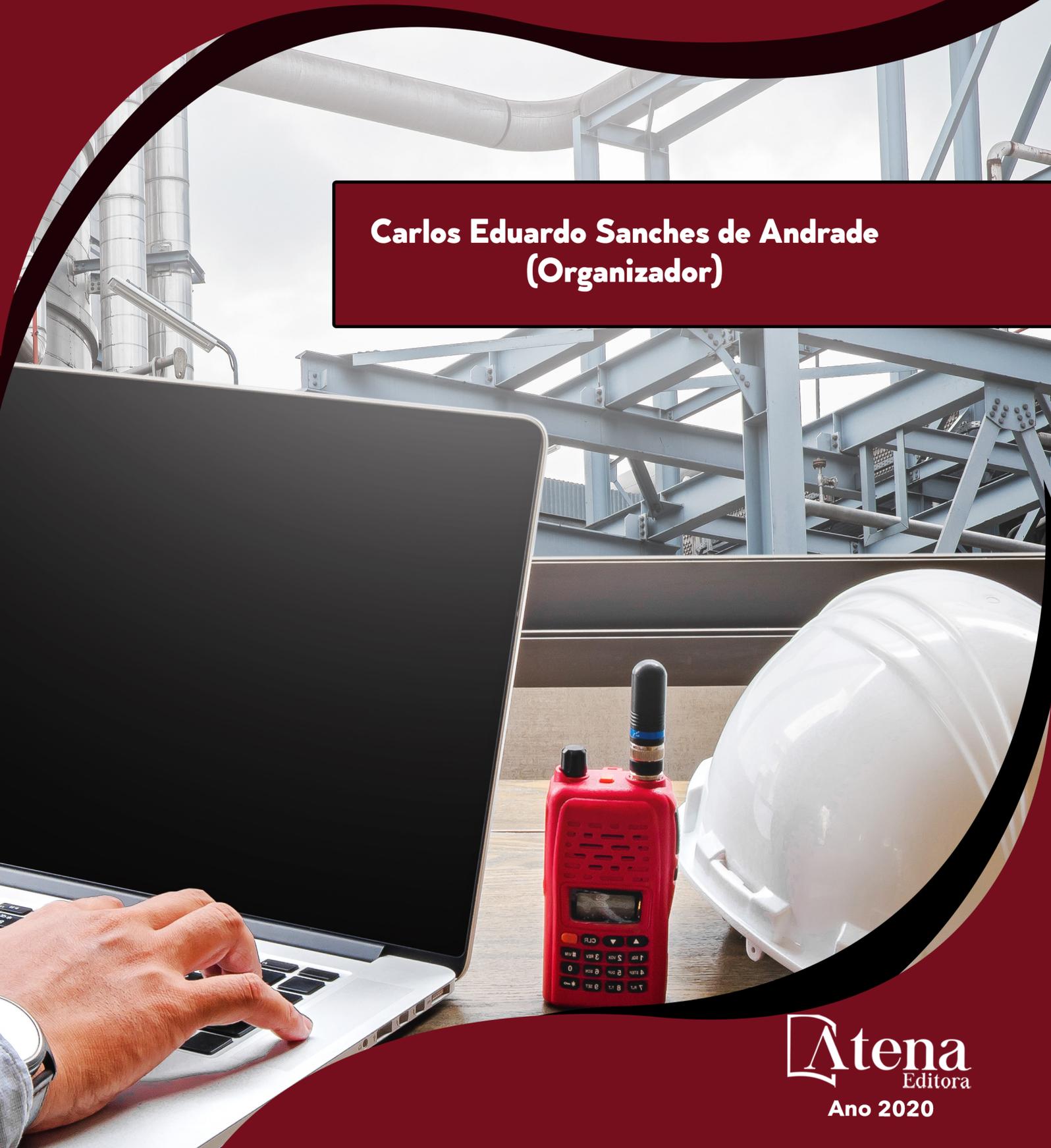


# Os Desafios da Engenharia de Produção frente às Demandas Contemporâneas

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade  
(Organizador)**



# Os Desafios da Engenharia de Produção frente às Demandas Contemporâneas

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade  
(Organizador)**



**Atena**  
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Natália Sandrini

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

D441 Os desafios da engenharia de produção frente às demandas contemporâneas [recurso eletrônico] / Organizador Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-913-4

DOI 10.22533/at.ed.134201301

1. Engenharia de produção – Pesquisa – Brasil. 2. Gestão de qualidade. I. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Os Desafios da Engenharia de Produção frente às Demandas Contemporâneas” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 22 capítulos, estudos sobre diversos aspectos que mostram como a Engenharia de Produção pode atender as novas demandas de um mundo globalizado e competitivo.

O tema é de grande relevância, pois a Engenharia de Produção tem uma abrangência muito grande, envolvendo aspectos técnicos, administrativos e de recursos humanos.

A evolução da sociedade e da tecnologia no mundo atual impõe novos desafios, tornando urgente a busca de soluções adequadas a esse novo ambiente. O desenvolvimento econômico das cidades e a qualidade de vida das pessoas dependem da eficiência e eficácia dos processos produtivos, objeto dos estudos realizados na Engenharia de Produção. No contexto brasileiro, com tantas carências, mas que procura novos caminhos para seu crescimento econômico, a Engenharia de Produção pode ser um elemento importante para enfrentar esses novos desafios.

Os trabalhos compilados nessa obra abrangem diferentes perspectivas da Engenharia de Produção.

Uma delas é a produção de bens, envolvendo linhas de montagem e cadeias de suprimento. Trabalhos teóricos e práticos, apresentando estudos de caso, compõem uma parte dessa obra.

Outra perspectiva diz respeito à produção de serviços, como sistemas de saúde e outros. Sistemas de gestão são ferramentas importantes na produção de serviços, e trabalhos abordando esse tema compõem outra parte dessa obra.

Finalmente a perspectiva de recursos humanos se aplica tanto à produção de bens quanto à produção de serviços. O elemento humano continua imprescindível apesar da evolução tecnológica cada vez mais automatizar os processos. Assim estudos nessa perspectiva finalizam a obra.

