadas passadas. Opor-se à globalização não é produtivo, uma vez que ela tende a se expandir cada vez mais, com implicações na atuação das Forças Armadas. Vive-se um tempo em que muitas soluções do passado não mais se aplicam. Há que se evoluir em termos organizacionais e de métodos de gestão.

Dessa forma, este artigo apresentou a melhor opção de corveta a ser construída no Brasil, a partir das características dos três modelos possíveis e da atual situação da Esquadra Brasileira. Chegou-se à conclusão de que um navio totalmente novo, ou seja, o modelo de 3.000 toneladas é o melhor a ser construído. O resultado apontado pelo método AHP não pode ser adotado friamente sem uma análise criteriosa do contexto gerencial. Embora tenha sido realizado empiricamente, o gerenciamento do risco apontou um risco geral de 44%, o que parece um risco inaceitável, levando em consideração que qualquer falha na prontificação do referido navio fará com que a MB fique completamente desguarnecida de navios escolta. Contudo, tal decisão caberá à Alta Administração Naval.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão nas Organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à Decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.

GOMES, L. F. A. M.; et al. **Tomada de Decisão Gerencial - Enfoque Multicritério**. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

VOGT, R. Corvetas Sucessoras da Barroso: comparação de dois tipos de obtenção. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 133, n. 04/06, p. 108-129, abril/junho 2013.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. N. York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY T. L. and Vargas, L. G. **Prediction, Projection and Forecasting**. Boston: Kluwer Academic, 1991.

VERZUH, E. **MBA Compacto em gestão de Projetos**. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2001.

**ABSTRACT:** justify choosing a medium size battleship to be built in Brazil, presenting the options hierarchically, among three options available ships. Among the numerous multicriteria decision aid tools, the decision method was used AHP. Were criteria listed and comparisons paritarian were made in the light of the National Strategy of Defense, Navy's Strategic Program and interviews conducted with some officers of Brazilian Navy with more than twenty years of operational experience. Although AHP be a method consecrated by american school and widely used for scientific community, in Brazilian Navy not have records such method has been applied in the studies aiming to purchase and/or the means of construction naval. Being a hierarchical method and compensatory, in very fit for culture of the organization. The method pointed that the best option is to build a ship totally new with more significant modernizations; because this will provide capable of operational needs, and therefore higher return to bring to society. Finally, it was presented a brief analysis of risk in relation to model appointed by the method.

**KEYWORDS:** war ships construction; analytic hierarchy process; Brazilian Navy; risk analysis

## **CAPÍTULO XVI**

### **PESQUISA OPERACIONAL: APLICAÇÃO DE TEORIA DE FILAS NO SISTEMA DE ATENDIMENTO BANCÁRIO**

---

**Reinaldo Alves de Sá Ferreira Junior  
Gabriela Maués de Souza Martins  
Edra Resende de Carvalho  
Breno de Oliveira Pina  
Yvelyne Bianca Iunes Santos**

## PESQUISA OPERACIONAL: APLICAÇÃO DE TEORIA DE FILAS NO SISTEMA DE ATENDIMENTO BANCÁRIO

**Reinaldo Alves de Sá Ferreira Junior**

Universidade do Estado do Pará – UEPA  
Belém-PA

**Gabriela Maués de Souza Martins**

Universidade do Estado do Pará – UEPA  
Belém-PA

**Edra Resende de Carvalho**

Universidade do Estado do Pará - UEPA  
Belém-PA

**Breno de Oliveira Pina**

Universidade do Estado do Pará - UEPA  
Belém-PA

**Yvelyne Bianca lunes Santos**

Universidade do Estado do Pará - UEPA  
Belém-PA

**RESUMO:** Apresenta-se neste trabalho uma aplicação do estudo de teoria das filas no ambiente físico de um banco, no setor de atendimento expresso. A metodologia utilizada envolveu coleta de dados de chegada e atendimento, bem como observações do funcionamento e características do sistema estudado. O resultado do tratamento dos dados permitiu concluir que o sistema possui um grande fluxo de clientes, visto que o mesmo está próximo de atingir o limite de congestionamento, uma vez que a taxa de utilização é de 97% e o tempo médio que o cliente fica na fila é mais de 1 hora. Com o intuito de melhorar o desempenho de atendimento e buscar diminuir o tempo de espera na fila, aumentando a satisfação do cliente, simulou-se a variação no número de atendentes e constatou-se que o ideal seria adicionar mais um atendente, o que reduziria o tempo de espera na fila em aproximadamente 90%. O estudo desenvolvido mostra que é possível aplicar a metodologia da teoria das filas em sistemas de filas bancárias, a fim de torná-los bem dimensionados, buscando melhorias no serviço de atendimento ao cliente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pesquisa Operacional; Teoria de Filas; Setor Bancário

### 1. INTRODUÇÃO

As filas são uma das principais causas de problemas e transtornos na sociedade, tanto para o cliente que demanda o serviço e perde tempo tendo que esperar para ser atendido, quanto para quem presta o serviço que, sem saber como resolver tal problema, acaba perdendo o cliente que se sentiu lesado ou prejudicado por ter que aguardar em uma fila.

Sabe-se que a fila se caracteriza por um processo aleatório de chegada de

peçoas que demandam por um determinado serviço em comum. De acordo com Fogliatti e Mattos (2007), um sistema com fila é qualquer processo onde uma demanda procedente de uma determinada população chega para receber um serviço pelo qual esperam, se for necessário, saindo do sistema assim que o serviço é finalizado.

Apesar de não poderem ser evitadas, as filas tendem a ser toleradas, sendo assim, o estudo dos processos que acabam gerando as filas é importante para que haja um dimensionamento do problema e posteriormente uma tentativa de abrandar os prejuízos que são oriundos delas, sendo eles de produtividade, financeiros ou sociais.

Partindo deste contexto, o presente trabalho tem como foco estudar o atendimento de um banco localizado na cidade de Belém do Pará, com o intuito de demonstrar se a quantidade de funcionários que atendem na área de atendimento expresso é suficiente para a demanda deste departamento e, conseqüentemente, achar a melhor solução para um possível problema que venha a ocorrer.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. TEORIA DE FILAS**

A teoria de filas (ou teoria de congestão) é um ramo da Pesquisa Operacional que estuda as relações entre as demandas em um sistema e os atrasos sofridos pelos usuários deste sistema. A fila se forma quando a demanda excede a capacidade do sistema. Essa teoria auxilia sistemas em busca de um equilíbrio do trade-off entre os custos de oferecer serviços no sistema e os custos dos atrasos sofridos pelos usuários do sistema (ARENALES et al., 2007).

Segundo Gross e Harris (1998), um sistema de filas pode ser descrito pela chegada de clientes em busca do serviço oferecido, esperando pelo serviço se ele não for imediato, e deixando o sistema depois de serem atendidos.

Filas de espera aparecem em diversos sistemas de produção, particularmente em sistemas de serviço, tais como bancos, supermercados, correios, postos de gasolina e sistemas de manufatura. Também aparecem em sistemas de transporte, como em aviões esperando para aterrissar em aeroportos, navios esperando para descarregar em portos, entre outros diversos exemplos.

### **2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE FILAS**

Os sistemas de filas podem ser classificados em: (i) Fila única e um servidor; (ii) Fila única e múltiplos servidores em paralelo; (iii) Múltiplas filas e múltiplos servidores em paralelo; (iv) Fila única e múltiplos servidores em série. Para Arenales et al. (2007), uma rede de filas pode ser definida como um conjunto de sistemas de filas dos tipos (i) e (ii) interligados, em que alguns desses sistemas podem ser a fonte

de usuários de outros (sistema de rede de filas).

Arenales et al. (2007), acrescenta que, para se descrever um sistema de filas, precisamos de informação sobre três elementos: entrada de usuários no sistema (chegada); disciplina da fila (ordem que os usuários são atendidos) e saída ou processo de serviço (atendimento). No caso das redes de filas, é necessária informação sobre como os sistemas de filas se interligam e como os usuários são atribuídos aos diversos sistemas de filas.

### 2.3. PROCESSOS ESTOCÁSTICOS E PROCESSOS MARKOVIANOS

Um processo estocástico estuda e descreve fenômenos ao longo do tempo através de variáveis randômicas. Ao invés de precisar conhecer toda a evolução de tal sistema, como em processos determinísticos, é possível, diante de certa condição inicial, possuir outras trajetórias para estudá-lo. De acordo, Lieberman (2006) define processos estocásticos como um modelo que descreve um fenômeno (ou sistema) aleatório que evolui de acordo com o tempo. Para a classificação do processo estocástico analisam-se a natureza do conjunto, o espaço de estados e as características estatísticas das variáveis aleatórias do sistema.

Acrescenta-se que, o processo Markoviano é um processo probabilístico que, segundo Fogliatti e Mattos (2007), possui o chamado “memoryless process”, ou seja, um processo que não possui memória, uma vez que, de acordo com Taha (2008) o estado futuro depende apenas do presente e não dos eventos que ocorreram no passado. Exemplo de processos Markovianos são as distribuições de Poisson e Exponencial, utilizadas na teoria das filas.

### 2.4. DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

Segundo Hillier e Lieberman (2006), é mais comum o processo de chegada seguir uma distribuição de Poisson, a qual é utilizada para modelar o número de ocorrências de um determinado evento durante um período de tempo, conhecendo-se antes a probabilidade média de chegada. A fórmula para essa distribuição é dada por:

$$f(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

Sendo  $\lambda$  a taxa média de chegada ao Sistema, calculada por  $Dx / \sum x$ , onde D é a quantidade de pessoas que chegaram na fila em um intervalo de tempo e x é o ritmo de chegada.

### 2.5. DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL

A distribuição exponencial é contínua e mede o tempo decorrido ao desenvolver

uma tarefa. Assim, de acordo com Prado (2009), quando um determinado evento tende a distribuição de Poisson, ele também segue a distribuição exponencial negativa (ou distribuição exponencial) ao referir-se ao intervalo entre duas ocorrências, uma vez que ambos tomam como base a função probabilística, um para modelagem do processo de chegada e outro para o processo de atendimento, respectivamente.

Enquanto o número de ocorrências (processo de chegada) de um evento segue Poisson com média  $\lambda$ , a distribuição exponencial também precisa previamente da taxa média de atendimento  $\mu$ , que é calculada por:

$$\mu = \frac{\sum\left[\left(\frac{T_{max}-T_{min}}{2}\right) \cdot u\right]}{u}$$

Onde Tmax e Tmin representam os tempos de cada intervalo de atendimento e u a frequência para este intervalo. Dessa forma, como a distribuição exponencial ocorre em intervalos de tempo, o resultado é calculado pela integração da fórmula exponencial:

$$f(T) = f(T_{max}) - f(T_{min}) = (1 - e^{-\mu \cdot T_{max}}) - (1 - e^{-\mu \cdot T_{min}}).$$

## 2.4. TESTE DO CHI-QUADRADO

O teste do Chi Quadrado é um teste de hipóteses utilizado para encontrar o valor da dispersão entre a frequência observada e a frequência esperada, para avaliar se a frequência de um dado acontecimento observado varia muito ou não da frequência que é calculada. Por isso, se as frequências se comportarem de forma semelhante, a divergência entre esses grupos será próxima de zero. A fórmula para o teste é dada por:

$$X^2 = \frac{(o - e)^2}{e}$$

Onde, o = frequência observada e e = frequência calculada (esperada). Assim, após o cálculo de  $X^2$ , utilizando o grau de liberdade e o nível significância que será de 5% neste estudo, busca-se o valor de  $X^2$  tabelado, em que se o resultado de  $X^2$  calculado for abaixo do da tabela, a distribuição é aceita e com erro admissível.

## 3. METODOLOGIA

Para estudar o processo de chegada e de permanência dos consumidores em fila única nos caixas da empresa em questão, no período do levantamento de dados, foi contado o número de chegadas de clientes ao setor de atendimento expresso durante 60 minutos e o tempo de atendimento de cada cliente que chegou nesse período. Os dados foram coletados no período da manhã e obtidos no momento em que o sistema apresentava estabilidade, ou seja, a taxa de atendimento médio sendo maior que a taxa de chegada média, não havendo gargalos no processo de

atendimento.

Dos tempos de chegadas, foi coletado o número de clientes que chegavam num intervalo de um minuto durante uma hora, desconsiderando o atendimento preferencial, totalizando 27 pessoas. Essas informações foram agrupadas como dados brutos e discretos e armazenados em planilhas Microsoft Excel.

Para o tempo de atendimento, foram cronometrados os tempos com amostra de 12 a 15 indivíduos por atendente. Os dados foram armazenados e também foram agrupados em planilhas Microsoft Excel. E a partir dessa coleta foi possível aplicar os conceitos de teoria das filas e conseqüentemente determinar uma solução para um possível congestionamento.

#### 4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A empresa estudada é uma instituição pública financeira, inaugurada no país em 1861, tendo hoje mais de quatro mil pontos de atendimento espalhados no Brasil.

A jornada diária de um caixa fixo é de 6 horas. A empresa atende ao público de segunda a sexta-feira, das 10 às 16 horas. A agência escolhida para implementar os conceitos de teoria das filas localiza-se em Belém, no bairro do Umarizal. A agência em questão possui vários setores de atendimento, entretanto foi selecionado para análise o Atendimento Expresso.

O setor de Atendimento Expresso é composto por dois atendentes, e tem várias funções. São elas: solicitação de cartão, bolsa família, liberação do FGTS, seguro desemprego, reinicialização da senha de letra das contas.

Para Hillier e Lieberman (1988), a disciplina da fila se refere à ordem em que os membros da fila são selecionados para serem atendidos. O sistema em estudo é manual e segue a disciplina PEPS (Primeiro que Entra – Primeiro que Sai).

#### 5. MODELAGEM DO SISTEMA

##### 5.1. CHEGADA DE CLIENTES

A partir dos dados referentes ao número de clientes que chegam aos caixas do atendimento expresso, foi possível obter a frequência de chegada à fila para cada minuto. Os resultados destas anotações podem ser visualizados e analisados na Tabela 1 abaixo:

TABELA 1 - Frequências Observadas no processo de chegadas.

Ritmo	Freq. Absoluta (O <sub>i</sub> )	Freq. Relativa observada
0	40	0,667
1	14	0,233
2	5	0,083
3	1	0,017

Total	60	1,000
-------	----	-------

Fonte: Autores (2015).

A partir da Tabela 1 acima, foi feito o cálculo da Frequência Calculada (Tabela 2), que são os resultados obtidos a partir da distribuição de Poisson para  $\lambda = 0,45$  clientes/minuto.

Observado o valor do erro pode-se concluir que o resultado é satisfatório, pois o resultado foi abaixo do mínimo recomendado para distribuição com grau de liberdade 5% de significância, que seria um erro de 5,991. Ou seja, o teste revela que a distribuição de Poisson para  $\lambda = 0,45$  clientes/minuto é válido.

TABELA 2 - Frequências Calculadas no processo de chegadas

Ritmo	Freq. Absoluta (O <sub>i</sub> )	Freq. Relativa observada	Freq. Relativa calculada	Frequencia calculada (E <sub>i</sub> )	(O <sub>i</sub> -E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /E <sub>i</sub>
0	40	0,667	0,638	38,26	0,08
1	14	0,233	0,287	17,22	0,60
2	5	0,083	0,065	3,87	0,33
3	1	0,017	0,010	0,58	0,30
Total	60	1,000	0,999	59,93	1,31

Fonte: Autores (2015).

## 5.2. TESTE DE ADERÊNCIA GRÁFICA

Para ratificar a hipótese de que o número de chegadas por unidade de tempo segue uma distribuição de Poisson com taxa de 0,45 clientes por minuto, aos 5% de significância, foram plotados os dados das tabelas da frequência relativa calculada e observada com a finalidade de se realizar um teste de aderência gráfica (Figura 1).

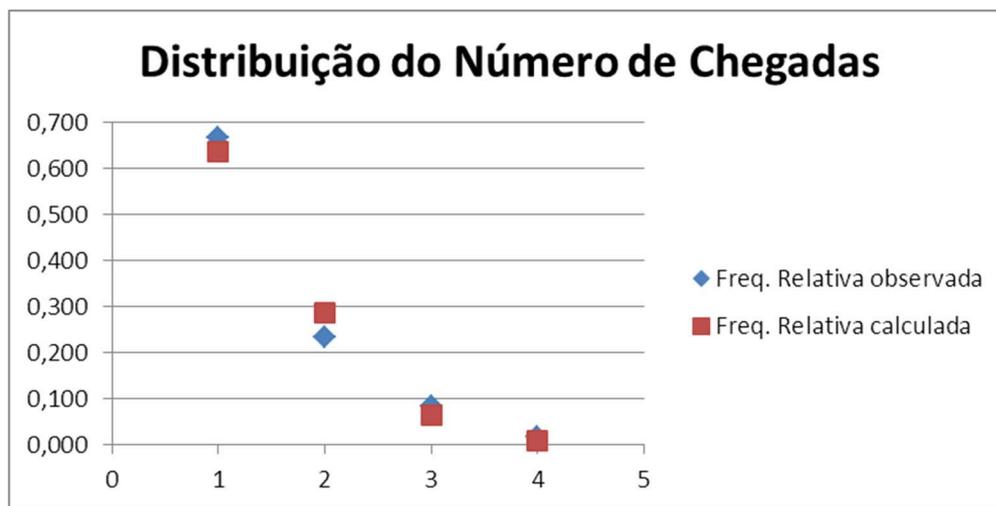


FIGURA 1 - Aderência Gráfica. Fonte: Autores (2015).

### 5.3. ATENDIMENTO DOS CLIENTES

Os dados referentes ao número de clientes que foram atendidos por caixas por intervalo de tempo considerado são representados na tabela 3. Da mesma forma que o processo de chegadas, com os dados da tabela 1 e 2, partiu-se para o cálculo da frequência calculada e os testes não-paramétricos. Também foi possível extrair o tempo de atendimento TA, e o ritmo de atendimento  $\mu$ .

TABELA 3 - Frequência Observada para Atendimento e Ritmo de atendimento

Tempo em min	Frequencia Observada (Oi)	
	Caixa 01	Caixa 02
[0 - 2]	2	3
]2 - 4]	7	7
]4 - 6]	4	5
]6 - 8]	1	3
]8 - 10]	1	0
]10 - 12]	1	1
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>19</b>
<b>TA = 1/<math>\mu</math></b>	<b>4,375</b>	<b>4,26</b>
<b><math>\mu =</math></b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>

Fonte: Autores (2015).

Com os resultados de  $\mu_m$  e  $\lambda_m$  foi feita a comparação entre a taxa de chegada média e a taxa de atendimento média, usando para isso o resultado  $\mu_m$  multiplicado por 2 (número de atendentes), bem como o cálculo da taxa de utilização  $\rho$ :

$$2 \lambda_m > \mu_m, \quad \rho = \frac{\lambda_m}{2 \times \mu_m} = \frac{0,45}{0,4630617} = 0,97$$

A taxa de utilização do sistema é de 97%. Isso significa que no instante que os dados foram coletados, o sistema encontrava-se estável, entretanto estava bem próximo de atingir o limite de congestionamento.

TABELA 4 - Frequência relativa observada para atendimento

Tempo em min	Frequência Relativa Observada	
	Caixa 01	Caixa 02
[0 - 2]	0,13	0,16
]2 - 4]	0,44	0,37
]4 - 6]	0,25	0,26
]6 - 8]	0,06	0,16
]8 - 10]	0,06	0,00
]10 - 12]	0,06	0,05
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Autores (2015).

Com os dados da frequência relativa observada (Tabela 4), partiu-se para o cálculo da frequência calculada (Tabela 5) e a realização do teste do chi-quadrado, ou seja, testar se a variável em questão, o tempo de atendimento, segue uma distribuição exponencial com taxa média de 0,23 clientes por minuto, ao 5% de significância.

TABELA 5 - Frequência relativa calculada para atendimento e chi-quadrado calculado

Tempo (minutos)	Frequência Calculado (Ei)		(Oi-Ei) <sup>2</sup> /Ei	
	Caixa 01	Caixa 02	Caixa 01	Caixa 02
[0 - 2]	6,42	6,55	3,04	<b>1,93</b>
]2 - 4]	4,07	4,10	2,12	<b>2,05</b>
]4 - 6]	2,57	2,56	0,79	<b>2,31</b>
]6 - 8]	1,63	1,60	0,24	<b>1,21</b>
]8 - 10]	1,03	1,00	0,00	<b>1,00</b>
]10 - 12]	0,65	0,63	0,18	<b>0,22</b>
<b>Total</b>	<b>16,28</b>	<b>16,15</b>	<b>6,38</b>	<b>8,73</b>

Fonte: Autores (2015).

Analisando o resultado do teste do chi-quadrado, dispostos na Tabela 6, e comparando com os resultados para grau de liberdade 5% de significância, obtêm-se o erro máximo admissível de 9,488. Portanto, como os erros foram inferiores aos recomendados, conforme ilustrado na tabela abaixo, a função adere com satisfação à realidade para ambos os operadores.

TABELA 6 - Tabela Resumo Teste Não Paramétrico

Caixa	01	02
$\chi^2 v$	6,38	<b>8,73</b>
$\chi^2 v, n$	<b>9,488</b>	<b>9,488</b>

Fonte: Autores (2015).

#### 5.4. O MODELO DE FILAS

O sistema da fila do setor de atendimento expresso é do tipo  $M / M / 2 / \infty / FIFO$ . Essa classificação é de acordo com a Notação de Kendall, com  $\lambda = 0,45$  clientes por minuto e  $\mu = 0,23$  clientes por minuto. A partir do número médio de clientes e do ritmo médio de chegada, utilizou-se das fórmulas da teoria do sistema em questão para identificar as características essenciais da fila, como: o número médio de clientes na fila, o número médio de clientes no sistema, o tempo médio que o cliente fica na fila, e o tempo médio de espera do cliente no sistema (fila adicionado do atendimento).

Após realização dos cálculos, concluiu-se que a probabilidade de a fila estar vazia

é de 1%. Em média, 33 clientes ficam na fila e 34,94 clientes no sistema. Sendo que o tempo médio em que o cliente fica na fila é de 1h22min e no sistema esse tempo sobe para 1h 29min.

### 5.5. VARIANDO O NÚMERO DE ATENDENTES

No momento em que os dados foram coletados, pode-se notar que o cliente espera mais de 1h no sistema. Com base nisso, variou-se o número de atendentes para verificar se haveria uma redução no tempo médio de espera do cliente no sistema.

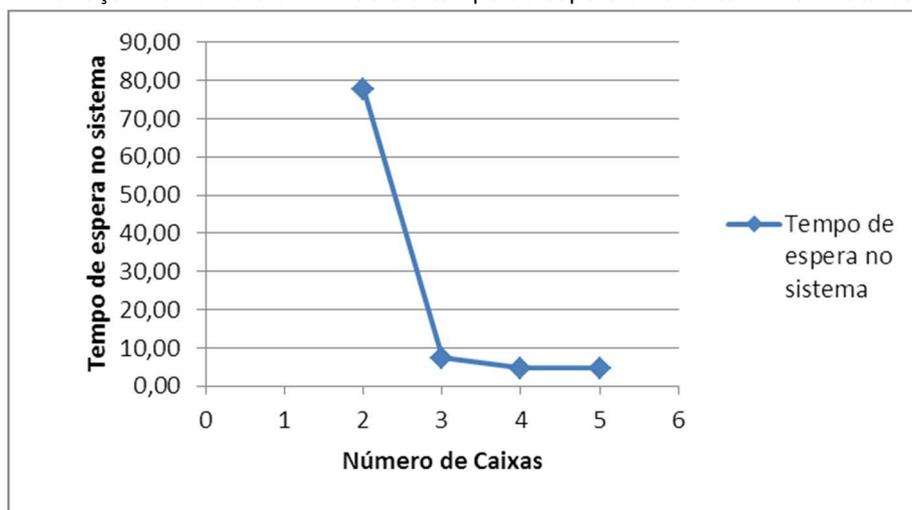
TABELA 7 - Variação na quantidade de atendentes

Nº de atendentes	Tempo de espera no sistema (min)
2	77,65
3	7,39
4	4,656
5	4,665

Fonte: Autores (2015).

Ao adicionar mais um caixa no atendimento expresso, o tempo que o cliente levaria para esperar na fila e ser atendido reduziria aproximadamente 90% do tempo que ele tomaria se existissem apenas dois caixas. A adição de um quarto ou quinto atendente reduziria ainda mais esse tempo, porém numa taxa menor. Logo, o ideal seria dispor de 3 caixas, pois o tempo de espera do cliente é de aproximadamente 7min e 24s (Tabela 7).

Figura 2 - Variação do número de caixas e o tempo de espera do cliente. Fonte: Autores (2015).



O gráfico da Figura 2 relaciona o tempo de espera no sistema com o número de caixas (atendentes). Como a demanda varia de horário para horário, achou-se útil

verificar o número de postos de atendimento que devem ser mantidos, segundo o ritmo de chegada de clientes  $\lambda$ . Para isto, fixou-se a taxa de utilização em 85% para retornar o  $\lambda$  máximo para um determinado número de caixas. Os resultados obtidos, representados na Tabela 8, podem ser usados pela gerência do sistema para dispor dos servidores para outras atividades quando a demanda o permitir.

TABELA 8 - Número de caixas segundo  $\lambda$

Ritmo de chegada de clientes (clientes por minuto)		Número de caixas	
0,20	$< \lambda <$	0,39	2
0,39	$< \lambda <$	0,59	3
0,59	$< \lambda <$	0,79	4
0,79	$< \lambda <$	0,98	5
0,98	$< \lambda <$	1,18	6

Fonte: Autores (2015).

De acordo com a tabela acima, serão necessários três caixas para atender os clientes em um ritmo de chegada equivalente a 0,45 clientes por minuto. Para dias de pico, nos quais o ritmo de chegada atinge um valor relativamente elevado, deve-se checar as informações da tabela para ter a ciência de quantos caixas serão necessários colocar em funcionamento para que a taxa de utilização não ultrapasse 85%.

## 6. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível analisar em uma instituição pública financeira o sistema de atendimento em um de seus serviços. De forma simples e objetiva identificou-se que este sistema possui o modelo  $M / M / 2$ , seguindo a ordem de chegada para o acesso ao serviço, em que o ritmo de chegada é de acordo com o modelo de Poisson e o ritmo de atendimento com uma distribuição exponencial negativa.

Embora o sistema esteja estável, pôde-se perceber que o mesmo está próximo de atingir o limite de congestionamento, uma vez que a taxa de utilização é de 97% e o tempo médio que o cliente fica na fila é mais de 1 hora. Para tanto, simulou-se a variação no número de atendentes e constatou-se que o ideal seria adicionar mais um atendente para reduzir o tempo de espera na fila em aproximadamente 90%.

Por fim, este estudo mostra que através de soluções matemáticas e operacionais, pôde-se definir o modelo que a referida empresa segue para atender seus clientes, permitindo concluir que a empresa deve rever a quantidade de atendentes disponíveis no setor de Atendimento Expresso, a fim de reduzir o tempo de espera na fila e atender de forma mais eficiente. Como proposta de estudos futuros cabe um estudo detalhado sobre o layout mais adequado diante da inserção de novos caixas de atendimento.

## REFERÊNCIAS

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H.; **Pesquisa Operacional**. Ed. Elsevier, 2007.
- FOGLIATTI, M. & MATTOS, N. **Teoria de filas**. Ed. Interciência. p.7, 2007.
- GROSS, D.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of Queueing Theory**. 3ª Edição. John Wiley & Sons, 1998.
- HILLIER & LIEBERMAN. **Introdução à pesquisa Operacional**. Tradução de Ed. Campus, 3ª edição, p.396, 1988.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução de Ariovaldo Griesi, 8ª edição. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- KENDALL, D. G. **Stochastic Process occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the method of imbedded Markov chains**. Annals of Mathematical Statistics. v. 24 , p.338-354, 1953.
- PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. 4ª edição. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2009.
- TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8ª edição. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.

**ABSTRACT:** This paper presents an application of the queuing theory in the physical environment of a bank, in the express service sector. The methodology involved data collection of arrival and service information as well as observations of the operation and characteristics of the system. Based on the results of the data processing, it can be concluded that the system presents a high flow of customers, since it is nearing the limit congestion, given the utilization rate of 97% and the fact that the waiting time for the customer in line exceeds one hour. In order to improve the service performance and to decrease the waiting time in line therefore increasing customer satisfaction, variations in the number of attendants were simulated, which led to the conclusion that the ideal action would be to add another attendant, as it would reduce the waiting time in line in about 90%. The conducted study shows that it is possible to apply the methodology of queuing theory in bank queues systems in order to make them well- sized, always seeking for improvements in customer service.

**KEYWORDS:** Operations Research; Queueing theory; Banking Sector

## **CAPÍTULO XVII**

### **PREVISÃO DE CARGA A CURTO PRAZO COMBINANDO BUSCA POR MODELOS RNA E METODO LINEAR**

---

**Samuel Belini Defilippo  
Henrique Steinherz Hippert**

# PREVISÃO DE CARGA A CURTO PRAZO COMBINANDO BUSCA POR MODELOS RNA E METODO LINEAR

**Samuel Belini Defilippo**

PPG Modelagem Computacional, UFJF

Juiz de Fora – MG

**Henrique Steinherz Hippert**

Depto. Estatística, UFJF

Juiz de Fora – MG

**RESUMO.** A Previsão da demanda de energia elétrica a curto prazo é fundamental para a trabalho diário com os sistemas elétricos. Devido a impossibilidade de se estocarem grandes quantidades de energia, uma programação eficiente da geração e da distribuição são de grande importância. Para que as mesmas ocorram, uma previsão acurada da demanda é essencial. Neste trabalho, propomos um método baseado na combinação de um modelo não-linear multivariado (rede neural artificial), especificado por meio de algoritmos genéticos, com um modelo linear (uma variação do método de amortecimento exponencial de Holt-Winters). Este método mostrou desempenho superior ao de diversos outros benchmarks com que foi comparado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Previsão de carga a curto prazo; Amortecimento exponencial de Holt-Winters; Combinação de previsões; Rede neural artificial; Algoritmos genéticos;

## 1. Introdução

A maneira como vivemos, em todo o mundo, é pautada pelo uso de diversas formas de energia. A energia elétrica é uma das mais importantes. Com ela, é possível gerar calor, luz e força, criar meios de comunicação altamente eficientes e ainda armazenar uma imensa quantidade de informação.

Para que a energia chegue ao consumidor final, existe todo um fluxo de importantes etapas, desde a geração da energia até a distribuição às casas, comércios e indústrias. Em termos simples, usinas, turbinas e geradores transformam a água/combustível (entrada) em energia elétrica (saída); essa precisa em seguida ser transmitida até as indústrias e aos centros de distribuição, para finalmente chegar aos consumidores finais. A fim de que esse fluxo funcione de maneira eficiente, são necessários cuidadosos planejamento e controle, pois a energia gerada precisa ser consumida imediatamente, já que hoje não existem meios economicamente viáveis de estocá-la em grandes quantidades.

Este planejamento exige a previsão da demanda de energia necessária, em diferentes horizontes de previsão. Cada horizonte tem um objetivo distinto, desde o curtíssimo prazo (previsão do consumo de alguns minutos até poucas horas à frente, para melhorar a distribuição da energia gerada), até o de longo prazo (previsão do consumo anos à frente, para definir investimentos na instalação de novas usinas).

Esse artigo aborda a previsão a curto prazo, 24 horas à frente, necessária para o planejamento da produção, visando minimizar os custos (por exemplo, com água ou combustível). A busca pela eficiência tornou este tipo de previsão essencial, e a desregulamentação do mercado de energia feita em diversos países no final da década de 80 aumentou ainda mais esta importância, pois a partir de então estas previsões passaram ser utilizadas na definição do preço de compra e venda da energia elétrica.

Existe uma vasta literatura sobre os modelos de previsão de consumo a curto prazo. Parte dos modelos de previsão a curto prazo propostos são univariados, isto é, baseiam-se apenas na série temporal de valores passados de consumo; estes métodos conseguem em geral bons resultados, e alguns autores argumentam que modelos multivariados não são realmente necessários (TAYLOR, 2006). Contudo, há também um grande número de artigos que propõem métodos de previsão utilizando modelos multivariados, que levam em conta informações adicionais, como dados climáticos e eventos sociais. Particularmente, técnicas de inteligência artificial tem grande poder nesse tipo de abordagem, sendo a Rede Neural Artificial (RNA) mais popular (HIPPERT, PEDREIRA e SOUZA, 2001).

Este artigo traz simulações feitas com um método que utiliza redes neurais artificiais e algoritmos genéticos (AG), metodologia popularmente utilizada em outros problemas, mas praticamente sem uso em nosso problema de previsão, especialmente na seleção de modelos de RNA e variáveis de entrada. Como também combina linearmente com método linear HWT, diminuindo as previsões discrepantes do modelo não linear.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Cargas da cidade do Rio de Janeiro**

Este trabalho é baseado em simulações sobre uma série de medições horárias da carga (em MWh), feitas na cidade do Rio de Janeiro por uma empresa de energia local. Essa base de dados contém as cargas horárias dos dias 01/01/1996 a 30/12/1997, somando um total de 17472 observações. As medições em dias especiais (como feriados) são difíceis de serem previstas e dessa forma são tratadas de maneira especial pelas empresas. Como a previsão desses dias especiais não é o foco desse trabalho, optamos por removê-las da série, substituindo estas observações anômalas pela média centrada das cargas no mesmo dia de semana no mesmo horário.

As séries de carga têm normalmente estruturas complexas, incluem vários padrões sazonais sobrepostos. O gráfico da Figura 7 mostra os perfis de consumo em uma quinzena de verão e uma quinzena de inverno, pondo em destaque o ciclo semanal, causado pela demanda média maior nos dias de semana (segunda a sexta-feira), e menor nos fins de semana.

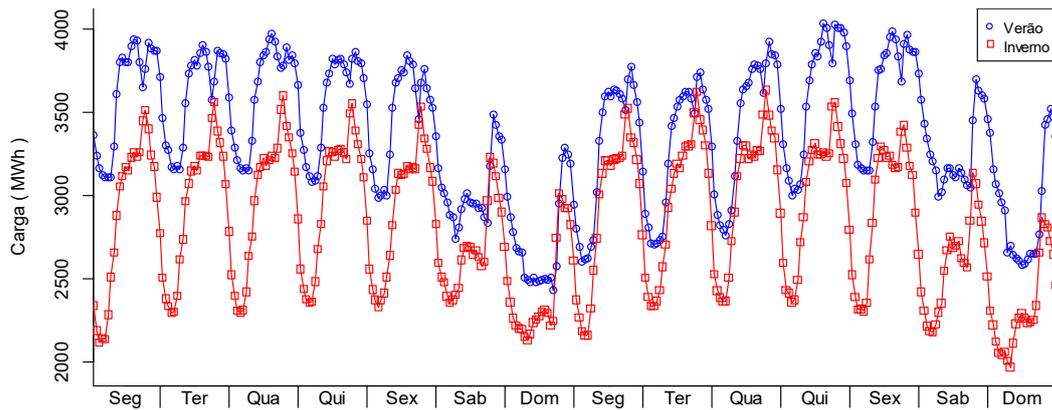


Figura 7 - Típicas curvas de demanda de energia do verão e inverno (Rio de Janeiro, Brasil)

O gráfico mostra também que a série tem ciclos diários: no inverno, quase todos os dias da semana apresentam um mesmo perfil, com um pico às 19 h; no verão, o perfil passa a ter dois picos, um às 15 h e outro às 23 h. Por fim, além destes dois ciclos, temos também um ciclo anual, relacionado as estações, que pode ser observado nas duas figuras Figura 7 e Figura 8. O aumento da carga durante o verão é devido ao uso intensivo de ar condicionado.

