

**NELSON DE SOUZA AMORIM  
FERNANDO MANUEL ARAÚJO MOREIRA  
CARLOS CÉLIO SOUSA DA CRUZ  
UBIRAEALSON DE LIMA RUELA  
PAULA RENATHA NUNES DA SILVA  
JOSÉ ROBERTO BRANCO RAMOS FILHO  
VICENTE MOREIRA RODRIGUES  
THIAGO AUGUSTO DE SOUSA MOREIRA  
GILSON FERNANDES BRAGA JUNIOR  
ESTEFANY COUTO MILÉO  
(ORGANIZADORES)**

# **ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA FÍSICA**



**Atena**  
Editora

Ano 2020

**NELSON DE SOUZA AMORIM  
FERNANDO MANUEL ARAÚJO MOREIRA  
CARLOS CÉLIO SOUSA DA CRUZ  
UBIRAEALSON DE LIMA RUELA  
PAULA RENATHA NUNES DA SILVA  
JOSÉ ROBERTO BRANCO RAMOS FILHO  
VICENTE MOREIRA RODRIGUES  
THIAGO AUGUSTO DE SOUSA MOREIRA  
GILSON FERNANDES BRAGA JUNIOR  
ESTEFANY COUTO MILÉO  
(ORGANIZADORES)**

# **ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA FÍSICA**



**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:** 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 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
S612a	<p>           Simpósio Brasileiro de Engenharia Física (14 : 2019 : Santarém)            Anais [...] / XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física, 23-25            outubro 2019, Santarém, PA; organizadores Nelson de Souza            Amorim... [et al.]. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.         </p> <p>           Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            ISBN 978-65-86002-15-7            DOI 10.22533/at.ed.157200203         </p> <p>           1. Engenharia física – Congressos. I. Título.         </p> <p style="text-align: right;">CDD 573.724</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](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

O curso de Engenharia Física da Universidade Federal de São Carlos foi criado no ano 1999 e foi pioneiro nesta área no Brasil. No ano de 2019, o curso de engenharia física no Brasil completou 20 anos. Nesse contexto, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPa) promoveram o XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física que foi realizado na cidade de Santarém-PA no período de 23 a 25 de Outubro de 2019 na Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Tapajós com o tema “Jubileu de 20 anos da Engenharia Física no Brasil”.

Com a proposta de promover o conhecimento científico e inovação tecnológica bem como a integração entre especialistas, docentes e discentes da área, foram discutidos os 20 anos de existência do curso no Brasil e o intercâmbio de informações técnicas-científicas através de minicursos e palestras relacionados as diferentes temáticas da Engenharia Física e suas perspectivas futuras.

A coleção Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Engenharia Física é uma obra que tem como objetivo divulgar os diversos trabalhos que participaram do evento através de trabalhos acadêmicos que abordaram diferentes temas, tais como: termodinâmica, propriedades dielétricas de materiais, ciência dos dados e machine learning, internet das coisas, deep learning, processos oxidativos avançados, energia solar, gerenciamento de projetos, física quântica e automação. Deste modo a obra contribui para disseminar os resultados obtidos pelos acadêmicos e fortalecer a diversidade científica no país, de forma multidisciplinar.

