

Engenharia de Energias da UFRB

estudos e aplicação

Carine Tondo Alves
Jadiel Pereira
Luciano Sergio Hocevar
(Orgs.)



Engenharia de Energias da UFRB: estudos e aplicação

REITOR

Fábio Josué Souza dos Santos

VICE-REITOR

José Pereira Mascarenhas Bisneto

SUPERINTENDENTE

Rosineide Pereira Mubarack Garcia

CONSELHO EDITORIAL

Ana Lúcia Moreno Amor

Danillo Silva Barata

Josival Santos Souza

Luiz Carlos Soares de Carvalho Júnior

Maurício Ferreira da Silva

Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade

Robério Marcelo Rodrigues Ribeiro

Rosineide Pereira Mubarack Garcia (presidente)

Sirlara Donato Assunção Wandenkolk Alves

SUPLENTES

Carlos Alfredo Lopes de Carvalho

Marcílio Delan Baliza Fernandes

Wilson Rogério Penteado Júnior

COMITÊ CIENTÍFICO

(Referente ao Edital nº. 001/2020 EDUFRB – Coleção Sucesso
Acadêmico na Graduação da UFRB)

Anderson Dourando Sisnando, Carine Tondo Alves,

Jadiel Pereira, Kilder Leite Ribeiro,

Luciano Sérgio Hocevar e Wanberton Gabriel de Souza.

EDITORA FILIADA À



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Carine Tondo Alves
Jadiel Pereira
Luciano Sergio Hocevar
(Orgs.)

Engenharia de Energias da UFRB: estudos e aplicação



Editora UFRB
Cruz das Almas - Bahia
2021

Copyright©2021 by Carine Tondo Alves, Jádriel Pereira,
Luciano Sérgio Hocevar.

Direitos para esta edição cedidos à EDUFRB.

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica

Antonio Vagno Santana Cardoso

Revisão e normatização técnica

Luciano Sérgio Hocevar

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio,
seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

E57 Engenharia de energias da UFRB: estudos e aplicação
/ Organizadores: Carine Tondo Alves, Jádriel
Pereira e Luciano Sérgio Hocevar._ Cruz das
Almas, BA: EDUFRB, 2021.
224p.; il.

Este Livro é parte da Coleção Sucesso
Acadêmico na Graduação da UFRB – Volume XXIV.

ISBN: 978-65-88622-88-9.

1.Energia – Fontes alternativas. 2.Energia eólica –
Energia da biomassa. 3.Energia – Uso. I.Universidade
Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência e
Tecnologia em Energia e Sustentabilidade. II.Alves,
Carine Tondo. III.Pereira, Jádriel. IV.Hocevar, Luciano
Sérgio. V.Título.

CDD: 621.312136

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pelos usuários via formulário eletrônico)

Livro publicado em 14 de dezembro de 2021.



Editora UFRB

Rua Rui Barbosa, 710 – Centro
44380-000 Cruz das Almas – Bahia/Brasil

Tel.: (75) 3621-7672

editora@reitoria.ufrb.edu.br

www.ufrb.edu.br/editora

www.facebook.com/editoraufrb

Apresentação

*Carine Tondo Alves
Jadiel Pereira
Luciano Sergio Hocevar*

Os cursos de Engenharia de Energias são recentes na realidade universitária brasileira, sendo os primeiros registros datados de 2003.

O aumento das preocupações ambientais e a diversificação das fontes de fornecimento de energia, tradicionalmente estudadas em cursos de Engenharia Elétrica, Mecânica, Química e de Petróleo, ficaram cada vez mais evidentes à medida que se confirmava a necessidade de diminuir as emissões dos gases de efeito estufa e consequências nas mudanças climáticas.

A questão energética tornou-se interdisciplinar, exigindo mais do que conhecimento de tecnologia e gestão da energia. Neste entendimento, o curso aborda todas as modalidades de energia, desde as fontes convencionais até, e principalmente, as fontes renováveis, que têm apresentado grandes taxas de crescimento no Brasil e no mundo.

As Energias Renováveis adquiriram um novo status a ponto de se separarem dos cursos de engenharia tradicionais e é neste contexto que a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, atenta às demandas de tecnologia atuais criou seu curso de Engenharia de Energias, em 2015.

A decisão de implantar um Campus da UFRB em Feira de Santana para ofertar cursos de engenharias prende-se a alguns aspectos estratégicos, considerando-se o momento singular por que passam o estado e o país, resultando na criação do Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade – CETENS.

A escolha da Engenharia de Energias, o primeiro curso desta modalidade na Bahia, é justificada por uma série de fatores, como o potencial energético a partir de fontes renováveis para produção de energia elétrica, especialmente a solar fotovoltaica e a gerada a partir da biomassa para produção de biocombustíveis. Além de contar com um pólo industrial capaz de fornecer equipamentos para a cadeia produtiva de energia, existe a vantagem logística da região de Feira de Santana, devido à sua localização e característica de maior entroncamento rodoviário do Norte-Nordeste. Pode-se também considerar a carência de profissionais na área de Energias Renováveis, levados pela necessidade carência do estado na área energética, inclusive no meio rural.

Partindo então do que estabelecem os artigos 1º e 7º da Lei 5.194/1966, construiu-se uma matriz curricular de acordo as diretrizes curriculares estabelecidas pelas Resoluções CNE/CES 11/2002 e CONFEA 1010/2005, alinhadas com a garantia das atribuições profissionais definidas pela Resolução CONFEA 218/73.

O Engenheiro de Energias graduado pela UFRB terá base conceitual e habilidades para desenvolver, aplicar e integrar técnicas e ferramentas modernas de engenharia, que venham a auxiliar na solução de problemas relacionados à conversão, transporte, distribuição e usos dos diferentes tipos de energia e seus impactos na economia, meio ambiente e sociedade.

No que diz respeito à geração e conversão de energia elétrica, aos equipamentos, dispositivos e componentes para geração de energia elétrica, à gestão em recursos energéticos e desenvolvimento e aplicação de tecnologias relativas aos processos de geração de energia elétrica, à transmissão, distribuição, conservação e armazenamento de energia elétrica e eficiência energética, o Engenheiro de Energias graduado pela UFRB poderá atuar, dentre outras, nas ati-

vidades de supervisão, coordenação e orientação técnica; estudo de viabilidade técnico-econômica, planejamento e projeto; consultoria, perícia, avaliação e elaboração de laudo e parecer técnico; ensino e pesquisa; controle de qualidade e produção técnica e especializada; instalação, montagem e manutenção de equipamentos e desenvolvimento de processos para o setor energético.

O Engenheiro de Energias graduado pela UFRB terá formação com ênfase na geração de Energia Elétrica, que consiste na aquisição de conhecimentos e no desenvolvimento das habilidades necessárias para planejar, conceber, analisar, projetar, aperfeiçoar, implantar, gerenciar, operar e manter em funcionamento sistemas de geração de energia elétrica a partir de diferentes formas de energia, incluindo:

- Sistemas de conversão de energia mecânica potencial gravitacional em energia elétrica, como em conversão hidrelétrica;
- Sistemas de conversão de energia mecânica cinética em energia elétrica, como em conversão eólica;
- Sistemas de conversão de energia solar em energia térmica, como nos sistemas solares térmicos;
- Sistemas de conversão de energia solar em energia elétrica, como nos sistemas solares fotovoltaicos;
- Sistemas de conversão de energia térmica em energia elétrica, como nos sistemas de conversão termelétricos;
- Sistemas de conversão de energia nuclear como princípios de funcionamento de reatores nucleares, fissão e fusão como formas de produção de energia e conversão de energia térmica em energia elétrica em reatores nucleares;
- Sistemas de conversão térmica, mecânica e química através de disciplinas como biomassa, termodinâmica, físico-química, combustão e máquinas térmicas, para conversão de biomassa em diversos tipos de energias.

O futuro profissional será capaz de prever, monitorar e quantificar a disponibilidade de fontes de energia, tais como hidráulica, solar, eólica, nuclear e conteúdo térmico para produção de energia elétrica a partir de fontes como biomassa e combustíveis fósseis, além de buscar formas de tornar mais eficiente a produção e uso da energia elétrica.

Adicionalmente, o curso desenvolve ações e projetos diversos e programas como o Laboratório RECICLABIO que tem o objetivo de montar equipamentos utilizando materiais reciclados para a comunidade; o Workshop de Energias Alternativas da UFRB e a Semana Acadêmica de Engenharia de Energias da UFRB. Estas e outras atividades têm sido desenvolvidas de forma interdisciplinar e com participação ativa da comunidade externa, sobretudo através da presença de professores e docentes da rede básica de ensino.

Este livro é dividido em quatro temas: Energia da Biomassa; Energia Solar Fotovoltaica; Energia Eólica e Energia Oceânica.

O termo biomassa define toda matéria orgânica que pode ser utilizada para a produção de energia limpa, renovável, diminuindo assim a emissão de gases nocivos ao meio ambiente. A biomassa é utilizada para produção de energia desde os primórdios da humanidade, com madeira de cocção, aquecimento e iluminação e, neste período a madeira era a fonte de energia mais utilizada, permanecendo assim até a Revolução Industrial. Entre o final do século XVIII e o início do século XIX o uso da lenha na indústria siderúrgica e nos transportes foi muito acentuada. Neste período, também apareceram as máquinas a vapor para obtenção de energia mecânica, contudo, sua eficiência era considerada baixa.

Atualmente, utilização de biomassa para produção de energia limpa e renovável está em grande evidência, principalmente pelos perigos que os combustíveis fósseis causam no meio ambiente e na saúde humana e no Planeta.

Este tema, “Energia da Biomassa”, apresenta ao leitor três capítulos sobre tema tão relevante para sociedade moderna, produzido por discentes e docentes do curso de Engenharia de Energias da UFRB, fruto de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação, dentro do CETENS.

No tema intitulado “Energia Solar Fotovoltaica” são apresentados seis capítulos que analisam a utilização da energia solar e a vocação natural da região onde estão instalados a UFRB e o CETENS. Abordam a questão do abastecimento energético, os equipamentos utilizados para aproveitamento da energia solar, além de discorrer sobre a utilização de sistemas híbridos térmicos e elétricos para mini e microgeração. Por fim, é relatada a experiência de estágio de estudante do nosso curso de Engenharia de Energias, discorrendo sobre sua importância na formação do futuro profissional e outros aspectos relacionados ao seu aprendizado nessa área.