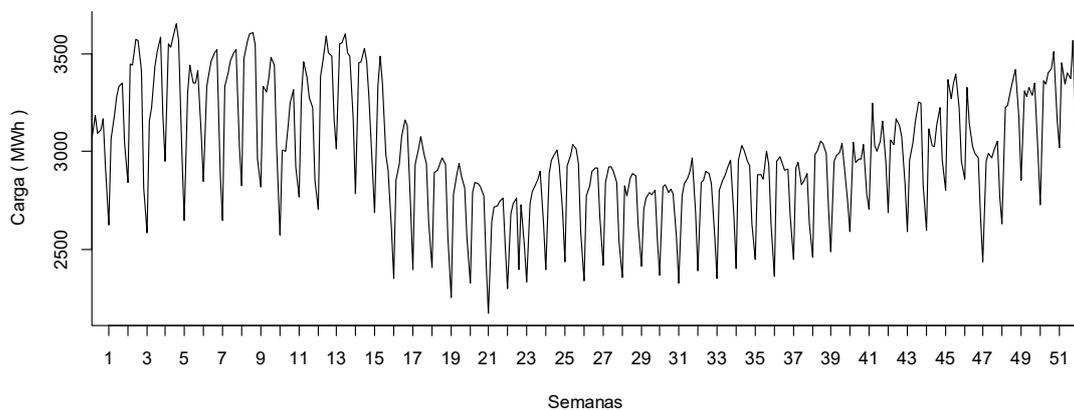


Figura 8 - Média semanal da demanda de energia durante um ano (Rio de Janeiro, Brasil)

Para as simulações, esta série de carga foi dividida em três sub-séries. Os dados das semanas 15 a 64 foram usados para treinar as RNAs (amostra de treinamento). Dados da semana 65 e 84 foram usados pelos algoritmos genéticos para verificar a aptidão dos modelos (amostra de validação). Finalmente, os dados das semanas 85 a 104 foram usados para testar os modelos selecionados pelo AG, contra quatro benchmarks diferentes (amostra de teste). Esta partição dos dados foi usada em artigos previamente publicados usando esta mesma série ( (CARNEIRO, GUILHERMINO NETO, et al., 2014; HIPPERT, BUNN e SOUZA, 2005)), e foi mantida para que os resultados obtidos neste trabalho possam ser comparados com os dos trabalhos anteriores.

## 2.2. Modelo estatística para curva de carga

Modelos de curva de carga padrão são frequentemente utilizados na indústria de eletricidade, devido principalmente à simplicidade de implementação e a relativa facilidade na interpretação de seus resultados (BUNN e FARMER, 1985). Esses modelos utilizam-se de um perfil esperado assumindo, a priori, uma forma matemática para seu comportamento.

O modelo mais comum é o modelo univariado aditivo. Nele, a demanda da hora  $h$  do dia  $d$ ,  $L_{d,h}$ , é dada pela soma dos componentes de  $B_{d,h}$ , que é uma função dos dados anteriores de demanda, mais um erro aleatório  $R_{d,h}$ . O modelo pode ser visto na eq.1:

$$L_{d,h} = B_{d,h} + R_{d,h}$$

1

Como o modelo estatístico acima consiste, a princípio, de uma única equação para todas as horas do dia, é necessário adotar algum artifício para considerar as múltiplas sazonalidades dos dados e, assim, obter melhores previsões. Na literatura, alguns autores recomendam dividir os dados em 24 séries temporais, criando um modelo para cada uma das horas do dia, previstas, assim, separadamente (RAMANATHAN, ENGLE, et al., 1997; HARVEY e KOOPMAN, 1993). Outros aconselham dividir a base não em 24, mas em 168 séries, um para cada hora de cada dia da semana (PAPALEXOPOULOS e HESTERBERG, 1990; INFIELD e HILL, 1998). Uma terceira opção tem aparecido recentemente na literatura: manter uma única equação, mas adotando métodos de previsão capazes de capturar mais de uma sazonalidade. O método mais recente é uma adaptação do modelo de amortecimento exponencial conhecido como Holt-Winters (TAYLOR, 2010; TAYLOR, 2010).

Em vez de utilizar um modelo univariado, outra opção é utilizar um modelo multivariado, capaz de lidar simultaneamente com várias entradas e 24 saídas (as previsões). Esses modelos veem sendo implementados nos últimos anos por meio de redes neurais artificiais, que discutiremos em seguida.

## 2.3. Redes neurais artificiais (RNAs)

Os modelos de RNA que utilizamos são os perceptrons de múltiplas camadas. Modelos deste tipo são muito adaptáveis, e podem incorporar os vários níveis de sazonalidade em um único modelo.

Para estimar os pesos da RNA, usamos uma função de treinamento baseada em regularização bayesiana (BISHOP, 1995). Esta função foi escolhida porque a mesma obteve melhores previsões, em comparação com outras possíveis funções de treinamento. A RNA tem 24 nós de saída, que representam o perfil de carga do dia seguinte. A escolha das variáveis de entrada, do número de camadas ocultas e do número de épocas de treinamento foi feita por meio de um algoritmo genético.

Para a previsão de perfil do dia seguinte, as variáveis de entrada disponíveis foram as diferenças de temperatura (a diferença entre a temperatura a cada hora em um dia, e as temperaturas no mesmo horário no dia anterior), as cargas horárias de dois dias anteriores, e sete dummies que representam os dias da semana. Assim, temos um modelo com um total de 103 possíveis variáveis de entrada, como segue:

- 24 diferenças entre as temperaturas horárias medidas hoje, e medidas ontem
- 24 diferenças entre as temperaturas horárias medidas hoje, e previstas para amanhã
- 48 cargas horárias medidas hoje e ontem.
- 07 dummies, representando os dias da semana.

## 2.4. Algoritmo Genético (AGs)

Uma das dificuldades na implementação de RNAs é a falta de critérios simples para ajudar o pesquisador na definição dos parâmetros do modelo ou do processo de treinamento. Assim como não existe uma metodologia comumente aceita para a seleção de variáveis de entrada, também não há regras para a escolha do número de camadas e de neurônios ocultos, etc. Para a definição desses parâmetros, o uso de AGs foi sugerido em (DRÉO, PÉROWSKI, et al., 2006), e isto será feito neste trabalho.

O AG utilizado é de um tipo geracional binário. O critério de parada foi a estabilização do melhor gene por 200 gerações. A população foi composta de 50 indivíduos, e não foi utilizado operador de crossover. O operador de mutação tem probabilidade de 0,2. A seleção foi feita através de um torneio, e "elitismo" foi implementado (ou seja, 49 indivíduos passam para a próxima geração, apenas o pior indivíduo é descartado).

Cada indivíduo (ou seja, cada modelo de RNA) é representado por um vetor de 103 bits. Os primeiros bits foram usados para representar as variáveis de entrada candidatas. Os próximos cinco bits foram utilizados para representar o número de neurônios da camada oculta (01 a 32); os bits finais representam o número de épocas (01 a 32) para treinamento da RNA (uma vez que usamos a função de treinamento de regularização bayesiana, não é possível utilizar a validação cruzada para controle do treinamento). Como função de custo a ser minimizada pelo AG, escolhemos o erro médio quadrático (MSE).

## 2.5. Combinação RNA e HWT

Uma opção para melhorar a previsão é a combinação linear de previsões feitas por métodos diferentes (CARNEIRO, GUILHERMINO NETO, et al., 2014). Com o objetivo de diminuir a variância do erro de previsão, combinamos o melhor resultado encontrado pelo AG (ou seja, o melhor modelo de RNA encontrado) com o modelo

linear do método HWT.

Utilizamos o método de combinação simples, com apenas um parâmetro, como na equação 2. Esta forma de combinação é amplamente utilizada na literatura (CARNEIRO, GUILHERMINO NETO, et al., 2014).

$$\hat{L}_i^{FINAL} = \alpha \hat{L}_i^{RNA} + (1 - \alpha) \hat{L}_i^{HWT} \quad 2$$

Para buscar o parâmetro  $\alpha$  utilizamos o método de Byrd (BYRD, LU, et al., 1995), que é um processo de otimização adaptado do método quasi-Newton, incluindo, porém restrições de máximo e mínimo para os parâmetros (no caso,  $\max(\alpha)=1$  e  $\min(\alpha)=0$ ).

## 2.6. Outras informações

### 2.6.1. Benchmarks

Os diferentes modelos que utilizamos foram comparados entre si, e também contra quatro pontos de referência. Os benchmarks foram dois métodos naive (Naive1, Naive2), uma modificação do método de Holt-Winters (HWT), e uma rede neural artificial (RNA). Esses benchmarks são detalhados abaixo.

Naive1: este método prevê a carga na hora  $h$  do dia  $d$  como idêntica à carga na mesma hora no dia anterior (eq. 3).

$$\hat{L}_{d,h} = L_{d-1,h} \quad 3$$

Este método naive leva em conta a sazonalidade diária (o perfil de carga diária tende a se repetir dia a dia). No entanto, essa sazonalidade diária é interrompida nos fins de semana, e isto faz com que este método preveja as cargas de segunda-feira com base nas cargas de domingo, o que reduz sua precisão.

Naive2: este método prevê a carga na hora  $h$  do dia  $d$  como idêntica à carga na mesma hora no dia equivalente da semana anterior (eq. 4).

$$\hat{L}_{d,h} = L_{d-7,h} \quad 4$$

Este método leva em conta a sazonalidade semanal (cargas de segunda-feira, por exemplo, são previstas com base nas cargas das segunda-feira anteriores), mas não leva em conta a variação do nível médio causado pela sazonalidade anual. Os erros que obtém tendem a ser maiores do que a do método Naive1, já que as previsões se baseiam em informação mais antiga (todas as previsões são feitas com dados da semana passada).

HWT: Taylor (TAYLOR, 2010; TAYLOR, 2010) adaptou o método exponencial de Holt-Winters, adicionando duas novas equações, permitindo assim lidar com séries que mostram três níveis de sazonalidade. Fizemos experiências com este

método na mesma série de carga em um estudo anterior (CARNEIRO, GUILHERMINO NETO, et al., 2014), e os resultados encontrados então serão utilizados como referência.

RNA2004: Em (HIPPERT, BUNN e SOUZA, 2005) foi utilizada uma grande rede neural para prever a mesma série de carga utilizada nesse trabalho. Essa RNA é um perceptron de múltiplas camadas, e seus parâmetros de arquitetura e de treinamento foram escolhidos com base em validações empíricas, e não de através de um algoritmo genético. Estes resultados são aqui utilizados como referência.

Os erros de previsão dos diferentes métodos utilizados foram comparados por meio da média erro percentual absoluto (MAPE) definidos como na eq. 5:

$$MAPE = 100 * \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{\hat{L}_t - L_t}{L_t} \right| \quad 5$$

Escolhemos esta medida de erro porque ser ela amplamente utilizada na literatura de previsão de carga, devido à sua fácil interpretação.

### 3. Resultados

Para compararmos os resultados, fizemos 30 treinamentos distintos do melhor modelo de RNA encontrado pelo AG e combinamos com os resultados do HWT. O gráfico da Figura 9 e a Tabela 7 mostram tanto os resultados dos 30 treinamentos da RNA como os da combinação HWT+RNA, além dos resultados dos métodos usados como benchmark. Os erros MAPE de cada um dos modelos foram computados no intervalo de teste (semanas 85-104, inclusive).

Tabela 7 - Resumo dos MAPEs das semanas 85-104

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Variância</i>	<i>Tamanho</i>
<i>Naive Hour</i>	3,35	3,35	3,35	3,35		
<i>HWT</i>	2,50	2,50	2,50	2,50		
<i>AG</i>	2,03	2,28	2,13	2,12	0,004	30
<i>AG+HWT</i>	1,96	2,12	2,03	2,03	0,002	30
<i>RNA2004 M</i>	2,26	2,26	2,26	2,26		
<i>RNA2004 P</i>	2,75	2,75	2,75	2,75		

O gráfico da Figura 9 também dá uma noção clara da dispersão dos erros e do ganho na combinação HWT+RNA.

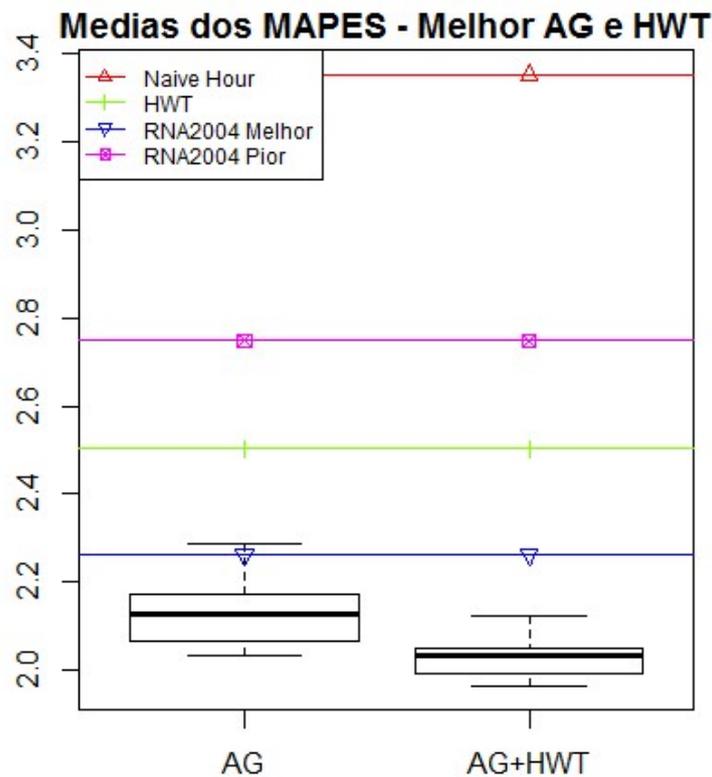


Figura 9 - MAPEs das semanas 85-104

#### 4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podemos ver que o modelo de RNA encontrado pelo AG consegue previsões melhores que os demais modelos. A combinação das RNAs com o método de HWT, tornou o modelo ainda melhor, diminuindo claramente o erro de previsão.

A metodologia que combina AG, RNA e HWT se mostrou promissora, pois soma o poder da RNA encontrada pelo AG, que consegue previsões mais acuradas, à robustez da previsão do modelo linear HWT, trazendo um resultado final mais acurado e com poucos erros discrepantes.

Muito ainda pode ser explorado, principalmente na busca de um modelo melhor de RNA. Com esse objetivo novas pesquisas podem ser feitas, tanto melhorando o funcionamento do AG como extrapolando o modelo de RNA utilizado.

#### REFERÊNCIAS

BISHOP, C. M. Neural networks for pattern recognition. Oxford: Oxford Univ Press, 1995.

BUNN, D. W.; FARMER, E. Comparative models for electrical load forecasting. New York: John Wiley and Sons Inc., 1985.

BYRD, R. H. et al. A limited memory algorithm for bound constrained optimization. *SIAM Journal on Scientific Computing*, v. 16, n. 5, p. 1190-1208, 1995.

CARNEIRO, A. C. M. D. S. et al. Previsão de carga a curto prazo por combinações de métodos lineares. *Anais do XXI SIMPEP - Simpósio de Eng. de Produção*. Bauru: [s.n.]. 2014.

DRÉO, J. et al. *Metaheuristics for hard optimization: methods and case studies*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2006.

HARVEY, A.; KOOPMAN, S. J. Forecasting hourly electricity demand using time-varying splines. *Journal of the American Statistical Association*, v. 88, n. 424, p. 1228-1236, Dezembro 1993.

HIPPERT, H. S.; BUNN, D. S. R.; SOUZA, R. C. Large neural networks for electricity load forecasting: Are they overfitted? *International Journal of forecasting*, v. 21, n. 3, p. 425-434, 2005.

HIPPERT, H. S.; PEDREIRA, C. S. R.; SOUZA, R. C. Neural networks for short-term load forecasting: A review and evaluation. *IEEE Transactions on power systems*, v. 16, n. 1, p. 44-55, 2001.

INFIELD, D. G.; HILL, D. C. Optimal smoothing for trend removal in short term electricity demand forecasting. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 13, n. 3, p. 1115-1120, 1998.

PAPALEXOPOULOS, A. D.; HESTERBERG, T. A regression-based approach to short-term system load forecasting. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 5, n. 4, p. 1535-1547, 1990.

RAMANATHAN, R. et al. Short-run forecasts of electricity loads and peaks. *International journal of forecasting*, v. 13, n. 2, p. 161-174, 1997.

TAYLOR, J. W. Discussion. *International Journal of Forecasting*, n. 22, p. 671-672, 2006.

TAYLOR, J. W. Exponentially weighted methods for forecasting intraday time series with multiple seasonal cycles. *International Journal of Forecasting*, v. 26, n. 4, p. 627-646, 2010.

TAYLOR, J. W. Triple seasonal methods for short-term electricity demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, v. 204, n. 1, p. 139-152, 2010.

**ABSTRACT:** The short-term forecasting of electrical load is of fundamental importance for the daily operation of the electric systems. Since it is not feasible to stock large amounts of electrical energy, an efficient scheduling of the generation and the distribution of electricity is essential. For this purpose, accurate forecasts of demand are required. In this paper, we propose a forecasting method based on the combination of a nonlinear multivariate model (an artificial neural network), identified

by genetic algorithms, with a linear model (a variation of the Holt-Winters exponential smoothing). This method performed better on the test series than the several benchmarks to which it was compared.

**KEYWORDS:** Short-term load forecasting; Holt-Winters exponential smoothing; forecast combining; artificial neural networks; genetic algorithms.

## **CAPÍTULO XVIII**

### **PROGRAMAÇÃO LINEAR NA DECISÃO DE MIX DE PRODUTOS PARA ESTOCAGEM: UM CASO DO SETOR MOVELEIRO**

---

**Luciano Wallace Gonçalves Barbosa  
Amanda Daniele de Carvalho  
Rayane Ester Felício Santiago  
Sílvia Maria Santana Mapa**

## PROGRAMAÇÃO LINEAR NA DECISÃO DE MIX DE PRODUTOS PARA ESTOCAGEM: UM CASO DO SETOR MOVELEIRO

### **Luciano Wallace Gonçalves Barbosa**

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas  
Departamento de Engenharia de Produção  
Congonhas – Minas Gerais

### **Amanda Daniele de Carvalho**

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas  
Departamento de Engenharia de Produção  
Congonhas – Minas Gerais

### **Rayane Ester Felício Santiago**

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas  
Departamento de Engenharia de Produção  
Congonhas – Minas Gerais

### **Sílvia Maria Santana Mapa**

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas  
Departamento de Engenharia de Produção  
Congonhas – Minas Gerais

**RESUMO:** Com o avanço das possibilidades de administração dos processos produtivos, a tomada de decisão torna-se fator crucial para os gestores, uma vez que essa técnica é responsável por avaliar, dentro de um conjunto de possibilidades, aquela mais viável para o sistema. Para isso, a pesquisa operacional contribui de forma significativa para essa análise, que resulta numa condição ótima para administrar a produção. Nesse contexto, aborda-se neste trabalho, realizado numa empresa de móveis planejados e convencionais localizada no interior de Minas Gerais, a quantidade mais viável de compra de produtos para formação de estoque como vantagem competitiva. Através de um estudo de caso, coleta de dados e utilização do algoritmo simplex, dentro da programação linear, foi possível determinar quais os produtos mais lucrativos e suas respectivas quantidades ótimas para compra e estocagem, respeitando restrições referentes a valor de investimento, espaço para armazenagem, pessoal para entrega e montagem e requisitos mínimos de demanda prevista. Por fim, através da interpretação econômica e da análise de sensibilidade, puderam ser analisadas as vantagens do sistema e suas possíveis adaptações sem alteração da originalidade.

**PALAVRAS CHAVE:** programação linear; mix de produtos; setor moveleiro; simplex; solver.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento das possibilidades de administração de processos produtivos, todas com suas peculiaridades e resultados diferentes, a tomada de decisão dentro de um conjunto de oportunidades viáveis, que define qual

dos modelos utilizar-se-á, torna-se uma questão cada vez mais meritória para os gestores dessa área.

Uma dificuldade percebida desde os tempos antigos e que foi ainda mais marcante nos tempos de revoluções citados pela história mundial, é a de alocação eficiente de recursos necessários a determinadas atividades. Essa dificuldade cresce à medida que as organizações abrangiam maiores portes gerando, assim, problemas de maior complexidade.

Neste trabalho será apresentado um estudo de caso na empresa “Contemporânea Interiores”, do segmento moveleiro, localizada em Conselheiro Lafaiete, MG. A partir dele, será realizado um mix de compras para formação de estoque a pronta entrega na empresa, agregando valor de lugar aos produtos, já que os posicionam adequadamente para atender a demanda, aumentando, assim, a competitividade da organização, proporcionando a alocação de recursos e otimizando o seu desempenho.

A “Contemporânea Interiores”, empresa de pequeno porte, atua no mercado desde 2011, oferecendo ao cliente venda e montagem de móveis planejados, assim como móveis convencionais e produtos de decoração, além do serviço de projeto de móveis. O forte da empresa é o projeto, venda e montagem de móveis planejados, mas a manutenção de um showroom é fundamental para despertar interesse de compra dos clientes. Então surgem as vendas de convencionais e produtos decorativos, os quais não são tão lucrativos quanto os planejados, mas rendem uma quantidade maior de pedidos, já que seus preços são mais acessíveis que os de móveis planejados e a pronta-entrega acaba tornando-se fator indispensável para alguns clientes.

Tendo em vista esse importante fato, a empresa sempre mantém um estoque desses produtos convencionais e decorativos, a fim de atender à demanda do cliente o mais rápido possível. Porém, acontece de algumas vezes o cliente estar interessado em comprar produtos que a empresa não possui em estoque e ele acaba desistindo por esse fato, buscando a concorrência, que é alta na região, para efetuar a compra.

Para a redução desses imprevistos, os administradores da empresa de móveis planejados decidiram investir um capital em estoque de produtos, para aumentarem sua competitividade perante aos concorrentes. Um fato que os coloca à frente das demais empresas desse ramo é que a “Contemporânea Interiores” possui um depósito, localizado próximo à sua sede, que será destinado como armazém desses produtos que serão estocados.

A seleção desses produtos dar-se-á pelos móveis exibidos no showroom. Através deles será feito um mix de compras, usando-se a programação linear, uma vez que o objetivo é uma função linear e as restrições podem ser escritas em inequações lineares. A intenção é que o cliente que veja o móvel possa comprá-lo e recebê-lo em casa o mais rápido possível, exaurindo a necessidade de espera de fornecedores ou transportadores externos, que possam vir a atrasar na entrega dos pedidos, causando desconforto ao cliente.

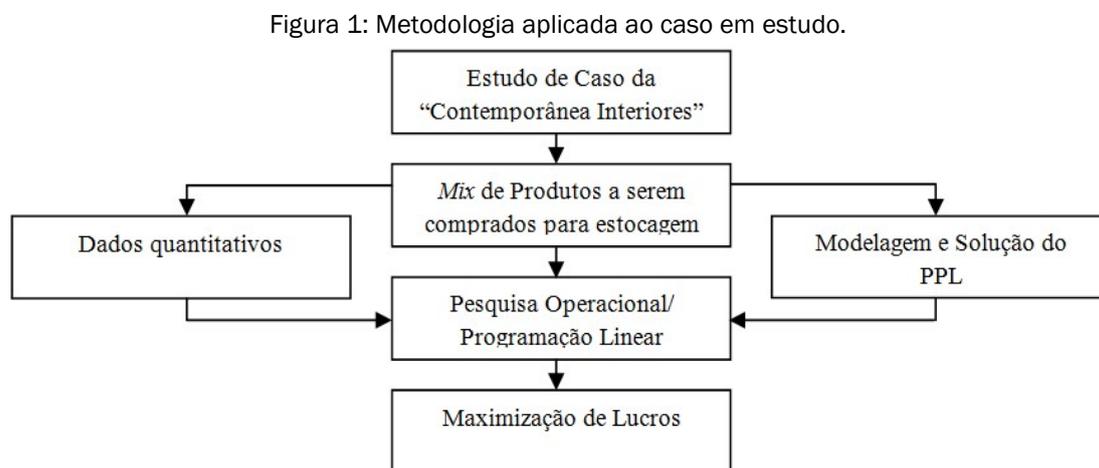
Sendo assim, o objetivo geral do presente trabalho é definir, utilizando-se da

programação linear, um mix de produtos a serem comprados para estocagem como método de aumento de competitividade empresarial, visando à maximização do lucro. Para isso, será necessário definir o problema levantado pela empresa e realizar a modelagem matemática desse problema, onde se levantará as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições cabíveis ao problema proposto. Por fim, após todas as fases descritas, resolver o problema utilizando-se a ferramenta Solver do Microsoft Excel®, que é embasado no algoritmo simplex, para a otimização do estoque da empresa em questão.

## 1.1. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como método o estudo de caso que, segundo Miguel (2012), é uma abordagem metodológica de pesquisa muito utilizada na Engenharia de Produção. É um trabalho de caráter empírico que investiga um problema real e procede à análise do mesmo. No presente estudo, será identificado um mix de produtos a serem comprados para estocagem, utilizando-se da programação linear, técnica na pesquisa operacional, considerando-se os dados quantitativos, fornecidos pela empresa, e a modelagem do PPL (Problema de Programação Linear), que resultarão na maximização dos lucros da organização.

As etapas para a condução do estudo de caso proposto estão esquematizadas na Figura 1.



Fonte: Própria.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a solução de problemas tão variados, surge então a Pesquisa Operacional (PO), que é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos (ARENALES et al., 2007). Consoante Silva et. al (1998), a PO descreve um

sistema organizado com modelos seguidos de experimentações, na descoberta da melhor maneira para operar o sistema.

## 2.1. TOMADA DE DECISÕES

Segundo Liczbinski (2002), a tomada de decisões é um processo complexo e envolve diversos fatores internos e externos, ligados à organização, entre eles: ambiente, risco e incerteza, custo e qualidade requeridos pelo produto ou serviço, agentes tomadores de decisão, cultura organizacional e o próprio mercado.

De acordo com Taha (2008), as primeiras atividades formais de Pesquisa Operacional foram iniciadas na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial, quando uma equipe de cientistas britânicos decidiu tomar decisões com bases científicas sobre a melhor utilização de material de guerra e, para Hillier et al. (2013), desde o advento da Revolução Industrial, o mundo presencia o crescimento extraordinário no tamanho e na complexidade das organizações, concomitante com o aumento na divisão do trabalho e a segmentação das responsabilidades gerenciais dessas organizações.

Na forma científica, Andrade (2012) afirma que a Pesquisa Operacional é uma metodologia administrativa cujo arcabouço teórico agrega quatro ciências fundamentais para o processo de preparação, análise e toma de decisão: a economia, a matemática, a estatística e a informática.

Existem várias aplicações na Pesquisa Operacional a fim de se chegar à solução ótima de um problema, dentre elas a programação linear, modelos em redes, teoria das filas, programação dinâmica, simulação, programação inteira etc. Neste trabalho, usaremos a programação linear para modelagem do problema proposto no estudo de caso.

## 2.2. PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é uma ferramenta da pesquisa operacional que tem por objetivo a otimização de problemas em que se têm variáveis de decisão, e estão sujeitas a algum tipo de restrição e/ou regulamentação (CICOLIN, 2015). A simplicidade do modelo e a disponibilidade de uma técnica computadorizada para a solução do problema facilitam a aplicação da programação linear (SILVA et al., 1998).

Luenberger et al. (2008), sustentam a afirmativa dos autores, afirmando ser a programação linear o mecanismo mais natural para a formulação de uma grande variedade de problemas com um modesto esforço. Ainda segundo os autores, um problema de programação linear é caracterizado, como o próprio nome indica, por funções de incógnitas lineares onde o objetivo é maximizar ou minimizar uma função linear sujeito a restrições construídas por meio de equações e/ou inequações, também lineares.

Uma das áreas de aplicação da Pesquisa Operacional está relacionada à logística. Como o presente trabalho trata de uma tomada de decisão para produtos a serem estocados, a PO age como uma ferramenta auxiliar desse processo. O estoque agrega valor de lugar aos produtos, já que os posicionam adequadamente para atender a demanda, aumentando, assim, a competitividade da organização, proporcionando a alocação de recursos e otimizando o seu desempenho (SOBREIRO, 2012; BALLOU, 2012).

Silver (1967, apud Moreira Junior, 2009) afirma que há condições básicas necessárias para utilização de modelos em programação linear, sendo elas:

- A demanda deve ser considerada determinística;
- Os custos de produção devem ser lineares;
- Os estoques são baseados na previsão de demanda;
- Os custos de estoque podem ser carregados por cada período de planejamento;
- As unidades de mercado são atendidas por uma unidade produtiva.

### 2.2.1. FORMULAÇÃO DE UM PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Modelos de programação linear são, geralmente, construídos da seguinte forma:

Figura 2 – Forma padrão de um PPL.

Minimizar	$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$
Sujeito a	$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$
	$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$
	$\vdots$
	$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$
e	$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$

Fonte: Adaptado de Luenberger et al. (2008).

Assim, admitimos ser a função objetivo minimizar a expressão linear expressa e os coeficientes  $b_i$ 's,  $c_i$ 's e  $a_{ij}$ 's são constantes reais fixas, e os  $x_i$ 's são números reais a serem determinados, no caso, as variáveis de decisão (LUENBERGER et al., 2008). O autor, em sua obra, ainda expõe a forma canônica de um PPL:

Figura 3 – Forma canônica de um PPL.

Minimizar	$c^T x$
Sujeito a	$Ax = b \quad e \quad x \geq 0.$

Fonte: Adaptado de Luenberger et al. (2008).

Segundo o autor,  $x$  é um vetor n-dimensional coluna,  $c^T$  é um vetor padrão n-

dimensional,  $A$  é uma matriz  $m \times n$ , que apresenta as restrições técnicas do PPL e  $b$  é um vetor coluna  $m$ -dimensional, também chamado de vetor de recursos;  $x \geq 0$  indica somente as restrições de não negatividade.

Nesse modelo, há a possibilidade de utilização da função objetivo com intuito de maximização. Para tal, há duas possibilidades: ou utiliza-se a função alterando para maximização e alteram-se alguns detalhes no modo de resolução, ou então se inverte todos os coeficientes da função, mantendo a forma de minimização.

Atualmente a pesquisa operacional é utilizada amplamente no campo industrial visando otimizar a utilização de recursos e maximizar os resultados, embasando o suporte à tomada de decisões, sendo um instrumento matemático computacional de grande importância estratégica (ZHU, 2003).

Marcos importantes da programação linear, de acordo com Arenales et al. (2007), foi o ano de 1947, quando o método simplex foi publicado, seguindo-se de intensas pesquisas de novos métodos e implementações eficientes e aplicações em diversas áreas, tais como agricultura, planejamento da produção industrial, logística, telecomunicações, finanças etc. Ainda segundo o autor, outro marco importante na otimização linear ocorreu em 1984, com a publicação de um método de pontos interiores, ao qual também seguiram-se intensas pesquisas. Os métodos citados pelo autor são, atualmente, as principais ferramentas computacionais para resolução de problemas de programação linear.

### 3. CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

Como o presente trabalho pretende maximizar o lucro obtido pela venda de produtos estocados, foi produzida uma tabela que exhibe quais são os produtos convencionais e de decoração vendidos pela empresa, junto a algumas características dos mesmos que serão indispensáveis para a realização do mix de compra.

Tabela 1: Produtos e suas características

Produto	Tamanho (m <sup>3</sup> )	Separação/ Entrega ao cliente (h)	Tempo montagem (h)	Custo (R\$)	Venda (R\$)	Lucro Bruto (R\$)	Demanda/ mês (Unit)
Rack	0,675	1,00	1,10	253,39	700,00	446,61	5
Sofá	3,162	1,10	1,15	360,18	733,33	373,15	5
Mesa	2,546	1,20	2,00	296,45	866,67	570,21	5
Roupeiro	1,072	2,00	3,00	433,44	633,33	199,90	2
Banqueta	0,172	0,60	1,20	56,74	76,67	19,93	10

<b>Box</b>	1,448	0,45	1,00	140,15	326,67	186,52	5
<b>Cabeceira</b>	0,243	0,36	0,75	93,40	186,67	93,26	5
<b>Poltrona</b>	0,646	0,45	1,20	166,73	293,33	126,60	10
<b>Tapete</b>	0,142	0,30	0,00	366,92	578,00	211,08	5

Fonte: Própria.

Os valores da tabela podem sofrer erros por arredondamento de casas decimais, o que não interfere na solução final, que considera os valores como destacados no quadro. Como o estudo trata-se de uma empresa identificada, os números correspondentes a valores de custo e lucro foram multiplicados por uma constante a fim de não expor dados reais da empresa.

Consideraremos que o administrador quer investir um valor máximo de R\$25.000,00; a disponibilidade de mão de obra para efetuar a entrega desses produtos (separação no depósito, somada ao transporte) aos clientes é equivalente à 88h no mês; a disponibilidade de mão de obra para montar os móveis (feita após a entrega deles) é equivalente a 150h no mês, considerando-se o deslocamento do funcionário até a casa do cliente, a montagem e o seu retorno à empresa; o depósito da empresa está completamente vazio e dispõe de capacidade total de 150 m<sup>3</sup> e que o proprietário quer um lucro mínimo de R\$ 10.000,00 acima de seu investimento na compra dos produtos, além de a programação dever suprir a demanda mensal dos produtos.

A partir desses dados, conseguimos aplicar a programação linear, considerando-se que queremos maximizar o lucro (dado por preço de venda decrescido do custo) e que há restrições lineares no modelo. Em estudos parecidos, Silva et al. (2003) ressalta a importância da programação linear na tomada de decisão, onde conseguiram resultados promissores na sua programação de produção, ao mesmo tempo que Mendonça et al. (2015) obtiveram ganhos significativos através de um mix de produtos, com limitações parecidas com as da empresa no estudo de caso presente, como espaço de armazenagem e disponibilidade de mão de obra. Henriques et al. (2015), na mesma linha de estudo, conseguiram acréscimo acima de 50% no lucro de uma empresa através da determinação de mix ótimo de produção.

Sendo assim, a função objetivo, que tende a maximizar o lucro da empresa através da venda dos produtos, dá-se da seguinte forma:

$$\text{Max } f(x) = 446,61x_1 + 373,15x_2 + 570,21x_3 + 199,90x_4 + 19,93x_5 + 186,52x_6 + 93,26x_7 + 126,60x_8 + 211,08x_9$$

Onde as variáveis de decisão correspondem ao seguinte:

- $x_1$  = Quantidade a ser adquirida de Racks;
- $x_2$  = Quantidade a ser adquirida de Sofás;
- $x_3$  = Quantidade a ser adquirida de Mesas;

- $x_4$  = Quantidade a ser adquirida de Roupeiros;
- $x_5$  = Quantidade a ser adquirida de Banquetas;
- $x_6$  = Quantidade a ser adquirida de Boxs;
- $x_7$  = Quantidade a ser adquirida de Cabeceiras de boxs;
- $x_8$  = Quantidade a ser adquirida de Poltronas;
- $x_9$  = Quantidade a ser adquirida de Tapetes.

Ressalta-se que as cores dos móveis serão definidas de forma sortida e que os modelos dos móveis escolhidos são os que detêm de maior índice de procura no mercado. As restrições do problema são dadas pelas seguintes inequações lineares:

a) Restrição referente à quantidade máxima de mão de obra disponível do funcionário responsável pela entrega do produto ao cliente (equivalente às 88h no mês);

$$x_1 + 1,1x_2 + 1,2x_3 + 2x_4 + 0,6x_5 + 0,45x_6 + 0,36x_7 + 0,45x_8 + 0,30x_9 \leq 88.$$

b) Restrição referente à quantidade máxima de mão de obra disponível dos funcionários responsáveis pela montagem do produto (equivalente a 150h no mês);

$$1,1x_1 + 1,15x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 1,2x_5 + x_6 + 0,75x_7 + 1,2x_8 \leq 150.$$

c) Restrição referente ao tamanho do depósito, que delimita os tamanhos do estoque (equivalente a 150 m<sup>3</sup>).

$$0,675x_1 + 3,162x_2 + 2,546x_3 + 1,072x_4 + 0,172x_5 + 1,448x_6 + 0,243x_7 + 0,646x_8 + 0,142x_9 \leq 150.$$

d) Restrição referente à quantidade máxima investida pelo administrador (equivalente a R\$ 25.000,00 no mês);

$$253,39x_1 + 360,18x_2 + 296,45x_3 + 433,43x_4 + 56,74x_5 + 140,15x_6 + 93,40x_7 + 166,73x_8 + 366,92x_9 \leq 25\ 000.$$

e) Restrições referentes às demandas;

$$x_1 \geq 5; x_2 \geq 5; x_3 \geq 5; x_4 \geq 2; x_5 \geq 10; x_6 \geq 5; x_7 \geq 5; x_8 \geq 10; x_9 \geq 5.$$

f) Restrição referente ao lucro mínimo que a empresa deseja, sendo R\$ 10.000,00, somado ao investimento, resultando no mínimo de R\$ 35.000,00;

$$446,61x_1 + 373,15x_2 + 570,21x_3 + 199,90x_4 + 19,93x_5 + 186,52x_6 + 93,26x_7 + 126,60x_8 + 211,08x_9 \geq 35\ 000.$$

Como todas as variáveis de decisão possuem restrições específicas de que seus valores devem ser inteiros positivos, as restrições de não-negatividade não se fazem necessárias nesse modelo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Modelado o problema, foi utilizada, para resolvê-lo, a ferramenta Solver, pelo Microsoft Excel, que é fundamentada no algoritmo simplex, onde uma função linear que objetiva uma maximização ou minimização é combinada junto a um conjunto de equações e/ou inequações lineares que apresentam restrições do problema. Por fim, ele retorna valores ótimos para as variáveis de decisão, resultando num valor também ótimo da função objetivo. Na Figura 4 está representado o relatório de

resposta gerado pelo Solver, onde estão expressos os valores ótimos encontrados na resolução do PPL e o valor final da função objetivo, que relata o lucro gerado à empresa.

