

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2



Maria Elanny Damasceno Silva
(Organizadora)

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2



Maria Elanny Damasceno Silva
(Organizadora)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
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
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
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
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

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
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás

Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Maria Elanny Damasceno Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S941 Subtemas e enfoques na sustentabilidade 2 / Organizadora
Maria Elanny Damasceno Silva. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-659-1

DOI 10.22533/at.ed.591201012

1. Sustentabilidade. I. Silva, Maria Elanny Damasceno
(Organizadora). II. Título.

CDD 363.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos.

APRESENTAÇÃO

O livro *“Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2”* contém 15 capítulos que abordam pesquisas oriundas de subtemas que enfatizam a temática da sustentabilidade e resoluções de problemas ambientais diversos.

Inicia-se com o importante diagnóstico propício à gestão pública para avaliar os motivos das migrações pendulares de trabalhadores de Goiás. Em seguida, tem-se a abordagem da Extrafiscalidade como instrumento do desenvolvimento socioeconômico à sustentabilidade. A certificação de eficiência energética em edificações possibilita ao consumidor a melhor tomada de decisão no momento da compra do imóvel.

Apresentam-se estudos com uso do método Monte Carlo em uma instalação de sistema fotovoltaico conectado à rede; modelagem e simulação de sistema fotovoltaico trifásico conectado ao sistema elétrico, bem como o gerenciamento de redes de energia inteligentes por modelo de redes modulares expansíveis de instrumentação. Uma avaliação numérica e experimental é divulgada na utilização de geração de vapor para saunas.

É apresentado o cenário de geração de resíduos industriais nos anos de 2014 e 2015 na Serra Gaúcha. O descarte de óleo residual de fritura em São Paulo é analisado com viés de construção de política ambiental integrada para destinação correta do resíduo. Em outra pesquisa é evidenciado a reciclagem de óleos comestíveis como matéria prima em um Laboratório universitário de Gastronomia.

Problemas ambientais em rios é tema de revisão sistemática que visa conhecer os contaminantes mais comuns e o monitoramento das águas do rio São Francisco. O lodo das Estações de Tratamentos de Águas é averiguado quanto a destinação em aterro sanitário ou compostagem. A Pegada Hídrica Verde é utilizada em uma fazenda paraense para produção de pastagem para pecuária.

O sistema consorciado de produção orgânica de milho, feijão e mandioca é utilizada como auxiliar juntamente com outras técnicas de cultivo. E por fim, tem-se o estudo da criação de um cosmético natural para tratar melasma.

Excelente leitura.

Maria Elanny Damasceno Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DIAGNÓSTICO DAS MIGRAÇÕES PENDULARES DE TRABALHADORES ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MORRINHOS, RIO QUENTE E CALDAS NOVAS EM GOIÁS

Déborah Yara de Castro Silva

DOI 10.22533/at.ed.5912010121

CAPÍTULO 2..... 16

A EXTRAFISCALIDADE COMO INSTRUMENTO INDUTOR DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Luciana Oliveira de Souza

André Alves Portella

DOI 10.22533/at.ed.5912010122

CAPÍTULO 3..... 27

IMPORTÂNCIA E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, O SUCESSO EUROPEU E AS PRÓXIMAS ETAPAS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Jaime Francisco de Sousa Resende

Andrea Lucia Teixeira Charbel

Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

DOI 10.22533/at.ed.5912010123

CAPÍTULO 4..... 41

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADA À INSTALAÇÃO DE UM SFCR

Bruno Polydoro Cascaes

Letícia Jenisch Rodrigues

Paulo Smith Schneider

DOI 10.22533/at.ed.5912010124

CAPÍTULO 5..... 52

MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM PSCAD DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LARGA ESCALA

Alysson Augusto Pereira Machado

Nicole Campos Foureaux

Igor Amariz Pires

Sidelmo Magalhães Silva

Braz de Jesus Cardoso Filho

José Antônio de Souza Brito

DOI 10.22533/at.ed.5912010125

CAPÍTULO 6..... 66

GERENCIAMENTO DE REDES DE ENERGIA INTELIGENTES (REI) EMPREGANDO ANÁLISE POR MODELO PREDITIVO EMPREGANDO REDES MODULARES

EXPANSÍVEIS DE INSTRUMENTAÇÃO

Elói Fonseca
Diego Henrique do Amaral
Bruna Malaguti
Gabriel de Souza Cordeiro
Felipe Emanuel Sales
Victor Hugo Paezane dos Anjos
Naiara de Souza Lima

DOI 10.22533/at.ed.5912010126

CAPÍTULO 7..... 80

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE COLETORES EVACUADOS DO TIPO WATER-IN-GLASS PARA GERAÇÃO DE VAPOR PARA USO EM SAUNAS

Maryna Fernanda Ferreira Melo
Paulo Fernando Figueiredo Maciel
César Augusto Fernandes de Araújo Filho
Edson Alves Souza

DOI 10.22533/at.ed.5912010127

CAPÍTULO 8..... 95

A SERRA GAÚCHA EM TONELADAS – GERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NOS ANOS DE 2014 E 2015

Francine Zanatta
Henrique Di Domenico Ziero
Thiago de Castilho Bertani
Clódis de Oliveira Andrades Filho
Rejane Maria Candiota Tubino
Ana Carolina Tramontina

DOI 10.22533/at.ed.5912010128

CAPÍTULO 9..... 103

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO ESPACIAL DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SP

Gustavo Morini Ferreira Gândara
Magda Adelaide Lombardo

DOI 10.22533/at.ed.5912010129

CAPÍTULO 10.....114

RECICLAGEM DE ÓLEOS COMESTÍVEIS: CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS DE UM LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO DE GASTRONOMIA

