



Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
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 Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – 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 Internazionele 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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

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 Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
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  
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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 1 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-697-3 DOI 10.22533/at.ed.973190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 25 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A IMPORTÂNCIA DA (INTER) MULTIDISCIPLINARIDADE NAS ENGENHARIAS PARA O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES	
Roberto Righi Roberta Betania Ferreira Squaiella	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909101</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÕES UTILIZADOS NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL	
Elaine Cristina Lengowski Carla Cristina Cassiano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909102</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE POSTO DE TRABALHO EM UM ATELIÊ DE SOUVENIRS COM USO DOS MÉTODOS OWAS E DE SUZANNE RODGERS	
Jordy Felipe de Jesus Rocha Maria Vanessa Souza Oliveira Leila Medeiros Santos Bento Francisco dos Santos Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909103</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: ESTUDO DE CASO DE VIGILANTES	
Gustavo Francesco de Moraes Dias Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Fernanda da Silva de Andrade Moreira Hugo Marcel Flexa Farias Jessica Cristina Conte da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909104</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
ESTILO DE LIDERANÇA QUE O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DEVE POSSUIR NA ÓTICA DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO DA FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ	
Emmanuela Suzy Medeiros José Valmir Bezerra e Silva Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909105</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INDÚSTRIA NO BRASIL	
Lídia Silveira Arantes Thales de Oliveira Costa Viegas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909106</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>80</b>
<b>GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE: ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL</b>	
Leonardo Petrilli Denize Valéria dos Santos Baia Juliana Fernanda Monteiro de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909107</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>93</b>
<b>PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS</b>	
Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Gustavo Francesco de Moraes Dias Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909108</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>105</b>
<b>ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA</b>	
Diego Raniere Nunes Lima Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Gustavo Francesco de Moraes Dias Renato Araújo da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909109</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>120</b>
<b>CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0</b>	
Kariston Dias Alves Gustavo Catusso Balbinot Artur Vitório Andrade Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091010</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>131</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL</b>	
Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos Luciano Gonçalves Noleto Maria Vitória Duarte Ferrari Tallita Karolline Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091011</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>143</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS</b>	
Guilherme Henrique Alves Lúcio Rogério Júnior Antônio Manoel Batista da Silva Wellington Mrad Joaquim	

**CAPÍTULO 13 ..... 157**

**DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA  
LUIS EDUARDO MAGALHÃES**

Henderson Gomes e Souza  
Brunno Henrique Brito  
Vailton Alves de Faria  
Jabson da Cunha Silva

**DOI 10.22533/at.ed.97319091013**

**CAPÍTULO 14 ..... 170**

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ÓPTICA E TÉRMICA DE UM COLETOR  
PARABÓLICO COMPOSTO COM E SEM EFEITO ESTUFA**

Joaquim Teixeira Lopes  
Ricardo Fortes de Miranda  
Keyll Carlos Ribeiro Martins  
Camila Correia Soares

**DOI 10.22533/at.ed.97319091014**

**CAPÍTULO 15 ..... 177**

**EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR  
PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM  
LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS**

Albino Moura Guterres  
Daniel Beck  
Cláudio André Lopes de Oliveira  
Juliano Poleze

**DOI 10.22533/at.ed.97319091015**

**CAPÍTULO 16 ..... 186**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A**

Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho  
Murilo Miceno Frigo  
Gustavo Francesco de Moraes Dias  
Diego Raniere Nunes Lima  
Renato Araújo da Costa  
Timóteo Gonçalves Braga

**DOI 10.22533/at.ed.97319091016**

**CAPÍTULO 17 ..... 199**

**GESTÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS  
ELETRÔNICOS NA IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA**

Carla Ruanita Pedroza Maia  
Leila Medeiros Santos  
Maria Vanessa Souza Oliveira  
Bento Francisco dos Santos Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.97319091017**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>212</b>
INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Jean Carlos da Luz Pereira Felipe Guimarães Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091018</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>225</b>
INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE MODIFICAÇÕES NA CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA DE SILÍCIO	
Marcus André Pereira Oliveira Ana Flávia de Sousa Freitas Thiago Barros Pimentel Adão Lincoln Montel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091019</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>234</b>
UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS	
Nancy Lima Costa Maria de Sousa Leite Filha Arthur Gilzeph Farias Almeida Jaciera Dantas Costa Antônio Daniel Buriti de Macêdo José Nunes de Oliveira Neto Jordany Ramalho Silveira Farias José Jefferson da Silva Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091020</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>242</b>
THE STEAM GENERATION CENTERS AS A VECTOR FOR THE SUGARCANE MILLS EVOLUTION TO THE SUCRO-ENERGETICS PLANTS FORMAT	
Roque Machado de Senna Henrique Senna Rosimeire Aparecida Jerônimo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091021</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>252</b>
ANÁLISE DE CERTIFICADOS DIGITAIS EM DOMÍNIOS BRASILEIROS	
Matheus Aranha Diogo Pereira Artur Ziviani Fábio Borges	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091022</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>264</b>
ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO ALTERNATIVO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO	
Arthur Hendricks Mendes de Oliveira Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091023</b>	

<b>CAPÍTULO 24 .....</b>	<b>271</b>
<b>SENSORIAMENTO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS</b>	
Lidiane Bastos Dorneles Samuel dos Santos Cardoso Samanta Tolentino Ceconello Jocelito Saccol de Sá	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091024</b>	
<b>CAPÍTULO 25 .....</b>	<b>283</b>
<b>TUTORIAL SOBRE REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS</b>	
Carine Mineto Lyang Leme de Medeiros Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091025</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>295</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>296</b>

## DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA LUIS EDUARDO MAGALHÃES

### **Henderson Gomes e Souza**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

### **Brunno Henrique Brito**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Tocantins Coordenação da Área  
Indústria  
Palmas – Tocantins

### **Vailton Alves de Faria**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

### **Jabson da Cunha Silva**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

**RESUMO:** No Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realiza a otimização da geração de energia elétrica através do Planejamento da Operação Energética (POE). O POE é executado em três diferentes horizontes de estudo, cada um com características restritivas distintas, sendo coordenados entre si. Essas etapas são definidas como: médio prazo, curto prazo e programação diária da operação eletroenergética onde, somente as duas primeiras etapas possuem ferramentas de otimização computacional consolidadas. Para

determinar a terceira etapa de programação, o ONS estabelece metas de geração para cada hora diária, ou seja, define quanto cada agente de geração tem que gerar. Porém, não define quais unidades deverão ser comissionadas nem quanto cada unidade geradora ativa deve gerar. Baseando-se em uma modelagem para sistemas hidrelétricos, visa-se solucionar esse problema, definido como problema do Comissionamento das Unidades Hidrelétricas (CUH). A formulação da solução é representada matematicamente como um problema de Programação Não-Linear Inteira-Mista (PNLIM) sendo a mesma fundamentada nos dados característicos da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães. Nesse contexto, pretende-se utilizar a água da maneira mais eficiente efetuando-se a minimização de uma função objetivo em termos de demandas estipuladas simuladas através do software AIMMS, elucidando-se a otimização da defluência. A partir de uma análise dos dados de saída das curvas de desempenho das turbinas da usina base, demonstra-se a eficiência obtida pela usina, o porquê de os resultados expressarem uma distribuição uniforme de potencial gerado entre as unidades e a busca do simulador pelo despacho de maior fornecimento de potencial por unidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Função De Produção Hidrelétrica, Comissionamento das Unidades

## GREAT DISPATCH OF THE GENERATOR UNITS OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT LUIS EDUARDO MAGALHÃES

**ABSTRACT:** In Brazil, the Operator of the National Electricity System (ONS) performs the optimization of electric power generation through Energy Operation Planning (POE). The POE is executed in three different study horizons, each with distinct restrictive characteristics, being coordinated with between them. These steps are defined as: medium term, short term and daily schedule of the electroenergetic operation where, only the first two steps have consolidated computational optimization tools. In order to determine the third scheduling step, ONS sets generation targets for each daily hour, in other words, how much each generation agent has to generate. However, it does not define which units should be commissioned or how much each active generating unit should generate. Based on a modeling for hydroelectric systems, we aim to solve this problem, defined as the Hydro Unit Commitment (HUC) problem. The solution formulation is represented mathematically as a problem of Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) and it is related to the characteristic data of the Luiz Eduardo Magalhães hydroelectric power plant. In this context, it is intended to use water in the most efficient way by minimizing an objective function in terms of stipulated demands simulated through the AIMMS software, elucidating the optimization of the defluence. From an analysis of the output data of the performance curves of the base plant turbines, it is demonstrated the efficiency obtained by the plant, why the results express a uniform distribution of potential generated between the units and the simulator search for the dispatch of higher supply potential per unit.

**KEYWORDS:** Hydropower Production Function, Hydro Unit Commitment, Mixed-Integer Nonlinear Programming.

### 1 | INTRODUÇÃO

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) disponível em ANEEL (2017), a energia gerada a partir de usinas hidrelétricas representa hoje 61,27% da capacidade total instalada no país. Com relação à geração hidráulica, o Operador Nacional do Sistema (ONS) possui o objetivo de otimização energética, realizada a partir da gestão otimizada dos armazenamentos dos reservatórios de regularização das usinas hidrelétricas, buscando definir o despacho ótimo das mesmas. Esse planejamento é chamado pelo ONS de Planejamento da Operação Energética (POE). O mesmo procura estimar as gerações das usinas hidrelétricas e termelétricas de modo a atender à demanda de energia elétrica fazendo com que o custo operativo associado ao uso dessas unidades seja o mínimo possível.

Segundo Finardi (2003), essa abrangência hidrelétrica possui características matemáticas nas quais estabelecem que o problema correspondente seja solucionado de forma aproximada a partir de três outros problemas, definidos pelo mesmo como:

planejamento da operação de médio prazo, de curto prazo, e a programação da operação energética.

O planejamento de médio prazo é dividido por cada um dos quatro subsistemas do Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo o seu horizonte de estudo definido para cada mês dos cinco anos seguintes. Segundo Brito (2015) esse planejamento passa por revisões quadrimestrais e tem como ferramenta computacional de otimização consolidada o NEWAVE.

Brito (2015) afirma que o problema do POE de curto prazo possui um horizonte de estudo de no mínimo dois meses, sendo discretizado e revisado em etapas semanais, em termos de ferramentas computacionais consolidadas, tanto o NEWAVE como o DECOMP podem ser utilizadas.

Finalizando o processo de planejamento energético, tem-se a programação diária da operação energética com o seu horizonte definido em no mínimo uma semana, discretizada(s) em 30 minutos de cada dia. Brito (2015) destaca que devido à complexidade das diversas não-linearidades envolvidas no processo de planejamento de geração das unidades hidrelétricas e a presença de variáveis binárias para determinar se as unidades estão ligadas ou não, ainda não houve consolidação de uma ferramenta computacional e que, por isso, técnicas de programação matemática e ferramentas computacionais robustas têm sido utilizadas para conseguir soluções viáveis para o problema. Fredo (2017) afirma que devido às complexidades contidas na programação diária, matematicamente a mesma é representada como um problema de programação não-linear inteiro-misto. Vale destacar que, de acordo com Cordova et al. (2012) e Brito (2015), o planejamento da programação diária da operação energética é realizado com base em diretrizes operacionais derivadas do modelo de curto prazo e tem por fundamento fornecer, para cada hora do dia seguinte, uma meta de geração para as usinas hidrelétricas.

