

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

The background is a dark purple gradient with a white, wavy, mountain-like shape across the middle. It is filled with various white and light blue line-art icons representing different fields: gears, a compass, a pencil and ruler, a scale, a network diagram, a calculator, a chemical structure, a magnifying glass, a graph, a book, and mathematical symbols like pi (3.14), y = cos x, and y = |x|. A central white-bordered box contains the title text.

Estudos (Inter)  
Multidisciplinares  
nas Engenharias

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 de 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>	

**CAPÍTULO 7 ..... 80**

**GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE:  
ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL**

Leonardo Petrilli  
Denize Valéria dos Santos Baia  
Juliana Fernanda Monteiro de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.9731909107**

**CAPÍTULO 8 ..... 93**

**PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA  
ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS**

Diego Raniere Nunes Lima  
Renato Araújo da Costa  
Gustavo Francesco de Moraes Dias  
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

**DOI 10.22533/at.ed.9731909108**

**CAPÍTULO 9 ..... 105**

**ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM  
ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA**

Diego Raniere Nunes Lima  
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho  
Gustavo Francesco de Moraes Dias  
Renato Araújo da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.9731909109**

**CAPÍTULO 10 ..... 120**

**CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS  
HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0**

Kariston Dias Alves  
Gustavo Catusso Balbinot  
Artur Vitório Andrade Santos

**DOI 10.22533/at.ed.97319091010**

**CAPÍTULO 11 ..... 131**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE  
TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL**

Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro  
Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos  
Luciano Gonçalves Noleto  
Maria Vitória Duarte Ferrari  
Tallita Karolline Nunes

**DOI 10.22533/at.ed.97319091011**

**CAPÍTULO 12 ..... 143**

**DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO  
MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS**

Guilherme Henrique Alves  
Lúcio Rogério Júnior  
Antônio Manoel Batista da Silva  
Wellington Mrad Joaquim

Luciano Martins Neto

**DOI 10.22533/at.ed.97319091012**

**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>

## UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS

### **Nancy Lima Costa**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Maria de Sousa Leite Filha**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Arthur Gilzeph Farias Almeida**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Jaciara Dantas Costa**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Antônio Daniel Buriti de Macêdo**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **José Nunes de Oliveira Neto**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Jordany Ramalho Silveira Farias**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **José Jefferson da Silva Nascimento**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

energia é obtida a partir da queima do bagaço de cana de açúcar nas caldeiras, o vapor de água proveniente dessa queima aciona as turbinas, e esta converte energia térmica em energia mecânica. Neste trabalho temos o objetivo de apresentar uma análise da eficiência energética e exergética das turbinas utilizadas na cogeração de energia. Esse estudo é relevante pois desde a revolução industrial que os pesquisadores tem se preocupado com a utilização de fontes de energia não renováveis. Com a cogeração de energia, além das indústrias sucroalcooleiras se tornarem autosuficientes, elas podem contribuir para a matriz energética brasileira. Para isso avaliar a eficiência energética e a eficiência exergética das turbinas a vapor utilizadas nesse processo, apresentamos um recorte da dissertação de Fiomari (2004), a escolha por tal trabalho deu-se pela abordagem de diferentes plantas para a cogeração de energia de uma indústria sucroalcooleira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Exergia, Cogeração, Indústria Sucroalcooleira, Turbina a vapor.

**RESUMO:** O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O setor sucroalcooleiro tem como principais produtos o açúcar, o etanol e, desde 1980, a cogeração de energia tem ganhado destaque neste setor. A geração de

AN APPLICATION OF THE ENERGY  
EFFICIENCY AND EXERGICAL  
EFFICIENCY OF STEAM TURBINES IN THE  
SUCROALCOOLEIRAS INDUSTRIES

**ABSTRACT:** Brazil is the world's largest

producer of sugarcane. The sucroalcooleiro sector has as its main products sugar, ethanol and, since 1980, energy cogeneration has gained prominence in this sector. Power generation is obtained from the burning of sugarcane bagasse in the boilers, the water vapor from this burning activates the turbines, which converts thermal energy into mechanical energy. In this paper we objective present an analysis of the energy and exergetic efficiency of turbines used in energy cogeneration. This study is relevant because since the industrial revolution researchers have been concerned with the use of non-renewable energy sources. With energy cogeneration, in addition to the sucroalcooleiro industries becoming self-sufficient, they can contribute to the Brazilian energy matrix. In order to evaluate the energy efficiency and exergetic efficiency of the steam turbines used in this process, we present a cut from Fiomari's dissertation (2004), The choice for such work was due to the approach of different plants for the energy cogeneration of a sucroalcooleiro industry.