Gerson Breno Constantino de Sousa
Carlos de Araújo de Farrapeira Neto
Iury de Melo Venancio
Camila Santiago Martins Bernardini
Leonardo Schramm Feitosa
Ana Vitória Gadelha Freitas

Ingrid Katelyn Costa Barroso
Rui Pedro Cordeiro Abreu de Oliveira
André Luís Oliveira Cavaleiro de Macedo
Danielle Sousa Lima
Raquel Jucá de Moraes Sales

DOI 10.22533/at.ed.59120101210

CAPÍTULO 11..... 126

METAIS PESADOS, PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS EM UM TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Carla Linardi Mendes de Souza
Milena da Cruz Costa
Alexsandra Iarlen Cabral Cruz
Juliana dos Santos Lima
Madson de Godoi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.59120101211

CAPÍTULO 12..... 139

LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: COMPOSTAGEM OU DESTINAÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO?

Gislayne de Araujo Bitencourt
Regina Teresa Rosim Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.59120101212

CAPÍTULO 13..... 149

PEGADA HÍDRICA VERDE DA CADEIA PRODUTIVA DA PECUÁRIA EM UMA FAZENDA NO MUNICÍPIO DE ALENQUER, REGIÃO OESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA, BRASIL

Ilze Caroline Gois Braga Pedroso
Ildson de Souza Tenório
Lucas Meireles de Sousa
Urandi João Rodrigues Junior

DOI 10.22533/at.ed.59120101213

CAPÍTULO 14..... 159

SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO DE MILHO, FEIJÃO E MANDIOCA CONSORCIADOS EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

João Paulo Apolari
Gislayne de Araujo Bitencourt

DOI 10.22533/at.ed.59120101214

CAPÍTULO 15..... 170

DESENVOLVIMENTO DE UMA FORMULAÇÃO COSMÉTICA CONTENDO SUBSTÂNCIAS ATIVAS NATURAIS PARA O TRATAMENTO DE MELASMA

Micaela dos Santos Fernandes Lima
Ariana Ferrari
Daniele Fernanda Felipe

DOI 10.22533/at.ed.59120101215

SOBRE A ORGANIZADORA.....	178
ÍNDICE REMISSIVO.....	179

CAPÍTULO 7

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE COLETORES EVACUADOS DO TIPO WATER-IN-GLASS PARA GERAÇÃO DE VAPOR PARA USO EM SAUNAS

Data de aceite: 01/12/2020

Maryna Fernanda Ferreira Melo

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5824033836393142>

Paulo Fernando Figueiredo Maciel

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0169675639305530>

César Augusto Fernandes de Araújo Filho

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8919998483603540>

Edson Alves Souza

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/6171052852506611>

RESUMO: Este estudo propõe o uso de coletores solares do tipo tubo evacuado water-in-glass, comumente aplicado à produção de água quente, na geração de vapor saturado úmido para alimentação de saunas a vapor. São apresentadas simulações do desempenho do sistema na geração de vapor e também um modelo matemático que representa a máxima temperatura atingida pelo sistema em função da área de coleção para a vazão de 0,44 l/h. Testes experimentais foram realizados para validar dados obtidos da simulação numérica utilizando a plataforma TRNSYS (TRAnsient SYstem Simulation). Uma análise foi realizada

para se determinar economia de energia proporcionada pelo sistema solar comparado a sauna convencional elétrica, com base nas tarifas exercidas pela CEMIG (i.e., Companhia Energética de Minas Gerais) no último semestre de 2015. O sistema foi capaz de gerar vapor úmido, a temperatura máxima de ebulição da água foi de $98,13 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,87^\circ\text{C}$, sendo que a temperatura média do fluido obtida foi de $72,6^\circ\text{C} \pm 3,66 \text{ }^\circ\text{C}$.

PALAVRAS-CHAVE: Coletor solar evacuado tipo tubo water-in-glass, geração de vapor, sauna.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ASSESMENT OF THE PERFORMANCE OF WATER-IN-GLASS EVACUATED TUBE COLLECTORS IN THE STEAM GENERATION OF VAPOR FOR SAUNAS

ABSTRACT: This study proposes the use of water-in-glass evacuated solar collectors, commonly applied to hot water production, in the generation of saturated steam to supply the thermic demand of wet saunas. This paper presents system performance simulations in steam generation and also a mathematical model that represents the maximum temperature achieved by the system depending on the collection area for the flow rate of 0,44 l / h. Experimental tests were performed to validate data obtained from numerical simulation using TRNSYS platform (i.e., TRAnsient SYstem Simulation). Economical analysis was performed in order to determine monetary saving provided by the solar system compared to a conventional electric sauna, based on taxes charged by CEMIG (i.e., Companhia Energética de Minas Gerais) in

the second half of 2015. The system was able to generate saturated water steam for supplying the steam demand of the system in six month of the year. The maximum temperature of boiling water reached by the system was $98.13^{\circ}\text{C} \pm 0.87^{\circ}\text{C}$, and the average temperature of fluid obtained was $72.6^{\circ}\text{C} \pm 3.66^{\circ}\text{C}$.

KEYWORDS: Solar collector water-in-glass, steam generation, wet sauna, evacuated tube.