Baseado nessas premissas enfatizadas acima, esse trabalho tem por finalidade demonstrar a solução do problema de uso eficiente dos recursos de geração das unidades hidrelétricas, propondo um modelo de otimização do despacho da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães.

## **2 | MODELAGEM DO PROBLEMA**

A modelagem tem como base o trabalho de Finardi (2003) que propõe uma solução detalhada da função de produção das unidades hidrelétricas. A mesma leva em conta as não-linearidades existentes na altura de queda líquida, perdas hidráulicas e o rendimento do grupo turbina-gerador.

### **2.1 Função de Produção Hidrelétrica**

Segundo Finardi (2003), a produção de energia elétrica em unidades geradoras

hidrelétricas é representada matematicamente a partir da chamada função de produção hidrelétrica, o mesmo descreve a modelagem da mesma como expressa a Eq. (1).

$$p_g = G \cdot q \cdot \eta(v, q, Q, S) \cdot h_l(v, q, Q, S), \quad (1)$$

Em que,

$p_g$  é a potência elétrica ativa do gerador, em MW;

$G$  é uma constante obtida pelo produto da aceleração da gravidade ( $g$ ) do local, da densidade da água ( $d$ ) e do sistema de unidades considerado. Este trabalho considera  $g = 9,8361 \text{ m/s}^2$ ,  $d = 997 \text{ kg/m}^3$  e MW como unidade de potência, o que resulta em  $G = 9,81 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(m}^2\text{s}^2)$ ;

$q$  é a vazão turbinada da unidade, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\eta$  é o rendimento hidráulico de uma unidade hidrelétrica;

$v$  é o volume do reservatório, em  $\text{hm}^3$ ;

$Q$  é a vazão turbinada da usina, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$S$  é a vazão vertida da usina, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$h_l$  é a altura de queda líquida da unidade, em m.

Na função de produção, a altura de queda líquida é modelada pela diferença entre a altura de queda bruta, e as perdas hidráulicas que ocorrem no canal de adução e no tubo de sucção, conforme descrito pela Eq. (2).

$$h_l(v, q, Q, S) = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 \cdot v^2 + a_3 \cdot v^3 + a_4 \cdot v^4 - b_0 - b_1(Q + S) - b_2(Q + S)^2 - b_3(Q + S)^3 - b_4(Q + S)^4 - k_p \cdot q^2 - k_s \cdot q^2, \quad (2)$$

Em que,

$a_0, \dots, a_4$  são os coeficientes do polinômio que representam a cota de montante para o reservatório;

$b_0, \dots, b_4$  são os coeficientes do polinômio que representam a cota de jusante para o reservatório;

$k_p$  é uma constante que depende das características físicas do conduto forçado que conecta o reservatório com uma certa unidade hidrelétrica ( $\text{s}^2/\text{m}^5$ );

$k_s$  é uma constante que depende da área da seção de baixa pressão da turbina e da aceleração da gravidade ( $\text{s}^2/\text{m}^5$ ).

O rendimento hidráulico da turbina, dependente da vazão turbinada e da altura de queda líquida, sendo modelado pela Eq. (3).

$$\eta(v, q, Q, S) = c_0 + c_1 \cdot q + c_2 \cdot h_l(v, q, Q, S) + c_3 \cdot q \cdot h_l(v, q, Q, S) + c_4 \cdot q^2 + c_5 \cdot h_l(v, q, Q, S)^2, \quad (3)$$

Em que,

$c_0, \dots, c_4$  são os coeficientes do polinômio que representa o rendimento de uma dada unidade hidrelétrica.

## 2.2 Formulação do Problema

O problema de otimização proposto nesse trabalho é dado pela Eq. (4).

$$\min \Theta = Q + S \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n pg_j = L, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n q_j = Q, \quad (6)$$

$$pg_j = G \cdot q_j \cdot \eta_j(v, q_j, Q, S) \cdot hl_j(v, q_j, Q, S), \quad (7)$$

$$0 \leq q_j \leq q_{\max}, \quad (8)$$

$$u_j pg_{\min} \leq pg_j \leq u_j pg_{\max}, \quad (9)$$

Em que,

- $j$  é o índice associado às unidades geradoras;
- $n$  é o número de unidades disponíveis no reservatório;
- $L$  é a meta de geração para a usina;
- $u_j$  é a variável binária que indica se a unidade geradora  $j$  está ligada;
- $pg_j^{\min/\max}$  é a potência mínima/máxima da unidade  $j$  (MW);
- $q_{\max}$  é o valor máximo da vazão turbinada pela usina.

Analisando a formulação, pode-se observar que a Eq. (4) representa a minimização da vazão defluente da usina. O mesmo está sujeito a restrições. A restrição representada pela Eq. (5) consiste no atendimento a meta demandada. A restrição Eq. (6) faz com que a vazão turbinada da usina seja igual ao somatório da vazão turbinada por cada unidade geradora. A restrição Eq. (7) retrata a função de produção. A restrição Eq. (8) assegura que a variação máxima da vazão turbinada por cada unidade esteja dentro de suas limitações construtivas. A restrição Eq. (9) corresponde aos limites dos extremos de geração – potência mínima/máxima – de cada unidade geradora.