Figura 4 – Resultado do problema através do Solver.

Célula de destino (Máx)			
Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$J\$18	f(x)max x2	0	35936,39547

Células ajustáveis			
Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$I\$16	Rack	0	10,4396277
\$J\$16	Sofa	0	5
\$K\$16	Mesa	0	41,97508848
\$L\$16	Roupeiro	0	2
\$M\$16	Banqueta	0	10
\$N\$16	Box	0	5
\$O\$16	Cabeceira	0	5
\$P\$16	Poltrona	0	10
\$Q\$16	Tapete	0	10,46755373

Fonte: Microsoft Excel.

Na Figura 5 tem-se o relatório, também gerado pelo Solver, que informa os valores finais de cada restrição. A partir desse relatório, extraem-se considerações importantes, as quais serão tratadas na sequência, no campo de análise econômica do resultado.

Figura 5 – Resolução do problema através do Solver – Restrições.

Restrições					
Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência
\$I\$20	f(x)max	88	\$I\$20<=\$K\$20	Agrupar	0
\$I\$21	f(x)max	139,9337674	\$I\$21<=\$K\$21	Sem agrupar	10,06623256
\$I\$22	f(x)max	150	\$I\$22<=\$K\$22	Agrupar	0
\$I\$23	f(x)max	25000	\$I\$23<=\$K\$23	Agrupar	0
\$I\$24	f(x)max	10,4396277	\$I\$24>=\$K\$24	Sem agrupar	5,439627699
\$I\$25	f(x)max	5	\$I\$25>=\$K\$25	Agrupar	0
\$I\$26	f(x)max	41,97508848	\$I\$26>=\$K\$26	Sem agrupar	36,97508848
\$I\$27	f(x)max	2	\$I\$27>=\$K\$27	Agrupar	0
\$I\$28	f(x)max	10	\$I\$28>=\$K\$28	Agrupar	0
\$I\$29	f(x)max	5	\$I\$29>=\$K\$29	Agrupar	0
\$I\$30	f(x)max	5	\$I\$30>=\$K\$30	Agrupar	0
\$I\$31	f(x)max	10	\$I\$31>=\$K\$31	Agrupar	0
\$I\$32	f(x)max	10,46755373	\$I\$32>=\$K\$32	Sem agrupar	5,467553732
\$I\$33	f(x)max	35936,39547	\$I\$33>=\$K\$33	Sem agrupar	936,3954661

Fonte: Microsoft Excel.

#### 4.1. ANÁLISE ECONÔMICA DO RESULTADO

O problema teve uma solução ótima, resultando num lucro final acima do esperado pela empresa, respeitando todas as suas imposições. Sendo assim, com um investimento total de R\$ 25.000,00; a empresa pode obter um lucro de R\$ 35.936,00; conforme vimos no resultado como valor final da função objetivo.

Através do quadro de resultado, sabemos que há alguns produtos que são mais lucrativos na questão custo e benefício, como é o caso dos racks, das mesas e dos tapetes. Como a quantidade a ser comprada deles, conforme apresentada pela solução, deve ser maior que a demanda mínima, quer dizer que eles são produtos mais lucrativos, com vantagens em relação ao tamanho, tempo de entrega e montagem e valor total de lucro, fazendo com que seja melhor tê-los em estoque. Quanto aos demais produtos, sofá, roupeiro, banquetas, box, cabeceira e poltrona, o resultado nos mostra que não são tão lucrativos quando comparados aos demais, ou seja, a compra deles deve ser mínima, suficiente para atender à demanda da empresa.

Outra questão que podemos avaliar no quadro solução é que, para manter esse mix de compras, a empresa precisa se dispor apenas de 139,93h de funcionários para montagem desses produtos, sobrando 10,07h (6,7% da capacidade total destinada a esse segmento) que podem ser investidas em outros setores da organização, diminuindo despesas operacionais.

O modelo é primoroso devido a todos os seus recursos terem sido usados de forma abundante, como podemos ver nas soluções das restrições de capacidade da empresa, as quais foram completamente usadas de forma ótima.

#### 4.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Como na construção de modelos de programação linear são incluídos dados cujos valores dependem do mercado, esses dados podem sofrer variações com o tempo ou com a inserção de novas informações. A análise de sensibilidade, então, mede quanto os valores de uma solução ótima pode variar, sem interferir no resultado ótimo do problema. (SILVA et al., 1998). Segundo Nunes (2012), em algumas regiões de problemas estudados, a entrada de alguns dados pode ter efeitos relativamente pequenos, ou seja, a resposta pode não ser sensível a mudanças nesses dados. Essa análise pode ser feita na imagem que segue:

Figura 6 – Análise de Sensibilidade gerada pelo Solver.

Células ajustáveis						
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permissível Acréscimo	Permissível Decréscimo
\$I\$16	Rack	10,4396277	0	446,606667	30,0568767	190,494742
\$J\$16	Sofa	5	0	373,153333	190,684806	2,0931E+18
\$K\$16	Mesa	41,9750885	0	570,213333	867,410148	36,3044045
\$L\$16	Roupeiro	2	0	199,896667	667,727043	1E+30
\$M\$16	Banqueta	10	0	19,9266667	217,487506	1E+30
\$N\$16	Box	5	0	186,52	45,4362615	1E+30
\$O\$16	Cabeceira	5	0	93,2633333	68,1009265	1E+30
\$P\$16	Poltrona	10	0	126,603333	95,7292107	1E+30
\$Q\$16	Tapete	10,4675537	0	211,076667	412,914048	78,2959606

Restrições						
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permissível Acréscimo	Permissível Decréscimo
\$I\$20	f(x)max	88	364,2097342	88	6,19870787	2,57103361
\$I\$21	f(x)max	139,933767	0	150	1E+30	10,0662326
\$I\$22	f(x)max	150	20,93229311	150	7,81081262	44,7344904
\$I\$23	f(x)max	25000	0,269393044	25000	4622,08524	1589,08101
\$I\$24	f(x)max	10,4396277	0	5	5,4396277	1E+30
\$I\$25	f(x)max	5	-190,684806	5	4,91069785	5
\$I\$26	f(x)max	41,9750885	0	5	36,9750885	1E+30
\$I\$27	f(x)max	2	-667,727043	2	1,40236265	2
\$I\$28	f(x)max	10	-217,487506	10	4,30551383	10
\$I\$29	f(x)max	5	-45,4362615	5	20,6089902	5
\$I\$30	f(x)max	5	-68,1009265	5	13,7501135	5
\$I\$31	f(x)max	10	-95,7292107	10	9,78171092	10
\$I\$32	f(x)max	10,4675537	0	5	5,46755373	1E+30
\$I\$33	f(x)max	35936,3955	0	35000	936,395466	1E+30

Fonte: Microsoft Excel.

Nos resultados dados pelo Solver, podemos analisar os valores que podem ser acrescentados e diminuídos das variáveis de decisão para que não interfira na solução ótima do modelo. Para a intervenção do modelo, pela visão do algoritmo simplex, deve acontecer uma mudança quando uma variável não-básica da modelagem entrasse na solução final, retirando uma variável básica. Para que isso não aconteça, observamos nos dados acima quais os limites das variáveis de decisão, todas básicas, nesse caso, para que não haja desestabilização do sistema.

## 5. CONCLUSÕES

Através do estudo de caso, acompanhado da revisão de literatura acerca da pesquisa operacional na modalidade de programação linear, constatou-se que esse método tem muitas vantagens dentro dessa ciência, principalmente pela fácil aplicação e solução computacional por intermédio de algoritmos implementados em plataformas mais comuns, como o Microsoft Excel. A partir de então, se o problema for descrito por função objetivo linear e restrições com equações e/ou inequações também lineares, esse método pode ser aplicado.

Como o estudo de caso apresentado foi um mix de compras para formação de estoque como vantagem competitiva, onde a intenção era maximizar o lucro

gerado pelos produtos adquiridos seguindo restrições de capacidade de entrega, montagem, estocagem, demanda e lucro mínimo, todas escritas como inequações lineares, a programação linear foi o método escolhido para encontrar a solução ótima para o problema da “Contemporânea Interiores”, utilizando-se dos dados colhidos na empresa.

Após resolução pelo Solver, conseguiu-se perceber quais eram os produtos mais lucrativos, no caso o rack, a mesa e o sofá, e também aqueles que deveriam ser estocados apenas para atendimento à demanda mensal, são eles o sofá, o roupeiro, a banquetta, o box, a cabeceira e a poltrona. Também foi possível analisar uma melhor alocação de recursos não-escassos, como foi o caso da mão de obra para montagem dos produtos, que estava com excesso de 6,7% da capacidade total.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 204 p.

ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. xvii, 524 p.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2012.

CICOLIN, L. O. M. **Avaliação de desempenho do processo logístico de exportação do milho: uma aplicação da análise por envoltória de dados**. Dissertação (Mestrado em Pesquisa Operacional) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

HENRIQUES, R. S.; CASTRO, F. A. O.; SILVA, H. N. P. Definição do mix de produção ótimo de uma microempresa por meio da programação linear. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 2015, Bauru, SP. **ANAIS DO XXII SIMPEP**, 2015. p. 1-14.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013. 1005 p.

LICZBINSKI, C. R. **Modelo de Informações para o Gerenciamento das Atividades das Pequenas Indústrias de Produtos Alimentares do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LUENBERGER, D. G.; YE, Y. **Linear and nonlinear programming**. 3 ed. New York: Springer, 2008, 516 p.

MENDONÇA, L.; LOPES, P. C. S.; SILVA, D. A. P.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, G. Estudo de

maximização de lucros em uma empresa de congelados comestíveis na cidade de Bambuí-MG. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza, CE. **ANAIS DO XXXV ENEGEP**, 2015. p. 1-15.

MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MOREIRA JUNIOR, J. C. **Programação linear no planejamento agregado de produção e vendas de uma indústria siderúrgica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

NUNES, D. F. **Procedimento para análise de sensibilidade do Programa HDM-4**. 2012. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa operacional: programação linear e simulação**. 3.ed. – São Paulo: Atlas, 1998.

SILVA, G.F.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; SILVA, M.L., Influência de estimativas de produção de madeira em processos de regulação florestal utilizando programação linear. **Revista Árvore**, 13 (1): 57-72, 2003.

SOBREIRO, V. A. **Proposta de uma heurística construtiva baseada na teoria das restrições para definição de mix de produção**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, SP, 2012.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008. 359 p.

ZHU, J. **Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA excel solver**. New York: Springer, 2003.

**ABSTRACT:** With the advancement of administration possibilities of production processes, the decision-making becomes crucial factor for managers, since this technique is responsible for evaluating, within a set of possibilities, this most feasible for the system. For this, the operational research contributes significantly to this analysis, which results in optimum condition to manage production. In this context, it approaches this work, carried out in a business plan and conventional furniture located in Minas Gerais, the most viable amount of buying products for training stock as a competitive advantage. Through a case study, data collection and use of the simplex algorithm in linear programming, it was possible to determine the most profitable products and their optimal amounts for purchase and storage, respecting restrictions on the investment value, space for storage, personal delivery and installation and minimum requirements for expected demand. Finally, through the economic interpretation and sensitivity analysis, the systems advantages and its

possible adaptations without changing the originality were analyzed.

**KEYWORDS:** linear programming; product mix; furniture sector; simplex; solver.

## **CAPÍTULO XIX**

### **TEORIA DAS FILAS APLICADA A UMA DROGARIA LOCALIZADA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

---

**Daniel Magalhães Cumino  
Debora Costa Melo  
Nayara Góes Reis  
Talles Orsay Dutra Sodre  
Yan Filipy Moreira Correa**

## TEORIA DAS FILAS APLICADA A UMA DROGARIA LOCALIZADA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

### **Daniel Magalhães Cumino**

Universidade do Estado do Pará, Engenharia de Produção  
Belém – Pará

### **Debora Costa Melo**

Universidade do Estado do Pará, Engenharia de Produção  
Belém – Pará

### **Nayara Góes Reis**

Universidade do Estado do Pará, Engenharia de Produção  
Belém – Pará

### **Talles Orsay Dutra Sodre**

Universidade do Estado do Pará, Engenharia de Produção  
Belém – Pará

### **Yan Filipy Moreira Correa**

Universidade do Estado do Pará, Engenharia de Produção  
Belém – Pará

**RESUMO:** A finalidade do estudo das filas é proporcionar um serviço aceitável a clientes à espera e foi inicialmente motivada por aplicações em sistemas telefônicos. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo aplicar o estudo de teoria de filas para avaliar os indicadores de desempenho da prestação de serviços, como o tempo médio de espera em fila e a produtividade da instalação de serviço, em uma drogaria da região metropolitana de belém. Foram coletados dados in loco com os quais foi possível calcular a taxa de chegada e de atendimento de clientes. Por fim, com estes dados obteve-se os parâmetros para o modelo estudado, sendo estes os tempos médios de espera e número médio de clientes na fila e no sistema. Também obteve-se a taxa de ocupação de 84%, a qual, mantendo-se constante, possibilitou a realização da simulação para verificar os limites da taxa de chegada ideais para um número de postos, de um a quatro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria Das Filas; Taxa De Ocupação; Drogaria

## 1. INTRODUÇÃO

As filas de espera fazem parte do cotidiano das pessoas na sociedade. Contudo, os procedimentos causadores de filas podem ser analisados e mensurados de forma a amenizar os custos em tempo e produtividade, do mesmo modo que as perdas financeiras que eles originam. Neste contexto, o presente estudo foi realizado em uma empresa que atua a 21 anos no comércio de produtos e serviços de saúde e bem-estar no estado do Pará e possui destaque no setor devido à variedade de produtos oferecidos e às facilidades de compras. Desse modo, companhias deste ramo necessitam estar sempre atentas a eficiência e qualidade de atendimento com

o menor tempo de processamento possível. Para isso, é indispensável conhecer o cenário e as propriedades de todos os envolvidos.

Tal cenário pode ser analisado a partir do número médio de elementos na fila, tempo de espera pelo atendimento e tempo ocioso dos prestadores de serviço. A utilização da modelagem de sistemas é essencial na tomada de decisões quanto à manutenção ou modificação da operação do sistema em sua atual conjuntura, pois também auxilia no dimensionamento adequado da infraestrutura de recursos humanos e financeiros, buscando assim um melhor desempenho.

Com base no exposto acima, este estudo tem como objetivo fundamental o desenvolvimento de modelos matemáticos de filas que possibilitem antever o desempenho dos sistemas de prestação de serviços da empresa analisada, modelando o sistema para avaliar sua taxa de ocupação e simular as diversas situações que ocorrem neste ambiente.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 CONCEITO DE FILAS**

Hillier e Lieberman (2013) conceituam fila como o local onde os clientes esperam com o objetivo de ser atendidos. A teoria de filas é um ramo da Pesquisa Operacional que estuda as relações existentes entre a demanda em um sistema e os atrasos sofridos pelos usuários desse sistema. Ela emprega modelos matemáticos para representar os diversos tipos de sistemas de filas que surgem no dia-a-dia, e a partir desses modelos é possível dimensionar o tempo de médio de espera em diversas ocasiões, assim como operar o sistema de filas de forma mais eficiente.

### **2.2 ELEMENTOS DE UMA FILA**

#### **2.2.1 FONTE DE ENTRADA**

Para Jacobs e Chase (2009), população solicitante é aquela de onde provem as chegadas de tal forma que pode ser finita ou infinita, também chamadas de limitadas e ilimitadas, respectivamente. Uma população é classificada como finita quando a probabilidade de uma próxima ocorrência é reduzida caso um cliente retire-se da fila. Por outro lado, uma população infinita é aquela que adições ou subtrações à população não afetam as probabilidades do sistema.

A taxa de chegada média para um modelo em que a população é dita infinita é sempre constante. Essa taxa pode ser caracterizada por uma distribuição de Poisson com média  $\lambda$  quando se define um número de chegadas em um intervalo de tempo e o processo é aleatório. Outro modo de explicitar a distribuição de chegadas é fazê-la em tempo entre as chegadas, o que caracteriza uma distribuição

exponencial negativa com média  $1/\lambda$  (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

## 2.2.2 DISCIPLINA DE ATENDIMENTO

A disciplina de uma fila representa a ordem na qual os clientes são selecionados para atendimento (TAHA, 2008). Ela é definida em função das características do sistema e existem várias disciplinas possíveis, sendo a mais comum aquela na qual se obedece uma ordem de chegada – o primeiro que entra no sistema é o primeiro que sai (first in, first out – FIFO). Outras disciplinas incluem: o último a chegar é o primeiro a sair do sistema (last in, first out – LIFO) e aleatória (service in random order – SIRO) (ARENALES et al., 2007).

## 2.2.3 PROCESSO DE ATENDIMENTO

Segundo Slack (2009), o mecanismo de atendimento é formado por uma ou mais instalações de atendimentos, e cada uma possui um ou mais canais de atendimentos paralelos, chamados atendentes. Um atendente é a entidade que processa os clientes na fila. O cliente poderá ser atendido por uma sequência de instalações de atendimento, o que caracteriza um canal de atendimento em série. O tempo decorrido entre o início do atendimento até o seu término é denominado tempo de atendimento. A distribuição de atendimento utilizada com mais frequência é a distribuição exponencial, quando os tempos de atendimento são aleatórios, com média  $\mu$ . Outras distribuições de tempo de atendimento utilizadas são a distribuição degenerada (tempo de atendimento constante) e a distribuição de Erlang ( $\gamma$ ) (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

## 2.3 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

### 2.3.1 DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

Esta distribuição é mais usada nos casos em que se está interessado em um número de chegadas durante certo intervalo de tempo e especifica a probabilidade de  $n$  clientes chegarem nas instalações em um período de tempo  $t$ , de acordo com a equação abaixo (JACOBS E CHASE, 2009), onde  $n$  = número inteiro;  $P_n$  = probabilidade de  $n$  chegadas em um período de tempo  $t$ ;  $\lambda$  = número médio de chegadas de clientes por período;  $e = 2,71283$ .

$$P_n = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$$

### 2.3.2 Distribuição exponencial

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) identificam a distribuição exponencial como aquela que descreve a probabilidade de que o tempo de atendimento a um cliente não seja maior que o período de tempo  $t$ . Essa probabilidade é calculada de acordo com a equação abaixo, onde  $\mu$  = número médio de clientes que concluem o atendimento por período;  $x$  = meta de tempo de atendimento:

$$P(x) = 1 - e^{-\mu x}$$

## 2.4 MODELOS DE FILAS

Através da notação de Kendall pode-se representar vários modelos de filas, a exemplo daqueles com servidor único, servidor múltiplo ou com fonte finita (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009). Várias características em um sistema são importantes do ponto de vista gerencial, a exemplo do número de clientes na fila (comprimento da fila), número de clientes na fila e no atendimento (número de clientes no sistema), tempo de espera na fila, tempo total decorrido da entrada do sistema até a saída (tempo total no sistema) e, por fim, o percentual de ocupação das instalações de serviço (utilização da instalação de serviço).

### 2.4.1 M/M/S

Este modelo, também chamado de modelo de servidor múltiplo, é caracterizado por clientes que formam uma fila única e escolhem um dos  $S$  servidores quando este está disponível. Este modelo tem como característica uma taxa de chegada  $\lambda$  e uma taxa de atendimento  $\mu$ , a qual é independente e igualmente distribuída para cada servidor. A população e a capacidade são ilimitadas. Gross e Harris (1998) identificam as variáveis de desempenho para o sistema descrito:

Tabela 1 – Variáveis de desempenho

Taxa de utilização do servidor	$\rho$	$\rho = \frac{\lambda}{s * \mu}$
Número esperado de clientes em serviço	$r$	$r = \frac{\lambda}{\mu}$
Probabilidade de o sistema estar vazio	$P_0$	$P_0 = \left( \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c}{c! (1 - \rho)} \right)^{-1}$
Número médio de clientes na fila	NF	$NF = \frac{\rho}{s - \rho} + P_0$
Número médio de clientes no sistema	NS	$NS = NF + \rho$

Tempo médio de espera na fila	TF	$TF = \frac{NF}{\lambda}$
Tempo médio de espera no sistema	TS	$TS = \frac{NS}{\lambda}$

Fonte: Gross e Harris (1998).

## 2.5 TESTE QUI-QUADRADO ( $\chi^2$ )

O teste do chi-quadrado, ou teste de adequação do ajustamento, é uma das ferramentas mais simples e úteis da estatística não paramétrica. A letra grega qui ( $\chi$ ) é a variável estatística padronizada, a qual elevada ao quadrado ( $\chi^2$ ), dá nome ao teste (BRUNI, 2011). Uma aplicação comum da qui-quadrado são os testes de aderência.

### 2.5.1 TESTE DE ADERÊNCIA

Webster (2006) afirma que o teste de aderência analisa a discrepância entre os dados amostrais observados e a distribuição pressuposta particular. Se a discrepância não existir (hipótese nula), podemos concluir que a distribuição pressuposta ocorre. Por outro lado, a hipótese alternativa alega a existência de discrepância entre os dados amostrais observados e a distribuição pressuposta. O teste de aderência determina se as observações amostrais se ajustam às expectativas. Para isso, deve-se analisar a diferença entre essas expectativas, baseadas na distribuição pressuposta, em relação aos dados reais da amostra. O teste tem a forma abaixo, onde  $O_i$  = frequência observada;  $E_i$  = frequência calculada e  $K$  = número de classes ou categorias. Este teste apresenta grau de liberdade de  $K - m - 1$ , onde  $m$  é o número de parâmetros a serem estimados e nível de significância alfa ( $\alpha$ ) :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

## 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é caracterizada por sua observação in loco e abordagem quantitativa de natureza aplicada corresponde à associação de conhecimentos para aplicação prática com a finalidade de resolver problemas específicos realizando aplicação de técnicas estatísticas para alcançar as soluções ideais (PRODANOV e FREITAS, 2013). Os dados foram avaliados de acordo com os parâmetros descritos por Prado (2008) para o reconhecimento do equilíbrio do sistema, para as discussões e conclusões do ambiente analisado. Desse modo, a Figura 2 ilustra os procedimentos necessários para o estudo de sistemas de filas proposto por Prado

(2008).



FIGURA 1 - Procedimentos do estudo de filas. Fonte: Prado (2008)

A observação foi realizada em apenas uma das unidades de atendimentos das 128 existentes no Estado. Os dados foram coletados no período em que o sistema estava estável, ou seja, a taxa de atendimento deveria ser maior que a taxa de chegada. No critério tempo de chegada, observou-se a quantidade de clientes que entravam no sistema no intervalo de um minuto durante 60 minutos. Em seguida, estes elementos foram agrupados como dados brutos discretos e armazenados em planilhas Microsoft Excel.

Para verificação da aderência a uma classificação teórica de probabilidade, as frequências de chegada e atendimento foram submetidas ao teste do Qui-Quadrado. Por fim, os dados foram avaliados conforme os parâmetros apresentados no modelo de servidor múltiplo (M/M/S) para o reconhecimento do equilíbrio do sistema com base nas fórmulas descritas no modelo para realizar as simulações, discussões e conclusões do ambiente analisado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O estudo foi realizado em uma loja de uma famosa rede de drogarias, localizada em um shopping center na cidade de Belém. O estabelecimento em questão conta com uma fila única e sua disciplina é classificada como FIFO (primeiro a entrar é o primeiro a sair). O espaço possui 3 postos de atendimento (caixas), que têm como função receber o pagamento das compras efetuadas pelos clientes, através de um sistema informatizado de atendimento. Este pagamento pode ser realizado em dinheiro ou cartão de crédito ou débito, sendo que estes demandam maior tempo de atendimento.

### 4.2 Modelagem do sistema

A coleta de dados foi realizada entre os horários de 18:00h e 19:00h em um feriado nacional. Os clientes chegam ao sistema de acordo com a distribuição de Poisson a uma taxa  $\lambda$  e o tempo que cada cliente gasta em cada caixa é distribuído exponencialmente a uma taxa  $\mu$  de processamento.

#### 4.2.1 CHEGADA DOS CLIENTES

As cronometragens foram realizadas e observou-se a quantidade de clientes que chegaram na fila em cada minuto, durante 60 minutos. O número de clientes que chegaram durante o período analisado variou de 0 a 6 (assim, 7 classes foram criadas), e a quantidade de clientes de cada classe está expresso da Tabela 2. A partir dos dados coletados e posteriormente organizados em planilhas, foi possível calcular a frequência observada de chegada de clientes em cada minuto. Para a determinação do tipo de distribuição que os dados se enquadram, a frequência relativa observada foi calculada dividindo-se a frequência observada ( $O_i$ ) pelo número total de clientes que entraram na fila durante o período analisado. Por fim, a frequência acumulada é a soma das frequências relativas individuais (Tabela 2).

Tabela 8 - Frequências de chegada

N° de chegadas em 1 minuto	Frequência observada ( $O_i$ )	Frequência relativa observada	Frequência acumulada
0	14	0,23	0,23
1	24	0,40	0,63
2	11	0,18	0,82
3	7	0,12	0,93
4	3	0,05	0,98
5	0	0,00	0,98
6	1	0,02	1,00

Sendo assim, considerando que a quantidade total de clientes que chegaram na fila no período de 60 minutos foi de 85, foi possível calcular o ritmo de chegada ( $\lambda$ ) para verificar se esta variável segue uma distribuição de Poisson. O valor da variável foi de  $\lambda = 1,42$  clientes por minuto. Dessa maneira, em posse do valor de  $\lambda$  e da fórmula de distribuição de Poisson, obteve-se a frequência relativa calculada ( $E_i$ ) e o valor calculado do Qui-quadrado ( $(O_i - E_i)^2/E_i$ ) com o objetivo de realizar os testes de aderência gráfica e do qui-quadrado (Tabela 3).

Tabela 9 – Frequência calculada e teste do Qui-Quadrado.

N° de chegadas em 1 minuto	Frequência Relativa Calculada	Frequência Calculada Acumulada	Frequência Calculada ( $E_i$ )	$(O_i - E_i)^2 / E_i$
0	0,26	0,26	16	0,16
1	0,35	0,61	21	0,43
2	0,24	0,85	14	0,71
3	0,11	0,95	6	0,06
4	0,04	0,99	2	0,33
5	0,01	1	1	0,58
6	0,00	1	0	5,78
Total	1		60	8,05

#### 4.2.2 TESTE DE ADERÊNCIA GRÁFICA

Para realizar o teste de aderência gráfica, plotaram-se os gráficos abaixo, com o parâmetro  $\lambda=1,42$ . Na figura 2, foram comparados os valores de frequência relativa observada ( $O_i$ ) e frequência relativa calculada ( $E_i$ ). Já na figura 3, os valores plotados foram as frequências acumuladas dos valores observados e dos valores calculados.

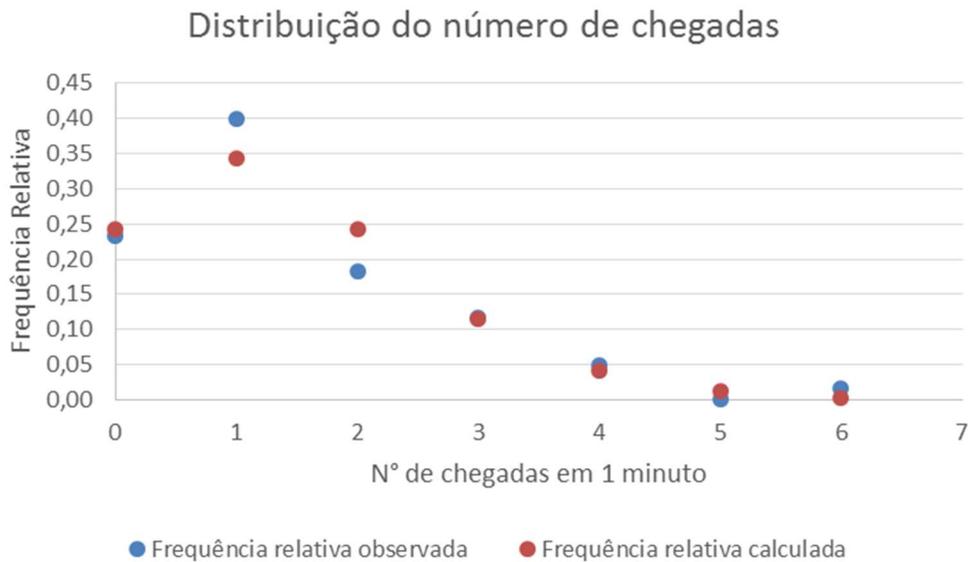


FIGURA 2 - Distribuição do número de chegadas.

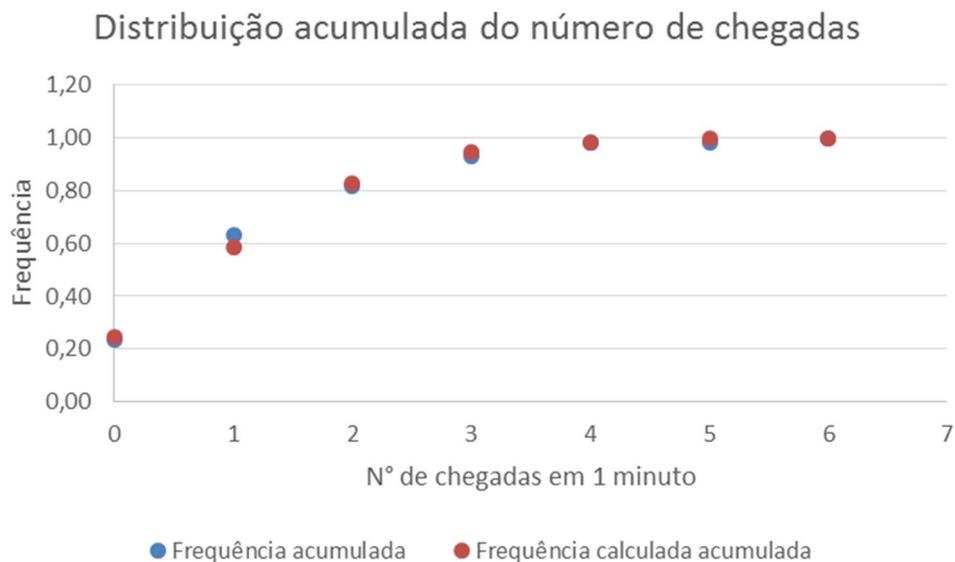


FIGURA 3 - Distribuição acumulada do número de chegadas.

O padrão da distribuição do número de chegadas, apresentado no gráfico 1, sugere a possibilidade de aderência à distribuição de Poisson de parâmetro  $\lambda = 1,42$  clientes por minuto. Com o objetivo de confirmar a aderência foi realizado o teste Qui-quadrado conforme o valor total do valor calculado de Qui-quadrado presente na Tabela 3. Com grau de liberdade sendo igual a dois e 95% de confiança, o valor

tabelado do Qui-quadrado é 11,071. Como o valor do Qui-quadrado calculado (8,05) é menor que o presente na tabela, é possível afirmar que a distribuição de Poisson é válida.

#### 4.2.3 ATENDIMENTO DOS CLIENTES

A coleta de dados para o atendimento foi realizada através da cronometragem do tempo gasto de cada funcionário para atender um pedido. Como os tempos foram bastante variados, foi necessário distribuí-los em intervalos de tempo igualmente espaçados. Para o cálculo desse intervalo, dividiu-se a amplitude dos tempos de atendimento pela raiz do número de classes, para a obtenção da amplitude do intervalo (A). O valor obtido foi de  $A = 1,04$ . Assim, a tabela 4 apresenta as frequências observada e a frequência relativa observada de atendimento de cada funcionário para todos os intervalos.

Tabela 10 - Frequência de atendimento.

Intervalo (min)	Frequência Observada (O <sub>i</sub> )			Frequência Rel. Observada			Média do intervalo (T)
	PO1	PO2	PO3	PO1	PO2	PO3	
[0 - 1,04]	16	15	2	0,42	0,47	0,13	0,52
]1,04 - 2,08]	18	12	6	0,47	0,38	0,40	1,56
]2,08 - 3,12]	2	0	1	0,05	0	0,07	2,6
]3,12 - 4,16]	1	2	0	0,03	0,06	0	3,64
]4,16 - 5,2]	1	2	2	0,03	0,06	0,13	4,68
]5,2 - 6,24]	0	1	1	0	0,03	0,07	5,72
]6,24 - 7,28]	0	0	0	0	0	0	6,76
]7,28 - 8,32]	0	0	0	0	0	0	7,8
]8,32 - 9,36]	0	0	2	0	0	0,13	8,84
]9,36 - 10,4]	0	0	1	0	0	0,07	9,88
]10,4 - 11,44]	0	0	0	0	0	0	10,92
]11,44 - 12,48]	0	0	0	0	0	0	11,96
]12,48 - 13,52]	0	0	0	0	0	0	13
Total	38	32	15	1	1	1	
TA	1,31	1,53	3,71				
μ	0,76	0,65	0,27				
μ <sub>médio</sub>	0,56						

O tempo de atendimento (TA) de cada caixa foi calculado a partir da equação dada abaixo, onde  $T_i$  é a média de cada intervalo,  $PO_j$  é frequência observada de cada caixa,  $i$  é a linha correspondente ao intervalo  $j$  é o caixa (1, 2 ou 3):

$$TA = \sum \frac{T_i * PO_{ij}}{Total_j}$$

Tendo em vista que  $\mu$  é o inverso do tempo de atendimento (TA), foi possível

calcular o seus valores a partir dos valores de TA correspondentes a cada caixa. Esses valores estão expressos na última linha da Tabela 4. Analisando essa tabela, pode-se perceber uma tendência da curva da frequência relativa seguindo uma distribuição exponencial com taxa média  $\mu$  clientes por minuto. Para a Tabela 5, foram realizados os cálculos da frequência calculada através da fórmula de Distribuição Exponencial, e a realização do teste Qui-quadrado, para verificar se a variável em questão segue uma distribuição exponencial a 5% de significância com taxas ( $\mu$ ) de 0,76, 0,65 e 0,37 clientes por minuto para o primeiro, segundo e terceiro caixas, respectivamente.

Tabela 11 - Frequência de atendimento calculada e teste do Qui-Quadrado

$\mu_n$	Intervalo (min)	Frequência Calc. (Ei)			Frequência Relativa Calculada (Ri)			$(O_i - E_i)^2 / E_i$			
		0,76	0,65	0,27	P01	P02	P03	P01	P02	P03	
		P01	P02	P03	0,55	0,49	0,25	0,00	0,03	3,65	
0	1,04	15,86	14,32	7,09	0,25	0,25	0,19	16,27	3,11	0,08	
	1,04	2,08	7,19	7,25	5,36	0,11	0,13	0,14	0,48	3,67	2,29
	2,08	3,12	3,26	3,67	4,05	0,05	0,06	0,11	0,15	0,01	3,06
	3,12	4,16	1,48	1,86	3,06	0,02	0,03	0,08	0,16	1,19	0,04
	4,16	5,2	0,67	0,94	2,31	0,01	0,02	0,06	0,30	0,58	0,32
	5,2	6,24	0,30	0,48	1,75	0,00	0,01	0,05	0,14	0,24	1,32
	6,24	7,28	0,14	0,24	1,32	0,00	0,00	0,04	0,06	0,12	1,00
	7,28	8,32	0,06	0,12	1,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,06	2,07
	8,32	9,36	0,03	0,06	0,75	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,33
	9,36	10,4	0,01	0,03	0,57	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,43
	10,4	11,44	0,01	0,02	0,43	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,32
	11,44	12,48	0,00	0,01	0,32	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,25
	12,48	13,52	0,00	0,00	0,25	1,00	1,00	1,0	17,63	9,08	15,2
	Total	29,00	29,00	28,2	-	-	-	19,675	19,675	19,675	

Os valores para o teste do Qui-quadrado calculado e tabelado para um TA médio de 2,18 minutos e a 5% de significância, para cada número de caixas, estão expostos abaixo (Tabela 6). Como todos os valores de Qui-quadrado calculados são menos que os tabelados, é possível afirmar que os dados seguem uma distribuição exponencial.