1 | INTRODUÇÃO

Estudos comprovam que o desempenho de coletores solares evacuados pode ser satisfatório no que tange a geração de vapor saturado a baixas temperaturas. Conforme explica Alfaro-Ayala et al. (2015), estão disponíveis no mercado basicamente três diferentes tecnologias de geração solar aplicadas a tubos evacuados: o tipo *water-in-glass*, tema deste artigo, mostrado na Fig.1; os coletores evacuados com perfil em U e coletores evacuados do tipo *heat pipe*. Um estudo realizado por Morrison et. al. (2004) mostra que o sistema de coleção solar tipo *water-in-glass* vem a ser o mais vantajoso dentre 5 tipos de coletores (tubos evacuados em U, *water-in-glass*, *heatpipe*, coletores planos, e coletores com sistema de armazenamento) isso deve-se graças à sua simplicidade e baixo custo de produção e manutenção. Coletores do tipo *water-in-glass* são constituídos por dois tubos, concêntricos, de vidro borossilicato contendo vácuo entre eles, sendo o tubo interno recoberto por um material absorvedor de radiação solar. Esse modo construtivo permite a eliminação das perdas térmicas por convecção através da criação de um ambiente evacuado em torno do absorvedor. A energia térmica do sol obtida através dos coletores é transferida para o fluido de trabalho.

O objetivo desse trabalho é estudar a possibilidade do uso de coletores solares tipo *water-in-glass* em cooperação ou substituição a sistemas elétricos ou a gás de geração de vapor para alimentação de saunas. Por questões salutaras a temperatura interna da nossa sauna será limitada a 60°C . Lin et al. (2012), por exemplo, demonstraram o êxito de sistemas de coletores solares evacuados baixa temperatura aplicados a várias situações como a produção de água aquecida para dormitórios, restaurantes, piscinas e aplicações industriais. Já Li et al. (2015) estudaram o desempenho térmico de coletores evacuados em U instalado na varanda de um apartamento em Shanghai, sendo que suas medições mostraram que este sistema apresenta bons resultados, podendo ser capaz de suprir até 40% de todo o consumo anual de energia para aquecimento de água de um cidadão médio de Shanghai. Giostri et. al (2012) afirma que a geração direta de vapor ainda é objeto de estudo no que diz respeito ao suprimento de demandas energéticas, sendo a geração indireta mais comumente utilizada no mercado. Entretanto, para as aplicações aqui propostas, estudar-se-á a possibilidade de geração direta de vapor

de água saturado para suprimento de demandas de vapor de saunas comerciais e domésticas com o objetivo de tornar o sistema simples e economicamente viável.

Bracamonte et al. (2015) fornece parâmetros adequados à inclinação dos coletores solares já que, seus estudos constataram que, para climas subtropicais, o ângulo de inclinação dos coletores em relação a um plano horizontal paralelo ao solo tem influência sobre a eficiência de coletores evacuados tipo *water-in-glass* sendo que o ângulo de 10° foi, dentre os estudados, aquele que possibilitou o maior ganho de temperatura por parte da água de resfriamento dos tubos, apesar desta inclinação induzir o aparecimento de uma zona termicamente inativa no fundo dos tubos.

2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR

O sistema solar proposto atua no aquecimento de água até que a mesma atinja seu ponto de ebulição e possa suprir a demanda de saunas úmidas (saunas a vapor) utilizando vapor saturado a pressões próximas à da atmosfera. Neste trabalho foram realizados simulações numéricas e testes de campo para validação dos resultados, obtidos numericamente para o sistema de geração de vapor. Os testes foram realizados na cidade de Belo Horizonte com latitude igual à -19° 55' 15" e longitude igual à -43° 56' 16".

O sistema é constituído de dois tubos evacuados, importados, do tipo *water-in-glass* que tem como finalidade o aquecimento de água para uso doméstico/comercial. A área total de absorção é 0,33 m² e utilizando uma câmara de medições feita de vidro transparente com um volume é de 0,72 m³ além de um reservatório de água para alimentação dos coletores colocado numa altura de cerca de 2 m acima dos tubos evacuados, mostrado na Fig. 2. O vapor gerado nos coletores é conduzido para a câmara de medições por uma tubulação de cobre. Os tubos e conexões do equipamento tiveram seu comprimento minimizado e foram devidamente isolados de maneira que as perdas na tubulação do protótipo serão desprezadas e não serão levadas em conta neste primeiro momento.



(a) Extremidade final onde ocorre a reversão da água.



(b) Extremidade comum de entrada e saída da água.



(c) Esquema mostrando a circulação da água.



(d) Esquema mostrando a ligação do tubo ao reservatório.

Figura 1 – esquema de um coletor evacuado tipo water-in-glass



a) Protótipo



b) Coletores e tubos de cobre

Figura 2 - Foto mostrando a instalação de testes

Dois arranjos de montagem foram propostos para o sistema de coleção, o primeiro deles com os dois tubos evacuados dispostos em série, de modo que o fluido de trabalho fosse pré-aquecido no primeiro tubo e então conduzido para um segundo tubo, cuja finalidade é promover a mudança de fase e em seguida, conduzido para a câmara de medições. O segundo arranjo consiste numa configuração em paralelo, ou seja, a água passa simultaneamente nos dois tubos coletores evacuados retornando para a câmara de medições, sem estágio de pré-aquecimento, mostrados na Fig. 3. A temperatura da água na entrada dos coletores foi estimada em 20 °C e a vazão volumétrica mantida constante e igual a 0,44 l/h \pm 0,11 l/h para cada tubo operando em paralelo ou para cada série de tubos, sendo controlada por uma válvula do tipo esfera. Foram feitas medições da temperatura na

saída do coletor em intervalos constantes de 15 minutos.