Comitê Organizador



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A IMPORTÂNCIA DO REALIMENTADOR NA EFICIÊNCIA DE UM CICLO DE RANKINE UTILIZANDO O EES	
Muller Gabriel da Silva Chaves Carlos Eduardo Ribeiro Silva Vitor Azevedo Pinto Carlos Célio Sousa da Cruz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ANÁLISE TEÓRICA DAS PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DA MACAÚBA ( <i>Acrocomia acuelata</i> )	
Alex Torres da Silva Nelson de Souza Amorim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE DATA SCIENCE E MACHINE LEARNING EM UM PROBLEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE UM DATASET DE MARKETING BANCÁRIO	
Yasmin Braga Teixeira João Vitor Rebelo Viana Josecley Fialho Góes Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>28</b>
AQUISIÇÃO DE DADOS DO CONSUMO ELÉTRICO EM UMA EDIFICAÇÃO DA UFOPA UTILIZANDO CONCEITOS DE IOT	
Leonardo Paz Amoêdo Dalton Felipe Silva Varão João Elias Brasil Bentes Júnior Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>37</b>
DEEP LEARNING PARA REGRESSÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA DE UMA USINA DE ENERGIA DE CICLO COMBINADO	
Mauro Sérgio dos Santos Moura Anderson Alvarenga de Moura Meneses	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>46</b>
DEGRADAÇÃO DE CORANTES EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO DIÓXIDO DE TITÂNIO NA FORMA DE FILMES FINOS PREPARADOS SOBRE SUBSTRATO CERÂMICO COMERCIAL	
Graziele Daiana Sena de Sousa Adriano Cesar Rabelo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002036</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>59</b>
FATORES CRÍTICOS QUE INTERFEREM NO GERENCIAMENTO DO TEMPO EM PROJETOS DE ENGENHARIA: ESTUDO DE CASO EM SANTARÉM – PA	
Raíssa Coelho Almeida Kevin de Matos Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002037</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>70</b>
OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE KLEIN-GORDON-FOCK EM COORDENADAS DO CONE DE LUZ	
Jorge Kysnney Santos Kamassury Damião Pedro Meira Filho Sérgio Antônio de Souza Farias Natalie Von Paraski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002038</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>83</b>
RÁPIDO RECONHECIMENTO DE MODULAÇÕES ANALÓGICAS E DIGITAIS VIA REDES RESIDUAIS PROFUNDAS	
Jorge Kysnney Santos Kamassury Vinícius Felipe de Oliveira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1572002039</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>98</b>
REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A AUTOMAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL	
Davi Henrique da Silva Pedroso Gabriel Gonçalves da Silva Gilson Fernandes Braga Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.15720020310</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>109</b>
DIAGNÓSTICO DOS MICROSSISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO INSTALADOS NAS COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE SANTARÉM	
Fabiane da Conceição Almeida Manoel Roberval Pimentel Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.15720020311</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>119</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>121</b>



## A IMPORTÂNCIA DO REALIMENTADOR NA EFICIÊNCIA DE UM CICLO DE RANKINE UTILIZANDO O EES

Data de aceite: 27/01/2020

Data de submissão: 21/11/2019

### Muller Gabriel da Silva Chaves

Universidade Federal do Oeste do Pará  
Santarém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7702853835432658>

### Carlos Eduardo Ribeiro Silva

Universidade Federal do Oeste do Pará Santarém  
– Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9904715808665794>

### Vitor Azevedo Pinto

Universidade Federal do Oeste do Pará Santarém  
– Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7321405317669336>

### Carlos Célio Sousa da Cruz

Programa de Ciência e Tecnologia/UFOPA  
Santarém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8929989531873951>

**RESUMO:** O realimentador é um dispositivo pertencente a ciclos termodinâmicos, sua principal característica é de aumentar a eficiência do ciclo, pois sua presença é de vital importância nas termoelétricas, que por sua vez, são de imprescindível relevância no território brasileiro. O artigo tem como principal objetivo analisar a importância do realimentador e a eficiência em um ciclo de Rankine com finalidade de relacionar a pressão que entra no

realimentador e as frações de vapor nas saídas da turbina com o rendimento. A metodologia utilizada durante o estudo foi montar um ciclo de Rankine isentrópico teórico com dados pré-estabelecidos para realizar uma simulação através do software EES. Para uma melhor compreensão da análise feita pelo software, foi calculado analiticamente o rendimento do ciclo original. Os resultados encontrados mostram que quanto menor for a pressão na entrada do realimentador maior será o rendimento do ciclo térmico. Além disso, mostra uma diminuição gradativa na eficiência quando a distribuição de fluxo de massa se dar a partir da turbina. A partir dessa pesquisa foi possível mensurar a eficiência do realimentador, mostrando os ganhos adquiridos com sua utilização, além da distribuição mais adequada do fluxo para melhorar o rendimento e a redução dos impactos ambientais ocasionados aos rios e lagos próximos de termoelétricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência, ciclo de Rankine, realimentador, EES.

