

Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E56 Energia solar e eólica 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
DOI 10.22533/at.ed.6741922011	
CAPÍTULO 2	24
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.6741922012	
CAPÍTULO 3	41
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaela Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6741922013	
CAPÍTULO 4	54
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE ₂ E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.6741922014	
CAPÍTULO 5	66
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
DOI 10.22533/at.ed.6741922015	
CAPÍTULO 6	78
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

CAPÍTULO 7 91

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

CAPÍTULO 8 104

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa
Marcos André Barros Galhardo
João Paulo Alves Veríssimo
Israel Hidai Lobato Lemos
Edinaldo José da Silva Pereira
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

CAPÍTULO 9 121

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa
Merlim dos Santos Ferreira de Faria
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

CAPÍTULO 10 132

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves
Waldeir Amaral Vilela
Enio Bueno Pereira
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

CAPÍTULO 11 146

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

CAPÍTULO 12 161

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça
Matheus Rodrigues Raniero
Alexandre Dal Pai
Carlos Roberto Pereira Padovani
Domingos Mario Zeca Fernando

CAPÍTULO 13 174

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro
Edinaldo José da Silva Pereira
Everton Leandro Santos Amaral
Ítalo de Sousa
Magda Tayane Abraão de Brito

DOI 10.22533/at.ed.67419220113

CAPÍTULO 14 191

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso
Jenny Marcela Rodriguez Gomez
Luiz Angelo Berni
Graziela da Silva Savonov
Luis Eduardo Antunes Vieira
Waldeir Amaral Vilela
Edson Luiz de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.67419220114

CAPÍTULO 15 200

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano
Erico Diogo Lima da Silva
Iraí Tadeu Ferreira de Resende
Vanina Cardoso Viana Andrade
Denilson Pereira Gonçalves
Renan Tavares Figueiredo
Odélsia Leonor Sanchez de Alsina

DOI 10.22533/at.ed.67419220115

CAPÍTULO 16 213

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.67419220116

CAPÍTULO 17 229

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva
Danielle Bandeira de Mello Delgado

DOI 10.22533/at.ed.67419220117

CAPÍTULO 18 246

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva
Augusto César da Silva Bezerra
Claudinei Rezende Calado
Ana Luiza F. Maia
Amanda Ribeiro Amorim

DOI 10.22533/at.ed.67419220118

CAPÍTULO 19 255

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho
Wilk Coelho Maia

DOI 10.22533/at.ed.67419220119

CAPÍTULO 20 263

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Enes Gonçalves Marra
Sérgio Pires Pimentel

DOI 10.22533/at.ed.67419220120

CAPÍTULO 21 275

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Sérgio Pires Pimentel
Enes Gonçalves Marra

DOI 10.22533/at.ed.67419220121

CAPÍTULO 22 290

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto
Francisco Jose Lopes de Lima
Fernando Ramos Martins
Enio Bueno Pereira

DOI 10.22533/at.ed.67419220122

CAPÍTULO 23 303

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto
Ana Paula Pinheiro Zago
Márcia Helena da Silva
Mirian Sousa Moreira
José Eduardo Ferreira Lopes

DOI 10.22533/at.ed.67419220123

CAPÍTULO 24	317
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
Juliana Lobo Paes	
Camila Ferreira Matos	
Gabriel Araújo e Silva Ferraz	
Giancarlo Bruggianesi	
Camila Kelly de Queiroz	
Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares	
DOI 10.22533/at.ed.67419220124	
CAPÍTULO 25	333
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
Marcus Godolphim de Castro Neves	
Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias	
Cassio Roberto Macedo Maia	
Ricardo Alan Verdú Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.67419220125	
CAPÍTULO 26	344
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
Brunno Henrique Brito	
Thálisson Câmara Belém	
Márcio Serafim de Almeida	
Felipe Tozzi Bittencourt	
DOI 10.22533/at.ed.67419220126	
CAPÍTULO 27	359
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
Robson de Souza Santiago	
Bruno Lindbergh Sousa	
Yordanka Reyes Cruz	
Estevão Freire	
Suely Pereira Freitas	
Gisel Chenard Díaz	
DOI 10.22533/at.ed.67419220127	
CAPÍTULO 28	376
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
Francisco Wilson Falcão Júnior	
Paulo Cesar Marques de Carvalho	
Wilson Cabral de Sousa Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.67419220128	
SOBRE O ORGANIZADOR	390

SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL

Marcus Godolphim de Castro Neves

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Ilha Solteira – São Paulo

Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Ilha Solteira – São Paulo

Cassio Roberto Macedo Maia

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Ilha Solteira – São Paulo

Ricardo Alan Verdú Ramos

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Ilha Solteira – São Paulo

RESUMO: Atualmente, a busca por novas fontes de energias renováveis tem sido o motivo de pesquisas e investimentos, sendo que a possibilidade de exploração da energia dos oceanos pode ser uma interessante alternativa. Um desses processos é baseado na extração da energia térmica solar acumulada na superfície dos oceanos. Parte dessa energia pode ser transformada em eletricidade e em vários outros subprodutos por meio de um processo conhecido como Conversão da Energia Térmica dos Oceanos (OTEC), que utiliza a diferença de temperatura da água entre a superfície e

a profundidade de 1.000 m. As usinas OTEC podem operar em sistemas térmicos abertos, fechados ou híbridos, sendo que, para operar de forma adequada, o local de instalação da usina OTEC deve ter águas com temperatura média da superfície maior que 24°C. O Brasil possui várias regiões que atendem esta condição sendo, portanto, um dos países com boa capacidade de instalação de usina OTEC para ajudar a suprir sua demanda energética. Diante deste contexto, este trabalho apresenta a simulação numérica da operação de uma planta OTEC de ciclo térmico fechado no litoral brasileiro, utilizando parâmetros encontrados na literatura, mostrando que esse tipo de usina é capaz de exportar em torno de 14 MW, sendo uma boa alternativa de substituição de termelétricas a gás ou combustíveis fósseis.

PALAVRAS-CHAVE: Energia, Oceano, OTEC

ABSTRACT: The searching for news sources of clean and renewable energy has been the reason of a lot of researches and investments and the seas are a good alternative to explore. The oceans have, at least, four means of energy generation; being one of them is using the solar thermal energy accumulated in their surfaces. Per day, the oceans accumulates thermal energy equivalent to 250 million of oil barrels and this energy can be converted to into electricity and various byproducts by means a process named

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). OTEC plants operate in three distinct thermal cycles: open, closed and hybrid. For operating at adequate form, the local of installation of an OTEC plant must have the sea surface temperature average greater than 24 °C. Brazil have a lot of locals in its offshore line with sea surface temperature average equal or greater than this temperature, being one of the countries with good capacity to install an OTEC plant to attempt electrical and energetic demands. Therefore, this work aims the computational simulation of operation of a closed thermal cycles of an OTEC plant in the Brazilian offshore line, using the parameters found in literature, showing that this kind of plant is able to export 14 MW, being an interesting alternative to replace diesel stationary engines.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo projeções do Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (2007), o Brasil deverá atingir 47% de utilização de fontes renováveis em sua matriz energética. Algumas fontes renováveis alternativas têm começado a se tornarem importantes nos últimos anos, como, por exemplo, geração eólica e a fotovoltaica.

Por outro lado, por ter um vasto litoral, o Brasil também pode aproveitar de forma significativa o potencial energético que os oceanos podem oferecer. Existem várias formas de aproveitamento da energia (cinética, química ou térmica) dos oceanos em eletricidade, podendo ser por meio das marés, das correntes oceânicas, das ondas, do gradiente de salinidade (osmose) e da conversão da energia térmica do oceano (Eletronorte, 2013).

Os oceanos são grandes acumuladores de energia solar em suas superfícies, podendo, em áreas tropicais, atingir o equivalente a 250 milhões de barris de petróleo por dia. Esta energia térmica acumulada pode ser convertida em energia elétrica por meio de um processo denominado Conversão da Energia Térmica do Oceano, comumente conhecida pela sigla OTEC, originada de Ocean Thermal Energy Conversion (Etemadi et al., 2011).