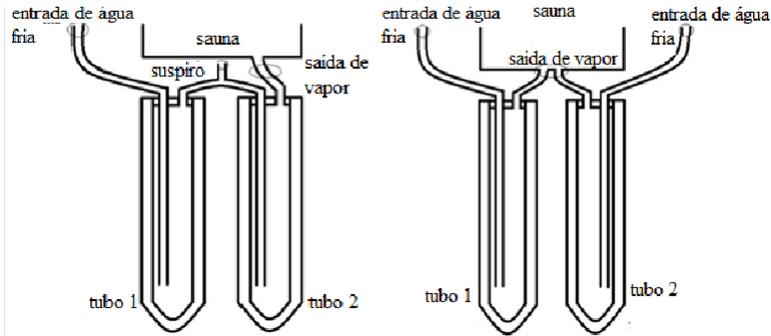


Figura 3—Esquema do sistema interno nos coletores em série e em paralelo

2.1 Instrumentação

As três medições de vazão do experimento foram realizadas com o uso de um rotâmetro para água líquida a temperatura de 20 °C cuja faixa de medição varia de 0,2 l/h a 2,2 l/h e sua resolução é de 0,02 l/h. Sua incerteza padrão, fornecida pelo fabricante, é de 0,01 l/h.

As cento e cinco medições de temperatura do experimento foram realizadas com o uso de termômetro tipo “espeto”, com faixa de medição de -50 °C a 300°C e resolução de 0,1 °C. Sua incerteza padrão é de 1 °C para a faixa de medição de -20 °C a 200 °C e 2 °C para as faixas de medição de -50 °C a -20 °C e de 200 °C a 300°C. Os instrumentos utilizados são mostrados na Fig. 4.



Figura 4 – Termômetro e Rotâmetro

3 I SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para aferição da factibilidade do que propõe este estudo, foi realizada uma simulação de um sistema de geração de vapor utilizando coletores solares do tipo *water-in-glass*, para o dia central de cada mês do ano conforme descrito por Duffie e Beckman (2006) em ambiente da plataforma de simulações de sistema dinâmico

TRNSYS (*i.e.*, *TR*Ansient *SY*stem *Si*mulation). A simulação foi realizada levando-se em conta que o sistema solar está na cidade de Belo Horizonte, local onde foram realizados também o teste de campo utilizando um coletor semelhante ao sistema real. Os resultados obtidos foram usados como base para a realização de uma análise econômica simplificada do tipo “*payback*” visando determinar o período de tempo necessário para que a economia de energia elétrica seja suficiente para cobrir os custos de instalação do sistema solar.

Simulações Computacionais

Inicialmente foi simulada a geração de vapor no dia central de cada um dos doze meses conforme recomendam Duffie e Beckman (2006) de ano típico da biblioteca meteorológica METEONORM referente à cidade de Belo Horizonte sendo utilizada a plataforma dinâmica TRNSYS, versão 16.1. Para garantir a evaporação do fluido de trabalho (*i.e.*, água) e uma taxa de produção de vapor mais constante, testes de campo foram realizados com o protótipo para definir uma vazão que possibilitasse o início da evaporação do fluido em um período de aproximadamente uma hora a contar do início do teste, a saber: 11:00 AM. O objetivo deste teste foi determinar uma vazão que proporcionasse uma resposta razoavelmente rápida do sistema. Com base nesses testes, recomenda-se que sejam sempre utilizadas baixas vazões. Para a área de coleção utilizada nos testes, uma das vazões que atendia a esse requisito foi a de 0,44 l/h \pm 0,01 l/h de água. Foram realizadas três medições dessa vazão com rotâmetro para água. Essa vazão foi utilizada como parâmetro para simulações computacionais.

Simulações prévias foram realizadas com o intuito de determinar a área ótima de coletores do tipo evacuado *water in glass* para um sistema de sauna realque opere a vazão supracitada e temperatura inicial de 20 °C. Para o cálculo de otimização da área de coleção, tomou-se aleatoriamente como referencial os dias 75, 228 e 288. Foram tomados dados do catálogo do fabricante, tais como área do tubo absorvedor, mas foi utilizado o ângulo de inclinação em relação ao solo de 10° conforme recomendação de Bracamonte et al. (2015), a temperatura do dia; a radiação total recebida e a temperatura do dia são fornecidas para cada hora do dia médio pela biblioteca meteorológica METEONORM. A área de coleção foi então variada de 0,66 m² a 5,28 m², mantendo-se constantes todos os parâmetros dimensionais do coletor e adicionando cada vez mais tubos coletores em série. Também foram mantidos constantes todos os demais parâmetros, tais como vazão, temperatura de entrada do fluido de trabalho no coletor, ângulo de inclinação do coletor em relação ao solo igual a 10° com o coletor voltado para o Norte geográfico ao meio dia solar, dia do ano médio típico. As simulações apontam o valor de 2,815m² como área ótima para todos os dias simulados, segundo se observa na Fig.

5. Portanto, fica evidente que o sistema segue uma tendência firmemente definida no que tange a relação entre sua temperatura e área de coleção. O ajuste polinomial das curvas apresentadas na Fig.5 possui coeficiente de correlação de 0,999 sendo expresso pela Eq. (1).

$$T = -10,498a^2 + 59,079a + 32,2067 \quad (1)$$

Onde: T é a temperatura máxima atingida pelo fluido durante a operação e a representa a área de coleção. Conforme explicam Duffie e Beckman(2006), o aumento da área de coleção implica também num aumento de área de troca de calor com o ambiente e, conseqüentemente, em maiores perdas no sistema, ainda que este opere na condição de evacuação. Apesar dos resultados teóricos obtidos, optou-se pela execução de todos os testes computacionais com base na área comercialmente disponível mais próxima àquela recomendada pelas simulações. Os tubos possuem 0,037 m de diâmetro interno; 0,047 m de diâmetro externo e 1,5 m de comprimento. Deste modo a área comercial mais próxima àquela apontada pelas simulações é 2,99 m² conforme informações do catálogo do fabricante do coletor.