Tabela 12 - Qui-Quadrado calculado x Tabelado

PO	1	2	3
Calculado	17,63	9,08	15,20
Tabelado	19,68	19,68	19,68

Fonte: Autores (2015)

### 4.3 SITUAÇÃO USUAL DO SISTEMA

O modelo apresentado no trabalho é M/M/3/FIFO (Notação de Kendall-Lee), com  $\lambda = 1,42$  clientes por minuto e  $\mu_{\text{méd}} = 0,56$ . As variáveis de desempenho para o modelo descrito na Tabela 7:

Tabela 13 - Variáveis de desempenho

Variável	Valor
Taxa de Ocupação ( $\rho$ )	84%
Número médio de clientes no sistema (NS)	7
Número médio de clientes na fila (NF)	4
Tempo médio de permanência no sistema (TS)	4,44 min
Tempo médio de permanência na fila (TF)	2,66 min

Fonte: Autores (2015).

A partir da Tabela 7 é possível identificar que a taxa de ocupação do sistema é de 84%, o que significa uma ociosidade correspondente de 16%. O tempo médio de permanência na fila é de aproximadamente 3 minutos, o que é considerável aceitável. O número médio de clientes no sistema é de 7 pessoas, sendo 4 pessoas na fila e 3 pessoas no atendimento.

### 4.4 VARIAÇÃO DOS POSTOS DE ATENDIMENTO

Devido à grande variação da demanda entre os períodos do dia, buscou-se verificar os limites das taxas de chegada de acordo com a variação do número de postos de atendimentos (de 1 a 4) para que a taxa de ocupação de 84% não fosse excedida (Tabela 8).

Tabela 14 - Limites de taxa de chegada para n° de postos de atendimento

$\lambda_{\text{mín}}$	Postos	$\lambda_{\text{máx}}$
0	1	0,47
]0,47	2	0,94
]0,94	3	1,42
]1,42	4	1,88

Fonte: Autores (2015)

Para uma taxa de chegada nula até uma taxa máxima de 0,47 clientes por minuto, o número de caixa necessários para a manutenção da taxa de ocupação em 84% é de apenas 1. Para períodos nos quais a taxa de chegada é de até 0,94 cliente por minuto, são necessários apenas 2 postos de atendimento para a taxa de ocupação ser mantida. Para aqueles nos quais a taxa de chegada ultrapassa 1,42 clientes por minuto, sugere-se a adição de mais um caixa aos 3 já existentes para manter a taxa de ocupação. Os valores das variáveis de desempenho calculadas a partir do  $\lambda_{\text{máx}}$  de cada número de postos de atendimento estão na Tabela 9.

Tabela 15 - Variáveis de desempenho para n° de caixas de 1 a 4

Nº de postos	1	2	3	4
NF	4	4	4	4
NS	5	6	7	8
TF (min)	7,63	3,69	2,7	2,08
TS (min)	9,41	5,47	4,48	3,86

Fonte: Autores (2015)

A Figura 5 mostra os tempos médios na fila e no sistema em função da quantidade de caixas. É possível observar que ambos os tempos diminuem com o aumento no número de postos de atendimento, considerando a taxa de ocupação máxima de 84%.

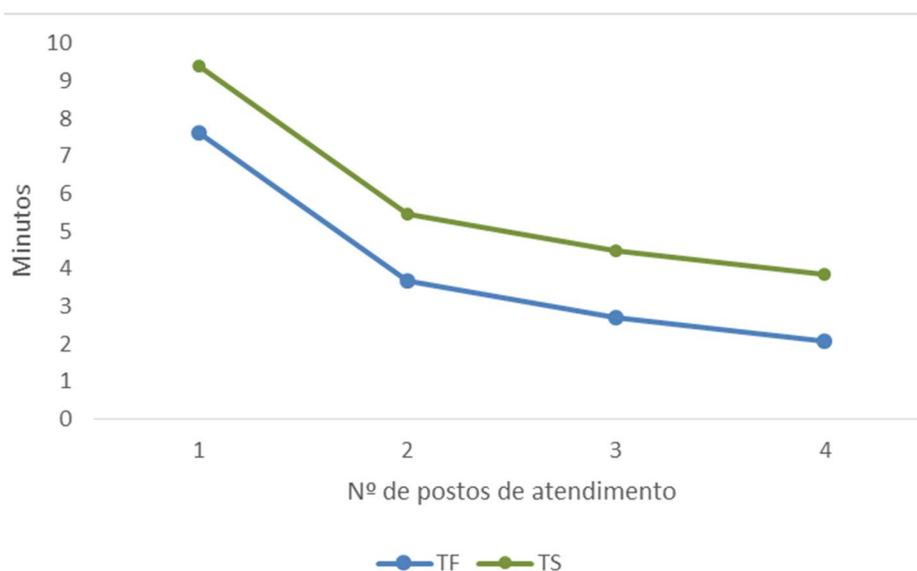


Figura 10 - Tempos médios na fila e no sistema em função da quantidade de caixas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria de filas é importante para oferecer um serviço razoavelmente satisfatório a clientes à espera, assim como balancear os custos de oferecer serviços no sistema e os custos dos atrasos sofridos pelos usuários. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo dimensionar a ocupação das instalações de um estabelecimento pertencente a uma rede de drogarias a partir da teoria de filas. Para tanto foram coletados dados *in loco* do número de clientes que entravam na fila a cada minuto, durante 60 minutos, assim como o tempo despendido no atendimento de cada cliente.

No processo de chegada dos clientes supôs-se que os dados seguiam uma distribuição de Poisson com ritmo de chegada  $\lambda = 1,42$  clientes por minuto. Por outro lado, para o processo de atendimento, obteve-se uma taxa de atendimento de  $\mu = 0,56$  clientes por minuto, supondo que os dados seguiam uma distribuição exponencial. Em seguida, ambas hipóteses foram confirmadas através do teste de aderência do Qui-Quadrado, possibilitando o cálculo das variáveis de desempenho

do modelo de servidor múltiplo (M/M/S).

A situação usual do sistema foi representada pelo número médio de clientes na fila, número médio de clientes no sistema, tempo médio de permanência na fila e tempo médio de permanência no sistema. A taxa de ocupação calculada foi de 84% e, com o objetivo de manter esta taxa constante, foi possível dimensionar os limites das taxas de chegada  $\lambda$  de acordo com a variação no número de postos de atendimento. A partir do gráfico do tempo médio de permanência na fila versus o número de postos de atendimento foi possível concluir que os tempos médios na fila e no sistema são inversamente proporcional ao número de caixas - ou seja, quando há um aumento no número de caixas, o tempo gasto na fila por um cliente tende a diminuir.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para a análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 202 p.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BRUNI, Adriano Leal. **Estatística aplicada à gestão empresarial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

GROSS, Donald; HARRIS, Carl M.. **Fundamentals of queueing theory**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 1005 p.

JACOBS, F. Robert; CHASE, Richard B.. **Administração da produção e de operações: O essencial**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte: INDG, 2008.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

WEBSTER, Allen L.. **Estatística aplicada à Administração e Economia**. São Paulo: Mcgraw Hil, 2006.

WINSTON, Wayne L.; GOLDBERG, Jeffrey B.. **Operations Research: Applications and Algorithms**. Belmont, CA: Thomson/brooks/cole, 2004.

**ABSTRACT:** The objective of studying queuing theory is to provide an acceptable service to customers waiting in a queue, and was originally motivated by applications in telephonic services. Thus, the present paper's objective is to apply the queuing theory study to assess the indicators of performance of services, such as average waiting time in the queue and productivity of the service installations, in a drugstore in the metropolitan region of belém. Data in loco was collected to calculate the arrival and customer service rate. Finally, with those data, it was obtained the parameters to perform the study, which are the average waiting time in the system and the number of customers in the queue and in the system. In addition, it was also obtained the occupancy rate of 84%, in which, being kept constant, allowed the simulation to verify the ideal limits of arrival rate to servers varying from one to four.

**KEYWORDS:** Queuing Theory; Occupation Rate; Drugstore

## **CAPÍTULO XX**

### **UM ENSAIO DE UM ALGORITMO PARA CRIPTOGRAFIA DE TEXTOS BASEADO NO CUBO RUBIK. UM MÉTODO PRÁTICO PARA USUÁRIOS NÃO INICIADOS NA RESOLUÇÃO DO CUBO**

---

**Isnard Thomas Martins  
Edgard Thomas Martins**

# UM ENSAIO DE UM ALGORITMO PARA CRIPTOGRAFIA DE TEXTOS BASEADO NO CUBO RUBIK. UM MÉTODO PRÁTICO PARA USUÁRIOS NÃO INICIADOS NA RESOLUÇÃO DO CUBO

**Isnard Thomas Martins**

Universidade Estácio de Sá

Rio de Janeiro, RJ

**Edgard Thomas Martins**

Universidade Federal de Pernambuco, UFPE

Recife, PE

**RESUMO:** O presente trabalho propõe um algoritmo para criptografia de textos, oferecendo uma solução para codificação de mensagens de tamanho variável, baseado em movimentos do Cubo Rubik. A solução proposta se traduz em uma matriz de indexadores extraídos das peças integrantes do cubo, cuja operação se baseia nas inúmeras alternativas de movimentação da sua flexível estrutura. Um template foi desenvolvido para correlacionar os indexadores associados ao algoritmo e usados para transposição do texto, em suas fases de criptografia e decifração, dispensando o uso físico de um Cubo Rubik e simplificando o uso do método proposto para usuários não familiarizados com técnicas aplicadas para resolução do cubo

**PALAVRAS-CHAVE:** Criptografia, Cubo Rubik, Algoritmos

## 1.Introdução

Singh (2002) cita que a história dos criptosistemas envolve uma secular batalha entre criptoconstrutores e criptoanalistas de códigos, em uma corrida intelectual com forte impacto no curso da história humana, envolvendo esforços para preservar ou destruir segredos criptográficos militares e comerciais, com apoio de uma vasta gama de conhecimentos multidisciplinares e recursos tecnológicos

O desenvolvimento de criptosistemas e códigos criptográficos podem ser observados como uma luta evolutiva, estando qualquer código sob constante ataque de decifradores, sob os mais diversificados propósitos, desde a simples curiosidade aos mais críticos momentos da segunda grande guerra, destacando-se a máquina Enigma, dispositivo que apoiou com eficiência o sistema de códigos do lado alemão, bem como o sistema japonês de criptografia de mensagens, usado na guerra do Pacífico, sendo ambos os sistemas decifrados por criptoanalistas após exaustivas pesquisas (Singh, 2002). Os alemães estavam convictos que a criptografia gerada pela máquina Enigma não podia ser quebrada, usando desta forma a máquina para todos os tipos de comunicações em ar, terra e mar e principalmente, em comunicações de seus serviços secretos (Lycett, 2016). Os segredos de ataque das batalhas foram decifrados em gabinetes secretos, envolvendo oponentes especialistas em embates intelectuais que decifraram e

decidiram os resultados da guerra.

Novos modelos de criptografia encontram-se em desenvolvimento, utilizando a alta capacidade computacional disponível, pesquisando alternativas de modelos geradores de múltiplos resultados. Neste ponto insere-se o Cubo Rubik, um enigma mecânico de difícil solução, notoriamente complexo que pode apresentar 43.252.003.274.856.000 combinações possíveis, sendo muito útil em aplicações e teorias criptográficas.

Criado em Budapeste, em 1974 por um professor de arquitetura chamado Erno Rubik, o Cubo foi desenvolvido como um modelo para auxiliar as suas aulas de geometria tridimensional. A sua generalização matemática natural é representada pelo problema de fatoração em grupos não-abelianos, sendo seus princípios matemáticos relacionados com a teoria dos grupos, teoria dos grafos, teoria dos números e análise combinatória (PETIT & QUISQUATER, 2013).

A literatura documenta experiências envolvendo criptografia baseadas nos movimentos do Cubo de Rubik, dentre estas, destacando-se os trabalhos de Viorel & Loukhaoukha (2012) que ressalta as limitações presentes na criptografia de imagens digitais baseadas na teoria do caos e propõe uma abordagem robusta baseada no princípio do Cubo de Rubik, bem como a publicação de Rajavel & Shantharajah (2012), que descreve um algoritmo criptográfico baseado no Cubo Rubik Híbrido, demonstrando que a chave gerada por este método apresenta elevada segurança para criptografia de textos.

## **2. O Modelo do Cubo de Rubik Selecionado**

O cubo selecionado para este experimento será o cubo de Rubik 3x3x3, configuração mais comum encontrada no mercado e mais simples para desenvolvimento do algoritmo apresentado neste trabalho.

O Cubo de Rubik encontra-se subdividido em 27 cubos pequenos interligados, que denominamos subcubos ou cubículos. Apenas 26 deles são visíveis, uma vez que o centro do Cubo de Rubik é completamente envolvido pelos demais cubículos. (Joyner,2002). No centro do Cubo localiza-se um cubículo ou uma esfera que é responsável pela estrutura de deslocamento das demais peças conectadas ao centro do cubo, permanecendo sempre invisível, e no restante, apenas as facetas externas são visíveis. Existem oito cubículos que se localizam nas pontas e conectam-se a três faces, exibindo apenas três facetas visíveis, denominados cubículos de vértice. Existem doze cubículos que ficam nas bordas, sendo conectadas a duas faces, exibindo apenas duas facetas visíveis, denominados cubículos de aresta. E por fim, existem seis cubículos localizados no centro das faces, localizados entre os cubículos de aresta e os cubículos de vértice. Os cubículos centrais apresentam apenas uma faceta visível. O Cubo 3x3x3 totaliza desta forma, cinquenta e quatro facetas que serão usadas para mapear os diferentes caracteres que integram uma mensagem ou caracteres que compõem um segmento de mensagem.

### 3. Movimentos do Cubo

Os movimentos do cubo podem ser formalizados como permutações das peças, devido a deslocamento dos cubículos entre as faces. Os movimentos alteram a configuração das cores faces, mas preservam a forma geral do cubo, por isso são denominadas simetrias do cubo. Nem todas as configurações são possíveis. Por exemplo, as arestas não podem ser trocadas pelos vértices (SCHÜTZER, 2005).

O cubo apresenta suas faces centrais fixas, poderemos caracterizar a cor de uma face através da cor da sua peça central visível e presente em cada face. Portanto, convencionaremos denominar as seis faces do cubo através das cores das peças fixas: Face Azul, Face Amarela, Face Branca, Face Âmbar, Face Verde e Face Vermelha, conforme ilustrado na Figura 1.

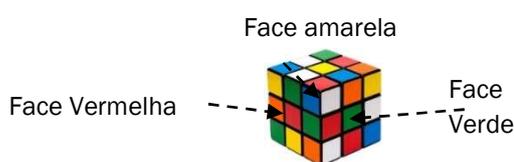


FIGURA 1 – Visão parcial de cores das faces visíveis

Para facilitar a descrição do movimento das faces e dos cubículos utilizamos abreviaturas simples para as seis faces e para os doze cubículos de aresta, oito cubículos de vértice e seis cubículos centrais, estabelecendo assim uma referência para todos os lados, de tal forma que as faces da frente, de trás, da direita, da esquerda, de cima e de baixo possam ser claramente identificadas. Utilizando as abreviaturas correspondentes às faces do cubo ficamos com a notação seguinte para as suas seis faces (SINGMASTER, 1981): F = face frontal (front); B = face de trás (back); L = face esquerda (left); R = face direita (right); U = face de cima (upper); D = face de baixo (down)

Para a notação dos cubículos de aresta e vértice, usamos as iniciais em qualquer ordem das faces que cada cubículo conecta, logo para as arestas, por exemplo, teremos a seguinte representação: ru (ou ur) indica a borda superior direita; rd (ou dr) indica a borda inferior esquerda; lu (ou lu) indica a borda superior esquerda; ld (ou ld) indica a borda inferior esquerda.

Denominaremos uma sequência de movimentos como Deslocamento, pois produzirá uma alteração nas faces do Cubo, deslocando seus cubículos para novas posições na estrutura do cubo.

A notação  $D = \{n...m\}$  representará uma sequência de movimentos, onde n e m representam os cubículos a serem movimentados.

Usaremos a expressão {Embaralhar} o Cubo, para uma sequência {D} aleatória de movimentos a um Cubo. Usaremos a expressão {Resolver} o cubo, para uma sequência de movimentos {D}, tal que  $D = \{I\}$  ou  $D = I$ , onde I representa o cubo resolvido (configuração Inicial), faces ordenadas por cores (SCHÜTZER, 2016). Usaremos a expressão {Codificar} o Cubo, para uma sequência {D}, tal que  $\{D\} = \{\text{CriptoRubik}\}$ , onde “Rubik” representa uma sequência de movimentos que

conduzem as faces do Cubo para uma configuração adotada como base do algoritmo proposto.

Os movimentos do cubo, são giros de  $90^\circ$  ou  $180^\circ$  em qualquer face do cubo, como um corpo rígido em torno do eixo de ligação do centro da mesma face. Os giros podem ser realizados no sentido horário ou no sentido anti-horário (Falcão, 2010). Como notação dos movimentos,  $F^{\wedge}$ ,  $R^{\wedge}$ ,  $B^{\wedge}$ ,  $L^{\wedge}$ ,  $U^{\wedge}$ ,  $D^{\wedge}$ , denotam o giro de  $90^\circ$  das respectivas faces no sentido horário e  $F^{\wedge-1}$ ,  $R^{\wedge-1}$ ,  $B^{\wedge-1}$ ,  $L^{\wedge-1}$ ,  $U^{\wedge-1}$ ,  $D^{\wedge-1}$ , denotam o giro de  $90^\circ$  das faces no sentido anti-horário. No caso de  $180^\circ$  basta substituir (incluir) o índice do movimento por 2, o que equivale a fazer o mesmo giro de  $90^\circ$  duas vezes, por exemplo,  $F^{\wedge 2}$ ,  $R^{\wedge 2}$ ,  $B^{\wedge 2}$ ,  $L^{\wedge 2}$ ,  $U^{\wedge 2}$ ,  $D^{\wedge 2}$ , denotando movimentos de  $180^\circ$  nas faces no sentido horário. Um Deslocamento é constituído de movimentos escritos sempre da esquerda para a direita, determinando a ordem em que devem ser realizados. Em outro exemplo, o movimento  $U^{\wedge}$ , movimenta o cubículo de aresta ur para uf e  $F^{\wedge}$  traz o mesmo cubículo de aresta uf para rl. Esse tipo de fenômeno é descrito como não-comutatividade, isto é, a ordem dos fatores altera o produto. Ao girarmos uma face qualquer certo número de vezes (quatro giros de  $90^\circ$ ) retornamos à posição inicial, formando assim um ciclo. Denotamos por Ordem de  $F = O(F)$  tal número de giros (SINGMASTER, 1981).

#### 4. Princípios usados no Algoritmo Proposto

Não iremos esgotar as inúmeras possibilidades de movimentos sucessivos do Cubo neste trabalho, pois o algoritmo utilizado para codificação compreende apenas três movimentos consecutivos aplicados em três diferentes vértices de cada face, como será posteriormente descrito. Cada um dos movimentos aplicados utiliza um giro simples de  $90^\circ$  apenas, transformações suficientes, entretanto para oferecer um complexo modelo integrado por indexadores que serão usados para transposição dos caracteres do texto a ser codificado.

Para complementar a criptografia será necessário preparar o Cubo com uma sequência de movimentos denominados deslocamentos (Falcão, 2010). Um deslocamento pode ser seguido de outro conjunto de deslocamentos para finalização do algoritmo. Ao final de um deslocamento computamos o número de movimentos necessários para efetuar-los, indicando a sua duração, onde a ordem dos movimentos executados e a ordem das faces manipuladas são essenciais para garantir a integridade e sucesso do algoritmo. O algoritmo não permite interrupção em sua sequência de deslocamentos, nem permite reversão nos movimentos, devendo ser executados até a sua efetiva finalização.

Usando teorias algébricas e combinatórias, calculamos deslocamentos específicos para sintetizar os movimentos do cubo de maneira criativa e autêntica, resultando no desenvolvimento de um algoritmo para criptografia de mensagens, onde um texto claro pode ser transposto, apresentando um texto codificado e apoiado nas características de complexidade do Cubo Rubik.

Supomos a sequência  $D = \{\text{Resolver}\}$  uma sequência de movimentos que

possa obter um cenário  $D = \{I\}$  ou  $D = I$  (solução ordenada por cores), oferecendo um cenário tal que, as cores das faces sejam todas iguais. Supomos a sequência  $D = \{\text{Codificar}\}$ , uma sequência de movimentos que possa obter um cenário único de cores, representando uma codificação do Cubo, específico para registro de um texto claro, sequencialmente ordenado em suas faces. Esta sequência será denominada  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ . Qualquer outra configuração de cores do Cubo será denominada de  $D = \{\text{Embaralhar}\}$ .

Pressupomos que o cubo oferece milhares de combinações possíveis e apenas uma destas combinações representará a chave para solução do algoritmo. Usando este princípio de complexidade, aplicaremos em nosso algoritmo uma sequência  $\{D\}$  denominada CriptoRubik. O algoritmo CriptoRubik oferece múltiplas alternativas de encriptação e níveis de complexidade, por exemplo, acrescentando-se um maior número de movimentos das faces ou alterando simplesmente a cor referencial da face de partida do cubo.

## 5. Estrutura da Mensagem

A mensagem a ser criptografada será segmentada em Strings (segmentos contendo um máximo de 64 caracteres em cada string). O Texto Claro completo poderá conter um ou mais Strings que serão codificados individualmente utilizando o algoritmo CriptoRubik.

Selecionamos para este experimento o texto “GIRL FROM IPANEMA GOES WALKING SHE WALKS LIKE A SAMBA” (letra parcial de Garota de Ipanema de Tom e Vinicius, versão de Norman Gimbel para a língua Inglesa, 1963) que representa um String simples, não segmentado, conforme apresentado na FIGURA 2.

G I R L F R O M I P A N E M A G O E S W A L K I N G S H E W A L K S L I K E A S A M B A

FIGURA 2 - Texto Claro selecionado para o experimento.

O domínio do Cubo Rubik não representa um pré-requisito para utilização do sistema envolvendo o algoritmo CriptoRubik, sendo dispensada a manipulação física de um Cubo na aplicação do método proposto, bastando para a sua implementação seguir os passos simplificados da solução sintética descrita adiante neste trabalho.

Para facilitar a leitura de um texto codificado resultante, delimitamos cada String da mensagem por colchetes [ ]. O texto selecionado para este experimento, devidamente codificado, resultará na configuração representada na FIGURA 3:

[ I O N A A M E A P K N S M E G G A R L O G L W L R S S M K H A I F K W I E L B I A A E S ]

FIGURA 3- Estrutura do Texto Codificado após a aplicação do algoritmo CriptoRubik baseado no Cubo.

A apresentação do texto codificado resultante poderá ser livremente editado. O usuário poderá inserir livremente espaços separadores entre os caracteres na edição do texto codificado. Os espaços separadores usados na edição do texto

codificado são diferentes dos separadores de palavras usados na edição do texto Claro. Na edição do texto Claro usamos como elemento separador de palavras o símbolo “#”. O texto resultante, após a criptografia do texto claro será tratado como um String único, sem espaços, desta forma:

**[##IO#NAAMEAPKNMRGARL#OOL#WLRSSMKN###AI#FKWIELBIAAES#]**

Para efeitos da edição do resultado, poderemos reescrever o texto de diversas formas, inserindo separadores (espaços reais) entre os caracteres do texto codificado. Na recomposição do texto (decriptografia) iremos compactar o texto codificado, extraíndo os espaços que foram inseridos com propósito de dificultar a criptoanálise da mensagem cifrada . Exemplos alternativos apresentados na TABELA 1 foram editados para um mesmo texto codificado. Cada um dos exemplos apresentados representa uma diferente configuração para o mesmo texto, editados com a inclusão aleatória de espaços entre os caracteres do String:

TABELA 1- Alternativas de apresentação do texto codificado, representando o mesmo resultado final

<b>[##IO#NAA ME APKNMR GARL#OOL#WLRSS MKN###AI#FK WIELB IAAES#]</b>
<b>[##IO #NAAME APK NMR GARL#O OL#WLRSSM KN# ##AI #FKWIELBIA AES#]</b>
<b>[##IO#NAAM EAP KNMRG ARL#O OL#W LRS SMKN###A I#FKWIELBIA AE S#]</b>

No primeiro exemplo apresentado na TABELA 1 inserimos, ao acaso, um espaço entre o conjunto “##IO#NAA” e “ME”, sem perda de integridade da mensagem criptografada. Observamos que os mesmos símbolos “#”, usados como separadores de palavras no Texto Claro, continuam presentes no texto codificado, nas três alternativas apresentadas.

Após a sua preparação, seguindo a sequencia D={Codificar}, as peças do Cubo (facetas) receberão uma numeração sequencial, face a face do Cubo, que corresponderá a uma configuração ordenada para registro da mensagem, e segundo a qual o texto será transcrito. Esta numeração corresponderá a Indexadores no algoritmo CriptpRubik. Como o algoritmo é baseado nos movimentos do Cubo Rubik, os caracteres correspondentes ao texto claro serão deslocados, acompanhando movimentos que possam alterar a configuração D = {Codificar}. O algoritmo CriptoRubik não estabelece um padrão sistemático de transposição, a exemplo da Cifra de César, que estabelece um deslocamento padrão para cada letra do texto claro, sensivelmente vulnerável para uso em aplicações profissionais. Barbosa e Castilho (2015) citam que Cifra de Cesar aplica a transposição da ordem das letras do alfabeto, não alterando muito a forma segundo a qual é aplicada, concluindo que este método de cifragem não são baseadas em cálculos matemáticos, e sim no raciocínio lógico matemático, a exemplo da Cifra RSA, que utiliza conceitos e métodos baseados na Teoria dos Números.

Magalhães (2012) cita que Cifras de Substituição utilizam a troca individual do caractere ou de grupo de caracteres, por outros existentes em uma tabela de substituição. Uma análise de frequência dos caracteres aplicados no texto cifrado, pode tornar o sistema de codificação vulnerável, permitindo revelar identidades, a

partir da comparação das frequências de caracteres no texto codificado com aquelas que normalmente aparecem no idioma utilizado.

Nas Cifras de Transposição troca-se a posição dos caracteres na mensagem. Por exemplo, reescrevendo o texto usando indexadores para transposição de cada caractere do texto claro. Para tanto, define-se um vetor de trocas, bem como uma ordem segundo a qual as trocas serão realizadas. Pode-se usar uma chave extraída de um algoritmo aplicado a um objeto, como um Cubo Rubik, onde as peças são enumeradas e trocam de posição, de acordo com uma sequência estabelecida para criptografia e decifração do texto claro.

## 6. Preparação da Mensagem

O Cubo Rubik contém seis faces que representam páginas. Para registro do texto Claro, as páginas são usadas respeitando-se com rigor a ordem das cores (azul, vermelho, verde, âmbar, amarelo e branco), conforme ilustrado na FIGURA 4:

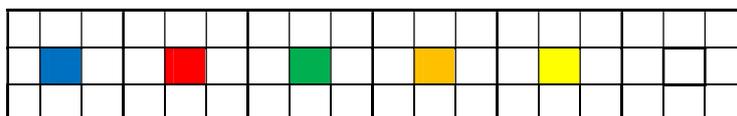


FIGURA 4 – Ordem de preenchimento das páginas, segundo as cores

Através do algoritmo CriptoRubik o Cubo é preparado para receber o String (texto Claro) em suas seis páginas, cada uma contendo nove células (peças), totalizando um conjunto máximo de 54 caracteres, conforme ilustrado na FIGURA 5.



FIGURA 5 – Cubo editado com texto, onde  $D = \{I\}$

Ao aplicarmos os passos do algoritmo, o Cubo é modificado para a configuração que receberá o texto claro, conforme configuração ilustrada na FIGURA 6. Para realização desta configuração, pressupomos como ponto de partida do processo, a configuração do Cubo em sua configuração preparada para  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ .

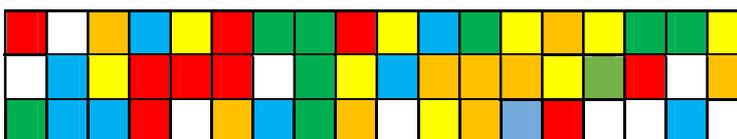


FIGURA 6- configuração Cubo preparado para registro do Texto Claro.

Os passos seguintes que guiarão a transformação do algoritmo, comandam a alteração da configuração do Cubo, modificando o seu estado inicial  $D=I$ , finalizando

a configuração denominada “codificado”, através da sequência  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ , conforme a ilustração apresentada na FIGURA 7.



FIGURA 7- Sequência de transformação da configuração inicial do Cubo

Após o registro do texto Claro nas páginas da versão codificado do Cubo Rubik teremos o String distribuído nas faces do Cubo, seguindo a sequência natural do texto, caractere a caractere, até o esgotamento do String, segundo ordenação das suas cores: “GIRL FROM IPANEMA GOES WALKING SHE WALKS LIKE A SAMBA”. Após registrado na versão “codificado”, o texto claro exemplo resultará na configuração, conforme o desenho ilustrado na FIGURA 8:

G	I	R	I	P	G	O	E	I	N	G	A	L	K	A		
L		F	A	N	E	S		W	S	H	S	L	S	A	M	
R	O	M	M	A		A	L	K	E		W	I	K	E	B	A

FIGURA 8 – Edição do Texto Claro, distribuído nas seis páginas do cubo codificado

A codificação do texto claro distribuído nas páginas do cubo codificado pode ser realizada aplicando-se qualquer sequência  $\{D\}$ , por exemplo, aplicando a sequência  $D = \{I\}$  que resulta na apresentação do cubo em sua configuração classificada por cores, conforme ilustrado na FIGURA 9. Para realizar uma codificação com maior nível de complexidade, o usuário poderá simplesmente seguir movimentando aleatoriamente o Cubo, aplicando  $D = \{\text{Embaralhar}\}$ . Para retorno ao texto claro, será necessário preliminarmente reorganizar o cubo em sua sequência organizada por cores e posteriormente, comandar o algoritmo  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ , codificando o Cubo e recuperar as páginas em sua configuração original preparada para o texto claro (FIGURA 8).

		I	E	A	P	G	A	R	W	L	R			A	E	L	B
O		N	K	N	S	L		O	S	S	M	I		F	I	A	A
A	A	M	M	E	G	G	L		K	H		K	W	I	E	S	

FIGURA 9 – Texto codificado, ordenado por cores  $D=I$

### 7.1- Descrição do Algoritmo $D = \{\text{CriptoRubik}\}$

O Algoritmo CriptoRubik é realizado em 4 passos, contendo três movimentos de referência para cada face, conforme ilustrado na FIGURA 10:

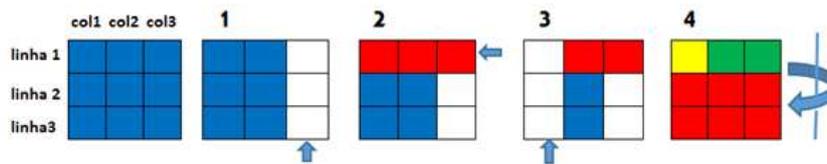


FIGURA 10 – Movimentos associados ao algoritmo CriptoRubik

#### Inicialização do Algoritmo:

Pressupomos o Cubo com suas faces ordenadas por cores:  $D = I$

Face Azul para frente; face Amarela para cima

Algoritmo de codificação  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$

**Passo 1** -  $R^{\wedge}$  (Girar  $90^{\circ}$ , coluna 3, sentido horário)

**Passo 2** -  $U^{\wedge}$  (Girar  $90^{\circ}$ , linha 1, sentido horário)

**Passo 3** -  $L^{\wedge}$  (Girar  $90^{\circ}$  coluna 1, sentido horário)

**Passo 4** - Girar o cubo sentido horário, teremos a visão da Face Vermelha situada de frente e a visão da face Amarela situada para cima.

**Passo 5**- Repetir os passos {1}, {2} e {3} para cada face até finalizar a transformação nas quatro faces (face Azul, face Vermelha, face Verde e face Âmbar).

**Fim**

Ao final dos passos do Algoritmo teremos as faces preparadas para registro da mensagem do texto claro. Podemos observar na FIGURA 8 a configuração cifrada, que corresponde ao cubo “codificado” pelo algoritmo, devidamente preparado para recepção do texto claro. Após a edição do texto claro nas faces do cubo, qualquer movimento significativo em suas faces impedirá a leitura do texto, até que o cubo seja novamente transformado pela correta aplicação do algoritmo CriptoRubik.

## 7. Solução Sintética para Aplicação do algoritmo CriptoRubik

Em termos práticos, as 6 faces do cubo codificado correspondem a cinquenta e quatro caracteres ou espaços disponíveis para registro de um texto claro. Para cada um dos caracteres das páginas do Cubo em sua configuração  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$  teremos um correspondente indexador sequencial crescente associado às facetas do Cubo. Os indexadores associados aos caracteres (facetas) acompanharão os deslocamentos promovidos no cubo, para qualquer sequência  $\{D\}$ , mantendo as numerações relativas atribuídas durante a sequência  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ .

A FIGURA 11 (parte superior) apresenta a numeração dos indexadores atribuída às facetas do cubo, em sua versão  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$  e a posição relativa dos indexadores após a aplicação da sequência  $D = \{I\}$ .

FIGURA 11- Apresentação dos indexadores usados para ordenação do cubo em ambas as versões,  $D=\{\text{CriptoRubik}\}$  e  $D=\{I\}$ .

Os indexadores de referência transpostos do texto claro para o texto codificado correspondem à numeração do algoritmo CriptoRubik para cada face. Ao efetuarmos movimentos na configuração preparada para o texto claro, a estrutura se modifica, impedindo a compreensão do texto original, gerando desta forma o efeito criptográfico desejado para a mensagem codificada. Como cada célula do cubo foi previamente enumerada na configuração codificada (preparada para receber o registro do Texto Claro), teremos posterior às alterações, os correspondentes indexadores deslocados para novas posições relativas, após os movimentos promovidos no cubo. Assumindo que as faces permitem  $10^{14}$  diferentes combinações, ou no processo otimizado usando as simetrias inerentes ao Cubo,  $10^{12}$  combinações, adotaremos como referência de partida do algoritmo, a versão das faces ordenadas por cores (Kunkle & Cooperman, 2008). A configuração ordenada por cores permite estabelecer uma correlação entre os indexadores ordenados pela sequência  $D=\{\text{CriptoRubik}\}$  e os indexadores em suas posições na versão  $D=\{I\}$ . Desta forma, teremos uma correspondência dos indexadores referentes ao texto claro, que são sempre conhecidos, e os indexadores deslocados para a versão ordenada por cores  $D=I$ , representando a chave para decifração da mensagem original.

Através de uma Tabela que denominaremos de Tabela de Conversão (TABELA 2), registraremos na primeira linha L1 da tabela, o Texto Claro. Na linha L2 registraremos os indexadores correspondentes às facetas do Cubo transpostos após a aplicação da sequência  $D=\{I\}$  e na linha L3 os indexadores associados à configuração do texto claro, atribuídos segundo a ordenação atribuída pelo algoritmo  $D = \{\text{CriptoRubik}\}$ .

### 7.1 Simulação dos Movimentos do Cubo:

Se classificarmos a Tabela de Conversão, usando como base os indexadores da linha L2 teremos uma simulação do Cubo organizado, segundo  $D=\{I\}$ . O texto claro estará integralmente criptografado. Após a ordenação do texto claro, o resultado do texto na Tabela de Conversão será idêntico ao resultado de uma ordenação do Cubo, após a aplicação de uma sequência  $D=\{I\}$  (ordenação por cores). A TABELA 2 (Tabela de Conversão) ilustra a ordenação dos indexadores referentes à configuração  $D=\{I\}$ ,

segundo os indexadores da Linha 2.

TABELA 2 – Criptografia do texto claro usando os Indexadores, segundo a organização D= {I}

L			I	O		N	A	A	M	E	A	P	K	N	S	M	E	G	G	A	R	L		O	G	L		W	L	R
1										1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	1	3	4			2	2	5		2	1	1	4	1	4	1	1		1	4		2	2	2	3	4	4	3	3	
3	0	1	3	8	5	9	5	3	9	1	3	2	4	4	9	6	5	1	9	7	7	6	3	0	0	2	6	6	8	3

Alternativamente, se classificarmos a Tabela de Conversão, usando como base os indexadores da linha L3, teremos uma simulação do Cubo organizado, segundo D= {CriptoRubik}, assumindo a mesma representação da configuração do texto claro apresentado na FIGURA 8.