### 3 | ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

Brito (2015) afirma que devido às características inerentes à geração hidrelétrica, ao número de unidades geradoras envolvidas, à variável binária necessária para representar as unidades que estarão em operação, o problema de CUH é representado matematicamente como um problema de Programação Não-Linear Inteira-Mista (PNLIM) de grande porte.

#### 3.1 Programação Não-Linear Inteira-Mista

Segundo Melo (2012), a PNLIM consiste na resolução de problemas que visam a otimização de uma função-objetivo que tem como característica principal a assiduidade de funções não-lineares.

Neste trabalho, utilizou-se para a simulação da modelagem através da PNLIM o software AIMMS, instalado na sua versão 4.31 (AIMMS, 2017), disponibilizado pelo dono dos seus direitos autorais AIMMS B.V., o qual forneceu gratuitamente uma licença acadêmica, sendo de fundamental importância para o trabalho em questão. Brito (2015) ressalta que o módulo AOA consegue encontrar soluções viáveis para problemas de PNLIM de grande porte não convexos de forma direta. Brito (2015) enfatiza ainda que o algoritmo do módulo AOA utiliza o solver CONOPT V4.31 para resolver os problemas de Programação Não-Linear (PNL).

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações foram desenvolvidas na plataforma do programa AIMMS 4.31 (AIMMS, 2017), utilizando o pacote computacional AIMMS *Outer Approximation* (AOA) que deriva de um algoritmo subjacente, que é uma interação entre dois solucionadores, um para resolver modelos lineares inteiros-mistos e um para resolução de modelos não-lineares (AIMMS B.V., 2014). Os experimentos foram conduzidos em um computador pessoal com processador Intel(R) Core(TM) i5-2450M 2.50 GHz e 8 GB de memória RAM.

Segundo ANEEL (2017), a usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães está localizada na cidade de Lajeado no estado do Tocantins, possui regime de produção independente na proporção da participação de cada empresa consorciada, onde, segundo Investco (2012), possui 5 unidades geradoras hidrelétricas que fazem uso de turbinas do tipo Kaplan, com potência mínima e máxima de geração respectivamente iguais a 100 MW e 180,5 MW, resultando em uma potência máxima total de 902,5 MW que permite gerar aproximadamente 4.600.000 megawatts-hora por ano. Em ONS (2017) consta que, a usina de Lajeado é uma usina hidrelétrica a fio d'água, ou seja, a mesma não possui reservatório. Sendo assim, toda afluência a montante é utilizada para geração de energia. A demanda regulada e o nível de água acumulada a montante são estipulados pelo ONS que tem como base a bacia hidrográfica na

qual a mesma está inserida.

#### 4.1 Descrição dos Dados Iniciais

Na Tab. 1 e na Tab. 2 são apresentados os coeficientes usados para calcular respectivamente as funções cota de montante e cota de jusante. As mesmas foram obtidas através das características da usina, disponíveis em ONS (2017).

$a_0$ (m)	$a_1$ (m/hm <sup>3</sup> )	$a_2$ (m/hm <sup>6</sup> )	$a_3$ (m/hm <sup>9</sup> )	$a_4$ (m/hm <sup>12</sup> )
212.0	0	0	0	0

Tabela 1: Coeficientes da função cota de montante.

$b_0$ (m)	$b_1$ (s/m <sup>2</sup> )	$b_2$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$b_3$ (s <sup>3</sup> /m <sup>8</sup> )	$b_4$ (s <sup>4</sup> /m <sup>11</sup> )
171.0	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$-1,36 \cdot 10^{-7}$	$4,48 \cdot 10^{-12}$	$-5,74 \cdot 10^{-17}$

Tabela 2: Coeficientes da função cota de jusante.

Como as unidades geradoras possuem características de construção idênticas, além do canal de adução e tubo de sucção também serem iguais, as constantes de perdas hidráulicas e as potências de geração mínima e máxima são análogas. Nesse sentido, as mesmas são apresentadas segundo o que é fornecido em (ONS, 2017) na Tab. 3.

$k_p$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$k_s$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$pg^{\min}$ (MW)	$pg^{\max}$ (MW)
$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	100	180,5

Tabela 3 – Constantes de perdas hidráulicas e Limites de geração.

Partindo da elucidação anterior, a Tab. 4 exibe os coeficientes do polinômio da função de rendimento hidráulico para todas as unidades geradoras. Os mesmos foram fornecidos pelo Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica –LABPLAN – UFSC, através do Professor, Mestre em Sistemas de Energia Elétrica pela UFSC (2015) Brunno Henrique Brito.

$c_0$	$c_1$ (s/m <sup>3</sup> )	$c_2$ (1/m <sup>4</sup> )	$c_3$ (s/m <sup>4</sup> )	$c_4$ (s <sup>2</sup> /m <sup>6</sup> )	$c_5$ (1/m <sup>2</sup> )
$3,5873 \cdot 10^{-1}$	$1,4754 \cdot 10^{-3}$	$1,2116 \cdot 10^{-2}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	$1,93 \cdot 10^{-6}$	$3,513 \cdot 10^{-4}$

Tabela 4 – Coeficientes da função de rendimento hidráulico.