### THE IMPORTANCE OF FEEDWATER HEATER ON THE EFFICIENCY OF A RANKINE CYCLE USING THE EES

**ABSTRACT:** The Feedwater Heater is a device belonging to thermodynamic cycles, its main feature is to increase the efficiency of

the cycle, because its presence is vital importance in thermoelectric, which in turn are indispensable relevance in the Brazilian territory. The article aims to analyze the importance of the feedwater heater and its efficiency in a Rankine cycle for the purpose to list the pressure entering from the feedwater heater and the steam fractions in the turbine outputs with efficiency. The methodology used during the study was to assemble a theoretical isentropic Rankine cycle with pre-established data for perform a simulation using the EES software. For a better understanding of the analysis made by the software, the yield of the original cycle was analytically calculated. The results found show that the lower the pressure at the feedwater heater inlet, results in a higher yield. In addition, it shows a gradual decrease in efficiency when the mass flow distribution is from the turbine. From this research it is possible to measure the effectiveness of the feedwater heater, showing the gains acquired from its use, as well as the most appropriate distribution of flow to improve yield and reduction of environmental impacts caused to rivers and lakes near thermoelectric.

**KEYWORDS:** Efficiency, Rankine Cycle, Feedwater Heater, EES.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Borgnakke e Sonntag (2017) o realimentador é um aquecedor e desareador da água de alimentação, esse equipamento tem duplo objetivo, o de aquecimento e o de remoção de ar da água de alimentação. A menos que o ar seja removido da água, pode ocorrer corrosão excessiva na caldeira.

De acordo com Çengel e Boles (2013) o aquecedor de água de alimentação também conhecido como realimentador é um equipamento que tem como função o pré-aquecimento de um fluido antes dele voltar a entrar na caldeira, ao realizar essa troca de calor adiciona energia ao fluido, exigindo uma menor quantidade de energia da caldeira para aquecer o fluido, ao fazer isso as perdas de energias são menores, pois, ao mesmo tempo em que perde energia ao passar de um dispositivo a outro, acaba-se ganhando no realimentador, assim maximizando a eficiência do ciclo.

O realimentador é utilizado quase que restritivamente em termoelétricas, que por sua vez são de extrema importância no território brasileiro, pois, de acordo com a ANEEL essa é a segunda maior fonte geradora de energia elétrica do país, produzindo 24,41% de toda energia produzida, esses dados nos remetem a diversos fatores importantes seja positivamente ou negativamente, como o econômico e ambiental.

Segundo Guerra e Carvalho (1995) o principal destaque negativo causado pela geração da termoelétricas são as emissões de gases e material particulado na atmosfera, que nos remetem ao tema ambiental uma vez que tais gases estão relacionados as mudanças climáticas acarretadas pelos gases de efeito estufa e as consequentes negociações, em curso, sobre medidas de controle da emissão de CO<sub>2</sub>. Outro dano com bastante relevância é ocasionado pelo aumento na temperatura

dos rios próximos onde estão instaladas as termoelétricas. Segundo Powers et al. (1979) as necessidades biológicas dos peixes estão correlacionadas a temperatura do ambiente onde vivem, caso haja uma mudança na temperatura de lagos ou rios a quantidade de oxigênio diminui, prejudicando a sobrevivência dos animais que vivem naquele habitat, esse efeito é conhecido como Lei de Henry.

Segundo Pariente (2015) a presença do realimentador é fundamental para minimizar os danos ao meio ambiente e a geração de energia elétrica, pois, influi consideravelmente na eficácia do sistema, permitindo uma melhor produção da usina, isso sem prejudicar ainda mais a natureza. A partir disso o presente artigo tem como objetivo estudar e analisar o potencial do realimentador a fim de mostrar sua utilização dentro de um ciclo de Rankine comprovando sua funcionalidade e junto a todos os seus ganhos.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

De acordo com o seguinte ciclo de Rankine com realimentador apresentado na figura 1, nele está presente uma caldeira, uma turbina a vapor, um condensador, duas bombas e um realimentador.