As vantagens da geração de eletricidade por este processo é que são que os recursos da OTEC são vastos, naturalmente renováveis e não poluentes. Adicionalmente, essa tecnologia produz diversos subprodutos, como água fresca para consumo e irrigação; alimentos marinhos para indústrias, sal e água gelada; dentre outros (Crews, 1997). Um sistema OTEC de 100 MWe pode reduzir uma quantidade de emissões de CO₂ em 140.000 toneladas por ano, se comparada com uma usina termelétrica de mesma capacidade (Tahara, Horiuchi e Kojima, 1995).

No entanto, existem algumas desvantagens da geração de eletricidade numa planta OTEC, sendo que dentre eles podem ser destacados os seguintes: baixa eficiência na conversão de energia, necessidade de um investimento inicial alto (entre

50 e 100 milhões de dólares para construir uma planta com capacidade de 10 MWe), custos de energia entre US\$0,13/kWh e US\$0,65/kWh (Upshaw, 2012).

De acordo com Etemadi et al. (2011), uma planta OTEC trabalha com a diferença de temperatura entre a água da superfície do oceano e a água localizada em um ponto a 1.000 m de profundidade. Em áreas tropicais, este gradiente de temperatura é em torno de 20 °C. Essa diferença ocorre porque a água do mar se torna fria conforme a profundidade aumenta (Reis e Souza, 2007).

A Figura 1 mostra como um sistema OTEC gera seus subprodutos e a Figura 2 mostra a variação da temperatura da água do oceano de acordo com a profundidade.

Embora as usinas OTEC possam operar em ciclos aberto, fechado ou híbrido, neste trabalho os estudos serão concentrados no ciclo fechado, cujo esquema típico simplificado é mostrado na Figura 3.

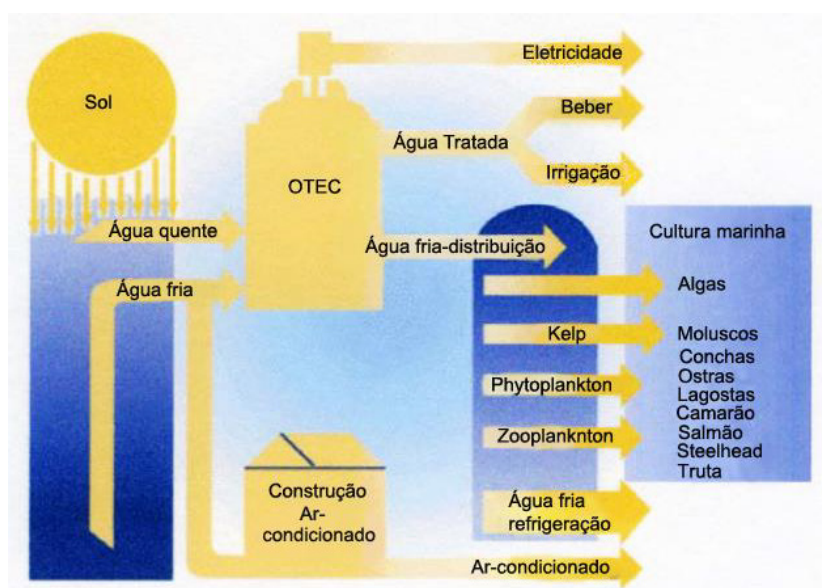


Figura 1 - Como uma usina OTEC gera os subprodutos (Adaptado de <http://www.nrel.gov>)