O tema da “Energia Eólica” apresenta ao leitor três capítulos sobre o aproveitamento energético desta modalidade em franco desenvolvimento no país e na Bahia, que possui atualmente 170 parques eólicos em operação com mais de 1.300 aerogeradores já instalados. Estão em construção ou em fase de iniciar suas obras mais 124 novos parques o que abre um leque de possibilidades para trabalho dos nossos futuros profissionais, além de pesquisas acadêmica em várias áreas. Os capítulos analisam a utilização da energia eólica e sua relação com o desenvolvimento sustentável, sobre a forma como produzimos e consumimos energia e a busca da eficiência energética, além dos fatores que influenciam na vida útil das pás eólicas. As condições meteorológicas não poderiam ficar de fora destas análises e este é o tema do capítulo que encerra esta parte, escrito a partir de uma estação meteorológica construída no campus da UFRB em Feira de Santana medindo temperatura, umidade, velocidade e direção do vento.

Nos primeiros três temas foram contempladas modalidades de geração de energia já consagradas, mas ainda com espaço para desenvolvimento tecnológico e crescimento dentro da matriz energética nacional. Mas quanto mais diversa a matriz energética, mais segura a oferta de energia e menor a vulnerabilidade em períodos de condições climáticas adversas. Por isso, na quarta parte trataremos de uma modalidade ainda pouco explorada no Brasil, um país de dimensão continental e litoral extenso que tem potencial de gerar aproximadamente 90 GW de energia limpa e renovável. A energia oriunda dos mares, disponível e abundante, pode ser utilizada para gerar eletricidade por meio do movimento das ondas, correntes e marés; do gradiente térmico e também do gradiente de salinidade, aproveitando as tecnologias marítimas e hidrocínéticas. Num cenário de preocupações com o aquecimento global e altos preços do petróleo esta pode ser uma boa oportunidade para o Brasil. Este tema, intitulado “Energia Oceânica”, apresenta ao leitor dois capítulos produzidos por discentes e docentes do curso de Engenharia de Energias da UFRB, resultado de pesquisas sobre o aproveitamento energético do litoral brasileiro e de seus possíveis impactos.

Sumário

Bioetanol 1G / 2G

Bárbara Gomes Pereira, Dominique Pereira da Silva,
Luiz Eduardo Amorim dos Santos, Carine Tondo Alves 15

Biomassa: avaliação econômica

Rafael Cordeiro Carvalho,
Carine Tondo Alves27

Pirólise: ácido dodecanóico

Aroldo Félix de Azevedo Júnior, Camila Ribeiro de Oliveira Félix,
Carolina Costa Freitas Alcântara, Marizania Sena Pereira.....39

RNAs aplicadas em energia solar

Roney das Mercês Cerqueira,
Anderson Dourado Sisnando 53

Desenvolvimento de placa absorvedora

Joyce Mara Brito Maia,
Fábio André Lora.....71

Coletores solares: análise comparativa

Bárbara Gomes Pereira,
Joyce Mara Brito Maia, Fábio André Lora87

Materiais usados em coletores solares

Joyce Mara Brito Maia, Bárbara Gomes Pereira,
Fábio André Lora..... 103

Microgeração solar na Bahia

Bárbara Gomes Pereira, Joyce Mara Brito Maia,
Fábio André Lora113

Estágio discente: em engenharia de energia

Ítalo Ximenes Fraga,
Luciano Sérgio Hocevar121

Energia eólica

Bárbara Gomes Pereira,
Carine Tondo Alves139

Desgaste em pás eólicas

Dominique P. da Silva,
Thiago A. Simões.....159

Estação meteorológica

Jamerson Régis Lima,
Jadriel dos Santos Pereira181

Energia oceânica: dispositivos e impactos

Camila Santos Oliveira,
Luciano Sérgio Hocevar193

Energia Oceânica: possibilidades

Camila Santos Oliveira,
Luciano Sérgio Hocevar207

Sobre os autores219

Bioetanol 1G / 2G

*Bárbara Gomes Pereira
Dominique Pereira da Silva
Luiz Eduardo Amorim dos Santos
Carine Tondo Alves*

Introdução

O Brasil atualmente é o maior exportador e o segundo maior produtor de etanol do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que produzem etanol a partir do milho. No território brasileiro a biomassa mais utilizada para a produção de etanol é a cana-de-açúcar (CRUZ, 2018). O álcool produzido a partir destas matérias-primas é considerado como de primeira geração (1G).

O etanol de segunda geração (2G) é um biocombustível de origem vegetal, produzido através de biomassas lignocelulósicas. Bonissatto *et al.* (2015) define-o como um biocombustível renovável, devido a utilização de biomassas como bagaço de cana-de-açúcar, aparas de papéis, sabugo de milho, dentre outros resíduos vegetais.

Toda essa biomassa que pode ser utilizada para produção do etanol 2G tem sido desprezada no Brasil, pois, enfrenta-se problemas técnicos associados à sua produção, como altos custos processuais e demandas biotecnológicas que envolvem um maior nível de cuidado laboratorial (como o manuseio de ácidos muito fortes). Então é de grande relevância para as indústrias produtoras de etanol um estudo que constate os prós e contras do bioetanol de segunda sobre o de primeira geração. Considerando o que foi exposto, o objetivo principal desse projeto é equiparar a produção do etanol 1G com a do etanol 2G.

Para a produção do bioetanol comumente é utilizado o bagaço da cana-de-açúcar como matéria prima, para chegar até o produto

final algumas etapas devem ser seguidas. A primeira etapa a seguir para produção do etanol é tratamento desse bagaço através da hidrólise. Em seguida, vem a etapa de deslignificação, onde deve ser retirada a lignina, complexo que dá resistência a fibra e protege a celulose da ação de microorganismos, porém, apresenta grande inibição ao processo fermentativo (AGUIAR, 2017).

A terceira etapa, a fermentação, as leveduras consomem açúcares e sintetizam etanol e dióxido de carbono, e é onde o líquido obtido nas fases anteriores, rico em açúcares, é fermentado. O sólido adquirido na segunda etapa, abundante em celulose, também pode ser tratado e transformado em sacarose através da ação de enzimas, para então passar também pelo processo de fermentativo. Na etapa final, ambos os líquidos provenientes das diferentes fermentações são destilados. O produto desta destilação é o etanol (AGUIAR, 2017).

Método

O presente estudo trata-se de uma pesquisa experimental descritivo com uma abordagem qualitativa. Ela foi realizada no laboratório 1 de química do Centro de ciência e tecnologia em energia e sustentabilidade (CETENS/UFRB).

O objeto de estudo foram as biomassas. Com foco na produção de etanol, utilizou-se o caldo da cana-de-açúcar como representante do álcool de primeira geração e o bagaço da cana e a batata-doce como o de segunda.

Para a coleta de dados foi utilizada a aparelhagem presente no laboratório como: balança semi-analítica; estufa; termômetro; destilador; pipeta; ponteiros; béqueres; balão volumétrico; tubos de ensaio; provetas; erlenmeyer; fita de medição de pH; água destilada e reator em batelada de baixo custo.

O pré-tratamento da biomassa, a preparação e a secagem de um inóculo, a fermentação e a destilação fizeram parte dos procedimentos realizados no experimento.

O processo de hidrólise

Um processo fundamental para a produção de etanol 2G é a hidrólise. A melhor maneira de compreender esse segmento é considerar três tipos de métodos para se extrair os açúcares: a hidrólise com ácido em alta escala, a com ácidos diluídos e a enzimática.

Hidrólise com ácido em alta escala

Neste primeiro método, a hemicelulose e a celulose que estão presentes na biomassa se rompem através do uso da solução concentrada de ácidos minerais, como o ácido sulfúrico (H_2SO_4), clorídrico (HCL) ou fosfórico (H_3PO_4) em temperaturas baixas ($<100^\circ C$). Ele foi realizado no processo de hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar, utilizando-se o HCL. Pelo uso desses reagentes, o custo dessa técnica torna-se inviável financeiramente e isso é uma grande desvantagem principalmente para área industrial (FERNANDES, 2016).

Hidrólise com ácido diluído

Neste método, parte dessas duas células foram hidrolisadas separadamente por meio de um ácido diluído. Foi o processo utilizado para a hidrólise na batata doce. Isso foi uma vantagem pois a hemicelulose pode ser separada da celulose, assim, otimizou-se todo o procedimento. Todavia, por conta das altas temperaturas empregadas neste segundo método, atingindo até $200^\circ C$, grande parte dos açúcares e lignina são degradados afetando diretamente no processo de fermentação (SIQUEIRA, 2016; RODRIGUES, 2018).

Hidrólise enzimática

O último método, o enzimático, foi realizado também na batata doce, no qual houve um pré-tratamento da lignocelulose para o ataque enzimático tornar-se mais efetivo. A priori as características de procedimentos foram semelhantes ao do ácido diluído, até que se seguiu para um processo de quebra de moléculas de celulose por ações enzimáticas, o que acarretou em um sistema mais brando e rendimento dos açúcares foi perceptível. Mas, como para esse método enzimático é necessária uma grande concentração da enzima, isto inviabiliza economicamente toda metodologia aplicada (RODRIGUES, 2018).

Pré-tratamento com batata-doce

O pré-tratamento empregado para a batata-doce foi a hidrólise enzimática, na qual seguiu a metodologia adotada por Barros e Blum (2018). Primeiramente selecionamos a batata que seria utilizada para esta laboração, de acordo com o trabalho de Rizzolo (2014), a melhor batata a ser utilizada seria a do tipo Cuia, pois apresentou os melhores resultados no que se refere ao processo fermentativo. Assim, a batata utilizada fora obtida em supermercado, e foi cortada em pequenos segmentos e posta para secar naturalmente. Após o processo de secagem deu-se início ao pré-tratamento. Ele foi realizado tendo como base a proporção de 1:1 (v/v) de água destilada e de batata doce seca, no qual se utilizou um Erlenmeyer de 250 mL para ambos. A acidez da solução foi corrigida para pH 6,0 com HCL (1,0 mol/L), e em seguida, o material foi levado ao banho maria a temperatura constante de 90 °C, adicionou-se ao mosto 0,3g de levedura de panificação (*Saccharomyces cerevisiae*) de marca comercial Dr. Oetker, pelo período de 30 minutos. Após esse período, ajustou-se a temperatura para 60°C e a acidez para pH 4,5 com Hidróxido de Sódio, adicionando-se novamente 0,3g de levedura de panificação

(*Saccharomyces cerevisiae*) de marca comercial Dr. Oetker sob temperatura constante pelo período de 30 minutos.