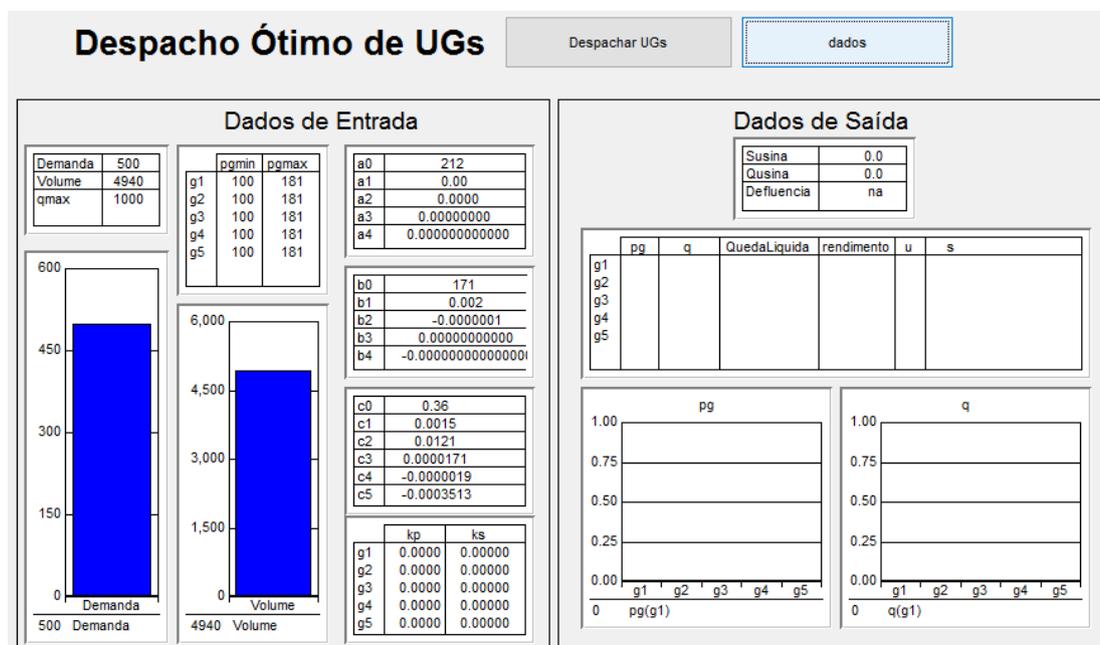


Figura 1 – Interface Operacional

Fonte: Aimms (2017)

Posteriormente, efetuou-se a construção do modelo de otimização proposto e a declaração dos dados de entrada – informados anteriormente – do problema no ambiente de desenvolvimento do AIMMS. O mesmo permite a criação de uma interface onde serão exibidos os dados relevantes do problema. A interface admite a alteração da demanda, assim como a alteração dos dados de entrada da usina, ou seja, é possível generalizar a solução. Apresenta ainda o resultado de minimização da vazão turbinada de cada unidade geradora, obtendo como resultante a otimização da defluência – que representa a soma da vazão vertida com a vazão turbinada – em função da demanda determinada pelo operador nacional do sistema. Essa interface é apresentada na Fig. 1.

Finardi (2003) afirma que só interessam as vazões vertidas das usinas que têm sua produção afetada pelo vertimento, ou seja, como a usina de Lajeado é a fio d’água a mesma não têm sua produção afetada pelo vertimento, sendo assim, o mesmo é considerado nulo. Os limites de vazão turbinada podem ser definidos como um número maior que zero para o limite de vazão turbinada inferior e um número maior ou igual ao somatório total das vazões turbinadas das 5 unidades geradoras para o limite de vazão turbinada superior, observando que, se o mesmo for maior, a restrição de potencial de geração fará o programa indicar erro.

#### 4.2 Simulações e Análises

Para exemplificar o funcionamento da interface criada, escolheu-se o valor de 400 MW de demanda. A simulação é exibida na Fig. 2.

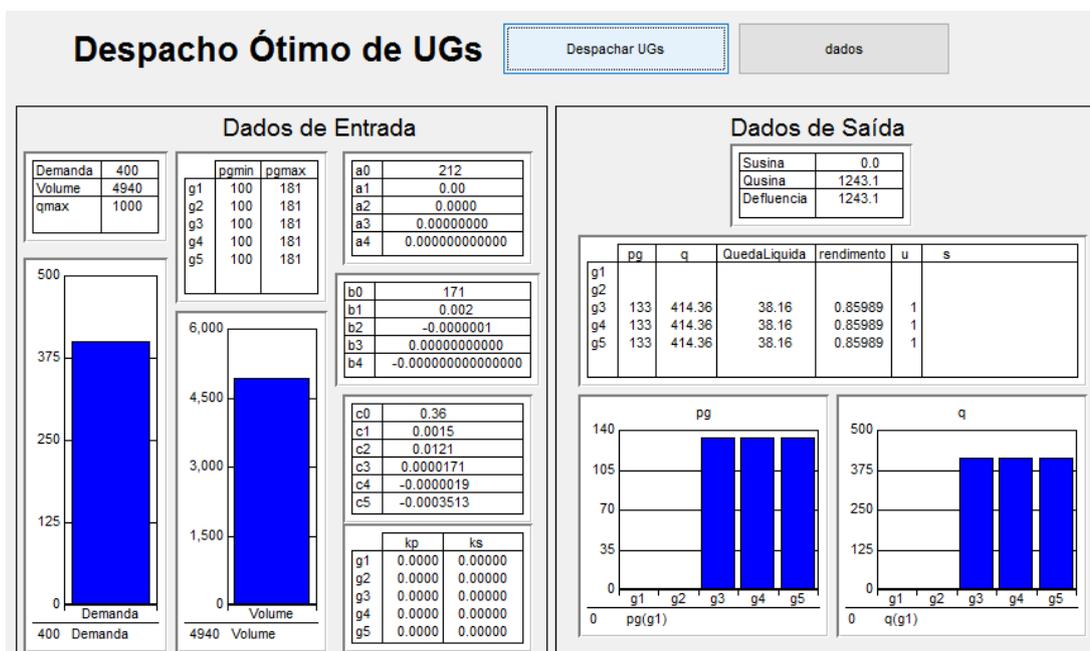


Figura 2 – Demanda igual a 400 MW

Fonte: Aimms (2017)