A figura 1 apresenta o ciclo de forma exemplificada e o seu funcionamento se dá da seguinte maneira: a caldeira aquece o fluido vindo da bomba 2 transformando o líquido comprimido em vapor superaquecido; após a sua saída da caldeira o fluido escoar para a turbina a vapor, no qual ela possui frações de vapor, ou seja, a maior parte do fluido vai para o condensador e a outra para o realimentador, gerando trabalho a partir do vapor que entra.

O condensador recebe parte do fluido vindo da turbina transformando a mistura líquido-vapor em líquido saturado. Logo após, o fluido segue para a bomba 1 onde é comprimido até entrada do realimentador. Parte do vapor é extraído nesse estado e enviado para o realimentador, enquanto o restante do vapor continua se expandindo de forma isentrópica até o condensador. O fluido deixa o condensador como líquido saturado estando à pressão do condensador. Esse fluido condensado, entra em uma bomba isentrópica, no qual é comprimido e direcionado até o realimentador, onde se mistura ao vapor extraído da turbina. A fração de vapor extraída é tal que a mistura sai do realimentador como líquido saturado à pressão do aquecedor. Uma segunda bomba eleva a pressão do fluido até a pressão da caldeira. O ciclo se completa pelo aquecimento do fluido na caldeira até o estado de entrada da turbina.

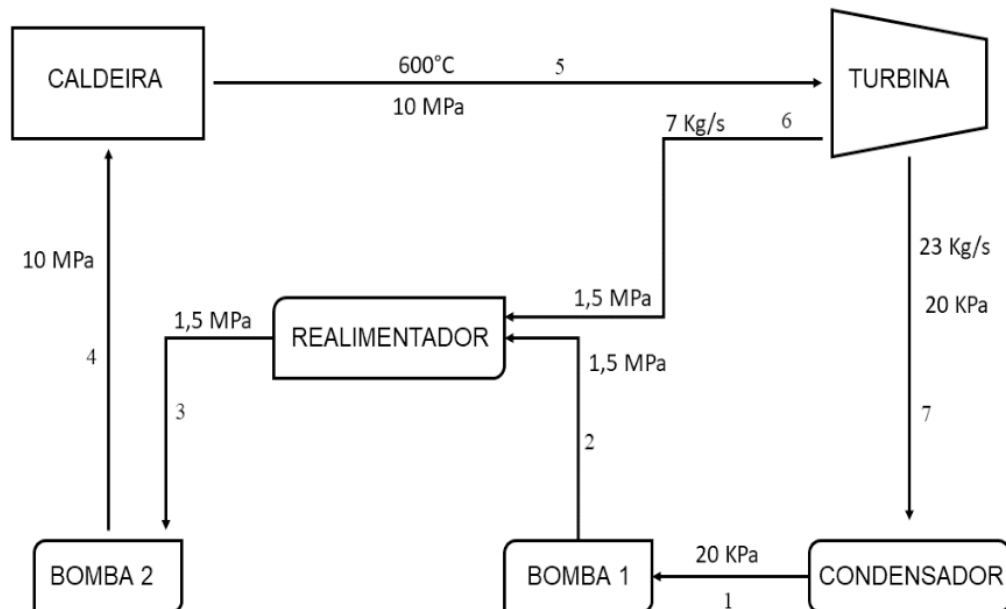


Fig. 1: Ciclo de Rankine com realimentador

Fonte: Autor (2019)

## 2.1 Objetivos

### 2.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do artigo é analisar a importância do realimentador de um ciclo termodinâmico e meios para alternativas para melhorar a eficiência através de simulações realizadas no software EES.

### 2.1.2 Objetivos Secundários

- i) Analisar a eficiência do ciclo energético a partir do software EES.
- ii) Encontrar a relação da eficiência do ciclo com e sem a presença do realimentador, afim de comprovar a sua importância.
- iii) Avaliar a distribuição ideal da fração de vapor extraído da turbina.