Pré-tratamento com bagaço da cana

Para o processo de pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar utilizamos como método a hidrólise de ácido concentrado, como no trabalho de Bonissato *et al.* (2015). O bagaço utilizado foi doado por um vendedor de caldo de cana da cidade de Feira de Santana-BA, cortado e posto para secar naturalmente a fim de retirar toda a umidade. Para a hidrólise foram empregados 25 g de bagaço seco, pesados numa balança digital de marca TKS, além de 500 mL de água destilada e 70 g de H₂SO₄ (1,0 mol/L), que foram misturados em um béquer de 2L e mantidos a temperatura de 40 °C por duas horas.

Pré-fermentação

Antes de iniciar a etapa de fermentação alguns procedimentos prévios precisaram ser adotados. Primeiramente, o bagaço de cana-de-açúcar e a batata-doce, após o processo de hidrólise, foram levados a estufa a uma temperatura de 80 °C por 24 h e 48 h, respectivamente, onde se pesou a massa das biomassas a cada duas horas. Após o período de secagem as biomassas foram trituradas e novamente pesadas. No caso do bagaço da cana-de-açúcar, mais uma vez reparou-se uma dificuldade, que foi o fato do processo de secagem ter tostado demais o resíduo. Para a fermentação da batata foi necessário a preparação de um inóculo, para esta etapa utilizou-se a levedura de fermento de pão da marca Dr. Oetker. Do fermento de pão foram pesados 5 g do produto e acondicionado em béquer de 100 mL. Em seguida, adicionou-se 5 g de sacarose e 50 mL de água a 40 °C, com repouso por 1 hora a fim da realização de multiplicação celular para só assim dar-se início a fermentação da batata.

Fermentação

Após a multiplicação das leveduras acondicionou-se em um reservatório de 500 mL a batata-doce hidrolisada e triturada, o inóculo e 200 mL de água destilada. A mistura foi reservada em temperatura ambiente onde fermentou pelo período de 7 dias. Para o caldo da cana-de-açúcar, 300 mL foram postos em um béquer de 500 mL, onde foram adicionados 10g de fermento de pão da marca Dr. Oetker. O béquer foi sobreposto em um agitador magnético com aquecimento e a solução foi mantida sob agitação por aproximadamente 12 h enquanto a temperatura estava sendo controlada a 40 °C. Nesse período, houve uma interrupção de mais 12 h no qual a solução foi mantida parada e em temperatura ambiente.

Destilação e condensação

A destilação foi realizada num destilador simples (ver figuras 11 e 13) onde colocou-se de 125 mL de mosto de a temperatura de 70 °C à 85 °C por um período de 160 min. Já a destilação do caldo da cana foi feita com 227 g a temperatura média de 80 °C.

Resultados e discussão

Figura 1. Processos realizados com as biomassas (Hidrólise, secagem e trituração).



a) Hidrólise enzimática da biomassa (batata-doce).



b) Hidrólise ácida da biomassa (bagaço de cana).



c) Biomassa (batata-doce) durante a secagem



d) Biomassa (bagaço de cana) durante a secagem



g) Biomassa (batata-doce) triturada.



h) Biomassa (bagaço de cana) triturada

Fonte: Autoral (2020).

No segundo processo (hidrólise do bagaço da cana-de-açúcar) o método do ácido concentrado não pôde ser bem aplicado, pois houve um excesso de bagaço, o que dificultou a mistura, prejudicando a uniformização para o processo de hidrólise. Isso fez com que a metodologia para obtenção de etanol da cana-de-açúcar passasse de 2G para 1G.

Na fase de secagem da batata-doce na estufa, tudo ocorreu como esperado. Já na secagem do bagaço da cana-de-açúcar, houve um problema, o qual impediu que o processo continuasse sendo feito. O bagaço tostou além do necessário, o que demonstra ou que a temperatura ajustada na estufa poderia ter sido menor ou que o tempo de secagem poderia ter sido reduzido (ver Figura 1, c).

Entretanto, reparou-se um insucesso neste último procedimento de mistura: a quantidade de bagaço da cana-de-açúcar apresentava-se em quantidade exagerada a ponto de dificultar esse processo

por ter muito resíduo para pouca solução. Se a solução fosse ajustada (colocando mais água destilada ou H_2SO_4) seria mudada toda a base de arcabouços teóricos que guiava essa metodologia. Outro problema foi o controle da temperatura necessária para a fermentação, dessa forma os processos com o bagaço da cana-de-açúcar chegaram apenas até o pré-tratamento.

A fermentação alcoólica é um processo anaeróbico, que compreende um conjunto de reações enzimaticamente controladas, através das quais uma molécula orgânica de açúcar é convertida, pela ação de leveduras, em álcool etílico e dióxido de carbono. O primeiro mosto a ser fermentado foi o do caldo de cana, essa etapa durou aproximadamente 6h com agitação magnética à uma temperatura média de $40^{\circ}C$. Já o mosto com a batata foi fermentado de forma natural em temperatura ambiente durante um período de cinco dias, diferentemente da quantidade descrita na literatura que é de sete dias. Durante a etapa de fermentação não foi verificado nenhum infortúnio.

Realizada a etapa de fermentação, passamos para a destilação estando o etanol misturado ao mosto fermentado, é essencial a sua separação da mistura. Nesse processo, o líquido é colocado em colunas de destilação, nas quais ele é aquecido até se evaporar. Na evaporação, seguida da condensação (transformação em líquido), obtemos o etanol. Para o caldo de cana foram obtidos 7,6 g de etanol puro. Por conseguinte, com o mosto da batata conseguimos destilar 15 mL de etanol.

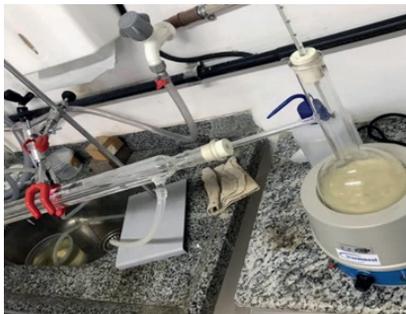
Figura 2. Etapas de produção do bioetanol de caldo de cana.



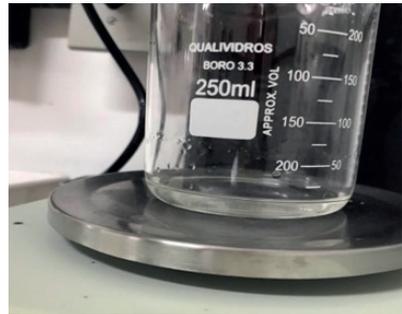
a) Agitação magnética



b) Fermentação



c) Destilação simples



d) Pesagem do produto

Fonte: Autoral (2020).

Figura 3. Etapas de obtenção do bioetanol de batata doce.



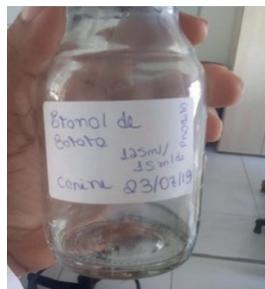
a) Destilação simples



b) Fermentação



c) Bioetanol



d) Rotulagem do bioetanol

Fonte: Autoral (2020).

Considerações finais

A experiência na produção de bioetanol em escala laboratorial na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia mostrou-se interessante pois conseguiu-se visualizar as diferenças que a produção de etanol de segunda geração detém em relação a de primeira geração. Fatores como as concentrações dos reagentes para as preparações das biomassas utilizadas e fatores técnicos com temperatura, pressão, condição e disponibilidade dos equipamentos afetam diretamente esse processo. Visto isso, percebeu-se que os fatores atuantes na produção de etanol de segunda geração tornam esta rota inviável,

em especial no Brasil, devido aos custos dos materiais e a complexidade procedimental.

Referências

AGUIAR, Héricles Resende Ricardo de. **Produção de etanol de segunda geração**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BONISSATTO, R. C. *et al.* **Processo de produção de etanol a partir da hidrólise ácida de biomassas lignocelulósicas**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, [s.l.], p.1-8, fev. 2015. Mensal. Editora Edgard Blücher. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1676-18107-149996>. Acesso em: 03 jun. 2020.

CRUZ, Carlos Henrique de Brito *et al.* **Universidades e Empresas: 40 anos da ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2018.

FERNANDES, Flavia da Silva. **Utilização do hidrolisado ácido e enzimático produzido a partir de resíduos vegetais obtidos em feiras abertas da cidade de Manaus para a produção de bioetanol**. 2016. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2016.

FRANCO, Frederico Victor. 2000/2018 - **Evolução da produção e venda de Etanol no Brasil**. [S. l.], 8 nov. 2018. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/2000-2018-evolucao-da-producao-e-venda-de-etanol-no-brasil_412862.html. Acesso em: 03 jun. 2020.

MORAIS, Polliana Peixoto *et al.* Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 7, n. 1, 2017.

RESENDE, Rodrigo Ribeiro. **Biotecnologia aplicada à agroindústria: Fundamentos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

RIZZOLO, Joana Antunez. **Estudos para o aproveitamento biotecnológico de variedades de batata-doce [ipomoea batatas (L.) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente.** 2014. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47464/R%20-%20T%20-%20JOANA%20ANTUNEZ%20RIZZOLO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 jun. 2020.

RODRIGUES, Camila Costa *et al.* **A utilização de material lignoselulósico na produção de bioetanol.** São Paulo: Art& Sam, 2018.