Em seguida, foram feitas algumas simulações com o intuito de ilustrar os principais indicadores da solução do problema de CUH, além de uma análise comparativa da vazão turbinada pela usina por estágio de demanda, que demonstra a atenuação da vazão defluente por megawatt ((m<sup>3</sup>/s)/MW). As simulações são exibidas na Tab. 5. A mesma apresenta à quantidade de unidades acionadas, a potência unitária gerada, a vazão turbinada por unidade geradora, a vazão defluente da usina, a vazão defluente por megawatt e o rendimento. Estabeleceu-se os dados a partir de demandas estipuladas. Os valores de demanda estipulados variam da potência mínima de geração da usina – 100MW –, sofrem acréscimos de 100MW por estágio de demanda analisado até o mesmo atingir aproximadamente o valor máximo de potência que a usina pode gerar – 900 MW –.

Demanda (MW)	Quantidade de Unidades Ativas	pg (MW)	q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)/MW	η
100	1	100	326,01	326,0	3,26	0,78
200	2	100	328,17	656,3	3,28	0,79
300	2	150	451,36	902,7	3,01	0,87
400	3	133,333	414,36	1243,1	3,11	0,86
500	3	166,666	505,12	1515,4	3,03	0,89
600	4	150	465,89	1863,6	3,11	0,89
700	4	175	543,63	2174,5	3,11	0,90
800	5	160	505,94	2529,7	3,16	0,90
900	5	180	579,34	2896,7	3,22	0,91

Tabela 5 – Análise Comparativa do Comissionamento das Unidades Hidrelétricas e da Eficiência da Vazão Turbinada pela Usina em Virtude de uma Demanda Estabelecida.

Verificando os dados da Tab. 5 e observando o que é afirmado em Finardi (2003) e Brito (2015), nota-se que a solução ótima do despacho da usina pode ser comprovada a partir da evidente uniformidade da distribuição de carga entre as unidades hidrelétricas. Brito (2015) explica que a mesma se deve por conta da estratégia de solução empregada e do fato das unidades geradoras possuírem características operativas idênticas.

No que tange a eficiência da usina, o rendimento é a principal variável do processo. Finardi (2003) afirma que no comportamento físico do rendimento de uma turbina hidráulica a inter-relação entre a altura de queda líquida que a mesma está submetida e a sua vazão turbinada deve ser observada. Finardi (2003) ressalta ainda que esse inter-relacionamento é bastante complexo e que em geral o mesmo é expresso por meio das curvas de desempenho da turbina.

Essas curvas são denominadas por Finardi (2003) de curvas-colina, devido ao formato das mesmas. Utiliza-se a Fig. 3 para exemplificação da interdependência que envolve as variáveis operativas de uma unidade hidrelétrica.

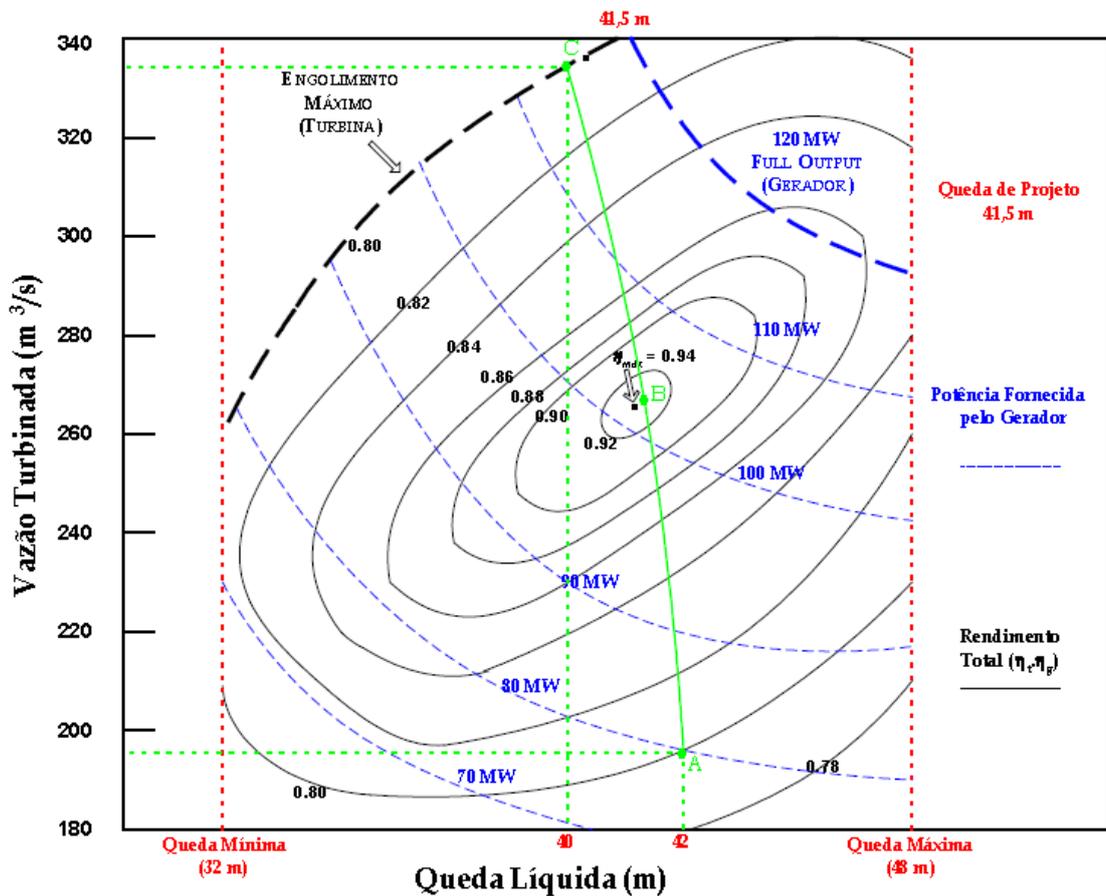


Figura 3 – Exemplo de uma Curva-Colina de uma Unidade Hidrelétrica

Fonte: Finardi (2003)

Observa-se que o eixo das ordenadas representa a vazão turbinada e o eixo das abscissas está associado à altura de queda líquida. As curvas de nível representam o rendimento do conjunto turbina-gerador, as linhas tracejadas representam a potência

fornecida por unidade geradora.