Agradecemos aos autores dos diversos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
TI & LOGÍSTICA: DE 356 A.C COM ALEXANDRE MAGNO AO MUNDO CONTEMPORÂNEO, CONTRIBUINDO COM A CADEIA DE SUPRIMENTOS DAS EMPRESAS	
Clara R. Gaby Reis Adriano C. M. Rosa Carlos A. M. Gyori Karina Buttignon	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UM REGENERADOR MECÂNICO PARA REUSO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA DE SÃO PAULO	
Carlos Renato Montel Welleson Feitosa Gazel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
APLICAÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM	
Rogério da Silva Wu Xiao Bing	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM UMA EMPRESA DE CADEIRAS PARA ESCRITÓRIO	
Higor Suzek Wu Xiao Bing	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN	
Felipe de Campos Martins Alexandre Tadeu Simon Renan Stenico de Campos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
ESTUDO DAS PRIORIDADES COMPETITIVAS EM GRUPOS ESTRATÉGICOS DE FÁBRICAS DE AUTOPEÇAS: UM ESTUDO DE CASO	
Haroldo Lhou Hasegawa Márcio Dimas Ramos Orlando Roque da Silva Diogo Luiz Faustino Délvio Venanzi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>75</b>
ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO REAPROVEITAMENTO DE PALETES DE MADEIRA	
Douglas Aparecido Queiroz de Souza	
Filipe Souza de Oliveira	
José Eduardo Andreato	
Lucas da Cruz Barreto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE LAVRA COM ALOCAÇÃO DINÂMICA DE CAMINHÕES PELA META-HEURÍSTICA DE COLÔNIA DE FORMIGAS	
Victor de Freitas Arruda	
Diego Leal Maia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>108</b>
VIABILIDADE DE ALTERAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA NA CONFECÇÃO DE MODELOS EM POLIURETANO	
Rovane Pereira Picinini	
Anderson Hoose	
Nilo Alberto Scheidmandel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1342013019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>124</b>
LEAN SEIS SIGMA: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE TORREFAÇÃO DE CAFÉ	
José Luís Alves De Lima	
Mário e Souza Nogueira Neto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>135</b>
A IMPORTÂNCIA DAS INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS NO CONTEXTO DA COMPETITIVIDADE E INOVAÇÃO NO BRASIL	
Christiane Madalena Matheus de Alcantara	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>143</b>
ABORDAGEM DA NR-28 COMO FERRAMENTA DE GESTÃO EM SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO	
Alessandro Aguilera Silva	
Acsa Pires de Souza	
André Grecco Carvalho	
Angelo Marcos Clemente Kluska Vieira	
Juander Antônio de Oliveira Souza	
Leandro Valkinir Kester	
Marcelo Pereira Garrido Neves	
Priscilla Lidia Salierno	
Skarlaty Ohara de Jesus Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130112</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>157</b>
ANÁLISE DAS CONDIÇÕES HIGIÊNICO-SANITÁRIAS DE LOCAIS DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DOS PATOS	
Maria Clara Rocha Leite Maria Clara Leal de Sousa Samuel Pinheiro Gonçalves Andreza Fernandes de Sousa Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130113</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>163</b>
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA – SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO (SMD)	
Sandro Luiz Zalewski Porto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130114</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>176</b>
O SISTEMA DE INDICADORES DE DESEMPENHO IMPLANTADO EM UMA CONCESSIONÁRIA DE TRANSPORTES	
Carlos Eduardo Sanches de Andrade Márcio de Almeida D’Agosto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130115</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>191</b>
ELABORAÇÃO DE CASOS EM GESTÃO DE OPERAÇÕES EM SAÚDE PARA ENSINO NA GRADUAÇÃO UTILIZANDO DESIGN THINKING	
Daiane da Silva Lima Viller Contarato Soares Ricardo Miyashita Dércio Santiago Júnior Diego Cesar Cavalcanti de Andrade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130116</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>205</b>
FUNCIONALIDADE, ACESSIBILIDADE, CONFORTO TÁTIL E ANTROPODINÂMICO: DESEMPENHO EM HABITAÇÕES RESIDENCIAIS	
Rayana Carolina Conterno Heloiza Aparecida Piassa Benetti Ana Paula Penso Arendt	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130117</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>221</b>
GLOBAL REPORTING INITIATIVE VERSUS LEGISLAÇÃO AMBIENTAL: AS EVIDENCIAÇÕES DAS AÇÕES AMBIENTAIS DA EMPRESA SAMARCO S.A	
Ana Elisa Teixeira de Moura Denise Carneiro dos Reis Bernardo Fabrício Molica de Mendonça Cássia Sebastiana de Lima Resende	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13420130118</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>234</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DO LAYOUT E PERDAS DE PRODUÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UM ESTACIONAMENTO DA CIDADE DO RECIFE – PE	
Lucas Rodrigues Cavalcanti Amanda de Moraes Alves Figueira	

Cynthia Jordão de Oliveira Santos  
Nailson Diniz dos Santos  
Ana Maria Xavier de Freitas Araújo  
Carlos Fernando Gomes do Nascimento  
Maria Angélica Veiga da Silva  
Paula Gabriele Vieira Pedrosa  
Roberto Revoredo de Almeida Filho  
Sabrina Santiago Oliveira  
Vanessa Kelly Freitas de Arruda  
Vanessa Santana Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.13420130119**

**CAPÍTULO 20 ..... 247**

CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO TEÓRICO DE MOTIVAÇÃO E SIGNIFICADO DO TRABALHO

Rosemeire Colalillo Navajas  
Eric David Cohen

**DOI 10.22533/at.ed.13420130120**

**CAPÍTULO 21 ..... 260**

DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO PARA TREINAMENTO DE HABILIDADES EM GESTÃO DA SAÚDE

Danilo Fontenele Wimmer  
Ruan dos Santos Barreto  
Ricardo Miyashita  
Diego Cesar Cavalcanti de Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.13420130121**

**CAPÍTULO 22 ..... 273**

ESTUDO DO MODELO TEÓRICO DE COMPORTAMENTO ÉTICO ORGANIZACIONAL

Eric David Cohen

**DOI 10.22533/at.ed.13420130122**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 284**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 285**

## MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE LAVRA COM ALOCAÇÃO DINÂMICA DE CAMINHÕES PELA META-HEURÍSTICA DE COLÔNIA DE FORMIGAS

Data de aceite: 09/12/2018

**Victor de Freitas Arruda**  
**Diego Leal Maia**

**RESUMO:** Esse trabalho aborda o problema de planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões no contexto de minas a céu aberto (POLAD). Na modelagem do problema foram retratadas as principais restrições identificadas na literatura especializada bem como foi proposta uma adaptação no algoritmo de colônia de formigas para resolução do POLAD.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pesquisa Operacional, Ant Algorithms, Planejamento Operacional de Minas a céu aberto.