SIQUEIRA, L. N. de *et al.* **Rendimento de hidrólise e produção de etanol lignocelulósico a partir de biomassa de capim elefante.** Journal of Bioenergy And Food Science, [s.l.], v. 3, n. 4, p.191-196, 20 dez. 2016. Quadrimestral. Instituto Federal do Amapá. <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v3i4.112>

Biomassa: avaliação econômica

*Rafael Cordeiro Carvalho
Carine Tondo Alves*

Introdução

Somando a instabilidade de preços decorrentes dos combustíveis fósseis ao aumento de preço da energia elétrica decorrente da crise hídrica, torna-se mais explícita a necessidade de diversificar a matriz energética do país. A grande abundância territorial e climas favoráveis à monocultura no Brasil tornam a biomassa uma das fontes com maior potencial de crescimento para produção de energia. A partir dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, cujo consumo é crescente, substituindo derivados de petróleo, como o óleo diesel e a gasolina (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2008).

A utilização da biomassa é habitualmente associada ao desmatamento. Todavia, florestas energéticas podem ser exclusivamente cultivadas para esta finalidade. Além de origens florestais, a biomassa também pode ser utilizada como resíduos orgânicos a partir de atividades agrícolas e rejeitos urbanos e industriais. No Brasil, por exemplo, a maior parcela do consumo de biomassa florestal é voltada principalmente para o setor industrial, estando entre os principais produtores de papel, celulose e painéis de madeira no mundo, tornando o país um grande potencial para utilização desses resíduos para fins energéticos (ANEEL, 2008; INDÚSTRIA DE ÁRVORES - IBÁ, 2019).

A biomassa é definida como qualquer matéria orgânica não fóssil, armazenada sob a forma de energia química e que possa ser transformada em qualquer outra forma de energia (EMPRESA DE

PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2019). Essa energia é considerada uma forma indireta de energia solar e pode se converter em outras formas de energia ou produtos energéticos (ANEEL, 2008).

Existem várias formas tecnológicas para obtenção de energia através da biomassa, como gaseificação, pirólise (carbonização), combustão, digestão anaeróbica, fermentação e transesterificação. Todavia, uma das formas mais baratas de se obter energia através do calor é a combustão (ANEEL, 2008).

A combustão é uma reação química de oxidação com rápida liberação de calor para o meio ambiente, geralmente em forma de chama (BROWN, LEMAY e BURSTEN, 2005). A quantidade liberada em forma de calor durante a combustão completa de um combustível é denominada de Poder Calorífico (PC), geralmente medido em kJ/kg ou Kcal/kg. O PC pode ser dividido em duas categorias, o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI) (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008).

O PCS é a energia total liberada por um combustível e normalmente é utilizada para fins acadêmicos. Todavia, as máquinas térmicas operam em temperaturas superiores à de condensação da água, ocorrendo a captura de energia para a sua vaporização e sendo liberada juntamente com os gases de exaustão pela chaminé. Em outras palavras, a umidade reduz o poder calorífico e a temperatura do sistema, dificultando o processo de combustão e reduzindo a eficiência do combustível. Portanto, nesses casos utiliza-se como parâmetro o PCI, que desconta a energia absorvida pela água (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008; STROBEL, 2020).

Além da umidade, a composição elementar também interfere diretamente no calor liberado durante a reação, uma vez que os elementos influenciam na variação das ligações, responsáveis pelo armazenamento de energia. Por exemplo, a presença de hidrogênio permite a formação de água durante a combustão, que também é vaporizada. As composições podem ser utilizadas para cálculo de volume de ar, gases e entalpia, além de determinar o poder calorífico

do combustível. Os principais elementos presentes na biomassa são o carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S) (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008; MONTEIRO JR, 2008).

O presente estudo aborda a utilização do cavaco de eucalipto como biomassa para geração de calor em uma indústria alimentícia, evidenciando um tema relevante e atual quando se trata de eficiência energética e sustentabilidade. O avanço de estudos aplicados em fontes renováveis impulsiona o seu uso, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo com o meio ambiente.

Foi realizada uma pesquisa de campo em uma indústria alimentícia na região de Feira de Santana-BA, no qual os processos industriais são aquecidos com vapor supersaturado. Para gerar vapor é utilizada uma caldeira de biomassa, ou gerador de vapor, com tecnologia do tipo flamotubular e grelha rotativa, e aceita combustíveis sólidos com até 50 % de umidade. Os principais combustíveis que podem ser queimados nela são cavaco, ser-ragem/maravalha, bagaço de cana, carvão vegetal e cascas de arroz, de café, de cacau, de coco, de amendoim e de pinus.

Figura 17. Foto do cavaco de eucalipto.



Fonte: Autoral (2020).

Os PCIs dos combustíveis podem ser encontrados como exemplificado na Tabela 1, variando de acordo com o seu teor de umidade. O calor total liberado pelo combustível é expresso em função do PCI e da massa total do combustível queimado, conforme mostrado pela Equação 1.

$$Q_T = PCI \cdot m \quad (1)$$

Onde:

Q_T : calor total, em kJ ou Kcal;

PCI : Poder Calorífico Inferior, em kJ/kg ou Kcal/kg;

m : massa do combustível, em kg.

Tabela 1. Umidades e PCIs de algumas biomassas

Biomassa	u (%)	PCI (Kcal/kg)
Bagaço de cana - enfardado	20	2.972
Bagaço de cana - <i>in natura</i>	50	1.638
Casca de arroz - <i>in natura</i>	12	3.126
Casca de coco	8	3.887
Eucalipto	40	2.366
Pinus	40	2.448

Fonte: Adaptado de Adetec (2019).

O combustível utilizado para o abastecimento da caldeira é o cavaco de eucalipto misturado com serragem. Foi constatado que o cavaco é comprado por um preço de 218,00 por tonelada e apresenta média de 30 % do teor de umidade. Assim, o custo total para cada lote descarregado é função do preço e da massa do combustível, conforme a Equação 2.

$$C_T = P \cdot m \quad (2)$$

Onde:

C_T : custo total, em R\$;

P : preço do combustível, em; $R \$/Ton$;
 m : massa do combustível, em Ton .

Metodologias de desconto

Desconto atual

Existe uma cláusula contratual em que o teor de umidade não deve ultrapassar 30 % em massa. Para isso, são realizadas uma ou mais análises de umidade em uma estufa para cada lote descarregado. Quando for ultrapassado o limite acordado, é gerado um desconto em função do custo total e do excedente do teor de umidade, como é demonstrado na Equação 3.

$$D_A = C_T \left(\frac{u - 30}{100} \right) \quad (3)$$

Onde:

D_A : desconto atual, em $R\%$;

u : teor de umidade, em $\%_{massa}$.

O método utilizado atualmente pela empresa desconta apenas o aumento de massa, ocasionado pela umidade excedida. Contudo, essa metodologia não leva em consideração um fenômeno da termodinâmica em que durante o processo de combustão a água utiliza parte da energia liberada pelo combustível para sua vaporização, conforme já discutido anteriormente, reduzindo ainda mais o poder energético do material particulado.

Desconto proposto

A metodologia proposta a seguir evidencia um desconto sem perdas energéticas e financeiras. Para isso, a partir da Equação 1 é

possível calcular a massa correspondente a 30 % de umidade para liberar a mesma quantidade de calor que a massa do combustível descarregado, conforme as Equações 4.1 a 4.3. Neste caso, o fenômeno de vaporização da água é considerado durante o cálculo do PCI, conforme discutido anteriormente.

$$Q_{T(30\%)} = Q_T \quad (4.1)$$

$$PCI_{(30\%)} \cdot m_{(30\%)} = PCI \cdot m \quad (4.2)$$

$$m_{(30\%)} = \frac{PCI \cdot m}{PCI_{(30\%)}} \quad (4.3)$$

Onde:

(30 %): teor de umidade de 30 %.

O custo equivalente à umidade acordada pode ser expresso entre as Equações 5.1 a 5.3 e será denominado de custo reduzido.

$$C_R = P \cdot m_{(30\%)} \quad (5.1)$$

$$C_R = P \left(\frac{PCI \cdot m}{PCI_{(30\%)}} \right) \quad (5.2)$$

$$C_R = C_T \left(\frac{PCI}{PCI_{(30\%)}} \right) \quad (5.3)$$

Onde:

C_R : custo reduzido, em R\$.

Finalmente, a metodologia proposta de desconto, denominado desconto proposto, é a diferença entre o custo total e o custo reduzido, conforme as Equações 6.1 e 6.2.

$$D_P = C_T - C_R \quad (6.1)$$

$$D_P = C_T \left(1 - \frac{PCI}{PCI_{(30\%)}} \right) \quad (6.2)$$

Onde:

D_P : desconto proposto, em R\$.

Perdas financeiras

Foi desenvolvida uma fórmula para serem estimadas as perdas financeiras ocasionadas devido ao uso do desconto atual ao invés do desconto proposto e é dada pela diferença entre as duas metodologias, conforme as Equações 7.1 e 7.2.

$$\Delta D = D_P - D_A \quad (7.1)$$

$$\Delta D = C \left[\left(1 - \frac{PCI}{PCI_{(30\%)}} \right) - \left(\frac{u - 30}{100} \right) \right] \quad (7.2)$$

Onde:

ΔD : perdas financeiras, em R\$.

Conversão do poder calorífico tabelado

Boa parte das indústrias não mede os PCIs de seus combustíveis, utilizando valores tabelados quando necessário. Todavia, não há valores suficientes de umidades com seus respectivos PCIs, dificultando uso dessas tabelas em situações práticas. O PCI é calculado a partir da medição do PCS em uma bomba calorimétrica, conforme a Equação 8, adaptado de Bizzo e Sánchez (2020).

$$PCI = \left[\left(\frac{100 - u}{100} \right) \left(PCS - \frac{9H}{100} \cdot 584 \right) \right] - \left(\frac{u}{100} \cdot 584 \right) \quad (8)$$

Onde:

584: entalpia de condensação da água a 298K e 1atm, em Kcal/kg.

H : teor de hidrogênio do combustível na base seca, em %;

9: quantidade de água que se forma ao oxidar 1 kg de hidrogênio, em kg/kg.