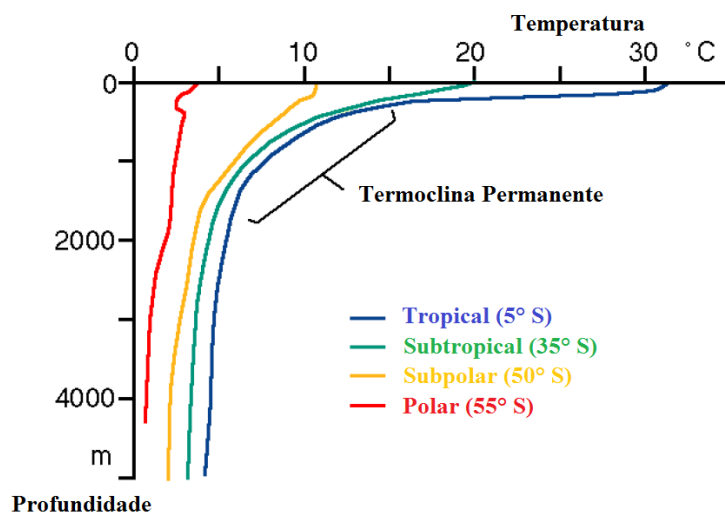


Figura 2 - Estrutura termal típica das águas dos oceanos (Reis e Souza, 2007)

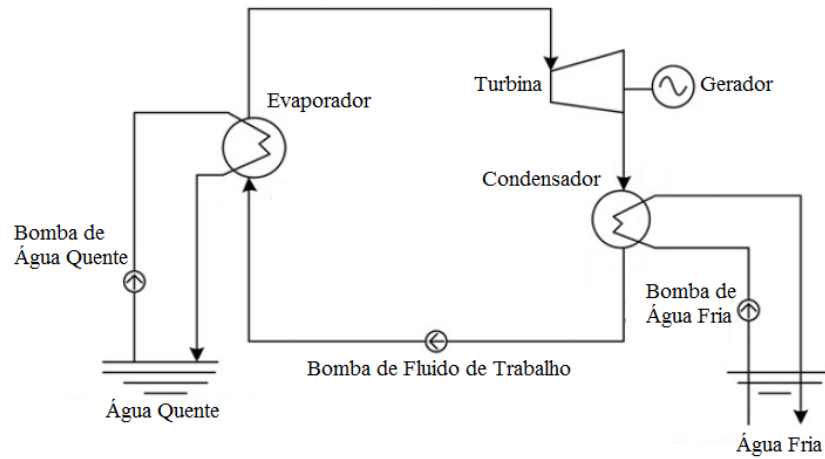


Figura 3 - Ciclo fechado de uma planta OTEC (Faizal e Ahmed, 2013)

O ciclo fechado produz eletricidade por meio do ciclo de Rankine. O fluido de trabalho é um fluido com baixa temperatura de ebulição, sendo que o mais utilizado é a amônia, sendo que Bharathan (2012) também recomenda estudar a utilização do propileno. O ciclo de Rankine de uma OTEC consiste em dois trocadores de calor, uma turbina a vapor e uma bomba. A água quente obtida na superfície é bombeada para o trocador de calor e, então, o fluido de trabalho aumenta sua temperatura até mudar de estado para o de vapor superaquecido. O vapor produzido aciona uma turbina de baixa pressão (Upshaw, 2012) e, após sair da turbina, como vapor com título, vai para o condensador, onde troca calor com a água fria da profundidade tornando-se líquido, sendo depois bombeado novamente para o evaporador (Faizal e Ahmed, 2013).

Para aumentar a geração de energia elétrica num ciclo fechado pode ser adicionado um outro estágio. Cada estágio é um outro ciclo fechado, onde a saída de água quente do primeiro estágio alimenta o evaporador do segundo estágio e a água gelada entra no condensador do segundo estágio e sua saída alimenta o condensador do primeiro estágio, fazendo o caminho oposto da água quente (Upshaw, 2012).

Na Figura 4 é mostrada a média da temperatura da superfície da água da costa brasileira nos quatro meses do verão de 2013.