### 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Rodrigues (2006), decisões que são relacionadas ao processo de mineração a céu aberto devem ser tomadas com base em critérios científicos bem definidos. Afinal, a produção contempla diversas atividades complexas e um alto investimento de máquinas e pessoal. Assim é importante

fazer o planejamento das atividades a serem executadas na mina ao longo do tempo. Nesse plano deve conter informações acerca da alocação dos diversos equipamentos (equipamentos de carga e caminhões), produção de cada equipamento, previsões acerca da produção e atendimento dos requisitos de qualidade. Além de outros fatores o plano deve obedecer a critérios inerentes ao cenário da mina e garantir condições de segurança e manutenção da vida útil da mina (AMARAL, 2008).

A busca por aumento de produtividade e redução de custos sempre impulsionou pesquisas em mineração e, dado as crises que o Brasil vem atravessando nos últimos anos, a otimização de processos operacionais como o da produção em minas a céu aberto se tornaram cada vez mais necessários para a manutenção do empreendimento no mercado (BERNARDI, 2015).

Visando a melhoria no processo de produção, desde 1965 técnicas de pesquisa operacional são utilizadas no contexto da mineração, quando pesquisadores publicaram o algoritmo de programação dinâmica de Lerchs-Grossmann para obtenção da cava final ótima (HUSTRULID; KUČHTA, 1995).

Em comum com o POLAD, esses problemas apresentam grande escala quando se consideram instâncias reais e são considerados NP-difíceis, o que dificulta a sua solução por métodos exatos (AMARAL; PINTO, 2010).

Diversas técnicas foram propostas para resolver esta classe de problema, sendo que a abordagem mais utilizada é baseada em métodos heurísticos. Este trabalho tem o objetivo de solucionar o POLAD utilizando-se de conceitos que são baseados na meta-heurística de colônia de formigas.

O restante desse trabalho está estruturado como segue. A seção 2 descreve a fundamentação teórica, onde são abordados o POLAD e a meta-heurística de colônia de formigas. A metodologia utilizada para tratar o problema é apresentada na seção 3. Na seção 4 são apresentados os resultados e os cenários utilizados. Por fim são apresentadas as conclusões.

## **2 | REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O problema de planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de veículos**

As mineradoras realizam suas atividades em minas subterrâneas ou a céu aberto. Nas minas a céu aberto, as atividades de carregamento e transporte ocorrem da seguinte maneira: os caminhões se deslocam até as frentes de lavra (locais de extração de minério ou estéril numa mina) onde opera um equipamento de carga que é compatível com o veículo. Os caminhões são carregados pelos equipamentos de carga e em seguida se deslocam para os pontos de descarga, onde depositam o material extraído. Os pontos de descarga de material se classificam em: Pilhas de estéril onde fica depositado o estéril retirado das frentes; Britador para onde é destinado o minério retirado das frentes de minério (RODRIGUES, 2006).

A figura 1 ilustra uma mina a céu aberto onde pode-se observar 3(três) frentes de lavra, sendo 2(duas) frentes de minério de 1(uma) de estéril, 1(um) ponto de descarregamento de minério (britador) e outro onde é descarregado o estéril (pilha de estéril).

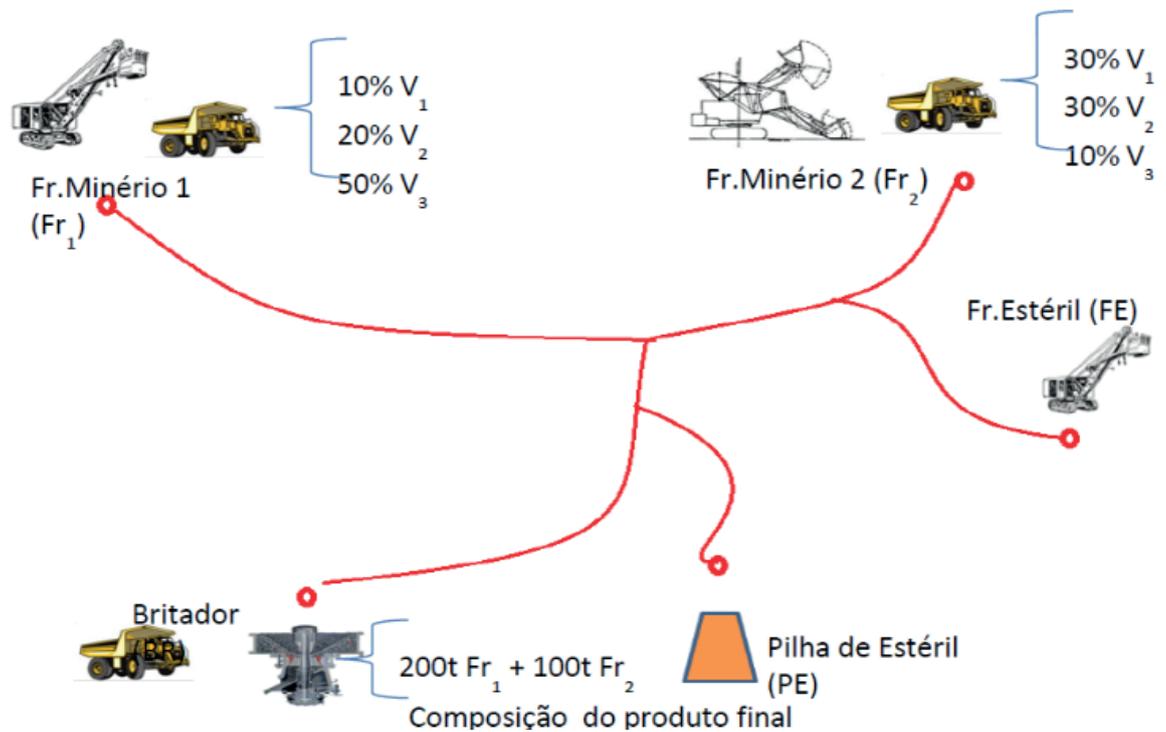


Figura 1 – Ilustração dos componentes principais envolvidos na operação em uma mina a céu aberto

Fonte: Mendes (2013)

Coelho *et al.* (2011) relata que no POLAD o que se deseja encontrar é a associação entre os equipamentos de carga e frentes de lavra (minério e estéril), para determinar a taxa de extração de material em cada uma das frentes de lavra, além de associar caminhões de forma que as metas de produção e qualidade sejam satisfeitas.