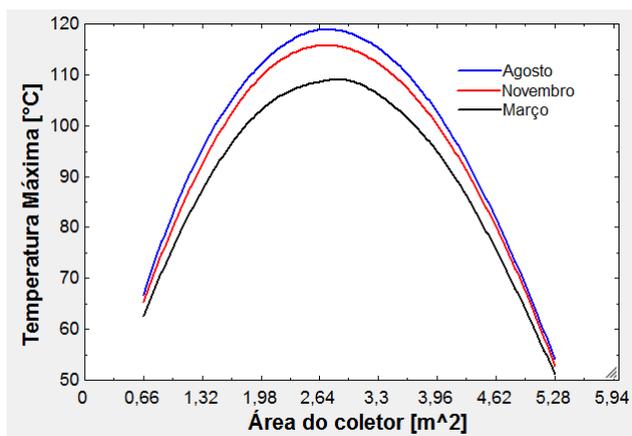


Figura 5 – Temperatura máxima de saída do fluido de trabalho em função da área de coleção solar para os meses de março, agosto e novembro.

Para estimar o comportamento de um sistema real, não só ao longo dos meses de maior incidência de radiação solar no hemisfério sul, mas, principalmente, naqueles de menor captação radiativa, foram geradas simulações, para que estatisticamente, fosse estimada a temperatura do fluido ao longo das horas do dia

médio de cada mês do ano médio típico da biblioteca meteorológica METEONORM, referente à cidade de Belo Horizonte. Também, para fins de cálculo de potência real gerada pelo sistema, a densidade da água de trabalho foi tomada em função da temperatura média da substância pura ao longo do dia de operação, disponível em Moran e Shapiro (2006), a se contar a partir das 9:00 até as 16:00 horas. A temperatura do dia e a radiação total recebida são fornecidas para cada hora do dia médio pela biblioteca meteorológica METEONORM; as simulações foram realizadas para um ângulo de incidência de 10° e a temperatura inicial da água de alimentação do sistema foi considerada igual a 25 °C. Foram tomadas amostras aleatórias de seis temperaturas para cada dia central de cada mês para cálculo da temperatura média do dia.

As simulações mostram que a geração direta de vapor é possível durante vários meses do ano, especialmente naqueles que compõem a primavera e o verão austrais, e também durante alguns meses de estiagem da região do cerrado onde se situa a cidade de Belo Horizonte.

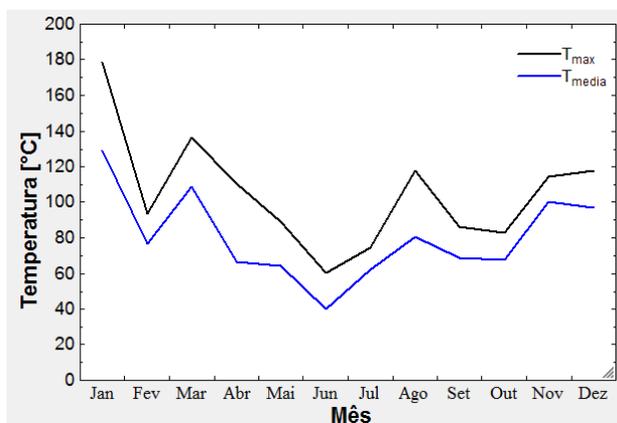


Figura 6 – Temperaturas de saída do sistema gerador de vapor e temperaturas médias referentes ao ano médio típico.

Os resultados mostram que nem sempre o sistema proposto será capaz de fornecer quantidades significativas de vapor, ou mesmo algum vapor durante os meses mais frios do ano conforme dados apresentados na Tab. 1. Deste modo, o uso de sistemas de geração elétricos ou a gás não poderá ser completamente eliminado do sistema de operação de uma sauna, mas é possível minimizar a necessidade de seu uso em prol de um sistema de geração completamente limpo e renovável através o uso de água previamente aquecida.

Mês	T _{max} (°C)	T _{média} (°C)
Jan	178,4	129,1
Fev	93,4	76,7
Mar	136,6	108,7
Abr	110,2	66,6
Mai	88,8	64,2
Jun	60,2	39,9
Jul	74,1	62,2
Ago	118,0	80,5
Set	86,4	67,0
Out	83,1	67,6
Nov	114,6	100,1
Dez	118,0	96,8

Tabela 1 – Temperaturas máximas e médias do sistema de aquecimento ao longo do ano médio típico

Medições de campo

Para realização das simulações, os coletores foram montados a um ângulo de 10°, conforme recomendam Bracamonte et al. (2015) com azimute igual a 180°. Em todos os testes, os tubos coletores foram cheios até o limite recomendado pelo fabricante, enquanto a válvula de entrada de água de alimentação foi mantida fechada até que a água dos tubos atingisse seu ponto de ebulição que, na cidade de Belo Horizonte, cuja altitude é de 852,19 m nos dias simulados foi $(98,1 \pm 0,9)^\circ\text{C}$. Ao atingir-se o ponto de ebulição a válvula foi então aberta para alimentar os coletores com a já referida vazão de $0,44 \text{ l/h} \pm 0,1 \text{ l/h}$ para cada tubo operando em paralelo, ou para cada série de tubos.

As medições aqui apresentadas foram realizadas tanto para dias com alto índice de insolação quanto para dias fortemente nublados e são referentes aos dias 04, 06, 09, 12 e 13 do mês de novembro do ano de 2015. Foram realizadas, no total, vinte e uma horas de medições, o que resultou numa amostra de cento e cinco medições de temperatura de saída do protótipo.