## 3 | METODOLOGIA

Para encontrar os objetivos do artigo deve-se compreender sobre a primeira lei da termodinâmica, que de acordo com Çengel e Boles (2013) uma das leis mais fundamentais da natureza é o princípio da conservação de energia e que durante uma interação, a energia pode mudar de uma forma para outra, mas que a quantidade total permanece constante, ou seja, a energia não pode ser criada ou destruída, isso dimensiona a relação entre os processos de um ciclo e a partir dela se pode compreender a interação entre cada equipamento pertencente ao esquema mostrado na figura 1. A equação 1 é a expressão numérica da primeira lei da termodinâmica.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{sai} \dot{m} \left( h + \frac{m.v^2}{2} + gz \right) - \sum_{ent} \dot{m} \left( h + \frac{m.v^2}{2} + gz \right) \quad (1)$$

A equação 2 expressa o mesmo princípio, não obstante, relata a o processo por meio do fluxo de massa, em que demonstra que a massa que entra em um volume de controle é igual a massa que sai.

$$\sum \dot{m}_{entra} = \sum \dot{m}_{sai} \quad (2)$$

Para fazer as simulações no EES faz-se primeiramente o balanço de massa usando a equação 2 e em seguida o balanço de energia adequando cada equipamento de acordo com a equação. O cálculo foi feito de forma individual para cada elemento pertencente ao ciclo, porém, foi considerado o efeito de cada processo anterior influenciando o posterior.

Segundo Martinelli (2003) a caldeira é um aparelho térmico cujo objetivo é produzir aquecimento de um fluido vaporizante. Para encontrar o calor que sai da caldeira, tem-se as seguintes considerações: não há geração de trabalho, energias cinéticas e potenciais são desconsideradas, além disso as entalpias foram retiradas do EES durante a simulação. Podemos assim calcular a troca de energia na caldeira a partir da seguinte equação:

$$\dot{Q}_{caldeira} = h_5 - h_4 \quad (3)$$

A turbina é o ponto posterior a caldeira, pois segundo Çengel e Boles (2013) à medida que o fluido escoar pela turbina as pás se movem realizando o trabalho de eixo. A turbina considerada no sistema possui duas saídas de massa, em uma o fluido sai como vapor superaquecido e em outra sai como mistura, indo diretamente para o condensador. Com isso, considera-se que haverá apenas geração de trabalho, portanto, será apenas desconsiderado a energia cinética e potencial, todas as entalpias atribuídas nas resoluções foram obtidas através do software EES e a partir das informações disponíveis obtém-se:

$$\dot{W}_{turbina} = (h_5 - h_6) + (1 - y)(h_6 - h_7) \quad (4)$$

O sistema utiliza duas bombas em distintos momentos, de acordo Çengel e

Boles (2013) o trabalho da bomba é utilizado e não gerado, com isso sabe-se que as bombas são apenas um dispositivo para as pressões, então não há calor nem trabalho gerado e as energias cinéticas e potenciais são desprezíveis, portanto, através da equação 5 e as considerações utilizadas para a bomba 1 obteve-se a seguinte equação para o trabalho:

$$\dot{W}_{bomba1} = (1 - y)v(P_2 - P_1) \quad (5)$$

Para a bomba 2, utilizou-se a equação 6:

$$\dot{W}_{bomba2} = v(P_4 - P_3) \quad (6)$$

O condensador é um trocador de calor, tendo a função retirar energia. Segundo Borgnakke e Sonntag (2017) o condensador retira calor do fluido, alterando seu estado. Neste processo torna-se a ignorar as energias cinéticas e potenciais envolvidas, analisando apenas as entalpias, através dessas considerações, temos a seguinte equação:

$$\dot{Q}_{condensador} = (1 - y)(h_1 - h_7) \quad (7)$$

O rendimento do sistema de acordo com Moran et al. (2018) é encontrado buscando a relação entre o trabalho gerado e o calor dissipado, como o trabalho é gerado na turbina e consumido nas bombas, o rendimento se dar por:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turbina} - (\dot{W}_{bomba1} + \dot{W}_{bomba2})}{\dot{Q}_{caldeira}} \quad (8)$$

As equações descritas foram utilizadas para escrever o código utilizado na simulação, contudo, para mostrar a significância da utilização do realimentador durante o ciclo, foi realizado uma comparação entre os ciclos em que os dois são diferidos pela presença do realimentador, o rendimento foi utilizado como parâmetro de comparação, sendo utilizado a equação 9.