Desta forma demonstramos através do uso sintético de indexadores das facetas do cubo, a obtenção da identidade dos resultados criptográficos obtidos pelo algoritmo {CriptoRubik} obtidos pelo processo manual de movimentos do Cubo, demonstrando seus resultados comparativos idênticos.

## 8. Conclusões

Neste ensaio procuramos demonstrar a aplicação do Cubo Rubik como base de algoritmos e teorias criptográficas. Procuramos apresentar um método criptográfico baseado nos movimentos do Cubo de Rubik, e sua grande flexibilidade para criptografia de mensagens textuais, ressaltando, como grande vantagem da solução proposta, a combinação do uso de um algoritmo baseado nos princípios do Cubo Rubik, sem no entanto requerer conhecimentos práticos de manuseio de um Cubo para operar a solução proposta.

Devido à notável flexibilidade apresentada pelo Cubo Rubik, a multiplicidade de configurações selecionadas pelo algoritmo permitirá uma significativa gama de permutações do texto claro, tornando-o extremamente complexo para decodificação sem o devido conhecimento prévio dos indexadores para reorganização dos caracteres que compõem o texto claro original.

Apresentamos um método sintético de simples operação para simulação do algoritmo desenvolvido como base do ensaio criptográfico descrito no artigo. Demonstramos através de resultados práticos a comprovação do método sintético para simulação da criptografia proposta pelo algoritmo {CriptoRubik}, usando a combinação de elementos textuais e numéricos simplificados.

Como vantagem maior de seus princípios criptográficos, o método proposto não utiliza frequências identificáveis na substituição de caracteres que permitem vulnerabilidade em potenciais ataques exaustivos cedendo quebras de sigilo, desde que, as configurações de seus resultados dependem unicamente das numerosas posições relativas dos indexadores de inicialização do algoritmo. Como desvantagem o método não foi ainda exaustivamente atacado por força bruta, demonstrando seus

indicadores de eficiência, em regime de tempo ilimitado para tentativa de quebra da criptografia desenvolvida.

## REFERÊNCIAS

Barbosa P; Castilho J, **A Matemática Dos Códigos Criptográficos**. Disponível em <https://www.ucb.br/sites/100/103/TCC/12007/PalomaBarbosaFreire.pdf>. Consulta em Dezembro, 2015

Criptoll. **Criptoll on-line, Chiffren** disponível em <http://www.cryptool-online.org>, acesso em janeiro, 2016

Falcão P. **Simetrias, Permutações e grupos no Cubo de Rubik (mágico)**. Paraíba, V Bienal da SBM Sociedade Brasileira de Matemática UFPB. 2010

Joyner D. **Adventures in Group Theory: Rubik's Cube, Merlin's Machine, and Other Mathematical Toys**. Published by Johns Hopkins University Press , New York (Editor), 2008

Kunkle, D. and Cooperman, G. **Twenty-six moves suffice for Rubik's Cube**. In **Proceedings of the 2007 International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation** Waterloo, Ontario, Canada, July 29–Aug. ACM Press, New York, 2007, 235–242.

Lycett A. **BBC News**, disponível em <http://www.bbc.co.uk/history/topics/enigma>, consulta em janeiro 2016

Magalhães V. **Segurança de Sistemas**. Disponível em <https://www.gta.ufers.br/grad02> Consulta em janeiro 2016

Petit C ; Quisquater J.J. **Rubik's for Cryptographers** . American Mathematical Society Notices of the AMS, Washington, 2013

Rajavel D; Shantharajah S.P. **Cubical key generation and encryption algorithm based on hybrid cube's rotation**. **Pattern Recognition, Informatics and Medical Engineering (PRIME)**, 2012 International Conference on Salem, Tamilnadu , IEEE , March 2012

Schützer. W. **Aprendendo Álgebra com o Cubo Mágico**. Disponível em [www.dm.ufscar.br/profs/waldeck/rubik/rubik1.pdf](http://www.dm.ufscar.br/profs/waldeck/rubik/rubik1.pdf). Acesso em janeiro, 2016  
Singh, S. **O Livro dos Códigos**. Rio de Janeiro: Record, 2002

Singmaster David. **Notes on Rubik's Magic Cube**, David Singmaster. Enslow Pub Inc,

1981.

Viorel A.D; Loukhaoukha K. **A secure image encryption algorithm based on Rubik's cube principle.** Journal of Electrical and Computer Engineering. Volume 2012, January 2012; Article No. 7. Hindawi Publishing Corp. New York

**ABSTRACT:** this paper proposes an algorithm for encryption of texts, offering a solution for encoding messages with variables sizes, based on movements of Rubik Cube. The solution presented is represented by a matrix of indices extracted from the pieces that integrate the hub, whose operation is based on numerous alternative movement of its flexible structure. A template was developed to correlate the indices associated with the algorithm. These were used in text implementation in its phases of encryption and decryption, eliminating the physical use of a Rubik Cube and simplifying the use of the method proposed by users unfamiliar with techniques applied to solve the cube

**KEYWORDS:** Cryptography, Rubik Cube, Algorithms

## **CAPÍTULO XXI**

### **UTILIZAÇÃO COMBINADA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS E O PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE UMA EMPRESA**

---

**Luana Neves Leite  
Gabriel Cardinali  
Tárcis Ferreira Silva  
Emerson José de Paiva  
Carlos Henrique de Oliveira**

# UTILIZAÇÃO COMBINADA DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS E O PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NA OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE UMA EMPRESA

## **Luana Neves Leite**

Universidade Federal De Itajubá - UNIFEI  
Itabira – Minas Gerais

## **Gabriel Cardinali**

Universidade Federal De Itajubá - UNIFEI  
Itabira – Minas Gerais

## **Tárcis Ferreira Silva**

Universidade Federal De Itajubá - UNIFEI  
Itabira – Minas Gerais

## **Emerson José de Paiva**

Universidade Federal De Itajubá - UNIFEI  
Itabira – Minas Gerais

## **Carlos Henrique de Oliveira**

Universidade Federal De Itajubá - UNIFEI  
Itabira – Minas Gerais

**RESUMO:** A simulação de eventos discretos está presente em diversas aplicações na área de engenharia de produção como fazer previsões, identificar gargalos, ajustar ou modificar layouts. Neste trabalho, a simulação de eventos discretos será combinada à metodologia de planejamento de experimentos, que visa variar sistematicamente os níveis dos fatores experimentais, para localizar os parâmetros que melhor se adequem ao processo. Essa abordagem combinada será aplicada à linha de produção de uma empresa do ramo de pedras ornamentais, a fim de reduzir o lead time do processo e, conseqüentemente, aumentar a produtividade da empresa.

**PALAVRAS-CHAVES:** Simulação; Promodel; Planejamento de Experimentos (DOE); Otimização; Produtividade.

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o mercado atual, caracterizado pela alta competitividade, é necessário que as empresas busquem soluções que visem aumentar a sua parcela de mercado e não somente mantê-la. Essa busca por soluções tem levado as empresas a desenvolver processos que apresentem respostas rápidas e de alta flexibilidade, a fim de atender às mudanças exigidas pelos clientes.

Desenvolver processos ágeis em resposta e, simultaneamente, flexíveis, não é uma tarefa trivial. Talvez, a maior implicação disso, sejam os altos custos gerados por modificações ou adaptações, tanto em relação a layouts, quanto a parâmetros de operação. Dessa maneira, é necessário buscar por ferramentas que auxiliem os gestores nas tomadas de decisões.

A simulação computacional se apresenta como uma dessas ferramentas, uma vez que um sistema real pode ser representado por ela, permitindo-se analisar todas as possibilidades e a chegar a uma decisão consciente, com mínimos riscos. Em outras palavras, a simulação reportará, com fidelidade, as operações discretas que ocorrem aleatoriamente em um sistema real, quando submetidos às mesmas condições. Além disso, questões relativas à redução de lead time, rearranjo de espaço físico, aumento ou redistribuição de mão de obra, aumento da produtividade, entre outras, podem ser investigadas sistematicamente.

Para se chegar ao modelo que apresente um melhor desempenho, a metodologia de Planejamento de Experimentos (DOE – Design of Experiments) será utilizada. Esta tem como principal objetivo analisar diferentes combinações de valores para variáveis de entrada que, ao final, encontrará a melhor resposta, ou seja, o melhor modelo de simulação.

Esse artigo tem como principal objetivo a utilização da Simulação de Eventos Discretos juntamente com a aplicação do Planejamento de Experimentos (DOE) para se otimizar a variável de saída, lead time, em um processo produtivo de uma empresa de pedras ornamentais localizada na cidade de Itabira, no estado de Minas Gerais.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nessa seção será abordado o aporte teórico necessário para a realização deste estudo de caso. Na seção 2.1, abordam-se a definição de simulação de eventos discretos, suas fases e principais características. Já na seção 2.2, apresenta-se a metodologia do Planejamento de Experimentos que será utilizada conjuntamente à simulação.

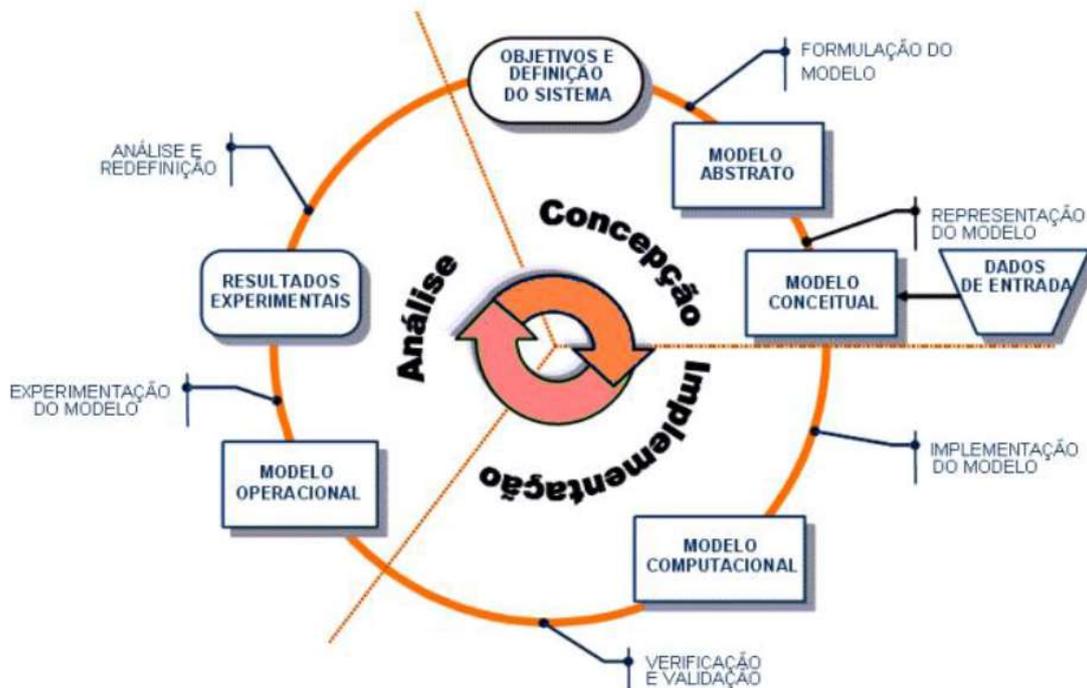
### **2.1 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

A simulação de eventos discretos é uma ferramenta de análise importante para auxiliar na tomada de decisão de um gestor. Esta é aplicável em diversos sistemas, como serviços de saúde, manufatura, centrais de atendimento, logísticos, entre outros (Banks, Carson e Nelson, 1996). De acordo com Barton (2004), a modelagem e simulação de eventos discretos é uma maneira de prever o comportamento de certos processos no sistema, em particular os que envolvem fenômenos aleatórios. De acordo com Chwif e Medina (2010), para que o estudo de simulação seja bem desenvolvido, é importante implementar a metodologia de simulação de maneira correta. Os mesmos autores dividiram o processo de simulação em fases, visando facilitar e sistematizar seu desenvolvimento, a saber:

### 2.1.1 FASES DA SIMULAÇÃO

Conforme Chiwif e Medina (2010) para se desenvolver um projeto de simulação de modo correto é necessário implementar as três macro etapas descritas pela Figura 1:

Figura 11- Metodologia da Simulação



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010)

É importante ressaltar que, para correta análise da Figura 1, deve-se partir da macro fase “Concepção”, em direção à terceira macro fase, “Análise”, e que essas macro fases são subdivididas em estágios, de avanço gradativo.

Na primeira fase, denominada Concepção, é preciso conhecer o sistema a ser simulado e os seus objetivos, bem como decidir qual será o escopo do modelo – este que, segundo Pinho et al. (2006), deve ser representado sob forma de alguma técnica de modelagem –, as suas hipóteses e o seu nível de detalhamento. A modelagem conceitual, segundo Freitas Filho (2008), traça um esboço das características levantadas durante a concepção. Esse esboço pode ser desenvolvido de forma algorítmica, ou por meio de interfaces gráficas, como fluxogramas. A técnica de modelagem conceitual escolhida para esse projeto foi o IDEF-SIM, desenvolvida por Leal et al. (2008). Esta modelagem foi escolhida devido ao fato de utilizar a sintaxe e semântica das técnicas IDEF0 E IDEF3, adaptadas às peculiaridades da simulação, mostrando-se eficiente na simulação de sistemas, uma vez que faz o uso de elementos gráficos específicos para atender a processos de simulação.

Também na primeira fase, ocorre a coleta dos dados de entrada, lembrando-se que os dados devem ser adequados, a fim de alimentar o modelo. Para facilitar a

definição do modelo conceitual, pretende-se utilizar o software DIA (MENDOÇA, 2011), desenvolvido especificamente para construir diagramas e que possui uma biblioteca com os elementos do IDEF-SIM.

Na segunda etapa, Implementação, o modelo conceitual será convertido em um modelo computacional que, para esse projeto será utilizado o software Promodel®, apresentando grande capacidade gráfica e de animação, além de estar disponível no Laboratório de Otimização e Simulação (LOSI), da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. A validação e verificação do modelo computacional também ocorrem nesta etapa, cuja estratégia adotada, segundo Pinho e Moraes (2010), foi a comparação dos resultados obtidos pelo modelo simulado com os dados reais.

A terceira e última etapa, Análise, é quando o modelo computacional já se encontra pronto para a prática dos experimentos, dando origem ao modelo operacional (PINHO e MORAIS, 2010). Nessa fase ocorrem diversas rodadas do modelo, e, assim, os resultados são analisados e documentados. É nessa etapa que ocorrem estudos mais profundos sobre o modelo.

## 2.2 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

De acordo com Montgomery (2001), o planejamento de experimentos pode ser definido como o processo de variação sistemática dos dados de entrada, apropriados ao problema, cujas respostas são analisados por métodos estatísticos e, assim, resultar em conclusões válidas e objetivas. O planejamento de experimentos visa descobrir um conjunto de variáveis que sejam significativas ao processo, e são organizadas estrategicamente sob a forma de arranjos experimentais.

Em projetos de experimentos utiliza-se uma terminologia específica que segundo Galdámez e Carpinetti (2001) pode ser dividida em:

- a) Fatores de Controle – variável de entrada, ou seja, são os fatores que podem ser alterados deliberadamente no experimento com a finalidade de averiguar o efeito produzido nas variáveis de resposta.
- b) Fatores de Ruído – são os fatores, conhecidos ou não, que influenciam nas variáveis de resposta do experimento. Em sua maioria eles não podem ser controlados.
- c) Níveis dos Fatores – valores associados a um determinado fator de controle, geralmente estabelecem níveis máximos e mínimos pelos quais um fator pode variar. Além disso, ao realizar experimentos procura-se determinar os níveis ótimos, ou seja, a melhor maneira em que um determinado fator de controle se comporta em relação a variável de resposta; e,
- d) Variáveis de resposta – variáveis de saída que se deseja analisar, elas sofrem algum efeito no experimento a partir do momento em que se realizam algumas mudanças nos fatores.

Dessa maneira, o objetivo do planejamento de experimentos é achar a melhor

combinação dos fatores controláveis que resultam na otimização da variável de saída. Para isso, é importante seguir um roteiro proposto por Montgomery, 2001:

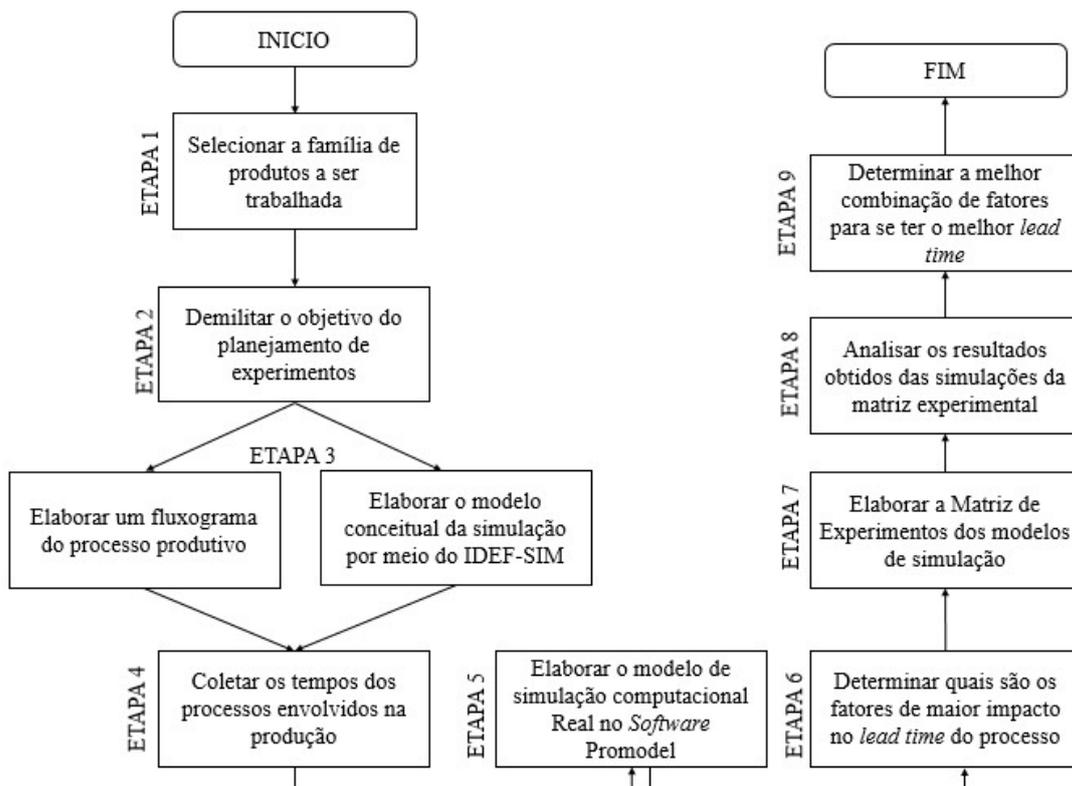
- a) definir o objetivo do experimento;
- b) selecionar os fatores de controle, os níveis e a variável de saída;
- c) elaborar a matriz experimental;
- d) realizar os experimentos;
- e) interpretar os resultados e;
- f) encontrar a melhor combinação dos fatores.

Portanto, esse roteiro será utilizado como base para planejar os experimentos na empresa de pedras ornamentais, localizada em Itabira-MG.

### 3. PROCEDIMENTOS REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Para realizar esse estudo seguiram-se as etapas descritas pelo fluxograma da Figura 2.

Figura 12 - Fluxograma do processo de desenvolvimento do estudo

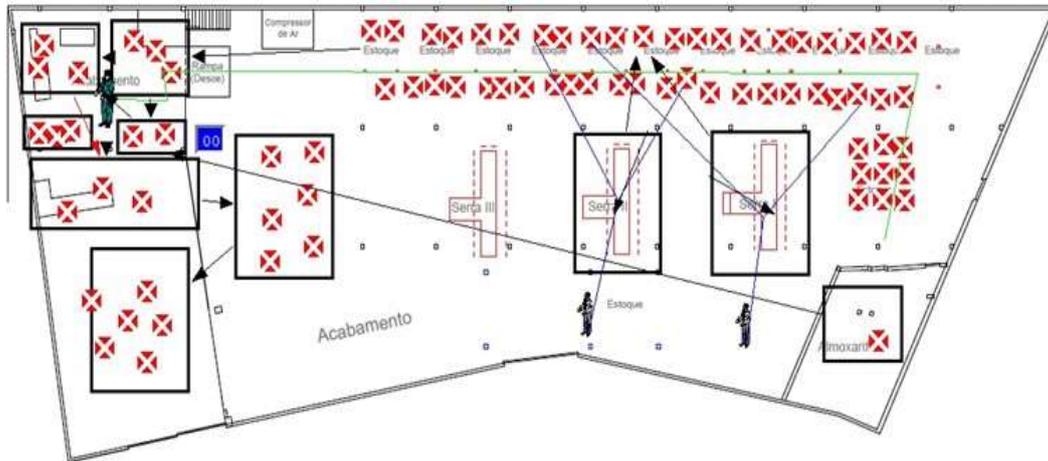


Fonte: Autoria própria

- a) Etapa 1: Pias e bancadas foram selecionadas;
- b) Etapa 2: O objetivo girou em torno da questão de como o arranjo da empresa influenciaria na redução do lead time da produção;
- c) Etapa 3: Descritos nos anexos desse artigo;
- d) Etapa 4: A coleta de tempos foi dividida nos setores de corte e de acabamento

- e os tempos foram obtidos pela relação minuto por metro linear ( $\text{min}/\text{m}$ );
- e) Etapa 5: O modelo computacional foi elaborado, segundo os dados coletados (Figura 3);

Figura 13 - Simulação do sistema real feita no software PROMODEL



Fonte: Autoria Própria por meio do software PROMODEL

- f) Etapa 6: Os fatores considerados de maior impacto para a linha de produção foram o número de operadores no acabamento, o número de máquinas de corte e o número de setores de acabamento;
- g) Etapa 7: A matriz experimental pode ser vista abaixo, no Quadro 1.

Quadro 1 – Matriz Experimental

Número do Experimento	FATORES		
	Número de Operadores no Acabamento (1 - 3)	Número de Máquinas de Corte (1 - 2)	Número de setor de acabamento (1 - 2)
1	1	1	1
2	3	1	1
3	1	2	1
4	3	2	1
5	1	1	2
6	3	1	2
7	1	2	2
8	3	2	2

Fonte: Autoria Própria

- h) Etapa 8: Depois de realizadas todas as simulações no software ProModel, chegaram-se aos resultados descritos na Tabela 1. Lembrando-se que foi considerado um turno de 11 horas, para o qual os funcionários entram às

sete horas da manhã e saem às dezoito horas, com uma parada de uma hora para almoço, e duas paradas de meia hora para café.

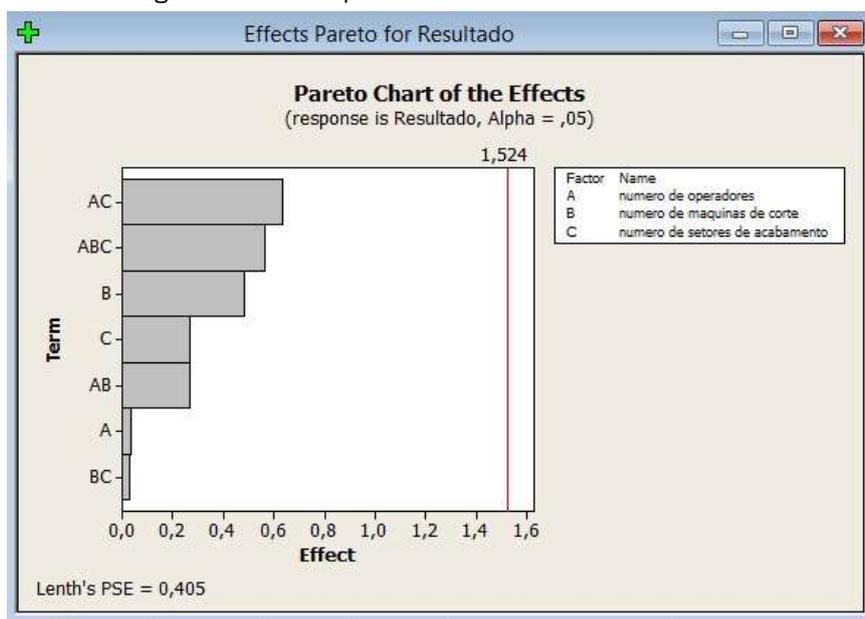
Tabela 16 - Resultados obtidos por meio das simulações

Experimentação	Lead Time do processo	Número de bancadas feitas
Real	2,25 horas	4 bancadas
1	2,25 horas	4 bancadas
2	1,5 horas	6 bancadas
3	2,25 horas	4 bancadas
4	0,9 horas	10 bancadas
5	1,28 horas	7 bancadas
6	1,125 horas	8 bancadas
7	1,125 horas	8 bancadas
8	0,81 horas	11 bancadas

Fonte: Autoria Própria

- i) Etapa 9: os resultados foram tabulados no software MINITAB, a fim de se analisarem os resultados obtidos por meio das simulações. Um gráfico de Pareto foi plotado para demonstrar os efeitos das variáveis entre sim.

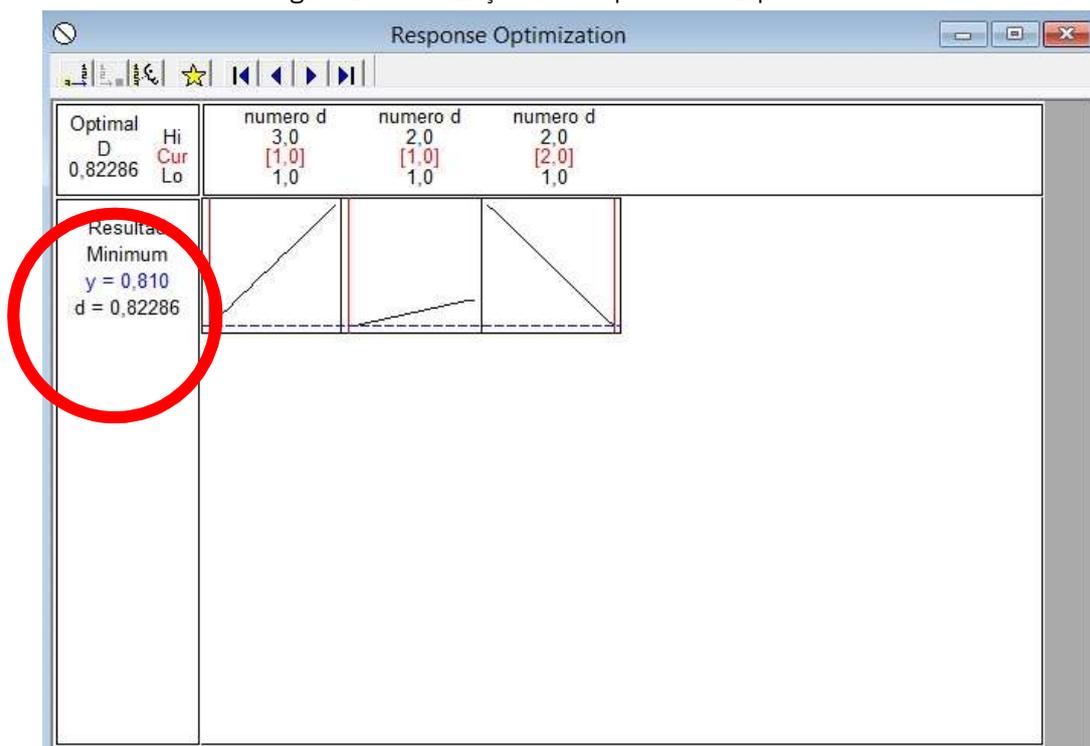
Figura 4 - Gráfico que demonstra o efeito das variáveis



Fonte: Autoria Própria por meio do software MINITAB

Nesse gráfico pode-se perceber que os fatores que mais influenciam a variável de saída são o número de operadores e o número de setores de acabamento. Além disso, foi possível otimizar as respostas encontradas, a fim de se identificar a combinação de fatores ideal que minimiza a variável de saída, Lead Time.

Figura 14 - Otimização das respostas do Experimento



Fonte: Autoria própria por meio do software MINITAB

Concluiu-se que a melhor combinação dos fatores seria aquela em que o lead time permanecesse em torno de 0,82 horas, ou seja, o experimento oito: três operadores no setor de acabamento, duas máquinas de cortes e dois setores de acabamento, resultando em um total de onze bancadas, com turno de nove horas disponíveis, o que nos fornece um lead time de 0,81 horas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como finalidade a redução do lead time do processo e consequente aumento da produtividade da empresa. Para isso aplicou-se a simulação de eventos discretos, aliada à metodologia de planejamento de experimentos, em busca da melhor combinação entre os fatores. A busca pelas melhores condições dos fatores apontou a utilização de três operadores no setor de acabamento, duas máquinas de corte, dois setores de acabamento, como a combinação ideal. A implementação combinada entre simulação e planejamento de experimentos se mostrou adequada, de fácil implementação e análise, levando a resultados julgados satisfatórios e atingindo aos objetivos propostos pelo estudo.

#### REFERÊNCIAS

ATKINSON, A. C.; DONEV, A. N.; **Optimum Experimental Designs**. Clarendon Press, 1992.

BANKS, J.; CARSON, J.S. & NELSON, B.L. **Discrete-Event System Simulation**, 2nd ed. Upper.

BARTON, Russel R. **Design simulation experiments**. Winter Simulation Conference. U.S.A, 2004.

BRIGHENTI, J. R. N.; **Simulação e Otimização de uma Linha de Manufatura em fase de Projeto**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**, 3ª ed. Bravarte, 2010.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com aplicações em Arena**. 2.ed., Florianópolis: Visual Books, 2008.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**; tradução José Carlos Barbosa dos Santos; revisão Petrônio Garcia Martins. – 8. ed. – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel®**, McGraw-Hill, 2000.

LAW, A.; KELTON, D. **Simulation modeling and analysis**. New York, McGraw-Hill, 2000.

LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M. de; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projeto de simulação: O IDEF-SIM**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2009.

MENDOÇA, T. G. P. **Automatização do processo de modelagem conceitual através da técnica IDEF-SIM**. 2011. Monografia de iniciação científica. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.

MODIM, A. F. de S.; **Metodologias de Superfície de Resposta: uma investigação no âmbito da indústria cerâmica e do vidro**. Universidade Aberta, 2014.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. Fourth ed., Wiley, New York, 2001.

MYERS, R. H; MONTGOMERY, D. C.; **Response Surface Methodology: Process and**

**Product Optimization Using Designed Experiments.** John Wiley & Sons, New York, NY, 1995.

NANNI, L. F.; RIBEIRO, J. L. **Planejamento e avaliação de experimentos.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1987.

PINHO, A. F. de; MORAIS, N. S. de; **Utilização da Simulação Computacional combinada à técnica de otimização em um processo produtivo.** Revista P&D em Engenharia de Produção, 2010.

PINHO, A.F. de. **Proposta de um método para otimização de modelos de simulação a eventos discretos.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2008. Sadle River,NJ: Prentice-Hall, 1996

PINHO, A.F.; LEAL, F.; ALMEIDA, D.A. **A integração entre o mapeamento de processo e o mapeamento defalhas: dois casos de aplicação no setor elétrico.** XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção.Fortaleza, Ceará, 2006.

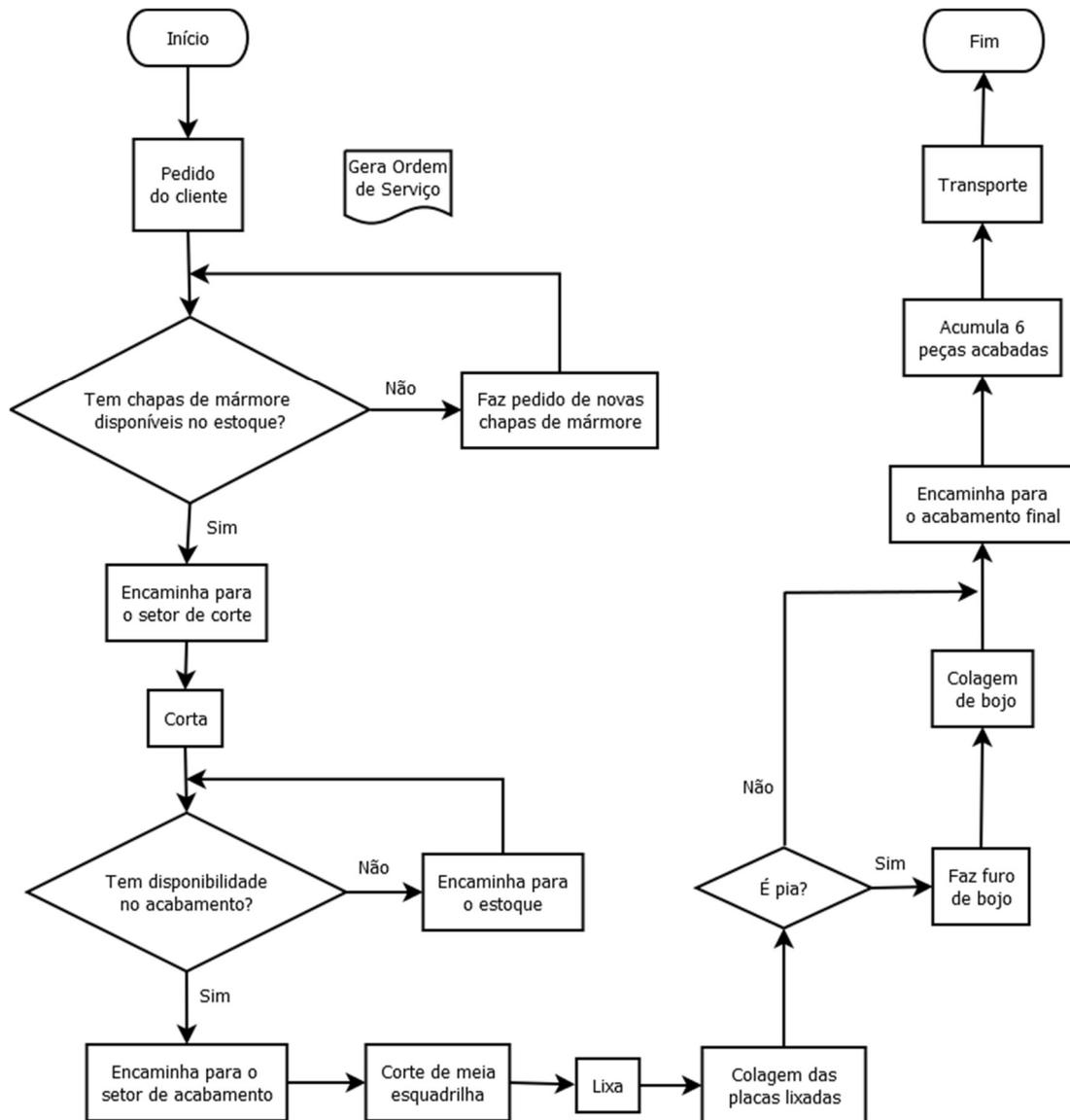
SELLTIZ, C. et al. **Métodos de pesquisa nas relações sociais.** São Paulo: Herder, 1967.

SOARES, J. P. M.; LEMOS, F. de O.; ARAÚJO, C. L. K.; HANSEN, P. B. **A Contribuição da simulação computacional para análise sistêmica da reestruturação de layout e otimização de recursos da manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo.** Revista Produto e Produção, vol. 12, n.3, out, 2011.