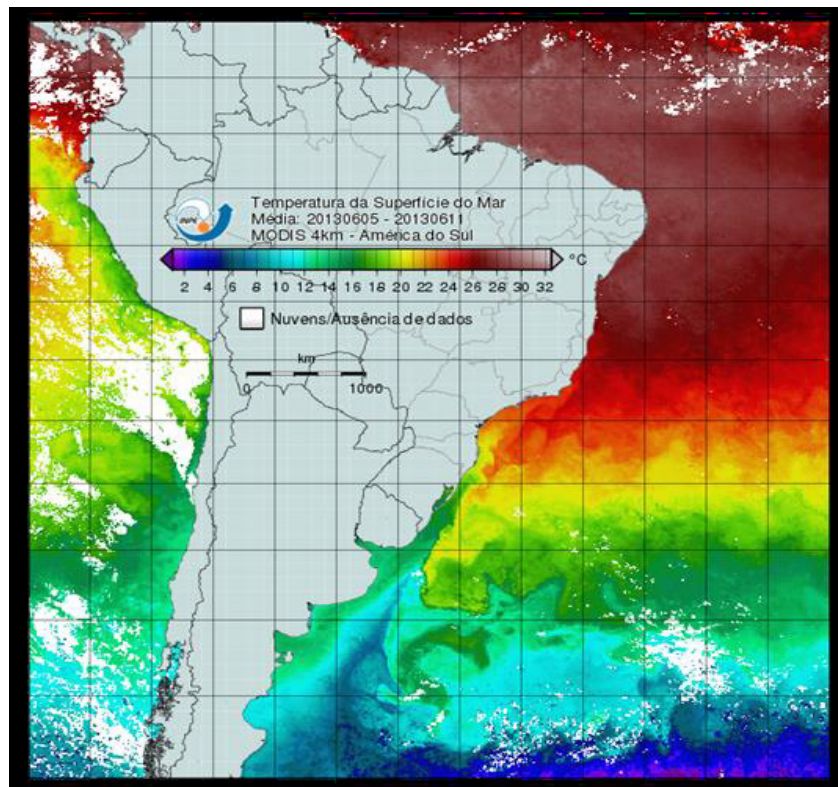


Figura 4 - Temperatura da superfície das águas na costa brasileira no verão (<http://satellite.cptec.inpe.br>)

É possível observar que a temperatura da costa do nordeste brasileiro é em torno de 28 °C, o que sugere que este é um local que possui um bom potencial para instalação de uma usina OTEC, pois, segundo Nihous (2007), a média da temperatura da água da superfície deve ser acima de 24 °C para um bom aproveitamento do gradiente térmico dos oceanos.

2 | DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO

O caso simulado trata-se de uma planta OTEC de ciclo fechado e com um estágio, como pode ser observado na Figura 5. Trata-se de um ciclo Rankine com turbina, bomba, pré-aquecedor, evaporador, superaquecedor, condensador e resfriador, sendo que o fluido de trabalho é a amônia. O trocador de calor possui uma bomba para alimentação de água da superfície e de profundidade. O aquecedor, superaquecedor e resfriador foram adicionados para aumentar a eficiência do condensador e do evaporador, porque a diferença de temperatura entre os dois fluidos (amônia e água) é muito baixa e a quantidade de calor é alta.

Deste modo, foi necessário um trocador de calor maior e mais eficiente. O coeficiente global de troca de calor para o condensador, evaporador e outros trocadores de calor foram adotados de acordo com Upshaw (2012), Uehara et al. (2009) e Avery e Hu (1994), estando entre 3,5 kW/m²K e 4,5 kW/m²K. A eficiência das bombas e turbina foram obtidas com base em dados de Upshaw (2012) e Bharathan (2011).

A simulação foi feita usando o programa EES® - Engineering Equation Solver (Klein e Alvarado, 1995), definindo as condições da costa brasileira e as equações termodinâmicas foram resolvidas, sendo que os parâmetros usados na simulação são mostrados na Tabela 1.