Para não necessitar recorrer a medições de PCS e de hidrogênio é possível eliminar ambas as variáveis caso já se tenha informação de, pelo menos, um PCI e sua respectiva umidade. Sabendo que o PCS é praticamente padrão para cada combustível, é possível isolá-lo e estabelecer a relação $PCS_1 = PCS_2$. Como consequência, o teor de hidrogênio também é eliminado da equação, restando apenas os PCIs e seus respectivos teores de umidade, conforme a Equação 9.

$$PCI_2 = \left[(PCI_1 + 5,84u_1) \cdot \left(\frac{100 - u_2}{100 - u_1} \right) \right] - 5,84u_2 \quad (9)$$

Em outras palavras, é possível encontrar o valor do PCI para a umidade trabalhada, a partir de outro valor de PCI e umidade utilizados como parâmetro.

Resultados e discussão

Uma simulação foi realizada para exemplificar quais seriam as perdas financeiras a partir de um lote de 25 toneladas para teores de umidade entre 30 a 40 %. A Tabela 2 e o Gráfico 1 representam as metodologias de desconto atual, desconto proposto e perdas financeiras da indústria para um determinado lote de cavaco de eucalipto descarregado. Para calcular os valores de desconto proposto, foram

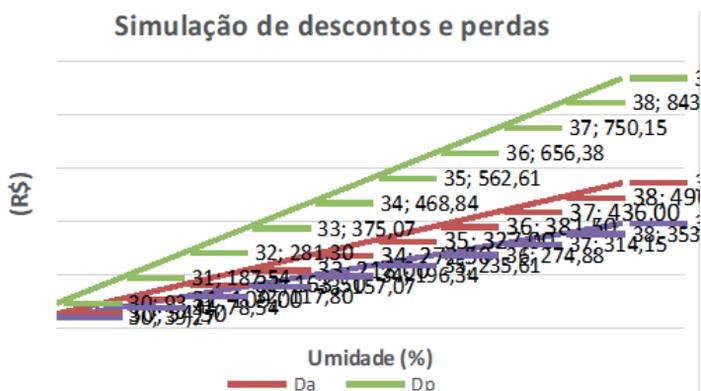
utilizados os valores dos PCI e umidades do cavaco de eucalipto demonstrados anteriormente na Tabela 1 e, assim, foram convertidos a partir da Equação 9. As perdas representadas em porcentagem na tabela se referem ao valor perdido em cima do desconto proposto.

Tabela 2. Simulação de descontos e perdas financeiras para um lote de 25 toneladas.

u (%)	PCI (Kcal/kg)	D_A (R\$)	D_P (R\$)	ΔD (R\$)	ΔD (%)
30	2858	00,00	00,00	00,00	0,00
31	2809	54,50	93,77	39,27	72,05
32	2759	109,00	187,54	78,54	72,05
33	2710	163,50	281,30	117,80	72,05
34	2661	218,00	375,07	157,07	72,05
35	2612	272,50	468,84	196,34	72,05
36	2563	327,00	562,61	235,61	72,05
37	2514	381,50	656,38	274,88	72,05
38	2464	436,00	750,15	314,15	72,05
39	2415	490,50	843,91	353,41	72,05
40	2366	545,00	937,68	392,68	72,05

Fonte: Autoral (2020).

Gráfico 1. Simulação de descontos e perdas financeiras para um lote de 25 Ton.



Fonte: Autoral (2020).

É possível verificar que as perdas crescem de forma proporcional ao aumento de umidade. Contudo, estas sempre equivalem a 72,05 % do desconto atual, mesmo com tal variação. Isso significa que caso o desconto proposto fosse aprovado, a indústria teria um ganho desse valor comparado aos descontos atualmente aplicados.

Considerações finais

Durante o desenvolvimento de campo foram identificados dois problemas relacionados a custos envolvidos: o primeiro foi referente aos custos da compra de biomassa e o segundo foi referente à forma de desconto que é aplicado atualmente, como já discutido neste trabalho.

Foi constatado que a indústria anteriormente já havia procurado outros fornecedores, tendo considerado que o preço pago pelo cavaço de eucalipto atualmente não é considerado satisfatório. Todavia, de acordo com as informações obtidas internamente, alguns fatores determinaram a desistência da troca de fornecedor, tais como:

Transporte terceirizado, não havendo garantia de cumprimento de prazos;

Logística, aumentando custos a partir de maiores distâncias;

Qualidade inferior do combustível, apresentando maior presença de serragem, lascas de madeira ou maior teor de umidade.

A logística é um dos principais fatores que encarecem a biomassa na Bahia. Não há muitos fornecedores na região e os poucos presentes aumentam sua taxa devido à baixa concorrência. Além disso, em distâncias maiores, o custo com transporte e combustível torna a compra inviável, sendo preferível, portanto, os fornecedores locais.

As lascas de madeira presentes na biomassa são consideradas como corpos estranhos e o aumento em sua quantidade causa desarmonias constantes na esteira que leva a biomassa até a caldeira,

necessitando que o operador as retire constantemente, sendo, portanto, considerado um gargalo. A serragem queima mais rapidamente que o cavaco, aumentando a quantidade de cinzas no leito da grelha, comprometendo a eficiência da combustão e aumentando a quantidade de manutenção, devido ao aumento da quantidade de cinzas.

As simulações realizadas para melhorar a metodologia de desconto biomassa foram consideradas satisfatórias, com equações simples e de fácil entendimento, sendo possível serem utilizadas com maior embasamento científico. Portanto, mesmo que a indústria não utilize a metodologia oferecida devido à falta de alternativas, poderá administrar os seus déficits.

Referências

ADETEC. **Consumo de combustível**. São Paulo: ADETEC, 2019. Disponível em: <http://adetek.ind.br/consumo.asp>. Acesso em: 02 de abril de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2008, 236p.

BIZZO, W. A.; SÁNCHEZ, C. G. **Estequiometria das reações de combustível**. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP: UNICAMP. Disponível em: https://eva.fing.edu.uy/file.php/392/01_estequiometria_Da_Combustao.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2020.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Orgs.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: UNICAMP, 2008, 736p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional (BEN) 2019**: Ano base 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório 2019. Brasília: Design and DTP, 2019.

MONTEIRO JR, O. L. **Estudo do Controle das Emissões de Poluentes em Caldeiras de Alta Pressão com Queimadores Convencionais, abordagem da Eficiência versus Custo do Dano.** 2008. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

STROBEL, C. **Combustíveis e combustão.** Máquinas Térmicas I. Setor de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR. Disponível em:< http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NO-TURNO/TM364/>. Acesso em 27 de maio de 2020.

Pirólise: ácido dodecanóico

*Aroldo Félix de Azevedo Júnior
Camila Ribeiro de Oliveira Félix
Carolina Costa Freitas Alcântara
Marizania Sena Pereira*

Introdução

A matriz energética mundial ainda é baseada em fontes não renováveis e combustíveis fósseis, sendo altamente poluentes e deste modo geram questões preocupantes em todo o mundo. Após a segunda metade do século XX, devido a crise petrolífera, aumento da demanda de combustível e crescimento da conscientização ambiental, pesquisas por fontes alternativas foram cada vez mais intensificadas, sendo estas fontes de natureza renovável, devido sua ampla disponibilidade, biodegradabilidade e baixo custo (ARAUJO *et al.*, 2017).

A pirólise de compostos graxos pode ser lenta e rápida, sendo a pirólise rápida levando a compostos mais leves. A pirólise também pode ser processada com ou sem catalisador e a temperaturas variando de 300 a 800 °C. Uma quantidade maior de produtos leves, incluindo gases e compostos com um alto grau de desoxigenação, geralmente resulta de pirólise a temperaturas mais elevadas ou em presença de catalisadores (FRÉTY *et al.*, 2014).

Uma maneira de tornar a pirólise mais eficiente com a obtenção dos produtos desejados é a promoção da reação na presença de um catalisador adequado. O uso de peneiras moleculares com diferentes estruturas cristalinas pode induzir mudanças (de grau variável) nas distribuições de produtos da conversão de bio-óleos. Pode-se mencionar que várias zeólitas como, ZSM-5, Y, beta e sicilicoaluminofosfatados são estudadas em craqueamentos de bio-óleo (GARCIA *et al.*, 2015).

Foram sintetizadas peneiras moleculares do tipo SAPO-5 e Al-MCM-41. Os catalisadores foram empregados na flash pirólise do ácido dodecanóico, com o objetivo de avaliar as diferenças entre a pirólise térmica e catalítica.

Síntese do catalisador SAPO-5

A síntese e calcinação do catalisador SAPO-5 procedeu-se seguindo a metodologia encontrada em (AZEVEDO, 2014), sendo realizada algumas modificações, para ajustar a razão de Si/Al. Foi empregada pseudobohemita e ácido ortofosfórico (85%, Sigma - Aldrich), como fontes de Si e P, respectivamente. Em seguida, o direcionador trietilamina (Sigma - Aldrich), além de Tetraetil Ortossilicato (98% Sigma - Aldrich) e o surfactante Brometo de hexadecil trimetilamônio (Sigma - Aldrich) em solução com o hexanol (Sigma - Aldrich).

Síntese do catalisador Al-MCM-41

Foi preparada amostra de Al-MCM-41 com razão Sílica/alumina (SAR) igual a 60. Foi utilizada sílica comercial (Aerosil 200) e aluminato de sódio como fontes de Si e Al, respectivamente. Como direcionador da estrutura mesoporosa foi utilizado brometo de hexadeciltrimetilamônio (CTMABr), na forma de solução aquosa 25 % p/p. Para manter o pH básico, se utilizou de uma solução de hidróxido de sódio 50 % p/p. A composição molar das principais espécies na solução foi de 1 SiO₂: 0,025 Al₂O₃: 0,08 Na₂O: 0,3 CTMA: 26 H₂O.

Calcinação dos catalisadores

O catalisador Al-MCM-41 foi calcinado sob atmosfera inerte (N₂, 30 mL/min) até 370 °C por 90min para remoção do direcionador remanescente na estrutura porosa. Após esta etapa, o fluxo de N₂ foi

substituído por ar sintético (30 mL/min) mantendo-se a temperatura de 550 °C por um tempo acima de 10 h para queima do direcionador restante.

Calcinou-se o catalisador SAPO-5 em atmosfera inerte (N₂, 100 mL/min) até 450 °C (10 °C/min), permanecendo nesta temperatura por uma hora, para remoção do direcionador remanescente na estrutura. Após esta etapa, o fluxo de N₂ foi substituído por ar sintético (100 mL/min) mantendo-se a temperatura de 550 °C por 5 h para queima do coque formado com a decomposição do direcionador.