Segundo Coelho (2012) ao fazer a associação entre os equipamentos de carga e caminhões é necessário verificar a compatibilidade entre os equipamentos, alocar dinamicamente os caminhões e determinar o número de viagens a serem realizadas por cada veículo em cada frente de lavra.

Para resolução do POLAD é comum otimização de uma função mono ou multiobjetivo nas quais os objetivos principais, encontrados na literatura são:

- Tamanho da frota de caminhões empregados na operação;
- Qualidade do minério produzido;
- Produção dos diversos equipamentos;
- Produção de minério.

Este trabalho considera a alocação dinâmica de caminhões, ou seja, ao final de cada viagem o caminhão pode ser deslocar para uma frente qualquer onde opera um equipamento de carga que seja compatível com o mesmo. Segundo Costa (2005) essa estratégia contribui para o aumento da produtividade da frota ou a redução

do número de equipamentos necessários para manter o mesmo nível de produção.

Para o modelo matemático do problema, que é apresentado das equações 1 a 22, temos os seguintes dados de entrada:

*O*: Conjunto de frentes de minério;  
*W*: Conjunto de frentes de estéril;  
*P*: Conjunto de frentes formado por *O* U *W*;  
*Par*: Conjunto dos parâmetros de qualidade analisados no minério;  
*S*: Conjunto de equipamentos de carga;  
*V*: Conjunto de equipamentos de transporte;  
*Pr*: Ritmo de lavra recomendado (t/h);  
*Pl*: Ritmo de lavra mínimo (t/h);  
*Pu*: Ritmo de lavra máximo (t/h);  
 $\beta^-$ : Penalidade por desvio negativo da produção;  
 $\beta^+$ : Penalidade por desvio positivo da produção;  
 $t_{ij}$ : Valor do parâmetro *j* na frente *i* (%);  
 $tr_j$ : Valor recomendado para o parâmetro *j* na mistura (%);  
 $tl_j$ : Valor mínimo admissível para o parâmetro *j* na mistura (%);  
 $tu_j$ : Valor máximo admissível para o parâmetro *j* na mistura (%);  
 $\alpha_j^-$ : Penalidade por desvio negativo para o parâmetro *j* na mistura;  
 $\alpha_j^+$ : Penalidade por desvio positivo para o parâmetro *j* na mistura;  
 $Ql_i$ : Ritmo de lavra mínimo para a frente *i* (t/h);  
 $Qu_i$ : Ritmo de lavra máximo para a frente *i* (t/h);  
*rem*: Relação estéril/minério requerida;  
 $Cl_k$ : Produção mínima do equipamento de carga *k* (t/h);  
 $Cu_k$ : Produção máxima do equipamento de carga *k* (t/h);  
*cap<sub>l</sub>*: Capacidade do caminhão *l* (t);  
 $T_{il}$ : Tempo total de ciclo do caminhão *l* na frente *i* (min);  
 $g_{lk} = \begin{cases} 1 & \text{se o caminhão } l \text{ é compatível com o equipamento de carga } k; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$   
 E as seguintes variáveis de decisão:  
 $x_i$ : Ritmo de lavra da frente *i* (t/h);  
 $y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se o equipamento de carga } k \text{ opera na frente } i; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$   
 $n_{il}$ : Número de viagens que um caminhão *l* realiza na frente *i* em uma hora;  
 $d_j^-$ : Desvio negativo do parâmetro *j* na mistura (t/h);  
 $d_j^+$ : Desvio positivo do parâmetro *j* na mistura (t/h);  
 $P^-$ : Desvio negativo do ritmo de lavra em relação ao recomendado (t/h);  
 $P^+$ : Desvio positivo do ritmo de lavra em relação ao recomendado (t/h).

$$\min \sum_{j \in Par} \alpha_j^- \beta_j^- + \sum_{j \in Par} \alpha_j^+ \beta_j^+ + \beta^- P^- + \beta^+ P^+ \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in O} (t_{ij} - tu_j) x_i \leq 0 \quad \forall j \in Par \quad (2)$$

$$\sum_{i \in O} (t_{ij} - tl_j) x_i \geq 0 \quad \forall j \in Par \quad (3)$$

$$\sum_{i \in O} (t_{ij} - tr_j) x_i + d_j^- + d_j^+ = 0 \quad \forall j \in Par \quad (4)$$

$$\sum_{i \in O} x_i - Pu \leq 0 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in O} x_i - Pl \geq 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in O} x_i - Pr + P^- - P^+ = 0 \quad (7)$$

$$x_i - Qu_i \leq 0 \quad \forall_i \in P \quad (8)$$

$$x_i - Ql_i \geq 0 \quad \forall_i \in P \quad (9)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall_i \in P \quad (10)$$

$$d_j^+, d_j^- \geq 0 \quad \forall_j \in Par \quad (11)$$

$$P^+, P^- \geq 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i \in W} x_i - rem \sum_{i \in O} x_i \geq 0 \quad (13)$$

$$\sum_{k \in S} y_{ik} \leq 1 \quad \forall_i \in P \quad (14)$$

$$\sum_{i \in P} y_{ik} \leq 1 \quad \forall_k \in S \quad (15)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall_i \in P, k \in S \quad (16)$$

$$x_i - \sum_{k \in S} Cu_k y_{ik} \leq 0 \quad \forall_i \in P \quad (17)$$

$$x_i - \sum_{k \in S} Cl_k y_{ik} \geq 0 \quad \forall_i \in P \quad (18)$$

$$n_{il} T_{il} - 60 \sum_{k \in S} y_{ik} \leq 0 \quad \forall_i \in P, l \in V, gl_k \neq 0 \quad (19)$$

$$\sum_{i \in P} n_{il} T_{il} - 60 \leq 0 \quad \forall_l \in V \quad (20)$$

$$x_i - \sum_{k \in V} n_{il} cap_l = 0 \quad \forall_i \in P \quad (21)$$

$$n_{il} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall_i \in P, l \in V \quad (22)$$