Finardi (2003) enfatiza que as turbinas são projetadas para operar com uma vazão turbinada e uma altura de queda líquida nominais. Considerando o ponto A para análise, a vazão turbinada pela unidade hidrelétrica na qual essa curva baseia-se é aproximadamente igual a 198 m<sup>3</sup>/s e a sua altura de queda líquida igual a 42 m, obtendo um rendimento de aproximadamente 0,78 e uma potência desenvolvida pelo gerador igual a 80 MW.

Finardi (2003) elucida que no caso da curva-colina da Fig. 3, para aumentar a potência de saída do conjunto turbina-gerador é necessário aumentar a vazão turbinada, uma vez que um aumento na vazão turbinada resulta na elevação do nível de jusante tendo como consequência uma redução na altura de queda líquida. O ponto de projeto é indicado por uma seta no centro do gráfico da Fig. 3, nota-se que a altura de queda líquida de projeto para esse caso é igual a 41,5 m e a vazão turbinada de projeto aproximadamente 270 m<sup>3</sup>/s.

Através do contexto elucidado e da discretização dos resultados das variáveis: vazão turbinada, altura de queda líquida, potência gerada e rendimento – todas determinadas para uma unidade hidrelétrica – criou-se uma tabela, cuja análise realizou-se com valores de demanda variando entre  $830\text{MW} \leq \text{Demanda} \leq 870\text{MW}$ , com atribuições de potencial de geração iguais a 5 MW, conforme ilustrado pela Tab. 6.

<b>Deman- da (MW)</b>	<b>830</b>	<b>835</b>	<b>840</b>	<b>845</b>	<b>850</b>	<b>855</b>	<b>860</b>	<b>865</b>	<b>870</b>
<b>q (m<sup>3</sup>/s)</b>	526,17	529,66	533,19	536,76	540,37	<u>544,02</u>	<u>547,72</u>	551,47	555,27
<b>hl (m)</b>	35,44	35,41	35,38	35,34	35,31	<u>35,28</u>	<u>35,24</u>	35,21	35,18
<b>pg (MW)</b>	166	167	168	169	170	<u>171</u>	<u>172</u>	173	174
<b>η</b>	0,9077	0,9080	0,9082	0,9084	0,9085	<u>0,9086</u>	<u>0,9086</u>	0,9085	0,9084

Tabela 6 – Análise Discretizada dos Resultados das Variáveis da Curva-Colina da Usina Analisada.

A Tab. 6 mostra que o rendimento tende a atenuar-se quando o mesmo atinge, o que Finardi (2003) denomina como ponto de projeto, isto é, as turbinas são projetadas para operar com uma vazão turbinada e uma altura de queda líquida nominais sendo que, nessas condições, seu rendimento será máximo. Na Tab. 6 o ponto de projeto das turbinas é representado pela altura de queda líquida com valor médio aproximadamente igual a 35,26 m e pela vazão turbinada com valor médio aproximadamente igual a 545,87 m<sup>3</sup>/s. Os valores das variáveis em que as turbinas obtêm maior eficiência energética estão sublinhados na Tab. 6. Essa interpretação analítica mostra que o programa busca sempre os maiores valores de potencial de geração para efetuar o Comissionamento das Unidades Hidrelétricas (CUH).

Retornando a análise da eficiência da usina enfatizada na Tab. 5, nota-se que a maior diferença na vazão defluente por megawatt é vista durante a variação da demanda entre 200 e 300 MW, justamente aonde a variação do rendimento obteve

maior significância. A partir do que se afirmou anteriormente em relação à curva-colina das turbinas, a variável que teve principal influência, nesse caso, é a que representa a potência elétrica ativa do gerador, devido a sua variação de maior expressividade. A partir da demanda de 500 MW o rendimento está próximo do seu ponto de projeto. Nota-se que a variação da vazão defluente por megawatt tende a ter o seu valor levemente aumentado – de 3,03 a 3,22 –, isso se deve as não-linearidades existentes nas várias variáveis contidas na modelagem do problema.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da análise da distribuição de potencial gerado entre cada unidade hidrelétrica, verificou-se que a qualidade da solução apontada pelo pacote computacional a partir da estratégia de solução PNLIM demonstrou-se ser expressivo e confiável.

Levando em conta somente a demanda estipulada pelo ONS, é notório que o problema se torna de fácil solução quando a usina possui unidades hidrelétricas com característica idênticas, além de não possuir reservatório – usina a fio d'água –, o que propicia a existência de poucas possibilidades de acionamento quando se considera uma demanda específica, por exemplo, estipulando a geração de 400 MW, a distribuição pode ser dada entre 3, 4 ou 5 unidades geradoras. Porém, a definição da vazão turbinada de cada unidade a partir da demanda estipulada do quanto cada uma pode gerar só é possível de ser determinada utilizando a estratégia de solução de minimização da função objetivo.