Caracterizações

As medidas de difração de raios X foram conduzidas em um equipamento Shimadzu, modelo XRD-6000, utilizando-se a radiação K α do Cu ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). Os difratogramas foram coletados num intervalo de 1° a 50° com uma velocidade de varredura de 0,25° . min⁻¹. As amostras em pó foram analisadas sem nenhum tratamento prévio. A acidez dos catalisadores foi determinada através de análises de dessorção à temperatura programada de amônia (TPD- NH₃) no equipamento Chemisorb 2720, Pulse Chemisorption System, Micromeritics, dotado de um detector de condutividade térmica (DCT), reator de quartzo e sistema de alimentação de gases.

Preparação dos catalisadores com o composto graxo

Inicialmente houve a adição do ácido graxo ao catalisador na proporção 1:10, sendo realizada uma mistura mecânica. Posteriormente, a mistura foi aquecida até uma temperatura superior à de fusão do ácido dodecanóico (60 °C), e constantemente homogeneizada. Tal tratamento permitiu ao composto orgânico migrar na superfície e nos poros dos catalisadores. Após esta etapa, a mistura,

ainda na forma de pó, foi guardada ao abrigo da umidade e depois adicionada ao porta-amostra de titânio, e coberto por lâ de quartzo. Para os testes em camadas, foram superpostas camadas de C12:0, lâ de quartzo, catalisador, lâ de quartzo.

Teste catalítico

Os testes catalíticos ocorreram em um modelo multi-shot pyrolyzer EGA/Py-3030d (Frontier Laboratories LTD) conectado on-line com um GC-MS-5799A (Agilent). Aproximadamente 1,1 miligramas da amostra foi introduzida em um porta-amostra de titânio. A temperatura de reação utilizada foi de 650 °C e as amostras foram mantidas na temperatura de reação durante 20 segundos.

Para análise cromatografica dos produtos foi usada uma coluna HP-5MS (30 m de comprimento, 250 µm de diâmetro, 0,25 µm de espessura do filme) com uma rampa de aquecimento compreendendo uma temperatura inicial de 40 °C durante 3 minutos. A taxa do fluxo de hélio através da coluna foi de 2 mL/min. A temperatura da interface do pirolisador foi de 320 °C. Os produtos obtidos por GC/MS foram identificados com base nos tempos de retenção e por comparação com os fragmentos padrões de espectro de massa do banco de dados da National Institute of Standards and Testing (NIST).

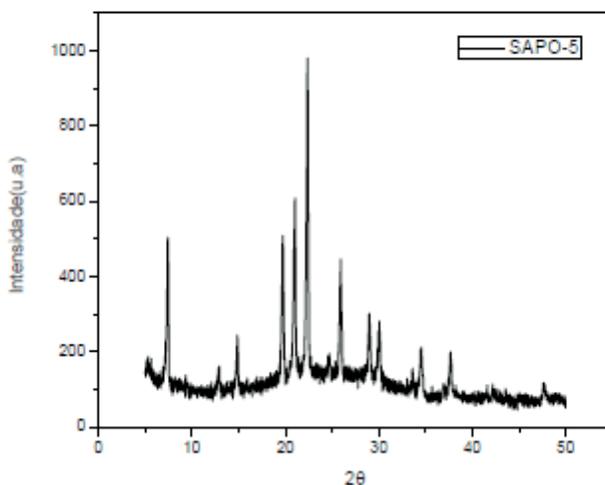
Resultados e discussão

Difração de raios X

A técnica de DRX foi utilizada para estudar a estrutura cristalina dos catalisadores SAPO-5 e Al-MCM-41, a fim de verificar a formação destes materiais. Na Figura 1 é apresentado o difratograma do SAPO-5. É possível verificar que o catalisador de forma geral apresentou picos de difração característico da estrutura AFI, semelhan-

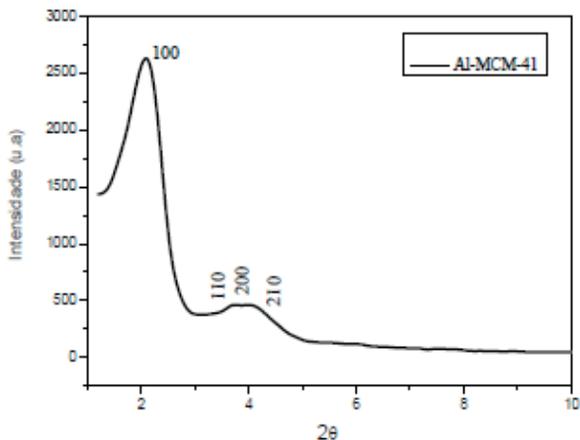
te ao encontrado na literatura (WANG *et al.*, 2017). A presença de um pico de material amorfo centrado em $2\theta = 22\text{--}23^\circ$, está associado a alterações na estrutura cristalina após tratamento térmico.

Figura 1. Difratoograma de raios X do SAPO-5.



Fonte: Autoral (2020).

A partir da análise do difratograma do catalisador Al-MCM-41(60) apresentado na Figura 2, pode-se observar que o pico de maior intensidade em baixo ângulo, tal como $2\theta = 2,1^\circ$, característico do Al-MCM-41 está presente. O pico de menor intensidade e maior largura observado em ângulos maiores ($2\theta = 3\text{--}4^\circ$) sugere uma perda de homogeneidade e simetria hexagonal da estrutura cristalina devido a quantidade de alumínio presente na sua estrutura (SILVA *et al.*, 2008).

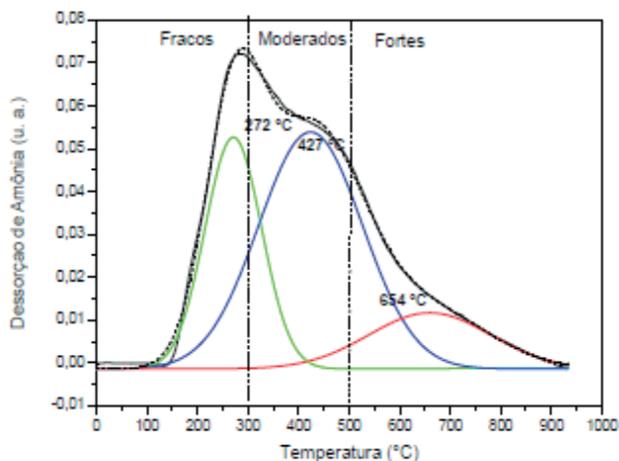
Figura 2. Difratoograma de raios X do Al-MCM-41.

Fonte: Autoral (2020).

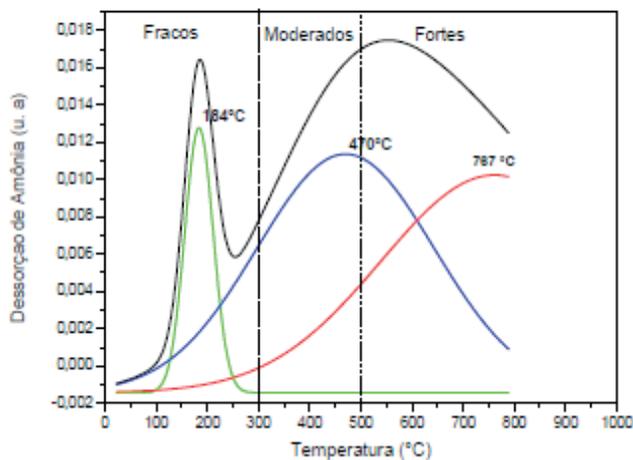
Termodessorção de amônia (TPD-NH₃)

Os perfis da termodessorção de amônia dos catalisadores são de grande importância, uma vez que a acidez das peneiras moleculares determinam a extensão da reação e obtenção de produtos específicos (VIEIRA, 2011).

As análises de termodessorção de amônia dos catalisadores SAPO-5 (0,15) e Al-MCM-41 (60) podem ser observados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Os picos de dessorção da amônia são observados geralmente em 3 regiões de temperatura. As regiões abaixo de 300 °C são associadas a sítios ácidos fracos, entre 300-500 °C a sítios ácidos moderados e acima de 500 °C a sítios ácidos fortes (LIMA; LOPEZ, 2018).

Figura 3. Análise de TPD de amônia do SAPO-5 (0,15).

Fonte: Autoral (2020).

Figura 4. Análise de TPD de amônia do A1-MCM-41 (60).

Fonte: Autoral (2020).

A Tabela 1 apresenta as concentrações, em mmol/g, destes sítios ácidos derivados da deconvolução da curva experimental, utilizando-se de uma distribuição Gaussiana.

Tabela 1. Concentração ($\times 10^{-2}$ mmol/g) de sítios ácidos dos SAPO-5 e Al-MCM-41

Catalisador	Fracos	Moderados	Fortes
SAPO-5	1,04	1,94	0,54
Al-MCM-41	0,14	0,76	0,88

Fonte: Autoral (2020).

Para o catalisador SAPO-5, observou-se uma predominância de sítios ácidos fracos e moderados, com temperatura de dessorção respectivamente em 272 °C e 427 °C. Além da presença de um pico referente a sítios ácidos fortes, na temperatura de 654 °C, com uma concentração menor. Para reações que requerem catalisadores fortemente ácidos, é vantajosa a síntese dos SAPO's com altos teores de sílica. Entretanto, devido à baixa cristalinidade e à formação de grandes ilhas de silício, resultante da concentração elevada da sílica no gel, o teor da sílica nos SAPO's deve ser limitado (AZEVEDO, 2014). O Al-MCM-41(60) apresenta três picos de dessorção, nas temperaturas de 184 °C, 470 °C e 767 °C, respectivamente. A maior concentração, em mmol/g, encontrada foi em sítios ácidos fortes. Segundo Intana *et al.* (2015), o pico de dessorção a baixa temperatura (< 300 °C) poderia ser associado a sítios ácidos de Bronsted de meio fraco que podem ser atribuídos ao alumínio tetraédrico. E a dessorção a alta temperatura (> 500 °C) poderia representar sítios ácidos de Lewis criados pela desidroxilação de sítios ácidos de Bronsted (INTANA *et al.*, 2015).