A irradiância (W/m^2) recebida pelo coletor durante as horas de operação são fornecidos por INMET (i.e., Instituto Nacional de Meteorologia) (2015), coletados pela estação automática “Cercadinho”, localizada a aproximadamente 2,5 km de distância do local de realização do experimento. São também dados do INMET (2015) a temperatura média horária e temperatura máxima do dia. A incerteza referente às medições de temperatura e da radiação recebida não é claramente informada pelo INMET (2015), deste modo, a incerteza apresentada para a temperatura média do dia se refere apenas à distribuição normal das temperaturas ao longo do período

de experiência com intervalo de confiança de 95%. O tempo de experimentação foi diferente nos diferentes dias de teste devido à ocorrência de tempestades e, até mesmo, à quebra dos coletores por impacto.

Modelo Matemático

O calor útil gerado é a medida da capacitância térmica do fluido e é dado por:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Onde \dot{m} é a vazão mássica de fluido 0,44 kg/h, C_p é o calor específico à pressão constante da água em (J/kg.K) e ΔT a variação de temperatura da água obtida em uma hora ou, em 3.600 segundos. A eficiência do equipamento pode ser calculada através de dados da irradiância (W/m^2) fornecidos por INMET (i.e., Instituto Nacional de Meteorologia) (2015). Essa é dada pela Eq. 3:

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot a} \quad (3)$$

Onde Q é o calor útil gerado pelo sistema, I a irradiância referente a cada hora do período de experimentação e a é a área do coletor do protótipo que, conforme anteriormente mencionado, é de 0,33 m². Este sistema foi comparado a uma sauna elétrica convencional cuja alimentação seja feita por um gerador de vapor condensador comercial monofásico cujo consumo de potência elétrica é $Q_e = 12 \text{ kW}$ e força eletromotriz requerida é $F. E. M. = 220 \text{ V}$.

A sauna solar aqui proposta supostamente opera 8 horas por dia e, tomando-se a hipótese conservadora de que o sistema seja completamente autônomo apenas durante as duas horas de maior insolação do dia e opere à temperatura média do fluido ($72,6^\circ\text{C} \pm 3,7^\circ\text{C}$) medida durante os experimentos nas demais horas, utilizando-se, para isso, um sistema elétrico auxiliar que garanta a ebulição do fluido. Sua área de coletores solares deve ser a área comercial mais próxima àquela da área ótima de coleção, conforme mencionado anteriormente, 2,99m². Isso equivale a 18 tubos comerciais operando em paralelo ou 9 séries de dois tubos. A vazão experimentada para cada tubo operando em paralelo ou para cada série de tubos é 0,44 l/h \pm 0,1 l/h. A vazão total adequada à essa área de coleção operando em paralelo então deverá ser de 7,92 l/h \pm 0,01 kg/h, ou de 3,96 l/h \pm 0,01 kg/h operando em série. Além disso, é interessante considerar que o sistema real somente seja capaz de atingir a temperatura de ebulição durante seis meses do ano. Tal consideração baseia-se nos resultados das simulações computacionais, que são explicitados em Tab. 1. Segundo estes resultados, a temperatura de saída da água dos coletores não será suficiente para iniciar a ebulição durante os meses de fevereiro, maio, junho, julho, setembro e outubro. Assim, é aceita a hipótese de que o sistema opere constantemente auxiliado por evaporador elétrico. Desse

modo, o cálculo do custo anual do sistema solar deve ser feito em duas etapas. A primeira delas é referente aos meses em que a sauna é capaz de gerar vapor e possui uma certa autonomia. Isso ocorre durante 184 dias do ano conforme Tab. 1. Deste modo a equação que descreve o consumo da sauna solar tem a forma:

$$C_1 = k * n * t * Q_{s1} \quad (4)$$

Onde C_1 é o custo referente aos meses do ano em que as simulações computacionais indicam que a ebulição pode ocorrer, k é o custo do kWh com base na tarifa B3 da Cemig (i.e; Companhia Energética de Minas Gerais) (2015); n o número de dias do ano, t o tempo diário, em horas, de operação do sistema solar, no caso 5 horas; e Q_{s1} é a potência elétrica requerida para elevar a temperatura média do fluido até a temperatura média de ebulição. Deste modo Q_{s1} no regime permanente é descrito por:

$$Q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{ebulição} - T_{média}) \quad (5)$$

$$Q_s = 0,44 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s} \right) \cdot 1478 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot [(99,0 - 68,9) + 273 (K)] \quad (5a)$$

$$Q_s = 0,44 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s} \right) \cdot 1478 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot [(97,2 - 76,3) + 273 (K)] \quad (5b)$$

A equação 5a refere-se aos limites superiores da temperatura de ebulição e da temperatura média, ou seja, a maior diferença de temperatura possível dentro do intervalo de confiança. A equação 5b refere-se aos limites inferiores da temperatura de ebulição e da temperatura média, ou seja, a menor diferença de temperatura possível dentro do intervalo de confiança. O cálculo da potência requerida para os demais 181 dias do ano é feito de maneira análoga, no entanto, considera-se que o tempo de operação do gerador de vapor condensador é de 8 horas diárias, conforme mencionado anteriormente. O termodinâmico utilizado para cálculo das grandezas de interesse deste estudo é demonstrado por Moran e Shapiro (2006).

4 I RESULTADOS

Os resultados obtidos mostram que, para ambos os tipos de arranjo, série ou paralelo, foi possível gerar vapor, mesmo em dias de grande nebulosidade. A Tab.2 apresenta os resultados de experimentos realizados durante o mês de novembro do ano de 2015. As temperaturas médias dos dias experimentados apresentadas por Tab.2 foram calculadas com base na temperatura média das horas de experimentação. As medições de temperatura do fluido foram tomadas na saída dos coletores, em intervalos constantes de 15 minutos, e totalizaram 105 medições. A Temperatura máxima do fluido apresenta incerteza indicada pelo fabricante do instrumento de medição mostrado em Fig. 4.