**KEYWORDS:** Exergy, Cogeneration, Sucroalcooleiro Industry, Steam turbine.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O setor sucroalcooleiro tem como principais produtos o açúcar, o etanol e, desde 1980, a cogeração de energia tem ganhado destaque neste setor. Ele está organizado basicamente em três estágios: plantação e cultivo da cana-de-açúcar; produção do açúcar ou álcool; comercialização do produto final. Algumas empresas atuam em todos os estágios, mantendo o seu foco na produção do açúcar ou do álcool (LIBONI, 2009).

De acordo com Peixoto (2010), na cadeia produtiva da cana de açúcar, uma das etapas que merecem destaque é a moagem, a qual consiste em extrair consiste em extrair o caldo contido na cana. Após esta etapa, obtém-se o bagaço da cana, subproduto que tem se tornando essencial para o funcionamento dessas indústrias. O bagaço alimenta as caldeiras, onde é queimado, e a energia liberada transforma água em vapor. Nas caldeiras, o vapor gerado atinge uma pressão média de 18-21kgf/cm<sup>2</sup>, que é responsável pelo acionamento das turbinas a vapor, onde ocorre a transformação da energia térmica em energia mecânica.

A energia gerada nestas turbinas é utilizada para acionamento de geradores responsáveis pela produção de energia elétrica necessária para vários setores desta indústria. Segundo Pellegrini (2009), todas as usinas sucroalcooleiras brasileiras são autossuficientes com relação à geração de energia eletromecânica e calor para os seus processos. Ademias, o bagaço da cana é uma das biomassa na composição da matriz energética brasileira como pode ser observado no gráfico 1.

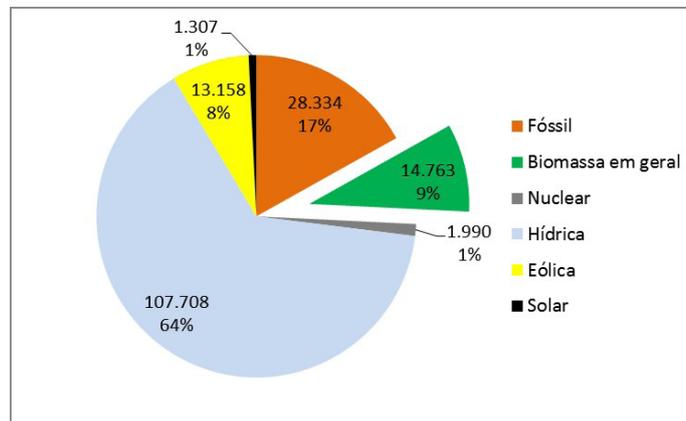


Gráfico 1. Potência outorgada por fonte em operação (MW e %)

Fonte: ÚNICA (2018)

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2018, 77% da bioeletricidade da matriz energética do Brasil foi proveniente do bagaço da cana de açúcar. Diante disso, a cogeração de energia nessas indústrias merece destaque e neste trabalho temos a finalidade de analisar a eficiência das turbinas na cogeração de energias das indústrias sucroalcooleiras. Para isso, faz-se necessário compreender o balanço de energia nas turbinas a vapor no processo de cogeração, e o balanço de exergia nas turbinas a vapor no processo de cogeração.

O termo “cogeração” é de origem americana e é empregado para designar os processos de produção combinada de energia térmica e potência, mecânica ou elétrica, com o uso da energia liberada por uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico. Normalmente, são usados os ciclos Rankine, que são aqueles que empregam turbinas a vapor, ou os ciclos Brayton, que utilizam turbinas a gás (FIOMARI, 2004).

Maudonet (2017) afirma que para compreender a processo de geração de energia é necessário analisar as turbinas a vapor e as turbinas a gás e motores alternativos, elas em geral são responsáveis pela produção de potência. Araújo (2014) acrescenta que no setor sucroalcooleiro o sistema de cogeração aparece vinculado a três configurações fundamentais de turbinas a vapor: Turbinas de contrapressão; Turbinas de extração-condensação; Combinação de turbinas de contrapressão com outras de condensação que empregam o fluxo excedente.