Teste catalítico

Na Tabela 2 estão apresentados os principais compostos desoxigenados e suas respectivas áreas, formados pela pirolise térmica do ácido dodecanóico.

Tabela 2. Compostos detectados na pirólise térmica do ácido dodecanóico

Compostos	Área (%)
Propeno	0,64
1-Buteno	0,51
1-Hexeno	1,21
1-Deceno	1,19
1-Undeceno	1,80

Fonte: Autoral (2020).

Na pirólise térmica a 650 °C ocorre a desoxigenação do ácido dodecanóico pela rota de descarbonilização, fornecendo principalmente olefinas terminais (C3 a C11), além de ácido dodecanóico residual (LHAMAS, 2013). Porém, compostos de C7 a C9, não foram observados, sugerindo que a cisão nas ligações C-C, ocorreu próximo ao grupo carboxila, originando assim as olefinas terminais, principalmente o 1-Undeceno.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os principais compostos desoxigenados formados pela pirólise catalítica do ácido dodecanóico na presença do SAPO-5.

Tabela 3. Compostos detectados quando C12:0 atravessa a camada catalítica SAPO-5.

Compostos	Área (%)
Propeno	0,56
1-Penteno	0,83
1-Hexeno	0,95
1-Hepteno	0,51
1-Octeno	0,50
1-Noneno	0,45
1-Deceno	1,36
1-Undeceno	0,82

Fonte: Autoral (2020).

Tabela 4. Compostos detectados durante pirólise de C12:0 adsorvido em SAPO-5.

Compostos	Área (%)
Propeno	1,88
1-Penteno	1,15
1-Hexeno	1,84
1-Hepteno	1,22
1-Octeno	1,12
1-Noneno	0,73
1-Deceno	2,77
1-Undeceno	2,72
2-Dodecanone	2,42

Fonte: Autoral (2020).

A pirólise de ácidos graxos prossegue através da quebra de C-C e C-O e a presença de produtos com número de carbono inferior a dez pode ser explicado por duas rotas concorrentes: a desoxigenação seguida de quebra de ligação C-C para produzir radicais de hidrocarbonetos e a quebra da ligação C-C da cadeia, seguida por desoxigenação da molécula de cadeia curta do ácido. Em compostos saturados, como o ácido láurico a primeira rota é favorecida (ASOMANING; MUSSONE; BRESSLER, 2014).

Na pirólise catalítica em SAPO-5 em camada e adsorvido (Tabelas 3 e 4) é possível observar que é formado um maior número de olefinas (de C3 à C11), que consiste em matéria-prima utilizada para produção de gasolina de alta octanagem. Um estudo semelhante, com o mesmo catalisador (SAPO-5), utilizando o ácido palmítico, ambos saturados, de maior cadeia carbônica, podem ser encontrados em (WANG *et al.*, 2017). Os produtos obtidos apresentam similaridade, uma vez que apresentaram seletividade elevada a hidrocarbonetos, destacando-se as olefinas terminais.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os principais compostos desoxigenados formados pela pirólise catalítica do ácido dodecanóico na presença do Al-MCM-41.

Tabela 5. Compostos detectados quando C12:0 atravessa a camada catalítica Al-MCM-41.

Compostos	Área (%)
Propeno	3,33
2-Penteno	2,05
2-Hexeno	3,01
Benzeno	1,35
1-Hepteno	1,55
Tolueno	0,73
1-Octeno	1,20
1-Noneno	1,06
1-Deceno	1,06

Fonte:Autorial (2020).

Tabela 6. Compostos detectados durante pirólise de C12:0 adsorvido em Al-MCM-41.

Compostos	Área (%)
Propeno	3,04
2-Penteno	2,11
3-Hexeno	1,17
Benzeno	1,49
1-Hepteno	1,13
1-Octeno	1,03
p-Xileno	0,91
1-Noneno	1,83
1-Deceno	0,71
Undeceno	1,67

Fonte: Autorial (2020).

A pirólise do C12:0, na presença dos catalisadores apresentou uma maior distribuição de produtos, possivelmente devido ao craqueamento de olefinas já formadas pela pirólise térmica, destacando-se a pirólise do ácido adsorvido nos catalisadores.

A pirólise catalítica do ácido dodecanóico em camada com o Al-MCM-41 (Tabela 5) produz alcenos (C3 à C10), compostos aromáticos

como o benzeno e tolueno. Com o C12:0 pré-adsorvido (Tabela 6), houve a formação de alcenos (C3 à C11), benzeno e p-xileno.

Ao se comparar a pirólise catalítica em SAPO-5 e em Al-MCM-41 observa-se a presença de compostos aromáticos no último. A formação destes compostos pode ser atribuída à maior acidez do catalisador Al-MCM-41, o que está de acordo com os resultados de TPD-NH₃ em relação a sítios ácidos fortes.

O registro de compostos aromáticos na pirólise catalítica pode ser atribuído aos sítios ácidos dos catalisadores. Porém, esses compostos apareceram em quantidades menores quando comparados com materiais zeolíticos que apresentam acidez mais elevadas (FRÉTY *et al.*, 2014).

De acordo com Vinhal, Lima e Barbosa (2014) as condições mais próximas encontradas foram a pirólise do óleo de Babaçu, realizada também a 650 °C. Neste estudo, foram obtidos como produtos também alcenos e aldeídos. Assim é possível verificar a ocorrência da descarboxilação e indicar um provável caminho para a formação dos alcenos. Aqueles com número ímpar de átomos de carbono são derivados dos radicais da pirólise de triglicerídeos (RCOO •), que inclui a eliminação de CO₂ e sucessivas perdas de etano; esses compostos também podem ser gerados por cisão aleatória e com outras etapas subsequentes, como a descarboxilação ou consumo do radical (H •). Já os compostos com número par de átomos de carbono são formados a partir de radicais (RCO •) que resultam a partir da pirólise de triglicerídeos.

A desoxigenação foi quase completa para a pirólise térmica e catalítica do ácido dodecanóico em camadas ou adsorvidos nos catalisadores, resultado que é coerente ao encontrado na literatura (AZEVEDO, 2014) quando também estudou a pirólise de ácidos graxos saturados. Porém, resultados encontrados para pirólise de ácidos graxos insaturados adsorvidos em catalisadores de baixa acidez, similares ao do presente trabalho, mostram que a desoxigenação, neste caso, não

é tão efetiva quanto para os ácidos saturados (AZEVEDO, 2014; FRÉ-TY *et al.*, 2014). Este fato destaca a importância deste processo para a produção de combustíveis verdes, que podem ser adicionados aos combustíveis fósseis, tanto nas frações da gasolina quanto do diesel.

Considerações finais

Comparando a pirólise térmica com a pirólise termocatalítica, pode-se verificar que a presença do catalisador modificou a quantidade e distribuição dos compostos obtidos.

A degradação do ácido graxo apresentou uma maior conversão, desoxigenação e seletividade entre a cadeia carbônica C6 à C11, demonstrando viabilidade para obtenção de hidrocarbonetos renováveis de interesse para combustíveis, principalmente devido a desoxigenação e obtenção de moléculas de hidrocarbonetos na faixa dos combustíveis fósseis. Pode-se dizer que a utilização dos catalisadores SAPO-5 e Al-MCM-41 mostrou-se satisfatória, principalmente devido a característica ácida destes.

Referências

ARAÚJO, A. M. M.; LIMA, R. O.; GONDIN, A. D.; SOUZA, L. D.; ARAÚJO, A. S. **Thermal and catalytic pyrolysis of sunflower oil using AlMCM-41**. *Renewable Energy*, v. 101, p. 900- 906, 2017.

ASOMANING, J.; MUSSONE, P.; BRESSLER, D. **Pyrolysis of polyunsaturated fatty acids**. *Fuel Processing Technology*, v. 120, p. 89-95, 2014.

AZEVEDO, A. F. **Desenvolvimento de catalisadores a base de SAPO-5 para avaliação na reação de flash pirólise de compostos**. 172f. Tese de doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

FRÉTY, R.; PACHECO, J. G. A.; SANTOS, M. R.; PADILHA, J. F.; AZEVEDO, A. F.; BRANDÃO, S. T.; PONTES, L. A. M. Flash pyrolysis of model compounds adsorbed on catalyst surface: A method for screening catalysts for cracking of fatty molecules. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 109, p. 56-64, 2014.

GARCÍA, J. R.; BERTERO, M.; FALCO, V.; SEDRAN, V. **Catalytic cracking of bio-oils improved by the formation of mesopores by means of Y zeolite desilication**. *Applied Catalysis A: General*, v. 503, p. 1-8, 2015.

INTANA, T.; FÖTTINGER, K.; RUPPRECHTER, G. **Physicochemical properties of Cu loaded onto core-shell Al-MCM-41: Effect of loading methods**. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 467, p. 157-165, 2015.

LHAMAS, D. E. L. **Estudo do processo de craqueamento termocatalítico do óleo de palma e de óleo de buriti para produção de biocombustíveis**. 198f. Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais. Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

LIMA, D. S.; LOPEZ, O. W. P. **Conversão catalítica do etanol sobre catalisadores suportados em ZSM-5**. *Cerâmica*, v. 64, p. 1-9, 2018.

VIEIRA, S. S. **Produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos livres utilizando catalisadores heterogêneos ácidos**. 117f. Dissertação de mestrado em Agroquímica. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

VINHAL, J. O.; LIMA, C.; BARBOSA, L. Analytical pyrolysis of the kernel and oil of babassu palm. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 107, p. 73–81, 2014.

WANG, X.; LIU, Z.; WEI, X.; GUO, F.; LI, P.; GUO, S. Synthesis of 2,6-dimethylnaphthalene over sa-po-11, SAPO-5 and mordenite molecular sieves. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 01, p. 295-306, 2017.

RNAs aplicadas em energia solar

*Roney das Mercedes Cerqueira
Anderson Dourado Sisnando*

Introdução

A matriz energética depende, direta ou indiretamente, da energia solar (PALZ, 2002). É a partir da energia solar que se dá o processo de evaporação, ciclo das águas, que implica no represamento da água e a consequente geração de eletricidade através das usinas hidrelétricas. Ela também tem influência nas correntes de ar, provocando os ventos que podem ser captados e transformados em energia através das usinas eólicas. O petróleo, o carvão e o gás natural são fontes de energia que se originaram a partir de resíduos de plantas e animais, nutridos pela radiação solar. A energia motriz das marés é derivada em parte do Sol e em parte da Lua.