Para traçar meios para avaliar a eficiência do sistema, foram modificados

alguns pontos no ciclo ilustrado pela figura 1. Durante o processo foi alterado a pressão na entrada do realimentador, foram selecionadas dez pressões diferentes e correlacionado com o rendimento causado a partir da mudança. Também foram modificados outros parâmetros, sendo o fluxo de massa distribuído na saída da turbina, modificando em sete outras variáveis relacionando com a eficiência do ciclo.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para encontrar o calor de entrada na caldeira, utilizou-se as entalpias de entrada e saída desta, obtendo-se o seguinte valor:

$$\dot{Q}_{caldeira} = 2.654,1 \quad (kJ/kg)$$

Para encontrar o trabalho produzido pela turbina, foi utilizada a equação 4 com as devidas entalpias de entrada e saída juntamente com a fração de vapor, obtendo-se:

$$\dot{W}_{turbina} = 1142,39 \quad (kJ/kg)$$

Os trabalhos fornecidos pelas duas bombas foram calculados pelas equações 5 e 6, através de suas determinadas pressões de trabalho, obtendo-se:

$$\dot{W}_{bomba1} = 18,64 \quad (kJ/kg)$$

$$\dot{W}_{bomba2} = 8,9775 \quad (kJ/kg)$$

O calor de saída do condensador calculado a partir da equação 7 e com as determinadas entalpias de entrada e saída, obtém-se o valor de:

$$\dot{Q}_{condensador} = -1712,4 \quad (kJ/kg)$$

O rendimento foi calculado a partir da equação 9, encontrando o valor aproximado de:

$$\eta = 0,4325$$

O ciclo de Rankine com realimentador apresentou uma eficiência de 43,25 % quando comparado com o ciclo de Rankine ideal, ocorreu um aumento de 9,3 % de eficiência do ciclo como resultado da regeneração.

A tabela 1 mostra a relação de variação da pressão na entrada do realimentador com cinco pressões distintas e valores variando entre 3000 KPa à 2000 KPa com o rendimento do ciclo. Na tabela 1 percebe-se que a eficiência aumenta de acordo com a diminuição da pressão, demonstrando uma linearidade na relação entre ambas variáveis. Caso o realimentador não estivesse presente no ciclo, todo o fluxo de



massa passaria pelo condensador diminuindo o rendimento.

<b>Pressão na entrada do realimentador (KPa)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
<b>3000</b>	42,79
<b>2750</b>	43,01
<b>2500</b>	43,25
<b>2250</b>	43,51
<b>2000</b>	43,80

Tabela 1: Análise de eficiência

Fonte: Autor (2019)

A tabela 2 descreve a relação da fração de vapor que se expande parcialmente na turbina e o restante até a pressão do condensador com a eficiência do ciclo térmico. A tabela 2 mostra que quanto maior for a fração de vapor  $y$ , menor será a eficiência no ciclo, pois o trabalho produzido na turbina é o fator preponderante na diminuição da eficiência do sistema térmico.

$y$	$1 - y$	Eficiência (%)
0,233	0,767	43,25
0,250	0,750	42,67
0,266	0,734	42,12
0,283	0,717	41,53
0,300	0,700	40,95
0,316	0,684	40,40
0,330	0,670	39,81

Tabela 2: Relação das frações de vapor com a eficiência

Fonte: Autor (2019)

Para fazer uma análise mais eficiente do ciclo, faz-se um gráfico T-s relacionando a temperatura com a entropia. O gráfico 1 revela que o calor transferido para o fluido de trabalho durante o processo do realimentador a caldeira diminui a temperatura média do processo de fornecimento de calor, portanto, a eficiência do ciclo. Caso não houvesse o realimentador no ciclo, parte do processo após a saída da turbina apresentaria valores de entropia maiores e demandaria mais energia para voltar ao estado inicial que resultaria na diminuição da eficiência do processo.