Na literatura, existem outros trabalhos (por exemplo, alguns com os quais esse trabalho é referenciado) que apresentam problemas de usinas que dispõem de reservatórios, além de se encontrarem ligadas em cascata e de possuírem unidades geradoras com características operacionais de geração distintas. Nota-se que, em relação ao problema abordado nesse trabalho, essas diferenças alteram o valor da vazão defluente – que representa a soma da vazão vertida com a vazão turbinada pela usina –, além do fato de que, quando o volume inicial é baixo, algumas usinas precisam verter água com o intuito de que a(s) usina(s) a jusante obtenha(m) água suficiente para suprir a demanda. Dessa maneira, o problema adquire um aumento no seu respectivo número de restrições e, a partir disso, verifica-se a necessidade de alteração da formulação do problema apresentado para a generalização do mesmo e o emprego de outras estratégias de solução que garantem maior complexidade a reformulação elucidada.

## REFERÊNCIAS

AIMMS Prescriptive Analytics Platform. <http://www.aimms.com/>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

AIMMS B.V.. **Aimms Outer Approximation Algorithm for MINLP**. 2014. Disponível em: <[https://download.aimms.com/aimms/download/manuals/AIMMS3LR\\_OuterApproximation.pdf](https://download.aimms.com/aimms/download/manuals/AIMMS3LR_OuterApproximation.pdf)>. Acesso em:

20 maio 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

BRITO, Brunno Henrique. **ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE COMISSONAMENTO DE UNIDADES DE USINAS HIDRELÉTRICAS ACOPLADAS EM CASCATA**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CORDOVA, Marcelo M. et al. **Sistema de Gestão em Tempo Real para Avaliação da Performance e Otimização da Produção de Energia na Usina Hidrelétrica de Itá**. 2012. Disponível em: <<http://www.engieenergia.com.br/wps/wcm/connect/a47aa8cc-4678-46c4-b50a-0a59e9d2e18a/PD-0403-0003-2008+++Artigo+CITENEL+++OK.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACEa47aa8cc-4678-46c4-b50a-0a59e9d2e18a>>. Acesso em: 20 maio 2017.

FINARDI, Erlon Cristian. **ALOCAÇÃO DE UNIDADES GERADORAS HIDRELÉTRICAS EM SISTEMAS HIDROTÉRMICOS UTILIZANDO RELAXAÇÃO LAGRANGEANA E PROGRAMAÇÃO QUADRÁTICA SEQÜENCIAL**. 2003. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FREDO, Guilherme Luiz Minetto. **ANÁLISE DE DIFERENTES REPRESENTAÇÕES DA FUNÇÃO DE PRODUÇÃO HIDRELÉTRICA NO PROBLEMA DE PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA DE MÉDIO PRAZO**. 2017. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

INVESTCO. Edp. **A Usina**. 2012. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/tocantins/investco/a-usina/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 20 maio 2017.

MELO, Wendel Alexandre Xavier de. **ALGORITMOS PARA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR INTEIRA MISTA**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas e Computação, Coppe/ufrrj, Rio de Janeiro, 2012.

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/home/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alto forno 105, 108

### B

Bancada didática 120, 123, 129, 273, 274, 277, 281, 282

### C

Cartografia 131

Casca de arroz 131, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Cidades Inteligentes (CI) 1, 5, 7, 8

Comissionamento das unidades hidrelétricas 157, 165, 167

Concentrador solar 170

Conscientização ambiental 93

CPC 170, 171, 172, 175, 176

### D

Dimensionamento 170, 171, 175, 176, 193

### E

Educação ambiental 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Educação na escola 93

Energia solar 170, 171, 186, 187, 228, 233

Engenheiro de produção 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64

Ensino universitário 13

Ergonomia 26, 27, 28, 35, 40, 41, 42, 51, 52, 58, 295

Estilo de liderança 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

### F

Fenômenos organizacionais 80

Função de produção hidrelétrica 160, 169

### G

Gerador síncrono isolado 143

Governança corporativa 80, 82, 88, 89, 90, 91

### I

Índice de aproveitamento 13

Indústria 4.0 120, 122, 123, 125, 126, 128, 129, 130

Inovação 3, 6, 7, 8, 57, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 281, 295

(Inter) Multidisciplinaridade 1, 2, 9

## L

Liderança 38, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65

## M

Método de Suzanne Rodgers 26, 28, 29, 34

Métodologias ativas 13

Método OWAS 26, 42, 44, 45, 50, 51

Microcontrolador PIC 143

Miniusinas 131, 139

## O

Óptica 170, 175, 264, 265, 266, 268, 282, 285, 286, 287

## P

Plano diretor 1

Política industrial 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79

Política pública 66

Prevenção a acidentes 105

Programação não-linear inteira-mista 157, 158, 162

Projetos urbanos 1

## Q

Questionário nórdico 26, 30, 34, 37

## R

Regulador automático de tensão 143, 144, 145, 149, 150

Responsabilidade social 58, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 200

## S

Saúde do colaborador 26

Segurança do trabalho 38, 40, 52, 58, 295

Sistema de excitação 143, 145

Sistemas hidrelétricos 120, 121, 123, 124, 129, 130, 157

Sustentabilidade 7, 10, 58, 71, 80, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 104, 295

## T

Tecnologia da informação e comunicação (TIC) 1, 2, 3, 12

Temas transversais 93, 96, 98, 103, 127

Temperatura 36, 37, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 116, 117, 118, 143, 147, 170, 172, 173, 174, 175, 179, 218, 220, 225, 226, 227, 229, 230, 231, 232, 233, 238, 282

## V

Vigilância 40, 45, 47, 50

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-697-3



9 788572 476973