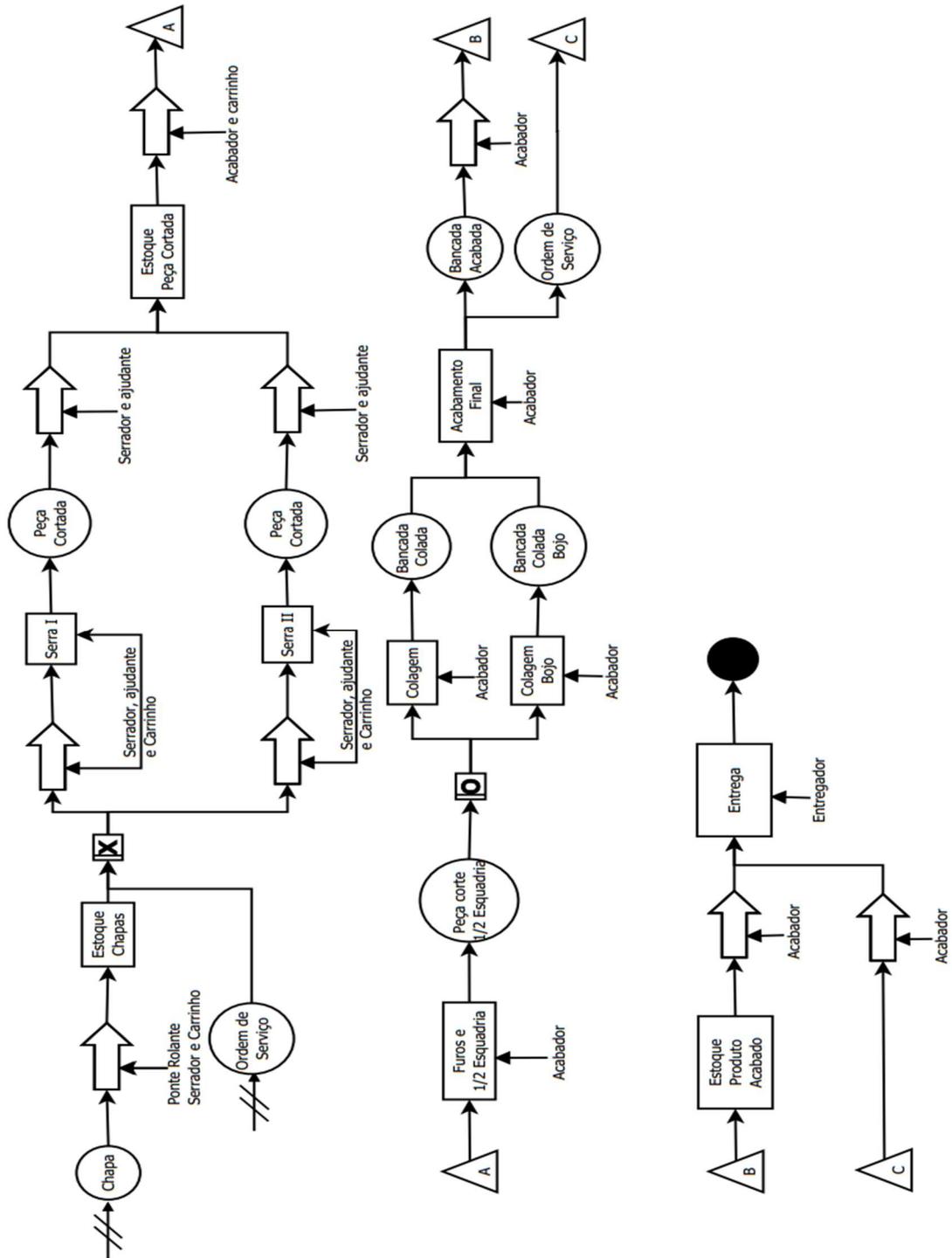
**ABSTRACT:** The discrete events simulation is present in various applications in making as production engineering area forecasts, identify bottlenecks, adjust or modify layouts. This work, the simulation of discrete event will be combined to experiments planning methodology that vary visa systematically levels of experimental factors to locate the parameters best suited process. This combined approach will be applied to a production line company stones ornamental branch, to reduce lead time process and therefore increase productivity company.

**KEYWORDS:** Simulation; Promodel; Planning Experiments (DOE); Optimization; Productivity.

ANEXO A – Fluxograma do processo produtivo da marmoraria



ANEXO B – Modelo Conceitual da fabricação de Pias e Bancadas.



## **CAPÍTULO XXII**

### **UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ARENA PARA IDENTIFICAR GARGALOS EM UMA EMPRESA DE SOM AUTOMOTIVO DA CIDADE DE PETROLINA-PE**

---

**Lucas Di Paula Gama dos Santos  
João Paulo Amorim de Souza  
Natanael Cardoso Macedo  
Jéfferson Jesus de Araujo  
Diogo de Oliveira Araújo**

# UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ARENA PARA IDENTIFICAR GARGALOS EM UMA EMPRESA DE SOM AUTOMOTIVO DA CIDADE DE PETROLINA-PE

## **Lucas Di Paula Gama dos Santos**

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Juazeiro - Bahia

## **João Paulo Amorim de Souza**

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Juazeiro - Bahia

## **Natanael Cardoso Macedo**

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Juazeiro - Bahia

## **Jéfferson Jesus de Araujo**

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Juazeiro - Bahia

## **Diogo de Oliveira Araújo**

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Juazeiro - Bahia

**RESUMO:** O presente estudo teve como finalidade avaliar através de simulação a rotina de uma empresa que atua no ramo de sons automotivos que está inserida na região do Vale do São Francisco. Com a utilização do software Arena, este bastante disseminado por todos os lugares sendo utilizado com os mais diversos propósitos com o foco na geração de filas; foi possível enxergar num determinado serviço que é prestado pela empresa seus gargalos, a formação de filas que geravam transtornos entre clientes e a empresa. Assim, analisando os gargalos e utilizando de ferramentas para a identificação do problema raiz e posteriormente formação de um plano de ação que pudesse minimizar os impactos causados. A partir das melhorias, foi gerado um novo cenário no Arena demonstrando a eficiência dos planos de ação e consequentemente do software evidenciando a proximidade com a realidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Software Arena; Simulação; filas; serviços.

## **1. INTRODUÇÃO**

As filas sejam elas formadas por transportes, pessoas ou mesmo de materiais têm, ao longo dos anos, sido a causa de grandes problemas gerais, inclusive ainda hoje há problemas relacionados às filas que são empecilhos aos sistemas produtivos, sistemas de transporte e escoamento, entre outras. As empresas buscam incessantemente maneiras de amenizar ou mesmo extinguir problemas causados pelas filas, como estratégias competitivas perante o mercado, como redução de custos, tempo e material, por fim, a redução de problemas gerados por filas ocasiona num atendimento mais rápido às necessidades do cliente (SILVA e MAGALHÃES, 2005).

Somente no início do século XX, na Dinamarca, um estudioso chamado A. K. Erlang, considerado o pai da teoria das filas, deu início a pesquisa sobre filas quando trabalhava numa companhia telefônica e se deparou com um problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Após este estudo inicial, a teoria das filas voltou a ser aplicada novamente no pós-segunda guerra mundial em outros problemas de filas que para época foi um avanço surpreendente, contudo ainda havia problemas que foram não possíveis de solucionar corretamente devido à complexidade dos mesmos (PRADO, 2008).

Nesta pesquisa foi escolhido como local de estudo uma empresa que atua no ramo de sons automotivos. Com o intuito de otimizar os problemas relacionados as filas geradas, sejam elas de clientes ou mesmo de recursos materiais. A empresa em questão oferece aos clientes diversos serviços, desta forma existe uma dificuldade de avaliar todos minuciosamente. Desta forma, como a simulação através do software Arena pode auxiliar a empresa a otimizar seus processos?

Assim como outros softwares que simulam qualquer processo, o Arena visualiza um sistema a ser modelado como se fossem estações de trabalho, onde tais estações prestariam serviços aos clientes, e esses clientes são considerados pelo Arena como sendo entidades que se locomovem através do sistema (PRADO, 2008).

De acordo com Silva, Pinto e Subramanian (2007) o software Arena apresenta diversas possibilidades de uso, dentre as quais ele pode ser utilizado com o intuito de suprir as dificuldades existentes na compreensão de alguns conceitos, como por exemplo, a interferência dos gargalos e do tamanho do lote de fabricação do lead time, na formação de filas ou estoques à montante e jusante de um centro de operações.

Assim, o presente artigo visa simular no software Arena os serviços da empresa equipadora de som, focando nos possíveis gargalos que atrapalham o bom funcionamento do sistema produtivo, assim, gerando possíveis soluções para os problemas gerados pelo surgimento das filas.

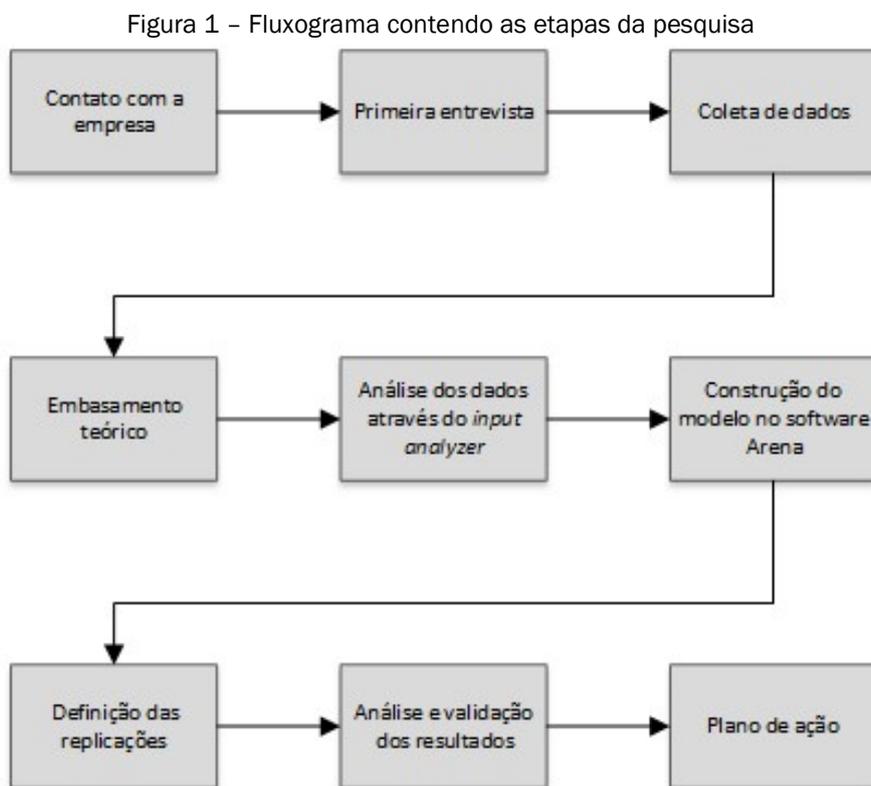
## 2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em algumas etapas, como mostra a Figura 1. Na primeira etapa, foi feito o contato com a empresa, no qual foi apresentada a proposta de pesquisa e marcada a entrevista, na qual o proprietário disponibilizou o espaço da empresa para a coleta de dados, bem como entrevistas com os funcionários. A coleta de dados foi feita através da cronometragem dos processos contidos no serviço prestado pela empresa.

Para realizar a aplicação do software Arena para analisar o comportamento do fluxo de clientes da empresa, percebeu-se a necessidade de embasamento teórico, que foi obtida através de trabalhos acadêmicos, tais como: artigos, monografias, dissertações e teses, que enriqueceram o conhecimento e possibilitaram fazer uma análise mais precisa do comportamento de filas.

Feito o embasamento teórico, a etapa seguinte consistiu na análise dos dados colhidos através de uma das ferramentas presentes no software Arena, o Input Analyzer, que transformam os dados brutos em funções que mostram como se comporta a realização do processo. Em seguida foi construído o modelo no software Arena contendo todas as etapas do serviço que a empresa realiza.

Foram calculados os números de replicações necessárias para a validação do modelo com auxílio da ferramenta do software Arena, o Output Analyzer, que analisa os dados obtidos na simulação, possibilitando verificar se o número de replicações é coerente. Depois de encontrado um valor satisfatório de replicações a simulação foi feita, apresentando resultados que foram analisados e discutidos entre os consultores. Por fim, foram identificados os possíveis problemas encontrados nos processos da empresa e sugeridas algumas ações com intuito de melhorar o fluxo, evitando filas indesejadas e insatisfação dos clientes. Além disso, ainda foram propostos alguns trabalhos futuros que poderão ser realizados na empresa após a implementação das melhorias.



Fonte: Os autores (2016)

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

A otimização de sistemas produtivos é a principal causa que a maioria das empresas querem solucionar, sejam enormes lead times de um produto, seja grandes estoques intermediários. A resolução desse problema pode vir por duas técnicas, segundo Prado (2008), diante das técnicas de modelagem de sistemas, o

problema pode ser solucionado utilizando a pesquisa operacional com a teoria das filas ou utilizando a simulação. A teoria das filas envolve a utilização de equações matemática para a sua realização, sendo que alguns problemas podem se tornar muito complexo em decorrência da quantidade de filas e da quantidade de atendentes. Segundo Freitas Filho (2008), mesmo com o grande avanço nos estudos de teoria das filas, vários problemas ainda são resolvidos inadequadamente pelo fato de uma grande complexidade matemática.

No caso da simulação, com a utilização de um computador é feita uma imitação do sistema produtivo real, com isso é possível simular possíveis melhorias para o problema que se quer resolver. Como por exemplo, o aumento da capacidade de um pátio de veículos, a colocação de uma nova máquina em uma fábrica, a contratação de mais funcionários e etc. A utilização de programas de computador em indústrias de produtos ou serviços permite construir modelos de sistemas reais tais como a exibição de um filme (PRADO, 2008).

Em caso de serviços o grande problema é atender uma grande quantidade de pessoas e controlar o fluxo de entrada, assim por meio da simulação pode ser planejada pela empresa, soluções muitas vezes complexas se for utilizado a pesquisa operacional, mas com uma maior facilidade se for aplicado vários cenários de simulação para resolver o problema. De acordo com Prado (2008), existe uma gama de aplicações em simulação, sendo utilizado em qualquer processo que se queira otimizar.

A aplicação de simulação em organizações é uma forma barata e fácil, de se procura e resolver problemas, como gargalo de produção, gargalo de entrada, a simulação tem o objetivo de resolver problemas, testando possíveis soluções sem que aja a necessidade de se modificar a organização física, somente a organização virtual. Segundo Freitas Filho (2008), o principal uso dessa ferramenta é a resposta dos problemas sem que tenha nenhuma perturbação no ambiente físico, uma vez que os problemas são solucionados por meios de formas computacionais.

Hoje no mercado existe uma gama de programas computacionais utilizados para a simulação de processos produtivos, entre eles o GASP, SIMAN, FLEXSIM, AUTOMOD, ARENA e etc. Para esse artigo o programa computacional utilizado foi o Arena, uma ferramenta mais disseminada no mercado e mais usual, além da facilidade de utilização dos autores no software.

O Arena segundo Aguilar et al. (2009) é um programa computacional dinâmico utilizado para a realização de simulações de sistemas produtivos com forma de fluxograma. No software pode ser inserido um sistema de uma empresa real, tendo como benefícios a mudança dos cenários, melhorando o sistema atual, como redução de filas de produtos ou pessoas, as taxas de utilização dos funcionários, ou seja, analisar se um funcionário está com ociosidade no trabalho ou sobrecarregado e outros benefícios. O Arena tem como característica a visão sistêmica dos processos, com ele pode ser acompanhado quais os processos que necessitam de possíveis melhorias para que o sistema consiga uma maior produtividade e conseqüentemente um maior retorno financeiro. Segundo Prado (2008), o Arena observa o sistema a ser simulado como formado por um conjunto

de estações de processamento, que por ele passam os produtos, ou serviços, chamados de entidade.

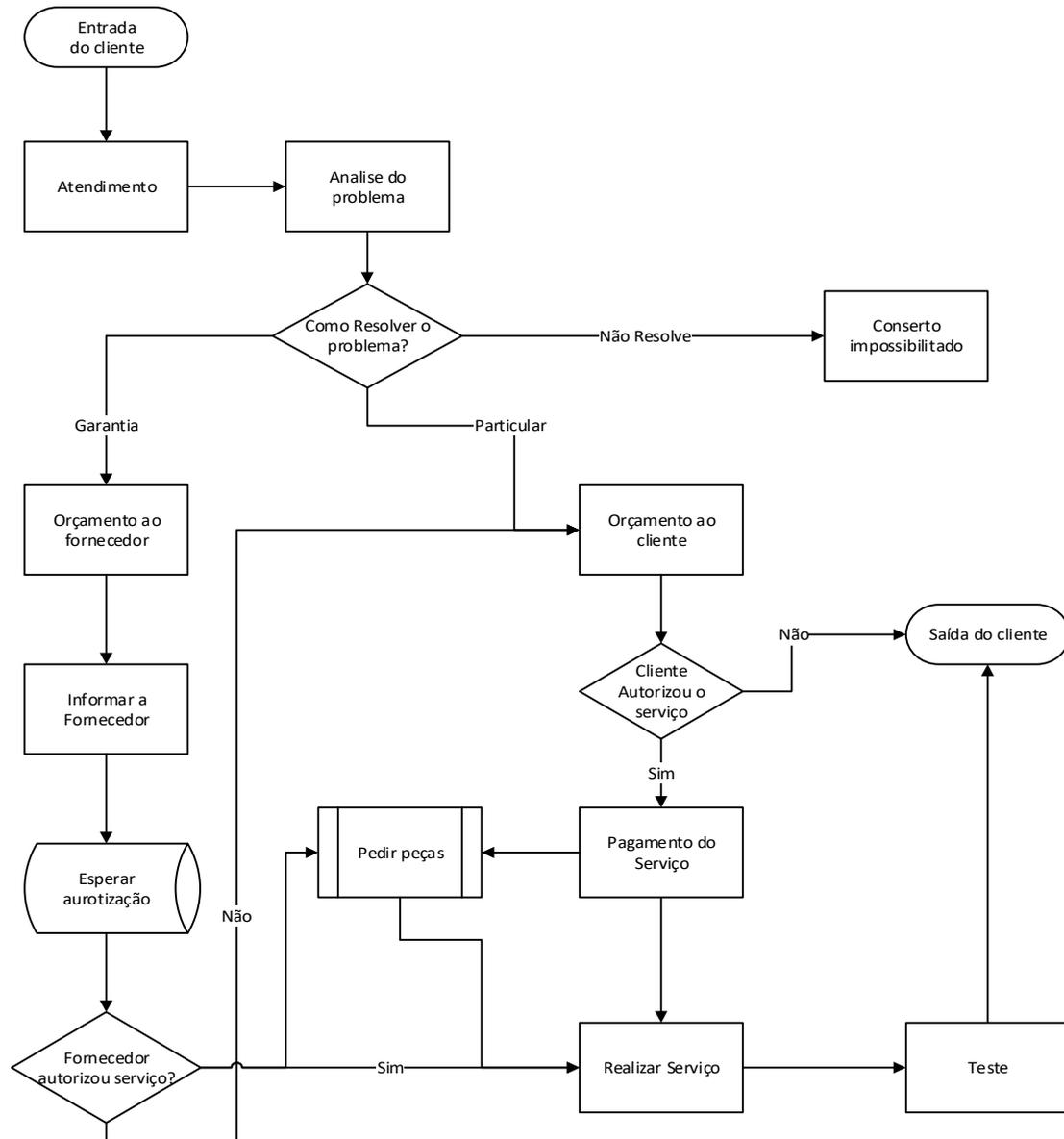
A base do software para substituir as taxas utilizadas na teoria das filas, são as distribuições estatísticas, para identificar de quanto em quanto tempo uma pessoa ou produto (entidade) demora em chegar ao sistema e quanto tempo para que ela seja processada e saia do sistema. Como a coleta de dados é feita marcando o tempo, o programa utiliza uma ferramenta que transforma dados em distribuição estatística, sendo o Input Analyzer, para Freitas Filho (2008), uma ferramenta que permite transformar dados reais coletados na empresa em uma distribuição estatística, onde pode ser utilizada para melhor retratar o cenário real.

#### **4. RESULTADOS**

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado numa empresa equipadora de som automotivo, que é referência no interior de Pernambuco e no centro-norte baiano, em termos de som automotivo, residencial e assistência técnica especializada. A empresa possui um portfólio vasto de serviços, dificultando uma abordagem geral, portanto, o estudo foi focado no serviço de assistência técnica, que é um setor onde apresenta uma das maiores filas, e maior demora em completar o ciclo conseqüentemente.

A Figura 2 representa o fluxograma de serviços da parte técnica que foi reproduzido no software, a empresa possui três funcionários que fazem toda a parte de manutenção e orçamento de todo equipamento que chegam. Também participam do processo outros dois funcionários, que ficam responsáveis pelo processo burocrático e atendimento, além de fornecer suporte ao cliente.

Figura 2 – Fluxograma do serviço de manutenção



Fonte: Os autores (2016)

O caminho que um equipamento pode levar depende da classificação do serviço, se tem caráter particular ou de garantia. Serviços do tipo particular são mais rápidos pois dependem menos dos processos burocráticos, já os serviços pela garantia dependem da autorização empresa que oferece o equipamento. Entretanto, existem equipamentos em que o serviço de reparo é impossibilitado.

O equipamento que chega passa por uma análise, com a análise feita o problema é detectado e classificado, em seguida é feito um orçamento, que é enviado de acordo com a sua classificação. Os de garantia requerem um tempo de espera para que sejam autorizados, já os de caráter particular são autorizados de forma imediata na maioria dos casos. Com a autorização, o técnico realiza o serviço e faz o teste do equipamento finalizando o processo.

Com o conhecimento de toda a estrutura da empresa, os dados necessários para a simulação foram coletados. Os dados consistem principalmente em tempos

de chegadas de clientes, tempos dos processos e tempos de espera para autorização. Foram coletados durante 6 dias em horários diferentes e para o tratamento de dados foi utilizado uma ferramenta do software Arena, o Input Analyzer, tal ferramenta possibilitou encontrar expressões estatísticas adequadas para cada atividade. Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Expressões estatísticas.

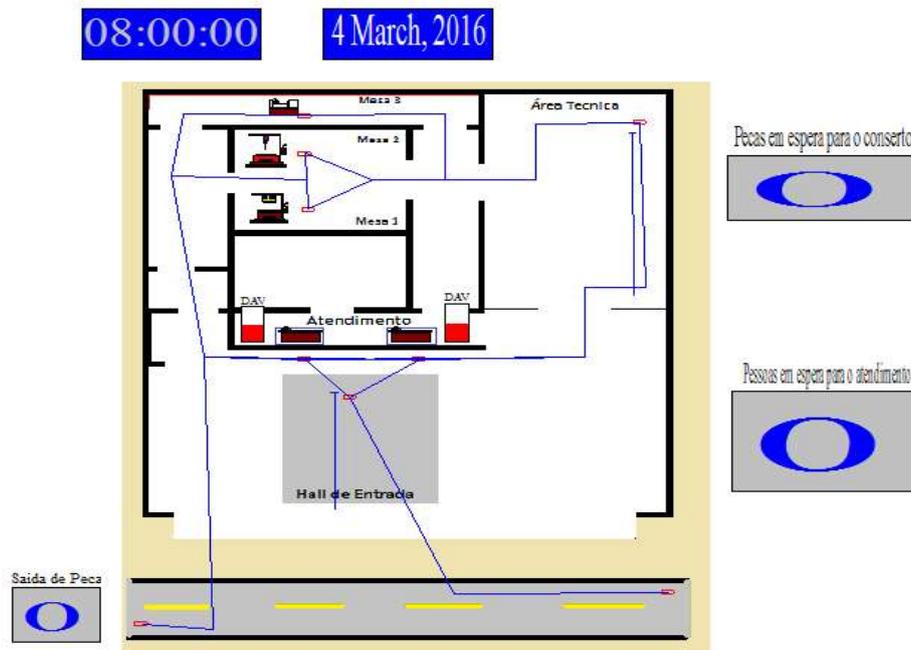
Atividade	Expressão (min)
Chegada de clientes	$-0.001 + \text{EXPO}(5.91)$
Atendimento	$3.18 + \text{LOGN}(1.66, 1.14)$
Orçamento	$15 + \text{WEIB}(34.2, 1.23)$
Espera da fábrica	$2.4e+003 + 4.2e+003 * \text{BETA}(0.865, 1.09)$
Chegada das peças	$\text{TRIA}(600, 1.32e+003, 3e+003)$
Conserto	$39 + 95 * \text{BETA}(1.04, 1.33)$

Fonte: Os autores (2016)

Afim de se aproximar o máximo possível da realidade da empresa, o tratamento dos dados de chegada foi feito com base nos tempos analisados na própria empresa, com isso gerou-se uma base estatística onde se pode fazer estimativas de chegadas/hora, para que essas informações pudessem ser usadas no Create baseando o tipo de chegada de clientes no tipo Schedule.

Através do software de simulação Arena foi gerado um modelo de forma dinâmica, que apresenta a lógica do processo. Também foi criada uma animação para uma melhor visualização do layout da empresa e análise visual do processo total como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Animação do modelo criado



Fonte: Os autores (2016)

O software Arena dispõe de ferramentas que possibilitam uma análise confiável, capaz de gerar um algoritmo que se assemelhe a realidade da empresa. Para que isso ocorra, as restrições devem ser bem definidas, juntamente com dados de tempos confiáveis. Na construção do modelo computacional foram utilizadas algumas bibliotecas existentes no software Arena, recursos os quais como o Basic Process, Advance Process e Advance Transfer. Para facilitar a análise foram feitas algumas simplificações, e considerações acerca do processo total, como:

- A empresa possui vários tipos de serviço e os atendentes são os mesmo para todos, por isso foi colocado um decide, assim o recurso segue o caminho de acordo com uma estática previamente calculada.
- Foi criada uma área técnica na animação, na empresa existe uma área assim, mas é menor, a utilização da forma apresentada foi feita para uma melhor visualização, mas sem comprometer a análise final.
- Para representar o horário de almoço dos funcionários foi utilizado a ferramenta Schedule.
- O técnico 3 sai bastante do seu posto de serviço, as saídas acontecem devido a outras atividades que o mesmo empenha na empresa, assim sendo representado no modelo como falha.
- Como as entradas de clientes foram feitas através do Schedule, o número sempre será constante, embora isso ocorra as entradas representam um número médio real, assim os resultados não fugiram da realidade da empresa.
- Para os tempos de deslocamento das entidades foi considerada uma média feita a partir de tempos calculados na empresa.
- Para representar uma atividade de espera, foi utilizado a ferramenta Delay, essas atividades se resumem a pedidos de peças e espera da fábrica.
- Alguns serviços são realizados em caráter de urgência, no modelo não à representação desse tipo de serviço já que não se trata de uma ação comum.

De acordo com a simulação e análise dos dados propiciados pela utilização do software Arena, foi possível identificar problemas operacionais na empresa estudada, como as filas. Estas, se mostraram presentes no atendimento aos clientes na recepção, e na área técnica, tornando o serviço mais demorado. Com o objetivo de propor melhorias a essas ocorrências foi aplicada a técnica dos Cinco Porquês, com ela se pôde identificar a causa raiz do problema e fornecer informações para gerar ideias de resolução. Posteriormente a ferramenta 5W2H foi utilizada para traçar um plano de ação com o intuito da implantação das otimizações. Método dos Cinco Porquês para a fila na recepção, como mostra o Quadro 1:

Quadro 1 – Problema: Geração de filas no atendimento aos clientes na recepção

Questionamentos	Possíveis Causas
Por que há filas na recepção?	Pois o cliente não é atendido com rapidez.
Por que o cliente não é atendido com rapidez?	Porque os atendentes demoram no atendimento.
Por que os atendentes demoram no atendimento?	Porque não conseguem analisar cada pedido com agilidade.

Por que não conseguem analisar cada pedido com agilidade?	Pois falta alguma ferramenta que proporcione rapidez para descrever o pedido.
Por que falta alguma ferramenta que proporcione rapidez?	Pois a administração nunca se preocupou em gerar formulários personalizados para demanda diferentes.

Fonte: Os autores (2016)

Através do método percebemos que o problema da empresa possui por causa raiz a falta de algo que possa agilizar a descrição do pedido. Pode ser utilizado para tal o uso de formulários, estes apesar de apresentarem contextos gerais de demanda da empresa, terão alguns quesitos particulares, intrínsecos de certas demandas. Para aplicação dessa melhoria podemos traçar o seguinte plano de ação, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Plano de ação para melhoria do atendimento

Perguntas	Plano de Ação
O quê?	Elaboração de formulários.
Quando?	Durante 2 semanas.
Onde?	No setor de atendimento na recepção da empresa.
Por quê?	Para padronizar as atividades, reduzindo tempos e agilizar o processo de análise e descrição do pedido.
Quem?	Um funcionário do setor elaborará o formulário tendo como base as demandas da empresa.
Como?	Descrevendo em detalhes nos formulários quais as demandas frequentes dos clientes e algumas considerações específicas.

Fonte: Os autores (2016)

Método dos Cinco Porquês para a fila na área técnica, como mostra o Quadro 2:

Quadro 2 – Problema: Geração de filas na área técnica

Questionamentos	Possíveis Causas
Por que há filas na área técnica?	Pois os funcionários não conseguem realizar o serviço sem as peças necessárias.
Por que funcionários não conseguem realizar o serviço sem as peças necessárias?	Porque essas não se encontram estocadas na empresa.
Por que essas não se encontram estocadas na empresa?	Porque não se possui estoque de segurança ou pulmão.
Por que não se possui estoque de segurança ou pulmão?	Pois não se realiza pedidos antecipados de peças com mais frequência de pedidos.
Por que não realiza pedidos antecipados de peças com mais frequência de pedidos?	Pois falta a elaboração de lista para guiar o processo de compras de um estoque de segurança.

Fonte: Os autores (2016)

Pelo método utilizado para descobrir a causa raiz da fila na área técnica, fica claro que o plano de ação deve ser baseado na formação de um estoque de segurança que venha proporcionar maior fluidez de processos que são altamente demandados pela empresa. Baseado nesta melhoria, foi elaborado o seguinte plano

de ação, de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3 – Plano de ação para formação de estoque de peças

Perguntas	Plano de Ação
O quê?	Fazer compras de peças mais utilizadas para estoque.
Quando?	Durante 2 semanas.
Onde?	No setor de compras da empresa.
Por quê?	Para diminuir filas que dependem da requisição de certas peças.
Quem?	Funcionário do setor de compras.
Como?	Fazendo um check list das peças mais utilizadas e realizar pedido de compra.

Fonte: Os autores (2016)

Outro problema de filas que ocorre na área técnica é a espera pela autorização de empresas fabricantes dos produtos, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Problema: Geração de filas na área técnica

Questionamentos	Possíveis Causas
Por que há filas na área técnica?	Pois os funcionários não estão autorizados a mexerem nas peças.
Por que funcionários não estão autorizados a mexerem nas peças?	Porque necessitam da autorização do fabricante.

Fonte: Os autores (2016)

A espera por uma resposta autorizando o serviço é longa, causando transtornos à empresa e conseqüentemente desconforto aos clientes devido à está situação, mesmo eles sabendo que este é um processo demorado. Logo, usando a mesma estratégia para os outros problemas, tem-se a elaboração do seguinte plano de ação, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Plano de ação para às empresas fabricantes

Perguntas	Plano de Ação
O quê?	Entrar em contato com empresas fabricantes.
Quando?	Durante 3 semanas.
Onde?	Alta administração.
Por quê?	Formação de parcerias entre as empresas para evitar este entrave burocrático.
Quem?	Gerente.
Como?	Apresentando fatos que evidenciam os benefícios da protocooperação entre as partes.

Fonte: Os autores (2016)

Considerando as melhorias propostas nos planos de ação, foram realizadas as melhorias no modelo criado no software Arena, com intuito de comparar os resultados relevantes do cenário atual, com o cenário com as melhorias, como mostra o Quadro 4. Para a simulação foi considerado um período de 10 horas (que representam um dia de trabalho) juntamente com 10 horas de aquecimento, para que se tivesse uma maior fidelização a realidade.

Quadro 4 – Comparação entre os cenários

	Cenário Atual	Cenário com Melhorias
Máximo de pessoas na fila para o atendimento	22	7
Tempo médio de espera no atendimento em minutos	36.55	7.75
Máximo de pessoas na fila da área técnica	8	15
Tempo médio de espera na área técnica em minutos	49.79	85.63
Serviços completos	4	6

Fonte: Os autores (2016)

Os resultados apresentados pelo cenário com as melhorias propostas mostram que o gargalo que estava no setor de atendimento foi transferido para a área técnica, porém, isso é explicado pela agilidade ganhada no atendimento, que possibilita um maior fluxo de pessoas para a área técnica, além de tornar os serviços mais rápidos e conseguir finalizar mais serviços, que num período de tempo maior refletirá em resultados significantes para a empresa.

A fim de validar a confiabilidade do sistema, foram calculados os números de replicações necessárias com auxílio da ferramenta Output Analyzer, o número de replicações encontradas foi 19, ou seja, a partir desse valor o modelo permite uma análise mais confiável dos dados de saída. O sistema foi classificado como terminal, assim sua análise foi feita buscando compreender o seu comportamento ao longo de um período.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário do mercado competitivo de hoje, as empresas devem buscar sempre o melhoramento contínuo de seus processos, sejam eles destinados à produção de bens ou serviços. A empresa estudada fornece serviços de som automotivo que possui clientes exigentes por qualidade e por agilidade na execução, logo, aprimorar os processos na redução de filas e demoras no atendimento gera mais valor ao cliente, trazendo mais competitividade à empresa.

A simulação a partir do software Arena foi bastante importante para identificação das filas nos processos, fazendo com que se tornasse visível como se dá a formação das mesmas e quantificando-as. Identificou-se três operações que geravam filas e atrasavam a execução dos serviços, são elas: atendimento na recepção, área técnica devido à falta de produtos em estoque, e área técnica devido a ordens de liberação. Após a análise do comportamento dessas filas e aplicação de métodos como os 5 porquês e 5w2h, pôde-se identificar a causa raiz e traçar plano de ação para a mesma.

O software Arena se mostrou uma importante ferramenta que permitiu um estudo detalhado, apresentando um modelo de simulação que se assemelha com o que foi identificado nos processos da empresa, facilitando a análise de pontos fundamentais no fluxo de serviços prestados e possibilitando simular a implantação de melhorias, que foram comparadas com a situação atual.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o estudo das filas

presentes nos serviços após a aplicação das melhorias, além da oportunidade de outras pesquisas envolvendo outras áreas da empresa que com o auxílio de ferramentas e estudos da Engenharia de Produção poderiam trazer diversas contribuições para a mesma.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR, S. M. S.; GUIMARÃES, I. F. G.; SCHUCHTER, D. C.; MENDES, L. G. **Avaliação dos benefícios da aplicação da simulação através do software arena 10.0, em uma empresa de transporte ferroviário**. XXIX ENEGEP – A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, Salvador, 2009.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2 ed. Florianópolis: Visual books, 2008. p. 379.

PRADO, D. **Usando o Arena em simulação**. Nova Lima: INDG, 2008. V. 3.

SILVA, C.; MAGALHÃES, M. **Simulação do atendimento dos caixas em agências bancárias**. 2005. 40 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G.; SUBRAMANIAN, A. **Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção**. XXVII ENEGEP – A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade, Foz do Iguaçu, 2007.

**ABSTRACT:** The present study was to evaluate through simulation routine of a company engaged in the business of automotive sounds that are inserted in the São Francisco Valley. With the use of the Arena software, this quite widespread everywhere being used with various purposes with a focus on creating queues; we could see a particular service that is provided by the company its bottlenecks, forming queues that generated disorders between customers and the company. Thus, analyzing the bottlenecks and using tools to identify the root problem and then form a plan of action that could minimize the impacts. From improvements, a new scenario in Arena demonstrating the effectiveness of action plans and consequently the software showing the proximity to reality was generated.

**KEYWORDS:** Software Arena; Simulation; queues; services.

## **CAPÍTULO XXIII**

### **RELAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS ESTADOS BRASILEIROS NO USO DA LEI ROUANET E O IDH**

---

Cleston Alexandre dos Santos  
Andréia Carpes Dani  
Paulo Sérgio Almeida dos Santos  
Nelson Hein

## RELAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS ESTADOS BRASILEIROS NO USO DA LEI ROUANET E O IDH

### **Cleston Alexandre dos Santos**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas - UFMS, CPTL.  
Departamento de Ciências Contábeis.  
Três Lagoas – Mato Grosso do Sul.

### **Andréia Carpes Dani**

Fundação Universidade Regional de Blumenau – FURB.  
Programa de Pós Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Regional de  
Blumenau - PPGCC, FURB.  
Blumenau – Santa Catarina.

### **Paulo Sérgio Almeida dos Santos**

Universidade Federal de Mato Grosso- UFMT  
Departamento de Ciências Contábeis.  
Cuiabá – Mato Grosso.

### **Nelson Hein**

Fundação Universidade Regional de Blumenau – FURB.  
Programa de Pós Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Regional de  
Blumenau - PPGCC, FURB.  
Blumenau – Santa Catarina.