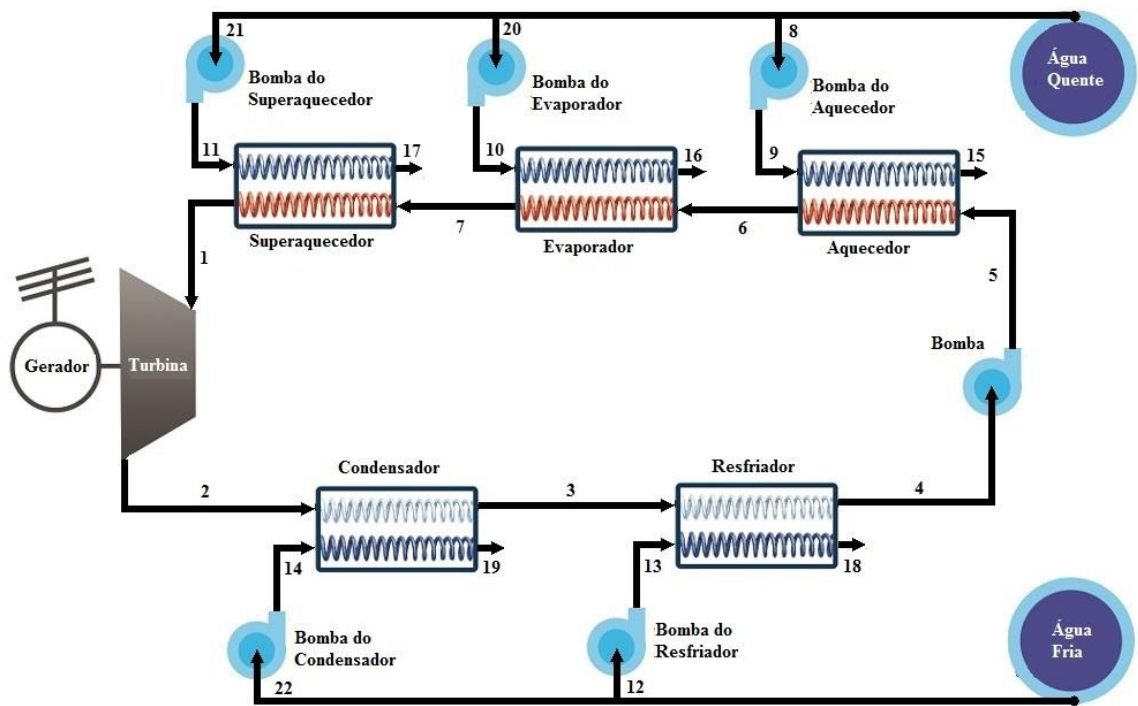


Figura 5 - Planta OTEC simulada

Parâmetro	Valor
Temperatura da água quente (°C)	26
Temperatura da água fria (°C)	4,5
Eficiência da bomba (%)	85
Eficiência da turbina (%)	85
Coeficiente global de transferência de calor (evaporador e condensador) (kW/m²K)	4,25
Coeficiente global de transferência de calor (outros trocadores de calor) (kW/m²K)	3,75
Eficiência do gerador elétrico (%)	98
Perda de carga no aquecedor (bar)	0,048
Perda de carga no evaporador (bar)	0,108
Perda de carga no superaquecedor (bar)	0,162
Perda de carga no condensador (bar)	0,086
Perda de carga no resfriador (bar)	0,119

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na simulação da OTEC

3 | 3. METODOLOGIA

Considerando o processo em regime permanente e assumindo que todas as variações de energias cinética e potencial são desprezíveis, bem como a conservação

da massa, a primeira e a segunda lei da termodinâmica para um volume de controle são representadas da seguinte forma simplificada (Van Wylen, Borgnakke e Sonntag, 1994):

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0 \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s = 0 \quad (2)$$

$$\dot{S}_{ger,vc} + \sum \frac{\dot{Q}_{vc,j}}{T_j} \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_s s_s = 0 \quad (3)$$

Onde:

\dot{m}_e é a vazão mássica de entrada no volume de controle [kg/s];

\dot{m}_s é a vazão mássica de saída do volume de controle [kg/s];

\dot{Q}_{vc} é o fluxo de calor [kW];

\dot{W}_{vc} é a potência gerada ou consumida pelo volume de controle [kW];

h_e é a entalpia do fluido na entrada do volume de controle [kJ/kg];

h_s é a entalpia do fluido na saída do volume de controle [kJ/kg];

$\dot{S}_{ger,vc}$ é o fluxo de entropia gerada no volume de controle [kW/ K];

s_e é a entropia do fluido na entrada do volume de controle [kJ/kg K];

s_s é a entropia do fluido na saída do volume de controle [kJ/kg K];

T é a temperatura [K].