A função objetivo, na Equação (1), tem por finalidade minimizar os desvios da qualidade e produção do minério requeridos pelo cliente, assim como minimizar o número de equipamentos utilizados na produção. As Equações (2) à (22) são

referentes as restrições do problema. As Equações (2) à (4) impedem que soluções inviáveis com respeito aos limites de especificação dos parâmetros de controle sejam aceitas. Para assegurar os limites de produção de minério têm-se as Equações (5) e (6). A restrição (7) é sobre atendimentos das metas de produção de minério e estéril. A respeito dos limites de ritmo de lavra temos as Equações (8) e (9). Equações (10) à (12) define que as variáveis em questão são não-negativas. A Equação (13) e sobre o atendimento da relação estéril/minério mínima requerida. O que define um equipamento por frente e vice-versa são as restrições (14) e (15). A restrição (16) define se equipamento de carga deve ou não ser alocado a uma determinada frente. Equações (17) e (18) determinas os limites do ritmo de lavra. A restrição entre a capacidade do caminhão e do equipamento de carga é verificada na Equação (19) e na (20) a restrição de tempo de utilização do caminhão. A Equação (21) faz com que o ritmo de lavra de uma frente seja igual à produção realizada pelos caminhões alocados. A restrição (22) força que seja inteiro positivo o número de viagens que um caminhão faz a uma frente.

## 2.2 Meta-heurística de otimização por colônia de formigas

O *Ant Algorithm* foi proposto como uma abordagem alternativa para problemas de otimização combinatória, como o caixeiro viajante e o problema de alocação quadrática. (DORIGO; CARO; GAMBARDELLA., 1999).

Ele tem inspiração no comportamento de algumas espécies de formigas em sua busca por alimento que utilizam da estigmergia para comunicação (DORIGO *et al.*, 2000). No caso das formigas, a estigmergia ocorre quando concentrações de feromônio são depositados nos trechos percorridos pelas formigas, criando assim trilhas entre a colônia e o alimento (DORIGO *et al.*, 1996). A concentração de feromônio numa trilha pode aumentar (outras formigas percorrem a trilha) ou diminuir (a trilha não é usada por outras formigas) (DORIGO; STÜZLE, 2004).

Segundo Dorigo & Socha (2006) na meta-heurística *Ant Colony Oprimization* (ACO – Otimização por Colônia de Formigas), cujo pseudocódigo é apresentado no Algoritmo 1. as formigas artificiais constroem soluções para um problema de otimização e trocam informações sobre a qualidade dessas soluções simulando a comunicação adotada por formigas reais.

Em cada iteração do laço repetitivo do ACO tem-se a execução dos procedimentos seguintes:

- I. Geração de novas soluções e verificação da qualidade;
- II. Implementação de mecanismo de busca local (opcional);
- III. Atualização do feromônio.

---

```

1: IniciarParametros( $\tau, \eta, \alpha, \beta, \rho$ )
2: para cada iteracao faça
3:   para cada formiga faça
4:     ConstruirSolucao( )
5:   fim para
6:   BuscaLocal( ) {Opcional}
7:   AtualizarFeromonio( )
8: fim para

```

---

Algoritmo 1 – Pseudocódigo da Meta-heurística de Colônia de Formigas

Fonte: Dorigo; Socha, 2007

### 3 | O ACO-POLAD

Para uma grande quantidade de problemas de elevada dimensão (classificados como NP-Completo) como o POLAD, encontrar uma solução ótima global pode ser bastante trabalhoso quando não impossível. Diante dessa limitação e dificuldade, foi proposta uma variante do algoritmo colônia de formigas, o ACO-POLAD, cujo pseudocódigo é apresentado no algoritmo 2. O ACO-POLAD implementa um conjunto de funcionalidades que são detalhadas nas subseções seguintes deste trabalho.

Algoritmo ACO\_POLAD

```

1: IniciarParametros( $\tau, \eta, \alpha, \beta, \rho$ ) (Detalhes na subseção 3.2)
2: para cada iteracao faça
3:   para cada formiga faça
4:     ConstruirSolucao( ) (Detalhes na subseção 3.3)
5:   fim para
6:   AtualizarFeromonio( ) (Detalhes na subseção 3.4)
7: fim para
fim ACO_POLAD

```

Algoritmo 2 – Pseudocódigo do algoritmo ACO-POLAD para resolução do POLAD

#### 3.1 Matriz de feromônio ( $\tau$ ) e matriz de informação heurística ( $\eta$ )

Neste contexto, a matriz de feromônio ( $\tau$ ) é representada como um grafo bipartido, onde todos os equipamentos de carga estão conectados a todas as frentes de lavra através de uma aresta. A aresta, por sua vez, armazena um valor que representa o quão desejável é a alocação entre o equipamento de carga  $j$  e a frente de lavra  $i$ , ou seja, quão bom aquele arranjo tem sido nas últimas iterações. Inicialmente todas as células da matriz de feromônio ( $\tau$ ) recebem valor 1 (um), esse valor corresponde quantidade de feromônio e é atualizado ao final de cada iteração.

A matriz de feromônio ( $\tau$ ), ilustrada pela Tabela 1, é representada através de uma

matriz NxM, sendo que N e M correspondem, respectivamente, aos equipamentos de carga e frentes de lavra da mina.