Pilankar e Kale (2016), ressaltam que a avaliação de desempenho de vapor e geração de energia sistema é essencial para a utilização adequada de recursos energéticos disponíveis. Ao avaliar o desempenho da planta de uma indústria pode-se fixar áreas pontuais ou componentes onde a energia a conversão é fraca e onde a melhoria é necessária. Isso ajudará a melhorar a eficiência energética, minimizar despesas operacionais e aumentando a rentabilidade da indústria.

Na próxima seção serão apresentados conceitos básicos para a compreensão da a eficiência exérgica em turbinas a vapor.

## 2 | ANÁLISE ENERGÉTICA E ANÁLISE EXERGÉTICA EM TURBINAS A VAPOR.

A princípio faz-se necessário distinguir energia e exergia. Em síntese a energia está relacionada a quantidade e a capacidade de realização de trabalho, já a exergia está associada a qualidade e ao potencial de uso da potência disponível. Exergia é definida como quantidade máxima de trabalho que pode ser obtido por um sistema ou fluxo de matéria. Ao contrário do que preconiza a 1ª Lei da Termodinâmica, a exergia não é conservada durante qualquer processo real; ou seja, sempre é destruída em um processo. A exergia destruída é proporcional à entropia gerada devido a irreversibilidades. (TAPAN et al, 2010)

Em Termodinâmica, a avaliação de desempenho dos equipamentos pode ser baseada na 1ª Lei da Termodinâmica, por exemplo, análise de energia. Neste caso é possível determinar a potência real do equipamento. A análise para sistemas com escoamento em regime permanente, o caso das turbinas a vapor, pode ser feita por meio da equação de balanço de energia (Eq.1).

$$\dot{Q}_{sai} - \dot{W}_{sai} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left( h_s + \frac{v_s^2}{2} + gz_s \right) = 0 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde,

$\dot{Q}_{sai}$  - taxa de transferência de calor ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle [J];

$\dot{W}_{sai}$  - taxa de transferência por trabalho ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle [J];

$\dot{m}_e$  e  $\dot{m}_s$  - vazões mássicas instantâneas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente e, [kJ/kg];

$\dot{m}_e \frac{v_e^2}{2}$  e  $\dot{m}_s \frac{v_s^2}{2}$  - energias cinéticas específicas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente, [J];

$\dot{m}_e gz_e$  e  $\dot{m}_s gz_s$  - as energias potenciais específicas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente, [J].

No caso das turbinas a vapor ou a gás,  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$  a energia cinética e a energia potencial podem ser desprezadas, além disso, a transferência de calor entre a turbina e a vizinhança usualmente é pequena quando comparada aos termos relacionados à potência e à entalpia, deste modo a eq. 1 resume-se a:

$$\dot{W}_{sai} = \dot{m}(h_e - h_s) \quad (\text{Eq. 2})$$

A eficiência termodinâmica baseada na 1ª Lei da Termodinâmica ( $\eta_I$ ) para dispositivos que realizam trabalho, como as turbinas, é dada por

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{sai}}{\dot{m}\Delta h_{iso}} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde,  $\Delta h_{iso}$  - é a diferença entre as entalpias de entrada e de saída do volume

de controle, para processo isoentrópico (kJ kg).

Outro método usado para avaliar o desempenho de um equipamento é a análise exergética baseada na 2ª Lei de Termodinâmica, por meio dessa análise determina-se a máxima potência (ou potência reversível) do equipamento. Para uma turbina que opera em regime permanente, sem transferência de calor o balanço exergético é dado por

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W}_{rev,sai} + \dot{m}(\psi_e - \psi_s) - \dot{X}_{destruída} = 0, \quad (\text{Eq. 4})$$

onde

$\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}$  – taxa de transferência de exergia associada à transferência de calor;

$\dot{W}_{rev,sai}$  – taxa de exergia associada a potência, ou simplesmente máxima potência, [kW];

$\dot{m}$  – vazões mássica, [kJ/kg];

$\psi_e$  e  $\psi_s$  – exergia específica do fluido na entrada e saída do volume de controle, [kJ/kg];

$\dot{X}_{destruída}$  – taxa de exergia destruída, [kW].