A análise energética é capaz de levar em conta a qualidade da energia e as fontes de irreversibilidade no processo, sendo necessária a utilização da análise exergética. De acordo com Bejan, Tsatsaronis e Moran (1996), a exergia específica total é composta pela exergia física e química:

$$\bar{e}x_{total} = \bar{e}x_{fis} + \bar{e}x_{qui} \quad (4)$$

Onde:

$\bar{e}x_{total}$: exergia molar total [kJ/kg mol];

$\bar{e}x_{fis}$: exergia molar física [kJ/kg mol];

$\bar{e}x_{qui}$: exergia molar química [kJ/kg mol].

Uma vez que o ciclo OTEC não possui combustível e desconsiderando os efeitos das energias cinética e potencial, a exergia física de um escoamento é avaliada baseada em um estado de equilíbrio restrito do sistema em um ambiente padrão ou estado morto (P0, T0), por meio de:

$$\bar{e}x_{fis} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0(\bar{s} - \bar{s}_0) \quad (5)$$

Onde:

\bar{h}_0 : entalpia do estado morto [kJ/kg mol];

\bar{s}_0 : entropia do estado morto [kJ/kgK mol].

A eficiência global da planta OTEC baseada na Primeira Lei da Termodinâmica é a razão da energia disponível (seja ela térmica ou elétrica) para exportação e da potência fornecida, de acordo com:

$$\eta_{overall} = \frac{\sum \dot{W}_o - \sum \dot{W}_i}{\sum \dot{Q}_i} \quad (6)$$

Onde:

$\eta_{overall}$: eficiência global do ciclo [%];

\dot{W}_o : potência que sai do ciclo [kW];

\dot{W}_i : potência que entra no ciclo [kW];

\dot{Q}_i : fluxo de calor que entra no ciclo [kW].

A eficiência de Carnot é um bom parâmetro para verificação de como a planta OTEC possui uma eficiência baixa, porém se comparado à eficiência de Carnot com a eficiência global, pode-se observar que a planta OTEC possui uma eficiência global acima de 50% da sua eficiência máxima. A eficiência de Carnot pode ser calculada por:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (7)$$

Onde:

η_{Carnot} : eficiência de Carnot [%];

T_f : menor temperatura do ciclo [K];

T_q : maior temperatura do ciclo [K].

4 | 7. RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os dados de pressão, temperatura, fluxo de massa e de algumas propriedades termodinâmicas obtidos através da simulação no EES®.

Ponto	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	\dot{m} (kg/s)	ex (kJ/kg)
1	8,86	22,0	1.483,88	5,374	300	303,306
2	5,44	6,5	1.432,30	5,407	300	241,887
3	5,44	6,5	230,20	1,109	300	321,236
4	5,44	6,0	227,90	1,100	300	321,619
5	8,86	6,1	228,50	1,101	300	321,921
6	8,86	21,0	298,50	1,345	300	319,173
7	8,86	21,0	1.480,84	5,364	300	303,248
8	1,01	26,0	109,00	0,381	1,751	0,026
9	1,06	26,0	109,03	0,381	1,751	0,056
10	1,12	26,0	109,04	0,381	29,548	0,066

11	1,17	26,0	109,05	0,381	76	0,076
12	1,01	4,5	19,02	0,069	174	3,069
13	1,13	4,5	19,03	0,069	174	3,079
14	1,10	4,5	19,03	0,069	90,157	3,079
15	1,01	231	96,95	0,340	1,751	0,200
16	1,01	23,0	96,47	0,339	29,548	0,018
17	1,01	23,0	96,45	0,339	76	0,088
18	1,01	5,48	23,13	0,083	174	3,005
19	1,01	5,52	23,32	0,084	90,157	2,896
20	1,01	26,0	109,00	0,381	29,548	0,026
21	1,01	26,0	109,00	0,381	76	0,026
22	1,01	4,5	19,02	0,069	90,157	3,069

Tabela 2 - Resultados termodinâmicos obtidos na simulação no EES®

A eficiência do ciclo foi de 4,06% e a eficiência de Carnot foi de 6,68%. Neste caso, a eficiência global é de 60% da eficiência de Carnot.

A potência produzida pela turbina, consumida pelas bombas e a disponível para exportação são mostradas na Tabela 3.