	Frente 1	Frente 2	Frente 3	Frente 4	Frente 5	...	Frente M
Eq. Carga 1	1	1	1	1	1	1	1
Eq. Carga 2	1	1	1	1	1	1	1
Eq. Carga 3	1	1	1	1	1	1	1
Eq. Carga 4	1	1	1	1	1	1	1
...	1	1	1	1	1	1	1
Eq. Carga N	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 1 - Ilustração de uma matriz de feromônio NxM

A matriz de informação heurística ( $\eta$ ) é uma matriz de números reais no intervalo [0, 1] que se destina a determinar a normalização da média do somatório dos desvios de qualidade de cada frente de lavra em relação ao pedido do cliente e é determinada pela Equação (23):

$$\frac{k - \sum_{i \in o} (t_{ij} - tr_j) x_i}{k} \quad (23)$$

Sendo  $t_{ij}$  a quantidade do parâmetro de controle  $j$  na frente de minério  $i$  (%),  $tr_j$  o valor requerido do parâmetro de controle  $j$  no produto final (%),  $x_i$  é a quantidade de minério a ser extraído da frente  $i$  e  $k$  é a quantidade de parâmetros avaliados.

Como neste trabalho o objetivo é minimizar o desvio dos parâmetros, foi feita a normalização dos valores antes da totalização para determinar o valor final da solução. Assim o menor desvio fica com o valor 1 (um) e os outros ficam com valores entre 0 e 1, sendo que quanto maior for o desvio, menor será a atração da formiga por ele (frente de lavra).

### 3.2 Iniciar parâmetros

Esta rotina do ACO-POLAD é responsável por inicializar os parâmetros principais da implementação, além dos parâmetros que caracterizam o cenário de mina a céu aberto. Ou seja, criam-se os objetos do cenário da mina (equipamentos de carga, frentes de lavra e veículos), a matriz de informação heurística ( $\eta$ ) e também a matriz de feromônio ( $\tau$ ). Também são definidos outros parâmetros do algoritmo como, por exemplo: número de iterações, total de formigas geradas em cada iteração, parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\rho$  usados na geração de novas soluções (formigas) a partir de modificações realizadas nas soluções correntes.

### 3.3 Construir Solução

Esta rotina do consiste na execução ordenada dos seguintes passos:

- Associar: criação de tuplas do tipo <frente, equipamento de carga> onde cada equipamento de carga disponível no cenário de mina é associado a uma frente de lavra;
- Determinar a quantidade de viagens para as frentes de estéril e de minério;
- Alocar a frota de caminhões às tuplas geradas anteriormente.

---

```
1: função CONSTRUIRSOLUCAO
2:   Associar( $\tau, \eta, \alpha, \beta$ )
3:   DefinirViagensEsteril( )
4:   DefinirViagensMinerio( )
5:   AlocarCaminhoes( )
6: fim função
```

---

Algoritmo 3 – Pseudocódigo da geração de novas soluções

### 3.4 Atualização de feromônio

A atualização (evaporação e depósito) do feromônio, descrita na Equação (25), acontece ao final de cada iteração no feromônio associado ao par frente e equipamento de carga. No depósito de feromônio é depositada uma certa quantidade de feromônio em cada  $\tau_{ij}$  segundo à qualidade da solução em relação às demais. Para determinar o valor de feromônio a ser depositado por cada formiga, utiliza-se sempre a melhor e a pior solução encontrada até o momento como base para um cálculo, apresentado na Equação (24), que tem como resultado uma taxa que será multiplicada por um valor fixo que chamamos de  $\gamma$ . Em outras palavras, para cada iteração, cada formiga acrescenta uma quantidade  $\gamma * taxa_{formiga}$  a cada uma das tuplas selecionadas por ela.

$$taxa_{formiga} = 1 - \frac{formiga_{avaliacao} - min_{avaliacao}}{max_{avaliacao} - min_{avaliacao}} \quad (24)$$

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^{(k)} \quad (25)$$

Sendo:

- $0 \leq \rho \leq 1$  - Taxa de atualização do feromônio.
- A expressão  $(1 - \rho) \tau_{ij}$  a evaporação do feromônio;
- $\tau_{ij}$  - Quantidade de feromônio associado a alocação <frente  $i$ , equipamento de carga  $j$ > e  $\eta_i$  é a informação heurística associada à frente  $i$ .

Ao construir a solução, a probabilidade de uma formiga selecionar de uma tupla de par <frente, equipamento de carga> é calculado usando a equação 26, executado até o final da alocação de todos os equipamentos de carga.

$$p_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_i^\beta}{\sum_{l \in N_{kj}} \tau_{ij}^\alpha \eta_i^\beta} \quad (26)$$

Onde:  $p_{ij}^k$  corresponde à probabilidade da formiga  $k$  selecionar a alocação  $(i,j)$  = <frente  $i$ , equipamento de carga  $j$ >.  $\tau_{ij}$  é a quantidade de feromônio associado a alocação <frente  $i$ , equipamento de carga  $j$ > e  $\eta_i$  é a informação heurística associada à frente  $i$ . Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são indicadores que servem para priorizar o feromônio ou a informação heurística sendo que  $\alpha + \beta = 1$  (um). A expressão presente no denominador da fórmula é utilizada para normalização do resultado.

A qualidade de uma solução é determinada através de uma função objetivo, onde a avaliação é realizada somando-se os desvios absolutos normalizados em relação ao recomendado de produção e qualidade do minério, além da porcentagem de utilização dos equipamentos de transporte.

## 4 | RESULTADOS

As simulações do algoritmo proposto foram realizadas em um equipamento com processador i7-8550U, 1.8GHz, com 16GB de RAM, rodando o sistema operacional Linux Ubuntu 18.04. O ACO-POLAD foi codificado em Python 2.7 utilizando o compilador GCC 5.4.0. Em todas simulações foi considerado 100 iterações, 8 formigas, (preferência por feromônio)  $\alpha = 0.4$ , (preferência por informação heurística)  $\beta = 0.6$ , (taxa de evaporação)  $\rho = 0.35$  e (valor fixo de multiplicação)  $\gamma = 0.2$  todos esses valores foram definidos após vários testes computacionais.