**RESUMO:** A presente pesquisa teve como objetivo evidenciar a relação entre a Eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet e o IDH. Assim, realizou-se uma pesquisa documental, quantitativa e exploratória, com análise das informações dos 25 Estados e o Distrito Federal que apresentaram projetos ao Ministério da Cultura no ano de 2015, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) e correlação de *Spearman*. O estudo revelou que dos Estados pertencentes a amostra, o Distrito Federal, a Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Ceará podem ser considerados eficientes no que tange a apresentação, aprovação e captação de recursos pela Lei Rouanet. Buscando-se dar uma maior consistência nos resultados, verificou-se uma relação significativa entre o resultado do DEA e o IDH dos Estados Brasileiros, o que sugere que quanto maior for o IDH do Estado, maior será a eficiência do Estado no uso da Lei Rouanet. De modo geral, esses resultados contribuem para a literatura da área no sentido de inserir a Lei Rouanet como um fator determinante para a eficiência dos Estados brasileiros.

**PALAVRAS-CHAVES:** Lei Rouanet; DEA; Eficiência dos Estados; IDH.

## 1. INTRODUÇÃO

As políticas de incentivos fiscais em grande parte são originárias da vontade política e de situações singulares de necessidade de estímulo a determinado setor

econômico (FINAGEIV FILHO, 2014). A partir da década de 80, após o período ditatorial, algumas políticas foram empreendidas para a área cultural, com as chamadas leis de incentivo (ROSA; ODDONE, 2006).

Em especial, nos últimos vinte anos os mecanismos de incentivos fiscais à cultura no Brasil tornaram-se "os principais elementos alavancadores dos recursos canalizados para o desenvolvimento da chamada indústria audiovisual brasileira, oriundos de políticas públicas de investimento" (ESTORILLO; SIRINO, 2014, p.1).

Desde 1991, o Brasil que é considerado um país dotado de uma das maiores variedades étnico-culturais do mundo, possui uma lei que fomenta o incentivo cultural por meio de renúncia fiscal dos indivíduos ou empresas incentivadoras (FONSECA, 2010).

A Lei Federal de Incentivo à Cultura - Lei 8.313 de 1991 - conhecida por Lei Rouanet, visa estabelecer a proteção, divulgação e a valorização das manifestações culturais no Brasil. Sobretudo, busca estimular as pessoas jurídicas e físicas a destinarem uma parcela de seus recursos próprios ao apoio a projetos culturais (RIBEIRO; SANTOS, 2014).

A Lei de Incentivo à Cultura é um potente instrumento legislativo que regulamenta o marketing cultural, tornando-se um fator de movimento social e econômico. "Está determinantemente associada à publicidade e ao próprio turismo, gerando riqueza cultural e mesmo financeira, de certa forma, fortalecendo a identidade do país e instigando o sentimento de cidadania através das manifestações artísticas" e conseqüentemente gerando empregos diretos e indiretos (FONSECA, 2010, p.184).

A criação dessa lei contribui para as relações econômicas e sociais no Brasil, visto que influenciam não apenas os profissionais envolvidos diretamente com os eventos, produtores, artistas, investidores, mas também, microempreendedores que lucram com as manifestações culturais (RIBEIRO; SANTOS, 2014).

Contudo, ao longo do tempo a lei gerou diversas polêmicas e passou por alterações, sendo algumas positivas e outras negativas para o fomento cultural nacional. "Isto, por se tratar de uma lei federal, influi diretamente nos níveis de sucesso da aplicação da lei nos estados em particular" (FONSECA, 2010, p.176). Diante disso, em virtude de algumas mudanças posteriores da Lei Rouanet, cada vez mais o recurso utilizado é quase integralmente público, ainda que o poder de decisão sobre ele seja da iniciativa privada (RUBIM, 2007).

Diante dos exposto, surge a seguinte questão de pesquisa: *Qual a relação entre a Eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet e o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano)?* Assim o objetivo da pesquisa é evidenciar a relação entre a Eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet e o IDH.

Adiante disso, busca-se contribuir para a discussão relacionada a políticas públicas voltadas ao incentivo da cultura, em especial, a Lei Rouanet e sua relação com a eficiência dos estados brasileiros. Ressalta-se que não foram encontrados estudos anteriores correlatos em âmbito nacional. Desse modo, os resultados contribuem para a discussão sobre os interesses da população, órgãos reguladores, produtores, artistas, investidores e demais partes envolvidas interessadas da área

cultural, em identificar se aqueles estados que apresentam e aprovam projetos pela Lei possuem uma eficiência melhor, medida pela relação com o IDH.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será discorrido sobre a Lei Rouanet, em seguida, a técnica “*Data Envelopment Analysis*” (DEA).

### 2.1 A Lei Rouanet

Dentro de um arcabouço legal brasileiro, a Lei Federal de Incentivo à Cultura (Lei n.º 8.313, de 26/12/1991), denominada como Lei Rouanet, é reconhecida como um instrumento de política cultural, que busca o fomento ao setor cultural que propicia o abatimento de parte do imposto sobre a renda de pessoas físicas e jurídicas em prol de projetos culturais certificados pelo Ministério da Cultura (BIER; CAVALHEIRO, 2015).

Segundo Bier e Cavalheiro (2015) o reconhecimento dos direitos culturais enquanto direitos humanos fundamentais, processo de redemocratização do Brasil, a mudança política e social, a evolução tecnológica, o reconhecimento da importância da economia criativa e a reestruturação do Ministério da Cultura, todos esses fatores se mostram decisivos na promulgação da lei de incentivo fiscal em prol da produção cultural brasileira.

A Lei Rouanet abrange o setor cultural e instituiu o Programa Nacional de Apoio à Cultura (Pronac), buscando captar e canalizar recursos para a cultura, e a Comissão Nacional de Incentivo a Cultura (CNIC), responsável pela análise dos projetos que se candidatam a receber incentivos da Lei (ROSA; ODDONE, 2006).

Segundo Ribeiro e Santos (2014, p.102) "a definição desses segmentos e outras atividades financiáveis pelas leis são variáveis de uma localidade para outra, de acordo com o âmbito social e geográfico da região a ser beneficiada". Embora vigente há 23 anos, não teve avaliada a efetividade de sua política de incentivos fiscais à cultura. Pois, esse mecanismo de incentivo fiscal disponibilizou recursos à produção cultural ao longo de todos esses anos sem conhecer a variação dos cenários tanto em termos de volume (quantitativo gerado) quanto de alcance da política (qualitativo) (FINAGEIV FILHO, 2014).

Bier e Cavalheiro (2015) resumem os aspectos relacionados ao conteúdo, contexto e processo da Lei Rouanet, visando sintetizar o processo de aplicação e mudança da Lei que interferem na aplicação dos recursos em cultura no país, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Abrangência da Lei Rouanet.

<b>Lei Rouanet</b>	
Conteúdo	Instrumento de Política Pública de fomento à cultura criado pelo Estado brasileiro.
Contexto Externo	O reconhecimento e afirmação dos direitos culturais; Globalização; Surgimento de blocos econômicos; Invenção do computador pessoal, da internet, dos telefones celulares, da banda larga, tablets.
Contexto Interno	Redução da interferência direta do Estado na produção cultural brasileira; Redemocratização do Brasil; Reconhecimento da importância da economia criativa; Reestruturação administrativa.
Processo	Moroso (16 anos); Burocrático; Legalista; De caráter político partidário; De iniciativa exclusivamente governamental; Benefício coletivo.

Fonte: Adaptado de Bier e Cavalheiro (2015).

Bier e Cavalheiro (2015) sintetiza que o processo de aplicação e mudança na Lei Rouanet influencia em quatro grupos de interessados principais, sendo o estado, os empreendedores culturais, as organizações e a sociedade civil. Dentre esses, destaca que o estado atuou como o único agente de mudanças, conforme os interesses dos grupos dominantes, por meio de um processo moroso, político e legalista.

Quanto aos demais grupos, denominados como empreendedores culturais, as organizações, Bier e Cavalheiro (2015) aponta que não foram encontrados registros marcantes do processo de construção do instrumento de política cultural. Contudo, esses buscam usufruir dos benefícios gerados pela renúncia fiscal. Já a sociedade civil, possuem pouca atuação na efetivação dos objetivos propostos pela Lei Rouanet, pois a maioria da população com potencial de apoiar os empreendimentos culturais, desconhece a legislação.

A partir dos dados disponibilizados pelo MINC, Bier e Cavalheiro (2015) apontam que os montantes absolutos advindos da renúncia fiscal aplicados no setor cultural brasileiro resultante da aplicação da referida lei demonstram uma disparidade entre os valores de incentivo de 1993 a 2014, pois o valor atingido na captação junto à uma pessoa física é expressivamente menor do que a jurídica.

## 2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

O Modelo “*Data Envelopment Analysis*” (DEA), Análise Envoltória de Dados, foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Na literatura o modelo ficou conhecido como modelo CCR, sendo que posteriormente o modelo CCR foi melhorado por Banker, Charnes e Cooper (1984), o que fez originar o modelo BCC. Vale destacar que o modelo CCR tem como propósito avaliar a eficiência total, assim determina as DMUs (Unidades de Tomada de Decisões) eficientes e qual a distância

entre a fronteira de eficiência e as DMUs não eficientes, ou seja, o grau de não eficiência das demais DMUs (POLITELO et. al, 2014). De acordo com Macedo et al. (2009, p. 68) o modelo BCC “permite a projeção de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira (envoltória) determinada pelas DMUs eficientes de tamanho compatível”.

Hu et al. (2012) argumentam que a “*Data Envelopment Analysis*” converte várias saídas e entradas em uma escala que mensura a eficiência, e ainda, pela técnica, é possível apresentar a construção de uma fronteira não paramétrica das DMUs que possuem uma eficiência ótima sobre um conjunto de informações, o que possibilita a construção de uma medida de eficiência comparativa.

De acordo com Lins et al. (2007), a aplicação da metodologia DEA é efetuada em três etapas: a) definição das Unidades de Tomada de Decisões (DMU's) para análise (estados, municípios, empresas); b) definição das variáveis de insumo (*inputs*) e de produto (*outputs*), e; c) a aplicação dos modelos DEA. Uma das vantagens do método é a possibilidade da utilização de múltiplos *inputs* e *outputs* sem que a análise torne-se complexa.

O modelo DEA utiliza escores de eficiência para cada DMU e na sequência compara uma unidade em relação às outras (SILVA et al., 2012). O DEA gera um indicador que varia de 0 a 1 sendo que, quanto mais próximo a 1, mais eficiente é considerada a DMU e, escores iguais a 1 indicam eficiência (MACEDO et al., 2009). Na aplicação do DEA, torna-se necessário a determinação da ótica da análise, ou seja, se a análise é orientada pelos insumos, que avalia a eficiência mantendo-se fixa a produção objetivando a redução dos insumos, ou, se a análise está voltada aos produtos, em que é fixada a quantidade de insumos, e assim, espera-se alcançar o maior número de produtos (FERREIRA; GOMES, 2009).

Conforme destacado no início do tópico, o DEA apresenta dois modelos, o CCR e o BCC. O modelo CCR, considerado como clássico, remete a retornos constantes à escala, sendo assim, nesse parâmetro as DMU's são comparadas entre si independentes do tamanho na qual cada uma funciona. Já o modelo BCC, remete a retornos variáveis à escala, assim, as unidades ineficientes são definidas por meio da comparação entre as DMU's sendo tamanho das operações relevantes (HU; QI; YANG, 2012).

Diante do exposto, modelo DEA se torna flexível, pois torna possível a inclusão de variáveis múltiplas de entrada e saída, sendo que essas variáveis são calculadas de forma simultânea. Com características específicas, o DEA torna-se diferente de outras técnicas analíticas com uma única dimensão, como é o caso da análise de regressão e correlação (ORO; BEUREN; HEIN, 2009).

### 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Metodologicamente, o presente artigo está caracterizado como uma pesquisa descritiva, documental, de abordagem quantitativa e exploratória. Segundo Cooper e Schindler (2003), a pesquisa descritiva tem como objetivo principal evidenciar as

características de determinadas populações ou fenômenos. Classifica-se como documental por utilizar dados do site do Ministério da Cultura, do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do site do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). A abordagem é quantitativa em função do uso de instrumentos estatísticos nas fases de coleta, tratamento e análise dos dados (COOPER; SCHINDLER, 2003). A pesquisa classifica-se também como sendo exploratória, que segundo Cooper e Schindler (2003), tende a gerar estruturas soltas com o objetivo de descobrir futuras tarefas de pesquisa.

A população da pesquisa totaliza os 26 Estados e o Distrito Federal, cuja amostra da presente pesquisa compreende 25 Estados e o Distrito Federal. Apenas o Estado de Roraima (RR) não fez parte da amostra, por não ter projetos apresentados ao Ministério da Cultura no ano de 2015, período de análise dos dados.

A coleta de dados referente a 2015, ocorreu nos meses de junho e julho de 2016, cujas variáveis adotadas para o cálculo do DEA são apresentadas no Quadro 2, que relaciona os *inputs* e *outputs* utilizados no estudo.

Quadro 2 – Variáveis utilizadas no estudo

<b>Insumo/Inputs</b>	<b>Descrição do Inputs</b>	<b>Fonte</b>
ProjApresQtde	Projetos apresentados em quantidade	SalicNet (2016)
ProjApresVr	Projetos apresentados em valor	SalicNet (2016)
QtdeMun	Quantidade de Municípios	IGBE (2016)
Pop	População	IGBE (2016)
DensDem	Densidade demográfica – hab/km <sup>2</sup>	IGBE (2016)
RendMen	Renda mensal média da população	IGBE (2016)
<b>Produto/Outputs</b>	<b>Descrição do Outputs</b>	<b>Fonte</b>
ProjAprovQtde	Projetos aprovados em quantidade	SalicNet (2016)
ProjAprovVr	Projetos aprovados em valor	SalicNet (2016)
CapRecQtde	Captação de recursos em quantidade	SalicNet (2016)
CapRecVr	Captação de recursos em valor	SalicNet (2016)

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Além das variáveis mencionadas acima, também foi utilizada a variável Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos Estados Brasileiros, considerando o último índice divulgado.

Os dados coletados dos *Inputs* e *Outputs* referem-se ao ano de 2015, o qual foram conferidos e estruturados em planilha pelo Microsoft Excel®. Na sequência efetuou-se a análise por meio da Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) com aplicação do modelo BCC orientado ao *output* (Saída), com a utilização do *software* MaxDEA 5®. A metodologia DEA foi aplicada nesta pesquisa por ser um método que permite a utilização simultânea de diversas variáveis tanto de entrada como de saída e por ser uma metodologia comumente aplicada em pesquisas relacionadas à eficiência (POLITELO et al., 2014). Assim, de acordo com Hu et al. (2012), a Análise Envoltória de Dados converte várias saídas e entradas em uma escala de medida de eficiência e apresenta uma fronteira não paramétrica das

DMUs que possuem uma eficiência ótima sobre um conjunto de dados, o que possibilita uma medida de eficiência comparativa.

Posteriormente foi calculado o coeficiente de correlação de *Spearman*, sendo que neste caso, as variáveis utilizadas foram o resultado do DEA e o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) dos Estados Brasileiros. De acordo com o PNUD (2016), o IDH é um indicador que apresenta o grau de desenvolvimento econômico e de qualidade de vida oferecida à população, assim um Estado com um índice alto pode ter mais pessoas jurídicas e pessoas físicas com mais condições financeiras, e dessa forma, mais projetos apresentados, aprovados, com captação de recursos e com maior eficiência.

#### 4. RESULTADO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste tópico são apresentados o resultado e análise dos dados da pesquisa, sendo que de início, na Tabela 1, são evidenciadas as variáveis em estudo.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis

Indicadores	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
ProjApresQt de	2	1.988,00	238,23	31,50	463,07
ProjApresVr	419.630,00	2.765.952.206,00	250.937.561,30	27.044.899,99	608.240.857,2
QtdeMun	1	853	213,65	155,50	203,12
Pop	766.679,00	44.396.484,00	7.844.037,85	3.955.269,00	9.060.280,71
DensDem	2,23	444,66	70,58	35,68	107,16
RendMen	509,00	2.252,00	982,96	822,00	369,76
ProjAprovQt de	1	1.705,00	207,92	29,50	400,99
ProjAprovVr	94.900,00	2.169.548.375,00	200.343.394,00	24.646.957,44	481.854.395,2
CapRecQtde	1	1.002,00	120,27	10,50	229,15
CapRecVr	60.000,00	529.100.124,70	45.358.227,07	3.128.636,81	114.831.925,00
IDH	0,631	0,824	0,704	0,690	0,050

Fonte: Dados da pesquisa.

Com base na Tabela 1, na análise das variáveis do grupo projetos apresentados, pode-se verificar que projetos apresentados em quantidade tem mínimo de 2 e máximo de 1.988 e projetos apresentados em valor tem um mínimo de R\$ 419.630,00 e máximo de R\$ 2.765.952.206,00. Na análise dos projetos apresentados em quantidade e em valor, vários Estados demonstraram variação em relação às médias de 238,23 e R\$ 250.937.561,30, respectivamente, pois os desvios padrão demonstraram-se elevados em relação às médias.

Foi observado uma diferença relevante e significativa entre as medianas e médias das variáveis, exceto IDH, o que indica serem séries assimétricas. Nenhuma variável apresentou valores iguais para a média e mediana, porém no caso do IDH, bem próximo, sendo 0,704 para a média e 0,690 para mediana, o que aponta tendência para série assimétrica. O desvio padrão também é outro indicador com diferenças relevantes quando comparado com a média das variáveis, o que revela alta dispersão entre os dados analisados.

A Tabela 1 revela também que nas variáveis quantidade de municípios por Estado, população por Estado, densidade demográfica e rendimento médio mensal apresentam diferenças significativas entre dados mínimos e máximos, e entre medianas e médias. Os Estados da região sudeste concentram as maiores quantidades de municípios, populações, maiores densidades demográficas e rendimento médio mensal, o que pode justificar essas diferenças perante outros Estados pertencentes a outras regiões.

Na análise dos projetos aprovados e projetos que captaram recursos, a diferença entre mínimos e máximos e entre medianas e médias continuam significativas, porém, o que se observa é que a média dos projetos aprovados por Estado (em quantidade e em valor) apresentam uma redução de 12,74% em quantidade e em 20,16% em valor (reais) quando comparado com a média dos projetos apresentados (em quantidade e em valor). Essa redução pode ser justificada por não cumprimento de exigências das normas de submissão de projetos ou por baixa qualidade da proposta. A média de captação de recursos pelos projetos por Estado é de R\$ 45.358.227,07, valor este que corresponde a apenas 18,08% da média dos projetos aprovados em valor (em reais).

Na análise do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da Tabela 1, que mostra o desenvolvimento humano voltado para as pessoas, suas oportunidades e capacidades, revela um resultado médio de 0,704, resultado um pouco distante do máximo de 0,864. O Índice de Desenvolvimento Humano é composto por indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano, que inclui a longevidade, educação e renda, cujo índice que varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1, maior será o desenvolvimento humano (PNUD, 2016). Como esse indicador apresenta o grau de desenvolvimento econômico e de qualidade de vida oferecida à população, espera que um Estado com um índice alto pode ter mais recursos oriundos de empresas e indivíduos com mais condições financeiras, e assim, mais projetos apresentados, aprovados, com captação de recursos e com maior eficiência.

Com intuito de cumprir com o objetivo proposto pelo estudo, a Tabela 2 evidencia a análise de eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet por meio do cálculo do DEA.

Tabela 2 – Eficiência dos Estados

Ordem	Estado		Score de Eficiência	Benchmark
1	DF	Distrito Federal	1,000000	-
2	BA	Bahia	1,000000	-
3	MG	Minas Gerais	1,000000	-
4	RJ	Rio de Janeiro	1,000000	-
5	SP	São Paulo	1,000000	-
6	PR	Paraná	1,000000	-
7	RS	Rio Grande do Sul	1,000000	-
8	SC	Santa Catarina	1,000000	-
9	CE	Ceará	0,999328	RJ; SP; RS
10	PA	Pará	0,999248	DF; RJ; SP; RS
11	AP	Amapá	0,998482	MG; RJ; SP; RS
12	AC	Acre	0,998374	DF; MG; RJ; RS
13	RO	Rondônia	0,998292	MG; RJ; RS
14	GO	Goiás	0,998081	DF; MG; RJ; RS
15	AL	Alagoas	0,997745	RJ; SP; RS
16	TO	Tocantins	0,997579	DF; RJ; SP; RS
17	SE	Sergipe	0,997186	MG; RJ; SP; RS
18	AM	Amazonas	0,997056	DF; MG; RJ; SP; RS
19	MA	Maranhão	0,996928	RJ; SP; RS
20	MS	Mato Grosso do Sul	0,996595	RJ; SP; RS
21	PI	Piauí	0,996253	RJ; SP; RS
22	RN	Rio Grande do Norte	0,995966	DF; MG; RJ; RS
23	ES	Espirito Santo	0,995464	DF; MG; RJ; RS
24	MT	Mato Grosso	0,993620	DF; MG; RJ; SP; RS
25	PB	Paraíba	0,992842	DF; MG; RJ; RS
26	PE	Pernambuco	0,984778	DF; MG; RJ; SP; RS

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

A partir dos dados evidenciados na Tabela 2, tem-se que 8 dos 25 Estados e o Distrito Federal são mais eficientes, sendo que 3 são da região sudeste e 3 da região sul, neste último caso, todos os Estados da região sul. Para a classificação dos Estados, preliminarmente foi estruturado a análise com graus de ineficiência distintos: fraca, moderada e forte. Dessa forma, foram classificados como eficientes as DMUs com  $\theta = 1$ ; DMUs em que  $0,8 \leq \theta < 1$  foram classificadas com ineficiência fraca; ineficiência moderada aquelas com  $0,6 \leq \theta < 0,8$ ; e ineficiência forte as DMUs com  $\theta < 0,6$ . Diante da estrutura adotada, nenhum Estado foi classificado como ineficiência forte e moderada.

Os resultados da Tabela 2 evidenciam que dos Estados pertencentes a amostra, os 9 primeiros podem ser considerados eficientes no que tange a apresentação, aprovação e captação de recursos pela Lei Rouanet, ou seja, os que possuem scores 1. Os demais Estados (18) não podem ser considerados eficientes, ou seja, com scores de eficiência menor do que 1 e maior ou igual a 0,8 ( $0,8 \leq \theta <$

1). Ao levar em consideração esses resultados, esses Estados para serem mais eficientes, podem basear-se nos que obtiveram o maior score (1).

A Tabela 2 apresenta também o resultado do *Benchmark*, que segundo Macedo *et al.* (2009), pode ser definido como sendo o processo sistemático e contínuo pelo qual torna-se possível a identificação da melhor forma prática e de modificação do conhecimento existente, tendo como propósito o alcance do melhor resultado possível. Assim, o cálculo do DEA permite também identificar quais Estados considerados como eficientes são responsáveis por determinado Estado ter sido considerado como ineficiente. Nesse sentido, os Estados ineficientes devem utilizar os *benchmarks* como referência, no propósito de melhorar os processos no uso da Lei Rouanet nas cidades correspondentes aos seus territórios, visando a eficiência.

A Tabela 3 apresenta a análise de eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet por Região.

Tabela 3 – Eficiência dos Estados por Região

Região	Ordem	Estado		Score de Eficiência	Benchmark
Centro-Oeste	1	DF	Distrito Federal	1,000000	-
	2	GO	Goiás	0,998081	DF; MG; RJ; RS
	3	MS	Mato Grosso do Sul	0,996595	RJ; SP; RS
	4	MT	Mato Grosso	0,993620	DF; MG; RJ; SP; RS
Nordeste	1	BA	Bahia	1,000000	-
	2	CE	Ceará	0,999328	RJ; SP; RS
	3	AL	Alagoas	0,997745	RJ; SP; RS
	4	SE	Sergipe	0,997186	MG; RJ; SP; RS
	5	MA	Maranhão	0,996928	RJ; SP; RS
	6	PI	Piauí	0,996253	RJ; SP; RS
	7	RN	Rio Grande do Norte	0,995966	DF; MG; RJ; RS
	8	PB	Paraíba	0,992842	DF; MG; RJ; RS
	9	PE	Pernambuco	0,984778	DF; MG; RJ; SP; RS
Norte	1	PA	Pará	0,999248	DF; RJ; SP; RS
	2	AP	Amapá	0,998482	MG; RJ; SP; RS
	3	AC	Acre	0,998374	DF; MG; RJ; RS
	4	RO	Rondônia	0,998292	MG; RJ; RS
	5	TO	Tocantins	0,997579	DF; RJ; SP; RS
	6	AM	Amazonas	0,997056	DF; MG; RJ; SP; RS
Sudeste	1	MG	Minas Gerais	1,000000	-
	2	RJ	Rio de Janeiro	1,000000	-
	3	SP	São Paulo	1,000000	-
	4	ES	Espírito Santo	0,995464	DF; MG; RJ; RS
Sul	1	PR	Paraná	1,000000	-
	2	RS	Rio Grande do Sul	1,000000	-

	3	SC	Santa Catarina	1,000000	-
--	---	----	----------------	----------	---

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

A Tabela 3 mostra que na região centro-oeste, o Distrito Federal é o único classificado como eficiente, com score 1. Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentaram resultados próximos, caracterizados como ineficiência fraca (DMUs:  $0,8 \leq \theta < 1$ ). Ao analisar os *benchmarks*, dentro da região centro-oeste, Distrito Federal serve como referência para Goiás e Mato Grosso. Mato Grosso do Sul tem como referência Estados da região sudeste (RJ; SP) e sul (RS).

Na região nordeste, apenas o Estado da Bahia foi classificado como eficiente, porém, nenhum Estado da região tem a Bahia como referência, conforme os *benchmarks* apresentados. A região norte é a única que não apresentou nenhum Estado como eficiente, e assim, as referências são de outras regiões, tendo a região sudeste (MG; RJ; SP) como maior referência quanto aos *benchmarks*.

De acordo com a Tabela 3, exceto o Estado do Espírito Santo, todos os demais foram classificados como eficientes, e assim, são referências para muitos Estados, quando analisados os *benchmarks*. Já a região sul é a única que tem todos os Estados classificados como eficientes no uso da Lei Rouanet, de acordo com o constructo adotado para este estudo.

Após o cálculo e análise do DEA, para uma maior consistência nos resultados, foi verificado se existe uma relação entre o resultado do DEA e o IDH dos Estados Brasileiros. Desta forma, a Tabela 4 apresenta a aplicação da correlação de *Spearman*.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação de *Spearman*

Correlação de <i>Spearman</i>		DEA
IDH	Coeficiente de correlação	0,489*
	Significância	0,011

\*. A correlação é significativa no nível 0,05

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme evidenciado na Tabela 4, se constatou uma correlação positivamente significativa ao nível de 5% entre o resultado do DEA e IDH dos Estados Brasileiros. Assim, verifica-se que quanto maior for o IDH do Estado, maior será a eficiência do Estado no uso da Lei Rouanet.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve como objetivo evidenciar a relação entre a Eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet e o IDH. Para tanto, realizou-se uma pesquisa documental, quantitativa e exploratória, no qual foram analisadas informações dos 25 Estados e o Distrito Federal que apresentaram projetos ao Ministério da Cultura no ano de 2015, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) e correlação de *Spearman*.

Os resultados da pesquisa apontam que a média de captação de recursos pelos projetos por Estado é de R\$ 45.358.227,07, valor este que corresponde a apenas 18,08% da média dos projetos aprovados em valor (em reais). Verificou-se também um Índice de Desenvolvimento Humano médio de 0,704, que releva um resultado um pouco distante do máximo de 0,864.

Ao analisar a eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet por meio do cálculo do DEA, verificou-se que dos Estados pertencentes a amostra, o Distrito Federal, a Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Ceará podem ser considerados eficientes no que tange a apresentação, aprovação e captação de recursos pela Lei Rouanet.

Em seguida verificou-se por meio da análise de eficiência dos Estados Brasileiros no uso da Lei Rouanet por Região, que na região centro-oeste, o Distrito Federal é o único classificado como eficiente, na região nordeste, apenas o Estado da Bahia foi classificado como eficiente. Contudo, a região norte é a única que não apresentou nenhum Estado como eficiente.

Buscando-se dar uma maior consistência nos resultados, verificou-se uma relação significativa entre o resultado do DEA e o IDH dos Estados Brasileiros, o que sugere que quanto maior for o IDH do Estado, maior será a eficiência do Estado no uso da Lei Rouanet. De modo geral, esses resultados contribuem para a literatura da área no sentido de inserir a Lei Rouanet como um fator determinante para a eficiência dos Estados brasileiros.

Como os Estados das Regiões Sudeste e Sul do Brasil foram considerados eficientes na metodologia adotada, os dados mostram que essas regiões detêm um maior volume de movimentação dos projetos e oferecem mais atividades e serviços a sociedade de uma forma geral. Assim, para as demais regiões tornam-se necessários uma análise da disseminação das diretrizes da Lei Rouanet e um maior incentivo para pessoas físicas e jurídicas serem proponentes e incentivadores de projetos dessa natureza. Portanto, novos estudos sobre essa temática tende a contribuir para o uso mais eficiente e eficaz da lei e assim proporcionar mais benefícios a sociedade. Estudos de caso analisando a execução de projetos pode proporcionar outras concepções e interpretações das iniciativas.

## REFERÊNCIAS

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**. v. 30, n.9, p. 1078-1092, 1984.

BIER, C. A.; CAVALHEIRO, R. A. Lei Rouanet x Crowdfunding: fomentando os empreendimentos culturais/Rouanet Law x Crowdfunding: promoting the cultural ventures. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 9, n. 2, p. 30-47, 2015.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**. v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

COOPER, D.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 7. ed. Porto Alegre, Bookman, 2003.

ESTORILLO, R. DOS S.; SIRINO, S. P. M. POLÍTICAS PÚBLICAS DE FINANCIAMENTO À CULTURA: O modelo da lei de incentivos à cultura de curitiba no audiovisual de curitiba. **Revista O Mosaico**, v.10, n.2, p. 116-129 2014.

FERREIRA, C. M. DE C.; GOMES, A. P.. **Introdução à análise envoltória de dados: modelos e aplicações**. Minas Gerais. Editora UFV, 2009.

FINAGEIV FILHO, V. **Lei Rouanet: 23 anos de incentivo à cultura**. 27f. Enap- Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2014.

FONSECA, I. A. H. A eficácia da lei rouanet no estado do amazonas. **Hiléia - Revista do Direito Ambiental da Amazônia**, v. 5, n. 9, 2014.

HU, H.-H.; QI, Q.; YANG, C.-H.. Analysis of hospital technical efficiency in China: effect of health insurance reform. **China Economic Review**. v. 23, p. 865-877, 2010.

IBGE. 2016. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Estados@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 30 de junho de 2016.

LINS, M. E.; LOBO, M. D. C.; SILVA, A. C. M. D.; FISZMAN, R.; RIBEIRO, V. D. P.. O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. **CiencSaude Coletiva**, v. 12, n. 4, p. 985-98, 2007.

MACEDO, M. A. S.; BARBOSA, A; CAVALCANTE, G. T. Desempenho de Agências Bancárias no Brasil: aplicando Análise Envoltória de Dados (DEA) a indicadores relacionados às perspectivas do BSC. **Revista Economia & Gestão**, v. 9, n. 19, p. 65-84, 2009.

ORO, I. M.; BEUREN, I. M.; HEIN, N. Análise da eficiência de empresas familiares brasileiras / analysis of the efficiency of brazilian Family companies. **RAE-eletrônica**, v. 8, n. 2, p. 1-27, 2009.

PNUD. 2016. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) – **Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/ Ranking-IDHM-UF-2010.aspx>>. Acesso em: 29 de junho de 2016.

POLITELO, L.; RIGO, V. P.; HEIN, N. Eficiência da Aplicação de Recursos no Atendimento do Sistema Único de Saúde (SUS) nas Cidades de Santa Catarina. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, v. 3, n. 2, p. 45-60, 2014.

RIBEIRO, F. A. S.; SANTOS, C. A. Lei Rouanet: uma oportunidade para o município de Barra do Garças-MT estimular o desenvolvimento socioeconômico. **Revista FACISA ON-LINE**, v. 03, n. 02, p. 100-117, 2014.

ROSA, F. G. M. G.; ODDONE, N. E. Políticas públicas para o livro, leitura e biblioteca. **Ciência da Informação**, v. 35, n. 3, p. 183-193, 2007.

RUBIM, A.A.C. Políticas culturais no Brasil: tristes tradições. **Revista Galáxia**, São Paulo, n.13, p.101-113, 2007.

SALICNET. 2016. **Sistema de Apoio às Leis de Incentivo à Cultura**. Disponível em:<<http://sistemas.cultura.gov.br/salicnet/Salicnet/Salicnet.php#>>. Acesso em: 29 de junho de 2016.

SILVA, A. A. P.; MARQUES F.; M. A.; BRAGA, M. J.; ABRANTES, L. A. Eficiência na alocação de recursos públicos destinados à educação, saúde e habitação em municípios mineiros. **Contabilidade, Gestão e Governança**, v. 15, n. 1, p. 96-114, 2012.

**ABSTRACT:** This study aimed to demonstrate the relationship between the Brazilian states use efficiency of Rouanet and IDH Law. Thus, there was a documental, quantitative and exploratory research, with analysis of information from 25 states and the Federal District that presented projects to the Ministry of Culture in 2015, using data envelopment analysis (DEA) and Spearman correlation. The study revealed that of belonging to sample states, the Federal District, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Sao Paulo, Parana, Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Ceará can be considered efficient when it comes to presentation, approval and fundraising by Rouanet. Seeking to give greater consistency in the results, there was a significant relationship between the result of the DEA and the IDH of the Brazilian States, which suggests that the higher the state of the IDH, the greater the State's efficiency in the use of the Law Rouanet. Overall, these results contribute to the literature of the area in order to insert the Rouanet Law as a determining factor for the efficiency of the Brazilian states.

**KEYWORD:** Rouanet; DEA; Efficiency of states; IDH.

## Sobre a organizadora

**ANTONELLA CARVALHO DE OLIVEIRA** Licenciada em Pedagogia. Mestre em Engenharia de Produção e Doutora em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pedagoga da Secretaria de Estado da Educação do Paraná (SEED). Professora colaboradora no Departamento de Pedagogia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Editora Chefe da Atena Editora. Líder Adjunto do Grupo de Pesquisa em Educação a Distância - Formação docente para o Ensino de Ciência e Tecnologia do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT) da UTFPR. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação à Distância, atuando principalmente nos seguintes temas: formação de professores, metodologia do ensino e pesquisa e ensino de ciência e tecnologia.

## Sobre os autores

**AMANDA CLAUDINO ALMEIDA** Estudante, cursando Ensino Superior de graduação em Engenharia de Produção, 7º semestre, na Universidade do Estado do Pará. Inglês Avançado. Experiência em consultoria na Holística - Empresa Júnior de Consultoria da UEPA. Atualmente, exerce o cargo de Aprendiz na Ambev S.A.

**ANA ELISA PÉRICO** Possui graduação em Administração Pública pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP - 2002), mestrado (2005) e doutorado (2009) em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (USP). Entre 2009 e 2011 foi Professora Assistente Doutora na UNESP, campus de Jaboticabal. Desde 2011, é Professora Assistente Doutora na UNESP, campus de Araraquara. Nas atividades de docência, voltadas para a graduação, atua principalmente na área de Finanças Corporativas, Contabilidade e Matemática Financeira. Na área de pesquisa, tem como objetos de estudo as infraestruturas brasileiras e questões vinculadas ao desenvolvimento regional. Desde 2015, é credenciada no Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Análise de Políticas Públicas, da UNESP de Franca.

**ANDRÉIA CARPES DANI** Doutoranda em Ciências Contábeis e Administração pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Mestra em Ciências Contábeis pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Graduada em Ciências Contábeis pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI). E-mail: [andreiacarpesdani@gmail.com](mailto:andreiacarpesdani@gmail.com)

**ANGELO DA SILVA CABRAL** Possui graduação em Estatística pela Universidade Federal do Paraná (2014) e Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Paraná (2017). Experiência com consultoria na área de Probabilidade e Estatística. Experiência como professor substituto do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná.

**ANSELMO RAMALHO PITOMBEIRA NETO** Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica (Universidade Federal do Ceará), mestrado em Engenharia Mecânica (Universidade de São Paulo) e doutorado em Engenharia de Transportes (Universidade Federal do Ceará). É professor adjunto do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, no qual leciona as disciplinas de Pesquisa Operacional, Simulação de Sistemas e Economia da Engenharia. Possui publicações nas revistas Computers and Industrial Engineering, Journal of Advanced Transportation, Transportes e Journal of Construction Engineering and Management.