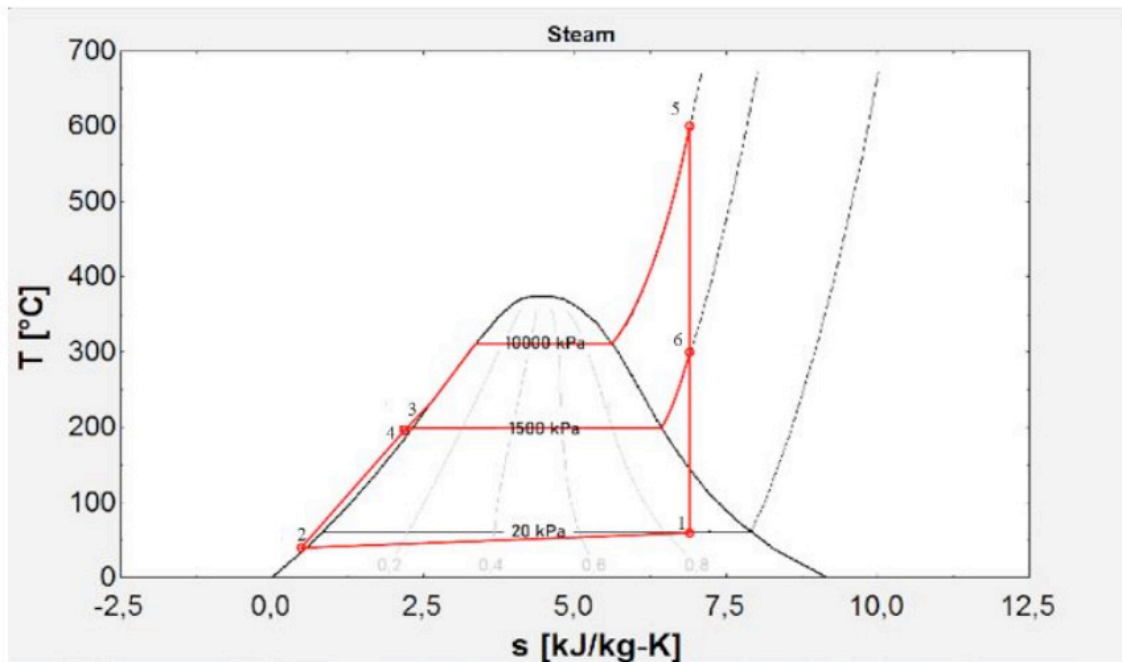


Gráfico 1: Gráfico T-s com realimentador

Fonte: Autor (2019)

## 5 | CONCLUSÃO

Os objetivos mensurados foram alcançados através das simulações realizadas no software EES e os resultados obtidos demonstraram a influência do realimentador no ciclo. Foi mostrado que a mudança de pressão na entrada do realimentador influencia no rendimento do ciclo, uma vez que reduzida a pressão na entrada, por consequência, o rendimento também aumentará proporcionalmente.

Observou-se também que as mudanças na fração de vapor nas saídas da turbina ocasionaram um aumento significativo na eficiência do ciclo, pois, o valor extraído poderia ter produzido mais trabalho, mas seu efeito de elevar temperatura média do processo de fornecimento de calor é mais benéfico para a eficiência térmica.

Conforme o estudo foi possível obter uma melhor compreensão do funcionamento do ciclo e impactos energéticos decorrentes ao uso do realimentador. Porém, é importante ressaltar que a presença do realimentador não pode ser justificada economicamente, de acordo com Borgnakke e Sonntag (2017), pois os autores argumentam que a economia alcançada com o aumento do rendimento não compensaria o custo dos equipamentos adicionais como o realimentador, tubulações extras, nova bomba e etc. No entanto, devem-se considerar outras variáveis tão importantes quanto esta, como a ambiental devido a crescente conscientização ambiental. Não se deve ignorar, por exemplo, os benefícios ambientais que esses ciclos podem gerar com o ganho energético, pois as diversas entidades que compõem a sociedade têm reforçado cada vez mais a necessidade de tecnologias

sustentáveis, e para alcançarmos tal objetivo todo ganho ecológico deve ser valorizado.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, **Banco de Informação de Geração**. Brasil, 2019. Disponível em: < [www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm) > acessado em 10/07/2019 às 15:00 horas.