Dia	Característica	Temperatura Média do Dia (°C)	Temperatura Máxima do Dia (°C)	Temperatura Máxima do Fluido (°C)	Temperatura Média do Fluido (°C)	Calor Útil Gerado (W/m ²)	Rendimento Médio Diário (%)	Ocorrências
04/ nov	Arranjo em série Dia claro	30,2±1,1	31,7	98,0 ± 0,1	87,6±6,6	9,87 ± 18,25	0,97 ± 1,81	Tempo Total de simulação: 2:15 Ponto de ebulição 97,8°C Os coletores se romperam por impacto forçando o fim da simulação
06/ nov	Arranjo em paralelo Dia parcialmente nublado	30,4 ± 0,5	31,5	98,5 ± 0,1	88,6 ± 6,0	7,11 ± 13,74	0,49 ± 2,08	Tempo Total de simulação: 5:30h Ponto de ebulição 98,5°C Tempo Total de sombreamento: 2:30h
09/ nov	Arranjo em paralelo Dia nublado	23,3 ± 1,4	26,1	88,0 ± 0,1	59,2 ± 7,8	10,28 ± 5,69	2,35 ± 1,70	Tempo Total de simulação: 6:15h Ponto de ebulição 98,5°C Tempo Total de sombreamento: 6:15h
12/ nov	Arranjo em paralelo Dia nublado	28,4 ± 0,6	29,1	67,6 ± 0,1	62,8 ± 2,4	1,78 ± 16,54	0,23 ± 2,35	Tempo Total de simulação: 3:30h Não houve ebulição Tempo Total de sombreamento: 2:30h Tempestades forçaram o fim da simulação
13/ nov	Arranjo em série Dia Nublado	28,8 ± 1,1	29,9	98,2 ± 0,1	79,0 ± 11,7	14,58 ± 24,18	1,71 ± 2,66	Tempo Total de simulação: 3:15h Ponto de ebulição 98,1°C Tempo Total de sombreamento: 0:30h Tempestades forçaram o fim da simulação

Tabela 2 – resultados das simulações de campo

Os valores de temperatura média do fluido ao longo do dia foram medidos na saída dos coletores e são apresentados na Tab. 2 com incerteza combinada de medição $\pm 5\%$. Os resultados obtidos mostram que, tanto durante as simulações com arranjo em série dos coletores quanto aquelas com arranjo em paralelo, foi possível se gerar vapor, mesmo em dias parcialmente nublados. O comportamento dinâmico dos sistemas diferiu no fato de que houve a formação de um bolsão de vapor na área de curvatura da tubulação de interligação dos coletores quando montados em série, o que se tornou um obstáculo ao fluxo de fluido. Deste modo, houve necessidade de se instalar um suspiro na parte mais alta da tubulação de ligação entre o coletor de pré-aquecimento e o de evaporação. As temperaturas atingidas foram bastante similares em ambos os casos. No entanto, o arranjo em série demonstrou ter a capacidade de iniciar o processo de ebulição mais rapidamente se comparado ao arranjo em paralelo. Este fenômeno, juntamente com a influência da formação de

bolsões de vapor na tubulação da sauna além uma análise do desempenho do sistema operando com outros ângulos de inclinação são de interesse dos autores e serão objetos de estudos futuros.

Os resultados obtidos pelo experimento diferem consideravelmente daqueles obtidos em simulações computacionais, e isso pode, em parte, ser atribuído ao fenômeno do El Niño experimentado pela América do Sul no segundo semestre de 2015. A Organização Meteorológica Mundial (2015) alerta que nesse ano o El Niño será o mais forte dos últimos 65 anos, tornando o ano de 2015 um ano atípico. Esse fenômeno pode ter interferido diretamente na eficiência do experimento. Observa-se em Tab. 3 que o protótipo permaneceu sombreado durante 57,83% do tempo de simulação, o que pode ter tido influência na temperatura média de saída do fluido.

Temperatura Média de Ebulição	98,1 ± 0,9 °C
Temperatura Média do Fluido	72,6 ± 3,7 °C
Tempo Percentual de sombreamento	57,83%

Tabela 3 – Temperaturas médias de saída e ebulição e tempo de sombreamento

Ainda assim os resultados obtidos são positivos. Uma análise financeira realizada com base nos resultados dos testes em campo mostra que, em comparação a uma sauna elétrica comercial, A Tab. 4 mostra ainda o custo anual máximo de operação da sauna, calculado para o limite inferior do intervalo de confiança da temperatura média do fluido.

Operação em Paralelo		
	Custo Sauna Solar	Custo Sauna Elétrica
limite superior	R\$ 401.36	R\$ 19,438.09
limite inferior	R\$ 252.72	
Operação em Série		
	Custo Sauna Solar	Custo Sauna Elétrica
limite superior	R\$ 200.68	R\$ 19,438.09
limite inferior	R\$ 126.36	

Tabela 4 – Custos anuais de operação

Na hipótese deste sistema ser aplicado a saunas secas o sistema é auto-suficiente ao longo de todo ano, já que este recebe calor de um radiador térmico. É indispensável que este sistema disponha de um dispositivo controlador de temperatura para que a mesma não ultrapasse 60 °C garantindo a segurança do

usuário da sauna.