**BEATRIZ DUARTE MAGNO** Bacharelada em Engenharia de Produção na instituição SENAI CETIQT. Exerce seu período de aprendizagem na Gerência de Controle Técnico de Empreendimentos da Eletronuclear, auditando pleitos internacionais e auditando

faturas de serviços e suprimentos internacionais. Também atua dentro da Gerência de Provimento de Pessoas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Faz parte do Grupo de Iniciação Científica do SENAI CETIQT e já publicou diversos trabalhos em congressos nacionais e internacionais, tais como: Encontro Capixaba de Engenharia de Produção (ENCEPRO), Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), Congresso Ibero-Americano de Engenharia de Produção (CIIP) e Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research (CLAIO).

**BRENO DE OLIVEIRA PINA** Graduando em Engenharia de Produção, na Universidade do Estado do Pará (UEPA), atualmente cursando o 9º semestre/5º ano. Estagiário na Federação das Indústrias do Estado do Pará (FIEPA). Ex estagiário da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Autor de artigos em anais de eventos como SIMPEP e SIEF - Semana Internacional de Engenharia e Economia. E-mail: brenopina20@gmail.com

**BRUNA RUSSO BAHIANA** Bacharel em Engenharia de Produção pela Faculdade SENAI-CETIQT. Graduada de Engenharia de Telecomunicações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ). É autora de artigos e periódicos em eventos nacionais e internacionais, citando: Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP; Congresso Íbero-Americano de Engenharia de Projetos - CIIP; Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - SEGET; International Journal of Engineering & Technology - IJCEE; International Journal of Basic & Applied Sciences - IJBAS; International Journals of Engineering and Sciences - IJENS; International Journal of Applied Mathematical Research - IJAMR.

**CARLOS ALBERTO GONÇALVES DA SILVA** Possui graduação em Ciências Econômicas pela Faculdade de Economia e Finanças do Rio de Janeiro (1969), mestrado em Engenharia de Produção - COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997), mestrado em Economia e Finanças - IAP/Universidade de Paris I (1973), doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000), Pós-Doutorado de Verão em Economia Matemática (IMPA) (2008) e Pós-Doutorado Economia Aplicada (Universidade Federal Fluminense - UFF)(2009). Professor adjunto IV do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ), tendo se aposentado em dezembro de 2013. Atuou a nível de graduação no Depto. de Engenharia de Produção (DEPRO) e a nível de Pós-Graduação no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPTec). Atualmente Professor Visitante da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Tem experiência na área de Economia e Finanças, atuando principalmente nos seguintes temas: economia aplicada, modelos econométricos, séries temporais, avaliação de desempenho dos ativos ou portfólios, otimização de carteiras de investimentos, análise de investimento com opções reais, gerenciamento de risco, política agrícola e economia internacional. Publicou diversos artigos em periódicos e anais nacionais e internacionais.

**CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES** Foi gerente de projetos e pesquisador no Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) de 1997 a 2007 (desenvolvendo durante 10 anos atividades de desenvolvimento tecnológico, nas áreas de TI, software, usabilidade interface entre outros), em 2007 foi Chefe do Departamento de Engenharia de Sistemas do, CASNAV. Posteriormente Vice-Diretor deste Centro (última função que assumiu) até 2008, quando se desligou do serviço ativo da Marinha. Tem experiência na área de Administração, Engenharia de Produção, Tecnologia da Informação (TI) e Arquitetura da Informação, com ênfase em Gestão de Risco, atuando principalmente em Decisão Multicritério e Pesquisa Operacional.

**CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA** Possui graduação em Engenharia Mecânica com ênfase em Produção, especialização em Qualidade e Produtividade e mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é professor assistente na Universidade Federal de Itajubá-campus avançado de Itabira e atua nas áreas de Estatística, Engenharia da Qualidade, Seis Sigma e *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), onde atuou como vice-líder do projeto denominado “Identificação de gargalos em linha produtiva”.  
carlos.henrique@unifei.edu.br

**CAROLINE DE OLIVEIRA COSTA SOUZA ROSA** Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense em 2017. Atualmente é aluna do programa de mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Fluminense. Já atuou em projetos de pesquisa na área de Sustentabilidade, Energias Renováveis e Pesquisa Operacional.

**CLESTON ALEXANDRE DOS SANTOS** Doutorando em Ciências Contábeis e Administração pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Mestre em Contabilidade pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Professor do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Três Lagoas (CPTL). E-mail: [clestons@al.furb.br](mailto:clestons@al.furb.br)

**DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO** Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos (1984), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (1992) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1999). Atualmente é professora associada da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Engenharia Econômica, atuando principalmente nos seguintes temas: energia, infraestrutura produtiva, análise de eficiência, análise envoltória de dados e políticas públicas.

**DALESSANDRO SOARES VIANNA** Doutor em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Dalessandro atua como Professor Adjunto na Universidade Federal Fluminense (UFF) – Campus Rio das Ostras. Atualmente,

exerce as funções administrativas de vice-diretor do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UFF) e vice-coordenador do Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais (MESC/UFF). É pesquisador do MESC e do Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional da Universidade Candido Mendes. Sua pesquisa inclui as seguintes áreas: pesquisa operacional; logística; metaheurísticas; inteligência computacional; programação matemática; análise multicritério à decisão e programação paralela.

**DANIEL MAGALHÃES CUMINO** Graduanda do 5º ano de Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará – UEPA. Atualmente estagiário da empresa Tim Celular S.A. no setor de Suporte dando auxílio e facilitando as operações. Anteriormente estagiário na empresa Banco do Brasil S/A, em 2015, e assistente na empresa Gás Metal Montagens, no ramo da construção civil, em 2014. Experiência no exterior, Austrália.

**DEBORA COSTA MELO** Graduanda do 4º ano do curso de Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará - UEPA. Foi aluna de mobilidade acadêmica entre 2015 e 2016 na University of Portsmouth, Inglaterra, cursando Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos. Foi estagiária na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 2014, bolsista de Iniciação Científica PIBIC/FAPESPA entre 2014 e 2015 e voluntária no Centro Acadêmico de Engenharia de Produção entre 2013 e 2014. Atualmente é estagiária de Implantação de Rede na OI S.A.

**DIOGO CASSIN DE CARVALHO OLIVEIRA** Membro do Instituto Brasileiro de Atuária (MIBA 2214). Possui bacharelado em Ciências Atuariais pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2009) e Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Paraná (2016). Conhecimentos técnicos nas áreas de Estatística, Pesquisa Operacional, Contabilidade e Finanças. Experiência com gestão e modelagem estatística de riscos financeiros em companhias de seguros, em conformidade com os padrões contábeis brasileiros e internacionais. Experiência na área financeira e na análise de indicadores de performance. Vivência no report de informações nos padrões de relatórios financeiros internacionais (IFRS). Inglês Fluente. Atuação nas áreas de Finanças, Atuária, Séries Temporais e Estatística Multivariada.

**DIOGO DE OLIVEIRA ARAÚJO** Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro - BA. Possui interesses nas áreas de planejamento e controle da produção, gestão da qualidade e marketing. Sendo estas direcionadas à produção agrícola. Atuou em projeto de extensão com intuito de apoiar, implementar e fortalecer a qualidade de produtos agrícolas, como frutas e hortaliças.

**EDGARD THOMAS MARTINS** Doutorado em Saúde Pública pela Fundação Oswaldo Cruz, Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães- AGGEU (2010), Mestrado em Design

pela Universidade Federal de Pernambuco (2006). Pós-graduado em Engenharia Econômica e Administração Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Curso de especialização em Redes de Computadores na Actim, Paris, França. Formação em Psicanálise Clínica Lacaniana pela Associação Nacional de Psicanálise Clínica ANPC, Distrito Federal. Experiência em tecnologia da Informação, Pesquisas na área de Saúde Pública, Sistemas de Computação, Segurança do Trabalho, Economia, Design, Ergonomia, Empreendedorismo. Temas: Usabilidade, Erro Humano, Ergonomia, Ergonomia, Saúde Coletiva e Saúde Pública.

**EDRA RESENDE DE CARVALHO** Graduanda em Engenharia de Produção, na Universidade do Estado do Pará (UEPA), atualmente cursando o 7º semestre/4º ano. Estagiária na área de Suprimentos na Sotreq-CAT filial Belém. Participa do grupo de pesquisa no Núcleo Integrado de Logística e Operações (NILO), na UEPA, trabalhando na produção de artigos a serem publicados em revistas e congressos. Realizou graduação sanduiche nos Estados Unidos pelo período de 1 ano (2015-2016) na instituição Milwaukee School of Engineering, localizada em Milwaukee, WI, cursando industrial and Systems Engineering. Participou do Lean Enterprise Systems Summer Program, onde aplicou conceitos e ferramentas do Pensamento Enxuto e Seis Sigma no contexto hospitalar. Tem interesse, habilidade e experiência com as seguintes áreas: logística, cadeia de suprimentos, pensamento enxuto, metodologia seis sigma e controle da qualidade. E-mail: edraresende@gmail.com

**ELIANE DA SILVA CHRISTO** É, desde janeiro de 2009, professora e pesquisadora do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Coordenadora do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção e do Grupo de Pesquisa Operações e Sistemas de Gestão Industrial. Recebeu os títulos de Doutora e Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração Métodos de Apoio à Decisão pela Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) do Rio de Janeiro, Brasil, em 2005; e graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Atualmente suas pesquisas se concentram nas áreas de Previsão de Séries Temporais e Controle Estatístico de Processo.

**EMERSON JOSÉ DE PAIVA** Possui graduação em Matemática, mestrado em Engenharia de Produção, na área de Pesquisa Operacional (Programação Não-linear) e Projeto de Experimentos e doutorado em Engenharia Mecânica na área de Projeto e Fabricação. Tem experiência em Ciência da Computação, com ênfase em Arquitetura de Sistemas e, atualmente, é professor de Otimização e Simulação da Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira. Participa do Grupo de Otimização da Manufatura, atuando no desenvolvimento de métodos de otimização estocástica multivariados e atuou como líder do projeto denominado “Identificação de gargalos em linha produtiva”. emersonpaiva@unifei.edu.br

**ERITON CARLOS MARTINS BARREIROS** Acadêmico de Engenharia de Produção pela Universidade do estado do Pará (UEPA). Estagiário em uma indústria de produção de argamassas e rejuntas, onde aperfeiçoa técnicas de produção e ordena as atividades financeiras, logísticas, e comerciais da empresa. Voluntário no Núcleo Integrado de Logística e Operações (NILO) da (UEPA), onde é responsável pela Elaboração de pesquisas (artigos e iniciações científicas) voltadas a Logística e Operações no estado do Pará. Possui participações em eventos (Encontros, simpósios e congressos) regionais, interestaduais e nacionais, com publicações nas mesmas, além de possuir trabalhos em algumas revistas. Atualmente dedica-se a pesquisas para o desenvolvendo do TCC na Área de Logística Offshore.

**FABIANA DOS REIS DE CARVALHO** Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual do Pará (UEPA). Já atuou em projetos de Iniciação Científica pelo PIBIC (2016). Assim como Auxiliar Técnico em uma empresa de Pré- Moldados. Atualmente está desenvolvendo o TCC na Área de Arranjo Físico Industrial.

**FABRÍCIO DA COSTA DIAS** Doutorando em Engenharia na UFF, Mestre em Engenharia Civil (UFF) e graduado em Engenharia de Produção e Química com atuação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguêz de Mello (PETROBRAS/CENPES). Atualmente trabalha na área de Gestão Empresarial, Gerenciamento de Projetos, Controle Orçamentário, Indicadores de Gestão (BSC), Controle de Bem Patrimonial, Planejamento de Projetos de Assistência Técnica Científica, Química, Auditoria de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional.

**FERNANDA QUITÉRIA ARRAES PIMENTEL** Acadêmica de Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará. Cursos de Inglês e Microsoft Excel. Monitora do Laboratório de Engenharia de Produção. Artigos de previsão de demanda e de engenharia de métodos publicados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção, de pesquisa operacional no Simpósio Nacional de Engenharia de Produção e de análise estratégica no Encontro Paraense de Engenharia de Produção.

**FERNANDO GONTIJO BERNARDES JÚNIOR** Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2005), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Minas Gerais (2011) e é doutorando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Minas Gerais. Possui experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em controle e automação, atuando principalmente nos seguintes temas: projetos de automação industrial, controle de processos, siderurgia, hidroelétricas, otimização, decisão multicritério, planejamento e gestão de instituições de ensino. Possui experiência internacional tendo trabalhado no startup e comissionamento da hidroelétrica de El Cajon - México e no desenvolvimento de rolamentos eletromagnéticos na FERL - Eslovênia.

**FRANCISCO JOCIVAN CARNEIRO COSTA JÚNIOR** Graduando em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, com foco em ferramentas de Qualidade, Business Intelligence e Melhoria de Processos. Tem experiência na aplicação ferramentas da qualidade, Lean Manufacturing, Simulação e Otimização de processos. Artigos aprovados e apresentados em congressos como o ENEGEP e o SIMPEP.

**FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR** Engenheiro de produção com ênfase em software formado pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), com mestrado e doutorado em Engenharia de Produção pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Trabalhou em projetos acadêmicos e de consultoria nas áreas de gestão da produção, gestão da qualidade, gestão de resíduos e gestão de fornecimento. Publicou dezenas de artigos em eventos científicos e periódicos nacionais e internacionais. Atualmente pesquisa o uso de métodos de tomada de decisão multicritério e de inteligência artificial no apoio a problemas da área de gestão de operações e é professor e coordenador do curso de Engenharia de Produção e Qualidade do Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé (UNIFEG).

**GABRIEL CARDINALI** Graduando em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira – MG, participou de projetos de extensão, dentre eles, o projeto denominado “Identificação de gargalos em linha produtiva”, onde atuou no Mapeamento do Processo e criação do modelo de simulação, com a ferramenta ProModel, originando-se, desse projeto, um bom número de trabalhos acadêmicos, apresentados nos principais eventos de Engenharia de Produção do País, como ENEGEP e SIMPEP. Tem afinidade com temas relacionados a *Lean Six Sigma*, *Green* e *Black-Belt* e *Lean Manufacturing*. Atualmente é estagiário da Coca-Cola Andina Brasil. gabu.cardinali@hotmail.com

**GABRIEL SILVA PINA** Estudante, cursando Ensino Superior de graduação em Engenharia de Produção, 7º semestre, na Universidade do Estado do Pará. Inglês Avançado. Experiência em consultoria na Holística - Empresa Júnior de Consultoria da UEPA. Atualmente, exerce o cargo de Estagiário na Oi Telecomunicações S.A

**GABRIELA MAUÉS DE SOUZA MARTINS** Graduanda em Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará (UEPA), cursando o último ano. Voluntária no Núcleo Integrado de Logística e Operações da UEPA e gerente de marketing na Holística, empresa júnior de consultoria da UEPA. Autora de artigos em anais de eventos como ENEGEP, SIMPEP E CONBREPRO. E-mail: gabrielamartins66@hotmail.com

**HAILTON BARRETO MORAIS** Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Atualmente auxilia na gestão de empreendimentos familiares. Como também, dedica-se a pesquisas para o desenvolvendo do TCC na Área de Arranjo Físico Industrial.

**HENRIQUE STEINHERZ HIPPERT** Obteve o título de Doutor em Engenharia pela PUC-Rio, na área de Métodos de Apoio à Decisão, em 2001. É atualmente Professor Associado na Universidade Federal de Juiz de Fora, onde leciona disciplinas relacionadas à Estatística, Séries Temporais e Inteligência Computacional. Principais áreas de pesquisa: desenvolvimento de métodos de previsão utilizando modelos lineares e técnicas de inteligência computacional.

**HERICK FERNANDO MORALLES** Possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2007) e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (2012). Tem experiência na área de economia, com ênfase em métodos e modelos matemáticos, econométricos e estatísticos, atuando principalmente nos seguintes temas: Econometria, Econometria espacial, Economia regional e Desenvolvimento socioeconômico, Inovação e Gestão de risco financeiro via modelo VaR (*Value-at-Risk*).

**HUDSON HÜBNER DE SOUSA** Engenheiro de Produção, formado pela Faculdade SENAI CETIQT. Durante 16 anos atuou como empreendedor no setor de Comércio Varejista. Após esse período, atuou nas áreas de Suprimentos, Engenharia de Processos e Planejamento de Negócios no Parque Gráfico do Jornal O Globo e com Supply Chain na empresa espanhola de perfumes Puig. Atualmente, atua como Analista de Produtos na multinacional americana de Tecnologia Equinix e cursa Especialização em Gestão de Operações e Serviços na UFRJ. Tem artigos publicados em eventos nacionais como o Simpósio de Engenharia de Produção (SIMEPRO) e Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP) e internacionais como Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).

**ISNARD THOMAS MARTINS** Doutor em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Mestre em Design pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e graduação em Economia pela Universidade Gama Filho. Pós-Graduação em Marketing pelo IAG, PUC-Rio. Atualmente é coordenador de Jogos de Empresas EAD da Universidade Estácio de Sá e professor pesquisador da Universidade Estácio de Sá. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Engenharia de Produção e Segurança Pública atuando principalmente nos seguintes temas: Administração, Design, Reconhecimento Facial, automação, ergonomia e ergonomia na aviação.

**JÉFFERSON JESUS DE ARAUJO** Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro - BA. Tem interesse nas áreas de Decisão Multicritério, Planejamento Estratégico, Simulação de Processos Produtivos, Controle Estatístico, Logística, Planejamento e Controle da Produção, *Lean HealthCare*, Gestão de Projetos, tanto atuando, como desenvolvendo projetos. Atualmente é estagiário da Unidade de Planejamento do

Hospital de Ensino Doutor Washington Antônio de Barros / HU-UNIVASF/EBSERH, atuando na área de Planejamento Estratégico e na Implantação do *Lean HealthCare*.

**JESSÉ ANDRADE DIAS** Técnico em Informática pela Faculdade integrada Ipiranga. Acadêmico de Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará. Atualmente estagiário da empresa Natura cosméticos ECOPARQUE. Inglês intermediário. Experiência em programação em Python, Java, Visual Basic. Conhecimento em softwares como AutoCAD, ArcGIS, CorelDraw, R, entre outros.

**JOÃO PAULO AMORIM DE SOUZA** Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro - BA. Tem interesse nas áreas de planejamento e controle da produção, simulação de processos produtivos, gestão de projeto e logística. Nível intermediário de inglês e espanhol. Atualmente é estagiário da Quick sorvetes, atuando na área de planejamento e controle da produção.

**JONATHAN COSME RAMOS** Graduando em Engenharia de Produção pelo SENAI CETIQT. Atualmente é estagiário na empresa Stratege Consultoria.

**KATHLEEN KELLY DE PAULA ARAUJO FERREIRA** Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Formada em Técnica de Logística pela Faculdades Integradas Ipiranga (2014), com bolsa no curso pelo SISUTEC. Atualmente, trabalha no Comando Geral da Polícia Militar, como Voluntária Civil na função de auxiliar da 4ª seção da PM 4 - área de Política e Planejamento de Logística da Polícia Militar. E, concentra-se no desenvolvimento do TCC na área de Logística Reversa.

**KELLY ALONSO COSTA** É, desde março de 2010, professora e pesquisadora do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Integra o Grupo de Pesquisa Operações e Sistemas de Gestão Industrial. Defendeu a Tese de Doutorado em Engenharia Civil na área de Avaliação do Ciclo de Vida pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil, em agosto de 2012; Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF); e graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense. Atualmente suas pesquisas se concentram nas áreas de Avaliação do Ciclo de Vida, Sistemas de Informação e Controle Estatístico de Processo.

**LUANA NEVES LEITE** Graduanda em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira – MG, participou de projetos de extensão, dentre eles, o projeto denominado “Identificação de gargalos em linha produtiva”, atuando na aplicação da Metodologia de Planejamento de Experimentos para a identificação de layout ideal, originando-se, desse projeto, um bom número de trabalhos acadêmicos, apresentados nos principais eventos de Engenharia de Produção do País, como ENEGEP e SIMPEP. Tem afinidade com temas relacionados a *Lean Six*

*Sigma, Green e Black-Belt e Lean Manufacturing.* Atualmente é estagiária da International Paper. luananevesleite@gmail.com

**LUCAS DI PAULA GAMA DOS SANTOS** Graduando em Engenharia de Produção pelo Universidade Federal do Vale do São Francisco, *Campus Juazeiro-BA* (2012). Tem interesse nas áreas de planejamento energético, planejamento e controle da produção, higiene e segurança do trabalho, melhoria de processos produtivos, logística, gestão de serviços, *Lean Manufacturing*, planejamento Estratégico, *Marketing* e gestão de projetos, tanto atuando, quanto desenvolvendo projetos. Busca aplicação destas áreas no setor energético, com foco em energias renováveis, bem como a gestão ambiental e ao agronegócio.

**LUCAS ERICK PEREIRA DE LIMA** Estudante, cursando Ensino Superior de graduação em Engenharia de Produção, 7° semestre, na Universidade do Estado do Pará. Inglês Avançado. Experiência em consultoria na Holística - Empresa Júnior de Consultoria da UEPA.

**MARCELLE ZACARIAS SILVA TOLENTINO BEZERRA** Graduação em Engenharia de Produção pela PUCPR - Campus Londrina (2009), MBA em Lean Manufacturing pelo SENAI/SC - Londrina (2012) e Mestrado em Engenharia de Produção UFPR (2017). Experiência na área de engenharia de produto e processos e na área de qualidade, estagiária na Amcor Flexibles (Cambé) por 1 ano nos setores de qualidade e processos com implantação de Lean Manufacturing e suas ferramentas, trainee na Cambuci - Penalty (São Paulo) no setor de marketing externo por 3 meses, responsável técnica do setor de engenharia de processos e produto por 3 anos na Sonhart Confecções Ltda (Londrina), supervisora de produto e qualidade por 1 ano na AFK Confecções (Londrina) e tutora eletrônica para orientação de TCC de Engenharia de Produção do grupo Kroton por 1 ano (Londrina). Atualmente é docente e coordenadora do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Pitágoras Londrina.

**MARCELO GEHELE CLETO** Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná (1985), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996), tendo permanecido por 1 ano na University of Texas at Austin / USA (doutorado sandwich). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: produção enxuta, trabalho em grupo, internacionalização de empresas, gestão de projetos e logística.

**MARCOS ANTONIO MAIA DE OLIVEIRA** Professor Universitário e Consultor na área de Logística e Transportes. Membro Fundador do Grupo de Excelência Cadeias

Produtivas e Logística Empresarial do CRA-SP/Conselho Regional de Administração de São Paulo/SP. Avaliador de Cursos Superiores de Graduação, Graduação Tecnológica e de Instituições de Educação Superior, pelo INEP/MEC. Consultor Especialista do Conselho Estadual de Educação de São Paulo (CEE/SP). Doutor e Mestre em Administração. Graduação em Administração, em Ciências Econômicas e Logística, Formação Pedagógica em Matemática e Pós-Graduação em Logística e Gestão Pública. <http://lattes.cnpq.br/8808755400489060>

**MARCOS DOS SANTOS** Especialista em Instrumentação Matemática pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Concluiu em 2013 seu mestrado em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Atualmente, encontra-se em processo de doutoramento em Engenharia de Produção pela UFF. É autor de vários artigos em periódicos e eventos nacionais e internacionais. Oficial de carreira com 23 anos de serviço na Marinha do Brasil, desempenha as funções de Gerente de Projetos e Pesquisador no Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV). Além disso, é professor do curso de Engenharia de Produção do SENAI CETIQT, lecionando as disciplinas de Logística e Distribuição, Gestão da Qualidade e Pesquisa Operacional.

**MARCOS JOSÉ CORRÊA BUENO** Graduado em Ciências Econômicas e Mestre em Engenharia da produção, leciona a mais de 12 anos em cursos de Administração e Logística, em instituições como Centro Universitário Senac e Fatec Guarulhos. Trabalhou por mais de 25 anos na área de Suprimentos em empresas como papel Simão, Grupo Vicunha e Credicard.

**MARIANE CRISTINA BORGES DOWSLEY GROSSI** Bacharelanda em Engenharia de Produção na instituição SENAI CETIQT. Exerceu seu período de aprendizagem na empresa Palmetal Metalúrgica LTDA, atuando no setor de suprimento e posteriormente no setor financeiro. Atualmente é parte integrante da Coordenação de Administração Funcional da Fundação Saúde do Estado do Rio de Janeiro.

**MATHEUS LANI REGATTIERI ARRAIS** Formado em Ciência da Computação pela Universidade Vila Velha (2014), pós-graduado em Gestão Estratégica de TI pela Universidade Estácio de Sá no Rio de Janeiro (2015) e mestrando em Pesquisa Operacional e Inteligência Artificial pela Universidade Cândido Mendes. Atualmente trabalha como engenheiro de redes e sistemas em Vitória-ES.

**MILTON ERTHAL JUNIOR** Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (1995), mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (1999) e doutorado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2004). Atualmente é professor do Instituto Federal Fluminense-campus Guarus, do Centro de Pesquisa da Universidade Candido Mendes-Campos e colaborador da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Tem experiência na área de Pesquisa Operacional, com ênfase na área de Auxílio multicritério à Decisão e Gestão Ambiental.

Experiência em Entomologia, atuando especificamente em: Bioquímica, Ecologia, Comportamento e Controle biológico de insetos, usando formigas cortadeiras como modelo.

**NAIJELA JANAINA DA COSTA** Doutoranda pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar atuando na linha de pesquisa de Gestão de Tecnologia e Inovação por meio das ferramentas de Análise Envoltória de Dados, Econometria e Redes Neurais Artificiais. Possui Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos e graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (2013).

**NAJA BRANDÃO SANTANA** Possui graduação em Administração de Empresas pelo Instituto Federal da Bahia (2004), graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Federal da Bahia (2004), mestrado (2008) e doutorado (2012) em Engenharia de Produção pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP) na área de Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento, tendo realizado estágio de quatro meses na Universidade de Salamanca (Espanha) no ano de 2011. No ano de 2016 finalizou o pós-doutorado no Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção na EESC/USP. Atualmente é Professora Adjunta da área de economia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Lagoa do Sino.

**NATANAEEL CARDOSO DE MACEDO** Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro - BA. Tem interesse nas áreas de Melhoria dos Processos Produtivos, Decisão Multicritério, Planejamento Estratégico, Simulação de Processos Produtivos, Controle Estatístico, Logística, Planejamento e Controle da Produção, *Lean manufacturing*, Gestão de Projetos e Marketing. Realizou um estágio no Núcleo de Inovação Tecnológica da UNIVASF, realizando trabalhos como, controle das patentes e registro de computadores, aplicação de ferramentas da qualidade, realização de um plano de marketing para divulgação do setor. Atualmente faz parte de uma equipe de projeto para a melhoria de *layout* em uma fábrica de sorvete na cidade de Petrolina-Pe.

**NAYARA GÓES REIS** Graduanda do 5º ano de Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará - UEPA. Foi estagiária no Fundo de Saúde da Polícia Militar do Pará - FUNSAU, no setor de auditoria, em 2014. Realizou trabalho voluntário na Association Internationale des Etudiants en Sciences Economiques et Commerciales - AIESEC, como gerente de projeto, em 2015, no mesmo ano também foi bolsista de Iniciação Científica PIBITI com enfoque em critérios para a caracterização de um sistema produto-serviço, realizou intercâmbio social com um projeto educacional para crianças em Bahía Blanca, Argentina, em 2016. Atualmente, é estagiária do setor de logística na empresa Eletrobrás Eletronorte.

**NELSON HEIN** Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Graduado em Matemática pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Professor do Programa de Pós Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: [hein@furb.br](mailto:hein@furb.br)

**NEMESIO RODRIGUES CAPOCCI** Graduado em Logística pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2016. Experiência: Redebras (Auxiliar de expedição - 07/2015 até 11/2016). Produção Científica:

**PAULO SÉRGIO ALMEIDA DOS SANTOS** Doutorando em Ciências Contábeis pela Universidade de Brasília (UNB). Mestre em Ciências Contábeis pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Graduado em Ciências Contábeis pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Professor do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: [paulosergio.almeidasantos@gmail.com](mailto:paulosergio.almeidasantos@gmail.com)

**RAFAEL PEREIRA GUERREIRO** Estudante do 7º semestre de Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará, estagiário na área de Gestão de Serviço e com experiência na área de Logística e Manufatura enxuta. Artigos de Metodologia da Pesquisa e Programação e Controle da Produção, publicados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção, e Pesquisa Operacional, publicado no Simpósio Nacional de Engenharia de Produção.

**RAFHAEL SOUZA E SILVA** Engenheiro de Produção Mecânica formado pela Universidade Federal do Ceará e pós-graduando de gerenciamento de processos e projetos na Faculdade Farias Brito. Tem experiência em consultorias na área de gestão da qualidade, análises e métodos de trabalho, balanceamento de linhas de montagem, gestão de estoques e análise de layout.

**REINALDO ALVES DE SÁ FERREIRA JUNIOR** Graduando o curso de Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará, ex voluntário do Núcleo Integrado de Logística e Operações, representante de vendas de intercâmbios corporativos da AIESEC em Belém, ex integrante da equipe de planejamento da empresa de consultoria VINDI Ideias e Inovação, e atual assistente de vendas da Estrela do Norte Distribuidora. Autor de artigos aprovados no SIMPEP e ENEGEP. E-mail: [reinaldo\\_jr20@hotmail.com](mailto:reinaldo_jr20@hotmail.com)

**RENATO SANTIAGO QUINTAL** Doutorando em Ambiente e Desenvolvimento (UNIVATES); Mestre em Ciências Contábeis (Faculdade de Administração e Finanças da Universidade do Estado do Rio de Janeiro); Especialista em Comércio Exterior (Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro); Especialista em Gerenciamento de Projetos (Fundação Getúlio Vargas); Bacharel em Administração

(Universidade Cândido Mendes) e em Ciências Navais, com Habilitação em Administração de Sistemas (Escola Naval). Atualmente é Oficial Superior da Ativa do Corpo de Intendentes da Marinha do Brasil e desempenha a função de Chefe do Departamento de Sistemas de Pagamento da Pagadoria de Pessoal da Marinha.

**RICARDO MARTINS DOS SANTOS** Engenheiro de produção e qualidade formado pelo Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé (UNIFEG). Trabalha há 4 anos na área de planejamento e controle da produção. Durante a graduação, participou do grupo de Modelagem Matemática Aplicada à Engenharia de Produção (MAPRO), no qual desenvolveu um projeto que resultou na publicação do presente trabalho.

**ROBERT ROMANO MONTEIRO** Estudante, cursando Ensino Superior de graduação em Engenharia de Produção, 7º semestre, na Universidade do Estado do Pará. Inglês Avançado. Experiência em consultoria na Holística - Empresa Júnior de Consultoria da UEPA. Atualmente, exerce o cargo de Estagiário na Tim Celular S.A.

**ROBERTA GUEDES GUILHON CRUZ** Estudante do 7º de engenharia de produção na Universidade do Estado do Pará. Cursos de inglês, espanhol e Microsoft Excel. Artigos de previsão de demanda e programação linear publicados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção, de Engenharia de Métodos no Encontro Paraense de Engenharia de produção e de Pesquisa Operacional no Simpósio Nacional de Engenharia de Produção.

**RODNEY REZENDE SALDANHA** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1980), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1983) e Doutorado em Engenharia Elétrica - Institut National Polytechnique de Grenoble (1992). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Magnéticos, Eletromagnetismo, atuando principalmente nos seguintes temas: método de elementos finitos, cálculo de campos eletromagnéticos, métodos de programação matemática, métodos numéricos, otimização de forma em eletromagnetismo e otimização em sistemas elétricos de energia

**RODRIGO DE CARVALHO** Possui graduação em Sistemas de Informação pela Universidade Federal de Ouro Preto (2010) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2012). Atualmente é aluno de doutorado do programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. Tem experiência na área de Sistemas de Informação como programador e analista de sistemas. Possui formação com ênfase em Otimização, atuando principalmente nos seguintes temas: métodos heurísticos e otimização combinatória.

**RUBENS AGUIAR WALKER** Mestrado em Engenharia de Produção e Graduação em Engenharia de Produção em Mecânica. Experiência Internacional com ótimas referencias. Atuação em grandes empresas, como a Volkswagen, no setor de produção. Experiência em logística na distribuição de produtos. Implementação de treinamento e auditoria. Responsável por vendas e marketing em outras Organizações. Docente no curso de Engenharia de Produção com desenvolvimento da fábrica de brinquedos.

**SAINT CLAIR LOBATO PORTUGAL** Graduando em Engenharia de produção UEPA (Universidade do Estado do Pará). Atualmente dedica-se à pesquisa na área de segurança de trabalho a fim de elaborar seu TCC.

**SAMUEL BELINI DEFILIPPO** Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2004) e mestrado em Modelagem Computacional pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2008). Atualmente é analista de sistemas - Centralx.com e doutorando em Modelagem Computacional pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Linguagens de Programação, atuando principalmente nos seguintes temas: redes neurais, máquinas de vetores suportes e métodos de previsão.

**SONIA ISOLDI MARTY GAMA MÜLLER** Possui Bacharelado em Estatística pela Universidade Federal do Paraná (1979), mestrado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (1997) e doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia pela Universidade Federal do Paraná (2007). Experiência como professor adjunto IV da Universidade Federal do Paraná no Departamento de Estatística. Atua principalmente nos seguintes temas: séries temporais, análise multivariada, avaliação de fornecedores, redes neurais e teoria da resposta ao item.

**TALLES ORSAY DUTRA SODRÉ** Graduando do 4º ano do curso de Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará - UEPA. Ex-intercambista CAPES do programa “Ciências sem Fronteiras”, cursando “Business and Management durante 1 ano na Universidade Técnica de Munique - TUM, na Alemanha. Foi estagiário na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 2014 e voluntário no Centro Acadêmico de Engenharia de Produção entre 2013 e 2014. Atualmente é estagiário de manufatura na empresa Natura Cosméticos S.A.

**TÁRCIS FERREIRA SILVA** Graduando em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira– MG, esteve por 3 anos no projeto Empresa Júnior, atuando como consultor júnior na área de gestão da produção e no departamento financeiro da própria empresa. Vem desenvolvendo pesquisas em análise e otimização de processos produtivos, atuando efetivamente no projeto denominado “Identificação de gargalos em linha produtiva”, utilizando mapeamento de processos, modelagem e simulação. Em 2016, ingressou como estagiário na

empresa Alcoa Alumínio S/A e, atualmente, trabalha na tesouraria da Arconic Indústria e Comércio de Metais Ltda. [tarcistfs@gmail.com](mailto:tarcistfs@gmail.com)

**THAIS APARECIDA TARDIVO** Graduando em Logística na Faculdade de Tecnologia de Guarulhos, 2017. Experiência: Aché Laboratórios Farmacêuticos SA (Assistente Administrativo Jr – Atual).

**WILLIAN HENSLER SANTOS** Graduando em Logística na Faculdade de Tecnologia de Guarulhos, 2017. Experiência: Flatel Logística (Assistente de Logística – Atual). Cursos: Mecânica Geral (Instituto Dom Bosco – 800 horas); Treinamento: SAP Foundation (MDL Consulting – 8 horas).

**YAN FILIPY MOREIRA CORREA** Graduando do 5º ano de Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará - UEPA. Em 2014, foi bolsista de iniciação científica PIBITI com foco na elaboração de indicadores para a Economia Verde do Estado do Pará. Como trabalhos voluntários, foi instrutor no Centro de Democratização da Informática (CDI) e atualmente atua como Diretor Presidente da Empresa Junior de Engenharia e Tecnologia do CNTT. Por fim, desde o Dezembro de 2015 é estagiário na Raízen Combustíveis.

**YVELYNE BIANCA IUNES SANTOS** Doutora em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pelo Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Pesquisadora nas áreas de sustentabilidade e otimização de processos produtivos. Professora dedicação exclusiva da Universidade do Estado do Pará. Membro do Comitê Científico Interno da UEPA. Autora de programas computacionais, capítulos de livros, artigos em periódicos e em anais de eventos. Membro do Grupo de Pesquisa Núcleo de Pesquisa Aplicada ao Desenvolvimento Regional (NUPAD) e do Grupo Gestão de Sistemas Logísticos e de Sistemas Produtivos para o Desenvolvimento Regional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93243-25-7