BORGNAKKE, Claus. SONNTAG, Richard. **Fundamentos da termodinâmica**, São Paulo, 2017.

ÇENGEL, Yunus. BOLES, Michael. **Termodinâmica**, Nova York, 2013.

GUERRA, Sinclair. CARVALHO, Antomar. **Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas**. São Paulo, 1995.

MARTINELLI, Luiz. **Geradores de vapor**. Rio Grande do Sul, 2003.

MORAN, Michael. SHAPIRO, Howard. BOETTNER, Daisie. BAILEY, Margaret. **Princípio da Termodinâmica para Engenharia**. Nova Jersey, 2018.

PARIENTE, Marcos. **Efecto del nivel condensado en Feedwater heaters**. Lérganes, 2015.

POWERS, Denis. MARTIN, Joseph. GARLICK, Robert. FYHN, Hans. FYHN, Unni. **O efeito da temperatura sobre os equilíbrios do oxigênio das hemoglobinas de peixe em relação à variabilidade térmica ambiental**. 1979.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acompanhamento do consumo 28, 30  
Aprendizado de máquina 19, 20, 21, 22, 37, 38, 83  
Aprendizagem profunda 37

### C

Campo eletromagnético clássico 70, 72, 79, 81  
Ciclo de rankine 1, 4  
Ciência de dados 19, 20  
Comunidades rurais 109, 110  
Constante dielétrica 11, 12, 13, 14, 15, 17  
Coordenadas do cone de luz 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81  
Cronogramas 59, 60, 61, 62, 67

### E

Ees 1, 2, 4, 5, 9  
Eficiência 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 46, 50, 56, 84, 111, 115, 119  
Eficiência energética 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 119  
Energia 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 49, 50, 75, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120  
Energia elétrica 2, 3, 28, 29, 36, 37, 41, 44, 109, 110, 111, 117, 120  
Energia solar 109, 110, 111, 117  
Engenharia 7, 10, 11, 18, 36, 37, 44, 46, 58, 59, 62, 69, 103, 107, 108, 117, 119, 120  
Ensino-aprendizado 98  
Equação de klein-gordon-fock 70  
Experimento 98, 100, 102, 104, 107

### F

Falhas 61, 109, 115, 116, 117, 119  
Fator de perda 11, 12, 13, 15, 16, 17  
Filmes finos 46, 50, 51  
Fotocatálise heterogênea 46, 47, 48

### G

Gerenciamento 28, 29, 33, 59, 60, 61, 62, 63, 68, 69

### I

Interdisciplinaridade 98, 102, 103, 106  
Internet das coisas 26, 28, 30, 36, 44

## **K**

K-nearest neighbors 19, 20, 21

## **M**

Macaúba 11, 12, 13, 17, 18

Marketing bancário 19

Ms project 63

## **P**

Potência elétrica 37

Processos oxidativos avançados 46, 47, 48, 57, 58

Projetos 30, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 100, 103, 106, 120

Propriedades dielétricas 11, 12, 18

## **R**

Realimentador 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9

Reconhecimento automático de modulações 83

Redes neurais 19, 21, 25, 38, 83, 84, 85, 87

Regressão 20, 37, 38, 43, 44, 89

Resnet 89, 90, 91

## **S**

Substrato cerâmico 46

## **T**

Tecnologia 1, 29, 36, 56, 57, 69, 70, 84, 98, 99, 100, 104, 105, 106, 107, 117, 120

Tempo de treinamento 83, 85, 92, 94

Tratamento de águas residuais 46, 57

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**