No caso de equipamentos que operam em regime permanente, sem transferência de calor para a sua vizinhança, a formulação do balanço de energia, simplifica-se como a eq. 5

$$\psi_e - \psi_s = \frac{\dot{W}_{rev,sai} + \dot{X}_{destruída}}{\dot{m}} \quad \text{Eq. 5}$$

Para dispositivos que produzem trabalho, como as turbinas, a eficiência exergética é dada por meio da relação entre a produção de trabalho útil e a máxima produção de trabalho (reversível) possível, sob as mesmas condições.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{sai}}{\dot{W}_{rev,sai}} \quad \text{Eq. 6}$$

O objetivo da análise exergética é identificar os locais onde a destruição de exergia e as perdas aconteçam, para que com isso, busque-se melhorias nesses locais para se obter melhores resultados.

### 3 | A EFICIÊNCIA DAS TURBINAS: UM ESTUDO DE CASO

Essa seção tem caráter ilustrativo e apresenta um recorte da dissertação de Fiomari (2004). A escolha de tal trabalho deu-se, pois o mesmo possui uma análise da eficiência energética e eficiência exergética para cinco plantas resultantes do projeto de expansão do sistema de cogeração de energia da Destilaria Pioneiras. As plantas consistem basicamente de uma caldeira que produz 140 toneladas de vapor por hora a alta pressão e temperatura (6,6 MPa e 530°C, respectivamente); de uma turbina de

extração-condensação.

No trabalho supracitado, é feita uma avaliação termodinâmica detalhada para uma turbina de extração-condensação com capacidade de acionar um gerador de 40 MVA. Aqui iremos enfatizar a análise de dois casos que estavam em operação na ocasião de realização da dissertação, a saber, o Caso 1 e o Caso 2.

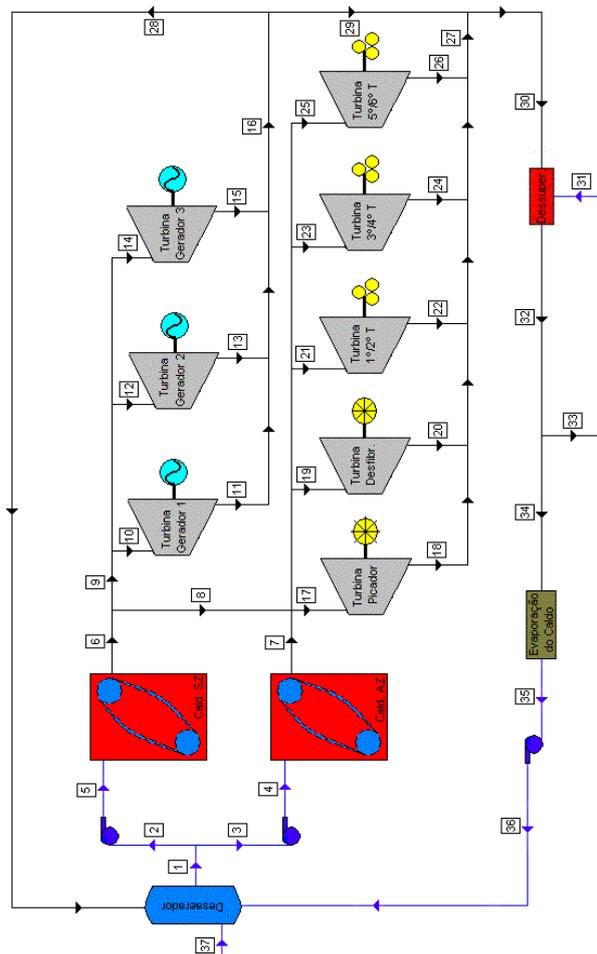


Figura 1: Fluxograma da Destilaria Pioneiros na safra 2003/2004 (Caso 1).

Nessa planta, as turbinas dos três geradores elétricos (Turbina Gerador 1, Turbina Gerador 2 e Turbina Gerador 3), podem gerar nominalmente 1,2 MW cada um. Nessa configuração, a energia gerada em 440 V a qual é utilizada para a demanda interna de eletricidade da empresa.