Utilizaram-se oito cenários de minas a céu aberto, retiradas do trabalho de SOUZA *et al.* (2010) e detalhados na Quadro 1, para validação do ACO-POLAD. Essa base de dados foi organizada da seguinte forma: cada equipamento de carga tem uma produção mínima e máxima que deve ser atendida. Além disso, cada caminhão pode efetuar operações de carregamento de material onde opera um equipamento de carga que seja compatível com o mesmo. Cada frente de lavra contém informações sobre: tempo de ciclo, quantidade de material para carregamento, parâmetros de qualidade associados à frente (quando se tratar de uma frente de minério).

Também são especificados (valores máximo, mínimo e desejados) para cada cenário: os parâmetros de controle de qualidade exigidos para produção, a quantidade de minério e de estéril desejados. Vale ressaltar ainda que os valores

dos parâmetros de controle são diferentes em cada frente de minério, sendo assim, mesmo dispondo do mesmo conjunto de equipamentos soluções diferentes são encontradas em cada lavra.

Instância	Frente	Equipamentos de Carga		Parâmetros	Caminhões	
		quantidade	produção (ton/h)		quantidade	produção (ton)
mina1	17	8	(4, 900t), (2, 1000t), (2, 1100t)	10	30	(15,50t), (15,80t)
mina2	17	8	(4, 900t), (2, 1000t), (2, 1100t)	10	30	(15,50t), (15,80t)
mina3	32	7	(2, 400t), (2, 500t), (1, 600t), (1, 800t), (1, 900t)	10	30	(30,50t)
mina4	32	7	(2, 400t), (2, 500t), (1, 600t), (1, 800t), (1, 900t)	10	30	(30,50t)
mina5	17	8	(4, 900t), (2, 1000t), (2, 1100t)	5	30	(15,50t), (15,80t)
mina6	17	8	(4, 900t), (2, 1000t), (2, 1100t)	5	30	(15,50t), (15,80t)
mina7	32	7	(2, 400t), (2, 500t), (1, 600t), (1, 800t), (1, 900t)	5	30	(30,50t)
mina8	32	7	(2, 400t), (2, 500t), (1, 600t), (1, 800t), (1, 900t)	5	30	(30,50t)

Quadro 1 - Caracterização dos cenários de minas a céu aberto analisados neste trabalho.

As soluções encontradas que não eram soluções viáveis foram afetadas por penalidades que fizeram com que a solução piorasse em 1000(mil) vezes, as melhores soluções deram valores satisfatórios para os cenários. No Quadro 2 é possível observar os resultados, este quadro apresenta a média e o desvio padrão da avaliação da solução ao longo das 100 execuções do algoritmo em cada um dos cenários. É possível observar também que o as avaliações das soluções geradas em cada cenário convergiram para valores próximos, visto o valor do desvio padrão.

Cenário	Desvio Padrão	Média
<b>Mina 1</b>	0,0185335264	0,8372748870
<b>Mina 2</b>	0,0488053020	2,2569947502
<b>Mina 3</b>	0,0474172438	0,5752588314
<b>Mina 4</b>	0,0300279531	0,6105485721
<b>Mina 5</b>	0,0151282796	0,7601564153
<b>Mina 6</b>	0,1004430387	1,2188942572
<b>Mina 7</b>	0,0006490366	0,4686368575
<b>Mina 8</b>	0,0006615639	0,4693233442

Quadro 2 – Resultados encontrados

## 5 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A proposta deste trabalho foi de contribuir com a literatura desenvolvendo uma variante da meta-heurística de colônia de formigas para resolução do problema de planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões. No POLAD o que se pretende é alocar os equipamentos de carga disponíveis na mina nas frentes de lavra selecionadas e determinar o número de viagens de cada caminhão a cada uma das frentes de lavra para atender ao pedido do cliente e

também viabilizar obras de infraestrutura da mina.

Foi previsto que a meta-heurística conseguiria encontrar soluções viáveis para o problema, além de convergir para uma solução ótima. Esta abordagem pareceu uma boa opção para resolução do problema, visto que através do baixo desvio padrão vimos que a maioria das soluções encontradas tem uma avaliação próxima entre si, mostrando que o algoritmo convergiu para um valor bem próximo em todas as execuções.

Nas versões futuras do algoritmo pretendemos introduzi novas funcionalidades, além de testar novos cenários nas versões posteriores, como destacado a seguir:

- Desenvolver uma versão multiobjetivo do algoritmo que trabalhe e/ou manipula com os objetivos separadamente (sem ponderação dos mesmos);
- Desenvolver métodos de busca local para melhoramento das soluções encontradas;
- Comparar os resultados do ACO-POLAD com os de outras heurísticas encontradas na literatura.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, M. Modelos Matemáticos e Heurísticos para o Auxílio ao Planejamento de Operações de Lavra em Minas a Céu Aberto. 2008. 108p. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção)–Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

AMARAL, M. d; PINTO, Luiz Ricardo. Planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto com alocação de equipamentos de carga e de transporte. Anais XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Goncalves (RS), p. 1177-1188, 2010.

BERNARDI, H.A. Dimensionamento de Equipamentos para as operações unitárias de Lavra de Mina a Céu Aberto. 2015. 83p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

COELHO, V.N. Uma Abordagem Multiobjetivo para o Problema de Planejamento Operacional de Lavra. Relatório Final PROBIC/FAPEMIG, 2012, Ouro Preto, MG, Brasil.

COELHO, V.N. et al. PGGVNS: Um Algoritmo Paralelo para o Problema de Planejamento Operacional de Lavra. Anais XVIII Simpósio De Engenharia De Produção-SIMPEP, Bauru, SP, Brasil, p.1-14,2011.

COSTA, F. P. Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2005.

DORIGO, M.; CARO, Gianni Di; GAMBARDELLA, Luca M. Ant Algorithms for Discrete Optimization. Artificial Life, v.5, p137-172, 1999.

DORIGO, M.; BIRATTARI M.; STÜTZLE, T.; Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium. 2006.

DORIGO M.; BONABEAU E.; THERAULAZ G.; Ant algorithms and stigmergy. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de

Bruxelles, Brussels, Belgium; EuroBios, Paris, France; Université Paul Sabatier, Toulouse, France. 2000.

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A.; The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B, v.26, p.1-13, 1996.

DORIGO, M.; SOCHA, K. An Introduction to Ant Colony Optimization. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium. 2006.