Equipamento	Potência (kWe)
Turbina	15.472,8
Bomba de fluido de serviço	191,0
Bomba do aquecedor	9,8
Bomba do evaporador	366,0
Bomba do superaquecedor	1,4
Bomba do condensador	893,5
Bomba do resfriador	2,4
Disponibilidade para exportação	14.740,7

Tabela 3 - Potência requerida para cada equipamento

5 | CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nas simulações, é possível perceber que uma planta OTEC de ciclo fechado pode ser usada para gerar energia elétrica no nordeste do Brasil. Mesmo que a planta possua uma baixa eficiência energética, ela pode gerar consideráveis quantidades de energia. Essa quantidade é suficiente para substituir uma planta que funciona com motores estacionários a diesel, por exemplo, os quais possuem um custo de geração de energia comparativamente mais alto do que outras fontes de energia no Brasil.

Com a capacidade de exportação de 14 MW de energia, a planta OTEC se mostrou uma boa alternativa para substituição de fontes de energia altamente

poluidoras e caras, como o diesel. Para confirmar o potencial de implantação, será estudado o custo de produção da energia e sua viabilidade econômica. Além disso, outros ciclos serão simulados no futuro. A ideia é implementar concentradores solares no ciclo fechado, a fim de se observar o aumento da potência gerada e da eficiência.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq por conceder bolsas de mestrados aos dois primeiros autores.

REFERÊNCIAS

Avery, W. H., Hu, C., 1994. **Renewable Energy from the Ocean: A Guide to OTEC**. Oxford University Press

Bejan, A.; Tsatsaronis, G.; Moran, M., 1996. **Thermal design & optimization**. New York: John Wiley & Sons, 542 p.

Bharathan, D., 2011. **Staging Rankine cycles using ammonia for OTEC power production**. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-5500-49121, <<http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49121.pdf>>, 18 p.

Crews, R., 1997. **OTEC Sites**:
http://www.trellis.demon.co.uk/reports/otec_sites.html. Acesso em: 18 Jan. 2013.

Eletronorte (Brasil). Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas. Introdução às Energias Renováveis. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/64299782/Introducao-as-Energias-Renovaveis-Apostila-Eletronorte>>. Acesso em: 23 Out. 2013.

Etemadi, A., Emdadi, A., AsefAfshar, O., Emami, Y., 2011. **Electricity generation by the ocean thermal energy**. Energy Procedia. vol.12, pp. 936-944.

Faizal, M., Ahmed, M. R., 2013. **Experimental studies on a closed cycle demonstration OTEC plant working on small temperature difference**. Renewable Energy. vol. 51, pp. 234-240.

Klein, S. A.; Alvarado, F. L., 1995. **EES - Engineering Equation Solver**. Middleton: F-Chart Software.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME- EPE, 2007. 226 p.

Nihous, G., 2007. **An estimate of atlantic ocean thermal energy conversion (OTEC) resources**. Ocean Engineering, vol. 34, n. 17-18, pp. 2210-2221, 2007.

Reis, R. A. N., Souza, R. B., 2012. **Climatologia da estrutura termal do oceano Atlântico sudoeste a partir de dados observacionais de XBTS**. Scientific Initiation Final Relatory, CRS/INPE - MCTI, Santa Maria, RS, 7 p.

Tahara, K., Horiuchi, K., Kojima, T., 1995. **Ocean thermal energy conversion (OTEC) system as a countermeasure for CO2 problem - Energy balance and CO2 reduction potential**. Energy Conversion and Management, vol. 36, n. 6-9, pp. 857-860.

Uehara, H., Kusuda, H., Monde, M., Nakaoka, T., Sumitomo, H., 2009. **Shell-and-plate-type heat**

exchangers for OTEC plants. Journal of Solar Energy Engineering vol. 106, n. 3, pp. 286-290.

Upshaw, C. R., 2012. **Thermodynamic and economic feasibility analysis of a 20 mw ocean thermal energy conversion (OTEC) power plant.** Master Degree Dissertation, The University of Texas at Austin.

Van Wylen, G. J., Borgnakke, C., Sonntag, R. E., 2003. **Fundamentos da termodinâmica clássica.** 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 589 p.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-067-4



9 788572 470674