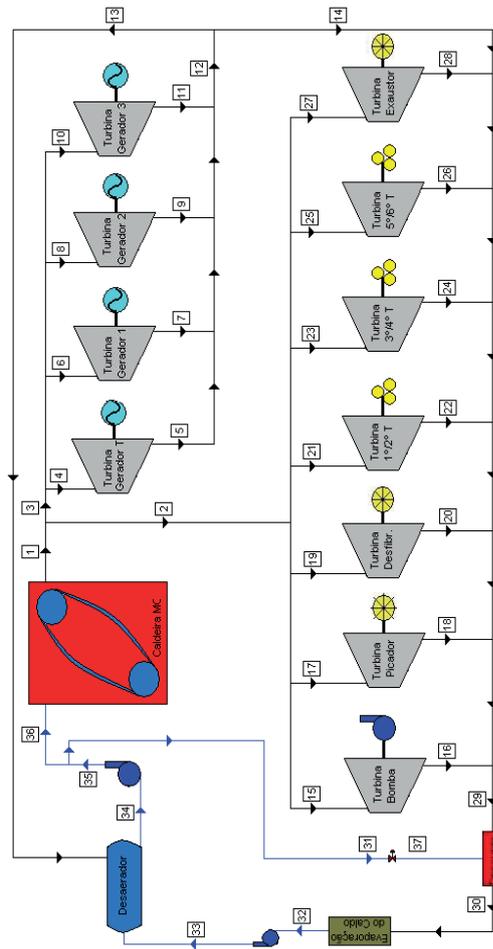


Figura 2: Fluxograma da Destilaria Pioneiros na safra 2004/2005 (Caso 2).

Na planta do Caso 2, dentre as mudanças entre as duas plantas destacamos a instalação de mais um turbo gerador (Turbina Gerador T), com capacidade de gerar nominalmente 4,0 MW, e de uma turbina responsável pelo acionamento da bomba de alimentação de água da caldeira.

A eficiência energética e a eficiência exergética para as turbinas para ambos os casos estão descritos na tabela 1.

Caso	Turbinas	$\eta_I(\%)$	$\eta_{II}(\%)$	$\dot{W}_{sai}(\text{kW})$
I	Gerador 1	43,7	51,6	1063
	Gerador 2	43,7	51,6	1063
	Gerador 3	43,7	51,6	1063
II	Gerador 1	43,7	51,7	805
	Gerador 2	43,7	51,7	800
	Gerador 3	43,7	-	-
	Gerador T	63,8	70,3	1933

Tabela I: Eficiência das Turbinas

Diante desses resultados, percebe-se que com a alteração feita, o Caso 2 apresenta uma eficiência global maior que a planta do Caso 1. Além disso, a partir das

análises realizadas para avaliar o desempenho da turbina de extração-condensação, Fiomari (2004) confirmou que este tipo de turbina tem boa eficiência em relação a outras turbinas.

## 4 | CONSIDERAÇÕES

No processo de cogeração de energia, pelas indústrias sucroalcooleiras, as turbinas a vapor assumem um papel relevante. Afinal, elas são responsáveis por transformar energia térmica em energia mecânica acionando geradores e produzindo em energia elétrica. A partir dessa aplicação percebemos o quão relevante são os conceitos de da Termodinâmica para a avaliação e otimização de equipamentos industriais. Espera-se que esse trabalho desperte o interesse para a investigação da eficiência de outros equipamentos, como as bombas e a caldeira, utilizados na cogeração de energia; e instigue uma reflexão sobre o uso consciente e de formas alternativas de energia.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Capacidade de Geração do Brasil. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: Junho de 2019.

ARAÚJO, B. C. **Simulação de uma usina sucroalcooleira utilizando uma ferramenta na plataforma Matlab**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

FIOMARI, M. C. **Análise Energética e Exergética de uma Usina Sucroalcooleira do Oeste Paulista com Sistema de Cogeração de Energia em Expansão**. Tese. UNESP, Ilha Solteira, SP. 2004.

LIBONI, L. B. **Perfil da mão-de-obra no setor sucroalcooleiro: tendências e perspectivas**. Tese. USP. São Paulo, SP, 2009.

Maudonet, V. V. **Otimização Termodinâmica e Análise Exergética de Sistemas Térmicos Operando em Ciclo Simples e com Cogeração Utilizando o Simulador de Processos IPSEpro Integrado ao MatLab**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

PEIXOTO, G. **A Análise da estrutura e padrão de concorrência do setor sucroalcooleiro no Brasil**. Monografia. UFSC. Florianópolis, SC, 2010.

PELLEGRINI, L. F. **Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade**. Tese. USP, São Paulo, SP, 2009.

Tapan K. R. **Amitava D., Amitava G., Ranjan G. Exergy-based performance analysis for proper O&M decisions in a steam power plant**. Energy Conversion and Management. Vol 51, 2010.

UNICA. **Portal da União da Agroindústria Canavieira**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: junho de 2019.

## 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