DORIGO, M., SOCHA, K., 2007. An introduction to ant colony optimization. In: Gonzalez, T.F. (Ed.), Handbook Approximation Algorithms and Metaheuristics. Chapman and Hall/CRC Press.

DORIGO, M.; STÜZLE, T. Ant Colony Optimization. Massachusetts: MIT Press, 2004. 321p.

HUSTRULID, W., KUČHTA, M. Open pit mine planning & design, Irradiação Sul Ltda, Porto Alegre, Vol. 1: Fundamentals, 1995.

MENDES, J. B. Uma Abordagem Multiobjetivo para o Problema de Despacho de Caminhões em Minas a Céu Aberto. 2013. 133 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

RODRIGUES, L.F. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. 2006. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE** - Mestre e Doutor em Engenharia de Transportes. Possui 2 graduações: Administração (1999) e Engenharia de Produção (2004) ; 3 pós-graduações lato sensu: MBA em Marketing (2001), MBA em Qualidade e Produtividade (2005) e Engenharia Metroferroviária (2017) ; e 2 pós-graduações stricto sensu - Mestrado e Doutorado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (2009 e 2016). É professor adjunto da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás (FCT/UFG), das graduações em Engenharia de Transportes e Engenharia Civil. Atuou como Engenheiro de Operações do Metrô do Rio de Janeiro por mais de 15 anos (2003 - 2019), nas gerências de: Planejamento e Controle Operacional, Engenharia Operacional, Operação, Inteligência de Mercado, Planejamento de Transportes e Planejamento da Operação Metroviária (de trens, das linhas de ônibus Metrô Na Superfície, e das estações metroviárias). Experiências acadêmica e profissional nas áreas de: Engenharia de Transportes, Operação de Transporte, Planejamento da Operação, Transporte Público, Sustentabilidade, Engenharia de Produção, Gestão, Administração e Engenharia de Projetos, atuando principalmente nos seguintes temas: operação, avaliação de desempenho operacional, ferramentas de gestão e de controle operacional, documentação operacional, indicadores de desempenho, planejamento da operação, satisfação dos usuários de transporte, pesquisas e auditoria de qualidade, sustentabilidade, emissões de gases do efeito estufa em sistemas de transportes, planejamento e acompanhamento de projetos de engenharia e de melhoria em sistemas de transporte.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo 95, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106

### B

Business Game Canvas 260, 261, 264, 265, 267, 271

### C

Casca de Fibra 108, 111, 112, 114

Casos de Discussão 191

Competitividade 35, 48, 62, 73, 93, 109, 124, 133, 135, 136, 140, 141, 165, 174, 182, 236

Concessão 139, 176, 183, 184, 185, 189

Consumidores 48, 79, 81, 135, 157, 277

Custos fiscais 143, 144, 149, 152, 153

### D

Design Thinking 191, 192, 193, 200, 271

Destrução de teoria 273

### E

Economia circular 75, 79, 80, 81, 93

Eficiência portuária 163, 164, 168, 174

Estratégia de operações 61, 62, 63, 72, 74

Ética organizacional 273, 274, 282

### F

Fator de intensidade de massa (MIF) 75, 76, 82, 83, 84, 90, 91, 92

Frotas 1, 4, 7, 8, 9

### G

Gestão 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 20, 33, 35, 46, 62, 66, 74, 77, 79, 93, 94, 110, 134, 136, 138, 139, 141, 143, 163, 166, 175, 181, 182, 184, 187, 191, 192, 193, 199, 247, 249, 251, 257, 258, 260, 261, 262, 263, 265, 270, 271, 272, 273, 279, 280, 283, 284

Gestão da Saúde 191, 260, 271, 272

Gestão de Pessoas 247, 249, 251, 273

Gestão Hospitalar 260, 263

Grupos estratégicos 61, 62, 63, 64, 67, 70, 72, 73, 74

### H

Hospital Dia 260, 261, 262, 263, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272

## I

Indicadores de desempenho 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 284

Indústria 4.0 47, 48, 50, 51, 54, 55, 56

Inovação 10, 35, 65, 67, 93, 123, 135, 141, 181

## J

Jogo de Treinamento 260, 261, 262, 270

## L

Lead time 31, 32, 45, 70, 124, 127, 133

Lean Seis Sigma 124, 125, 127, 128, 133, 134

Legislação Ambiental 221, 222, 223, 226, 230, 231

Linha de montagem 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32

Logística reversa de paletes 75

## M

Manufatura digital 34, 40

Mensuração 52, 75, 82, 84, 85, 93, 149, 177, 181, 247, 248, 249, 252, 257, 258

Mensuração de impacto ambiental 75, 84

Metrô 176, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 284

Modelagem 22, 24, 25, 27, 28, 33, 38, 39, 40, 45, 46, 95, 199

Modelo 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 80, 87, 98, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 118, 119, 121, 122, 166, 175, 181, 182, 193, 247, 249, 250, 253, 255, 256, 257, 260, 261, 262, 263, 266, 267, 270, 271, 273, 278

Movimentação 1, 3, 7, 16, 17, 28, 31, 45, 77, 85, 91, 109, 113, 115, 164, 166, 173, 236, 237, 238, 239, 267

## N

Nível de serviço 7, 176, 177, 183

Norma de Desempenho 205, 220

Normas Regulamentadoras 143, 144, 145, 146, 156

## O

Objetivos de desempenho 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 178

Operações portuárias 163, 168, 171

Organização Espacial 234, 235

## P

Pesquisa Operacional 37, 95, 106

Planejamento Operacional de minas a céu aberto 95

Poliuretano 93, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 122

Produção enxuta 22, 23, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73

Projetos Arquitetônicos 205, 207, 208, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220

## Q

Qualidade Higiênico-Sanitária 157

## R

Relatório de Sustentabilidade 221, 224, 226, 230, 231, 233

Riscos ambientais 19, 143, 146, 147, 152, 153, 155, 156

Rotomoldagem 108, 109, 110

## S

Serviço de Alimentação 157

Simulação computacional 22, 23, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 45

Sistemas de produção 25, 34, 66

Supply Chain 2, 35, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 94, 175

## T

TMS 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10