5 | CONCLUSÃO

O estudo apresentado investigou o uso de coletores solares do tipo tubo evacuado water-in-glass na geração de vapor para alimentação de saunas a vapor, aqui denominadas saunas solares. Seu funcionamento foi simulado através de métodos computacionais e, também testes em campo. Foi Proposto um sistema de tubos conectados em série e outro em paralelo. Simulações realizadas mostram que o protótipo pode operar de maneira autônoma, ou seja, sem a necessidade de sistemas elétricos auxiliares, durante aproximadamente metade do ano no caso de saunas a vapor e durante todo o ano no caso de saunas secas. Foi possível, através deste sistema, obter um grande ganho energético no suprimento da demanda energética de uma sauna comercial convencional. O custo de um feixe de tubos coletores de 2,99m²de área é de aproximadamente R\$ 3.200,00; o que transforma o sistema num investimento altamente interessante.

É necessário que haja cada vez mais esforços por parte da sociedade, de governos e na comunidade científica no sentido de que informações a respeito de energias limpas e renováveis sejam mais amplamente difundidas e sua tecnologia se torne cada vez mais acessível.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Lopes Barbieri pela e ao Prof. Dr. André Guimarães Ferreira pela orientação.

À Escola Estadual Técnico Industrial Professor Fontes por gentilmente ceder o uso de seus laboratórios e demais dependências aos autores.

Ao Sr. Eng^o. Flávio Pacelli Ziviani de Oliveira e ao Sr. Marcos Thalles Ferreira Melo pelo suporte técnico sem o qual este trabalho não seria possível.

REFERÊNCIAS

Alfaro-Ayala J. A., Martínez-Rodríguez G., Picón-Núñez, M., Uribe-Ramírez A. R., Gallegos-Muñoz A., 2015. Numerical Study of a Low Temperature Water-in-glass Evacuated Tube Solar Collector. Energy Conversion and Management Journal, ed. 94, págs.472–481.

Morrison, G.L., Budihardjo I., Behnia M., 2004. Water-in-glass evacuated tube solar water heaters. Solar Energy edição 74; págs 135–40.

Lin W. M., Chang K.C., Liu Y. M., Chung K. M, 2012. Field Surveys of Non-Residential Solar Water Heating Systems in Taiwan. Energies Journal, ed. 5, págs.258–69.

Li R., Dai Y., Wang R., 2015. Experimental investigation and simulation analysis of the thermal performance of a balcony wall integrated solar water heating unit. *Renewable Energy*;75:115–22.

Giostrì, A., Binotti M., Astolfi M., Silva P., Macchi E., Manzolini G., 2012. Comparison of Different Solar Plants Based on Parabolic Trough Technology. *Solar Energy Journal*, ed. 86, pages 1208–1221.

Bracamonte J., Parada J., Dimas J., Baritto M., 2015. Effect the Collector Tilt Angle on Thermal Efficiency and Stratification of Passive Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heater. *Applied Energy Journal*, ed. 155, págs 648–659.

Duffie J. A., Beckman W. A., 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes – GearTeam.4^a* ed, John Wiley & Sons Ltd. Moran M. J., Shapiro, H. N., 2006. *Princípios de Termodinâmica Para Engenharia - 5^a Ed, LTC.*

Instituto Nacional de meteorologia, 2015. Estações Automáticas em Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Visitado em 22 de novembro de 2015

Organização Meteorológica Mundial, 2015. El Niño Expected to Strengthen Further: High Impacts, Unprecedented Preparation. Disponível em: <<https://www.wmo.int/media/content/el-ni%C3%B1o-expected-strengthen-further-high-impacts-unprecedented-preparation>>. Visitado em 24 de novembro de 2015

Companhia Energética de Minas Gerais, 2015. Valores De Tarifa e Serviços. Disponível em <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Visitado em 25 de novembro de 2015,

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação despigmentante 170, 172

Água tratada 139, 140

Alimentação do gado 149, 154, 157

B

Baixas temperaturas 81

Biomassa residual 159, 163, 164, 165

C

Cadeia de soluções 95

Certificações de eficiência energética 27, 28, 31

Coletores solares evacuados 81

Companhia Energética de São Paulo 66, 67, 68, 69, 70

Compensação em créditos 41, 45, 47

Contaminação de rios 114

Corpos d'água 107, 124, 126, 127, 130, 133

Cosméticos sustentáveis 170

Crescimento populacional 114, 116, 126, 127

D

Desenvolvimento econômico 16, 20, 24, 95, 96, 100

Destinação do lodo 139

E

Edificações 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 67, 112

Eficiência energética 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 66, 68, 69

Estabelecimentos comerciais 103

Estações de tratamento de água 139, 147

G

Gestão de resíduos 95, 101, 114, 124

Gramínea Brachiaria 149, 154, 155

I

Impacto de mudanças 41, 43, 49

Instrumento de indução 16

Interdisciplinar 16, 23, 125

L

Laboratório de gastronomia 115, 117

Legislação 24, 27, 95, 130, 178

Locais inapropriados 103

M

Mensuração 118, 149, 152, 153

Metrópoles 2, 14, 139

Monocultivo 159

O

Óleo residual de fritura 103, 106, 108, 111

P

Parâmetros físico-químicos 126, 131, 134

Plantio consorciado 159, 160

Plataforma PSCAD/EMTDC 52

Política nacional de resíduos sólidos 95, 96, 101, 141, 144, 147

Política pública 103

Problemas ambientais 126, 127

Produção de pastagem 149, 152, 157

R

Racionalização 27, 123

Reforma tributária 16, 22

S

Saunas úmidas 82

Sistema fotovoltaico trifásico 52

Sistema solar 80, 82, 85, 90

Software 79

Software PVSYST 52

Software @Risk 41

Substâncias ativas naturais 170, 172, 175

T

Técnicas de cultivo 159

Tecnologia PEM 66

Testes de controle 67

Transbordo de esgoto 114

Tratamento de manchas na pele 170

Tributação ambiental 16, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

V

Variáveis independentes 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 