Atualmente vive-se o colapso dos combustíveis fósseis, parte da matriz energética desde a antiguidade e se mantém dependente desde o século XVIII, que tem se constituído como um mecanismo preponderante para o desenvolvimento e poder (PALZ, 2002).

Associado a isto, as preocupações com as questões ambientais, em especial com as mudanças climáticas causadas pela acumulação de CO₂ na atmosfera, tem sido um forte argumento que favorece o uso de tecnologias que não emitem dióxido de carbono nas futuras estratégias de produção e uso de energia.

Nesse contexto fontes renováveis de energia se tornam centrais na atenção e no interesse das pesquisas científicas. Entre elas, os projetos sustentáveis que dependem do Sol para sua execução.

A tecnologia e seus avanços possibilitaram ao homem percorrer novos caminhos lhe dando a oportunidade de estudar, analisar e explorar

novas fontes de energia frente às necessidades que o mundo impõe. Em especial, aqui trataremos da energia solar, classificada dentro do conceito de energia renovável e sustentável, onde sua exploração para produção de energia elétrica resulta em pouco impacto ao meio ambiente, e sobretudo, uma alternativa para substituir os combustíveis fósseis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE], 2019).

O aparelho tecnológico empregado para explorar a energia solar é considerado como um ponto significativo, onde as mais variadas condições climáticas em várias regiões do mundo podem ter sua captação maximizada.

Aliado a esta tecnologia está o uso das Redes Neurais Artificiais (RNA's), que associado às pesquisas tem realizado contribuições preponderantes para estimação e predição quando aplicadas nas diversas áreas do conhecimento.

O conhecimento da disponibilidade de energia solar na superfície da Terra tem aplicações importantes em diversas áreas das atividades humanas como, por exemplo, a agricultura, a arquitetura, a saúde, a indústria e lazer. Estimar e predizer a incidência de radiação solar é essencial para o planejamento e gerenciamento de diversos setores da economia, entre os quais podemos destacar o setor energético (MARTINS; PEREIRA, 2011).

A energia solar no Brasil é uma das mais promissoras opções energéticas, devido a sua localização geográfica privilegiada, na faixa intertropical, recebendo elevada radiação solar durante todo o ano (INPE, 2016).

O setor energético proveniente da energia solar vem crescendo nos últimos anos no Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), e com ele surgem novos desafios como, na previsão de incidência de irradiação solar e na avaliação de seu desempenho (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE], 2017).

Atualmente, uma das maneiras mais comuns de avaliar o desempenho de energia solar é a utilização de softwares, ou seja, mé-

todos computacionais e algoritmos inteligentes, como as RNA's que buscam prever e determinar, o mais próximo da realidade a incidência de radiação solar (DOBOS; GILMAN; KASBERG, 2012).

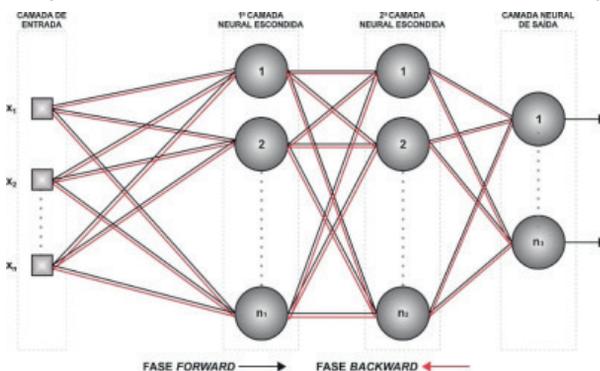
Para desenvolvimento deste trabalho, utilizaremos as RNA's na predição dados para produção de energia solar, buscando analisar qual o melhor configuração disponível dentro das condições estabelecidas para uma RNA, utilizando dados climáticos do banco de dados da *National Aeronautics and Space Administration – Surface Meteorology and Solar Energy* (NASA-SSE), para a cidade de Feira de Santana, Bahia e implementados no MATLAB®. Esse software que dispõe de uma plataforma muito poderosa para gerenciar RNA e suas aplicações, com o objetivo de apurar se este algoritmo é adequado para este tipo de avaliação.

As RNA's possuem vários modelos, no entanto o modelo utilizado aqui é a Rede *Multilayer Perceptron* (MLP), também chamada de *Perceptron* Múltiplas Camadas, onde as suas características são conhecidas pela presença de pelo menos uma camada intermediária escondida de neurônios, situada entre a camada de entrada e a respectiva camada neural de saída. A rede MLP é considerada uma alternativa atraente para uma fórmula empírica, pois imita a relação não-linear entre as variáveis de entrada e saída de uma forma mais simplificada. O modelo visa obter os pesos otimizados da rede usando um algoritmo de treinamento projetado para minimizar o erro entre as variáveis de saída e de destino, modificando os pesos mutuamente conectados. A rede MLP pertence a arquitetura *Feedforward* de camadas múltiplas, cujo o treinamento é efetivado de forma supervisionada, o qual utiliza o método *Backpropagation* (retropropagação), conceituado como um algoritmo de aprendizado supervisionado que utiliza variáveis de entrada e de saída desejada, que através de um mecanismo de correção de erros, ajustam os pesos (*wieghts*) da rede. O treinamento acontece em duas fases, *forward* (propagação adiante) e *backward* (propagação reversa). A fase *forward* é utilizada para definir a

saída da rede para um determinado padrão de entrada. A fase *backward* aproveita a saída desejada e a saída fornecida pela rede para atualizar os pesos de suas conexões (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Este trabalho busca avaliar a disponibilidade de energia solar utilizando RNA's, a partir de dados climáticos do banco de dados da NASA-SSE para a cidade de Feira de Santana – Bahia e implementados no MATLAB®, e analisar qual o melhor método disponível dentro das condições estabelecidas para uma RNA através do algoritmo *Levenberg-Marquardt*, o qual se dá através do treinamento da rede por este algoritmo através de iterações, exemplificado na Figura 1, as quais consistem em aplicar todos os dados de entrada de treinamento da rede, checar o erro entre a saída obtida e a saída desejada para cada conjunto e ajustar os pesos das conexões pra reduzir o erro quadrático médio (EQM), (SISNANDO, 2011).

Figura 1 – Ilustração das duas fases de treinamento de uma rede Multilayer Perceptron.



Fonte: Silva, Spatti e Flausino - Adaptado (2010).

O presente trabalho, aborda o desenvolvimento da aplicação de Redes Neurais Artificiais para avaliação da quantidade de energia que pode ser gerada em ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2/\text{dia}$) a partir de dados extraídos da base de dados da NASA-SSE, da irradiação solar na cidade de Feira de Santana, Bahia, latitude $12^\circ 15'$ e $14,4''$ S, longitude $38^\circ 55'$ e $30''$ W, altitude 235 metros, dos dias 01 de janeiro à 31 de dezembro de 2019, contendo 4015 dados quantitativos meteorológicos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Média mensal de parâmetros climáticos em 2019

Mês	Precipitação (mm)	Humidade Relativa (%)	Pressão da Superfície (Kpa)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Velocidade Mínima Do vento (m/s)	Velocidade Máxima Do vento (m/s)	Temperatura da face da Terra (°C)	Decaimento Térmico Infravermelho do Fluxo do Fluxo Radioativo (kW/h/m ² /dia)	Clareza (Adimensional)	Radiação Incidente (kW/h/m ² /dia)
JAN	0,477419355	60,271613	99,363226	22,062581	34,971290	1,759354839	5,93838709	29,0532258	9,566774194	0,613548387	6,830645161
FEV	0,651428571	58,042143	99,131429	23,627143	36,878214	1,741785714	5,28928571	30,8578571	9,974285714	0,606428571	6,635714286
MAR	4,918387097	68,727742	99,189355	23,029355	34,362903	1,613548387	4,76612903	28,8367741	9,975161290	0,508387097	5,279354839
ABR	2,331333333	72,587667	99,205000	22,754000	33,319667	1,519000000	4,17766666	27,9043333	9,988666667	0,608333333	5,668333333
MAI	2,440645161	74,571935	99,312903	21,853226	32,179677	1,627419355	4,22903225	26,7429032	9,804838701	0,57483871	4,774193548
JUN	4,216000000	78,873667	99,686667	20,090333	28,830333	2,021666667	5,25966666	23,9420000	9,399000000	0,503666667	3,900000000
JUL	4,154838710	79,469355	99,702581	18,686129	28,009032	2,084516129	4,94258064	22,8551612	9,219032258	0,566451613	4,507096774
AGO	2,592580645	77,334839	99,850968	18,300000	28,091290	2,078064516	5,16580645	22,8006451	9,086451613	0,514516129	4,544193548
SET	2,562666667	73,352667	99,590000	19,227333	30,532000	1,943333333	5,00166666	24,7286666	9,256333333	0,502333333	4,969666667
OUT	1,262580645	65,910968	99,346774	20,598710	33,181935	1,880322581	5,40870967	27,0280645	9,514516129	0,602580645	6,417741935
NOV	1,832000000	61,334333	99,132000	21,664667	35,012333	1,991333333	5,42000000	28,7986666	9,646000000	0,570666667	6,269666667
DEZ	1,262580645	61,293548	99,174194	21,996129	35,050323	1,863548387	5,50258064	29,0290322	9,547419355	0,602258065	6,688709677

Fonte: Base de dados da NASA-SSE (2019).

Para desenvolvimento das RNA's, utilizou-se o *software MATLAB®*, o qual possui ferramentas que auxiliam na resolução de problemas numéricos de alta complexidade. Para tratar os dados meteorológicos da base de dados da NASA-SSE, foi necessário utilizar o *Microsoft Office Excel*, e depois importados para o *MATLAB®*. As variáveis de entrada (*input*) das RNA's, dados quantitativos coletados, são: precipitação (mm), umidade relativa do ar (%), pressão da superfície (Kpa), temperatura da face da Terra (°C), temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), velocidade mínima do vento (m/s), velocidade máxima do vento (m/s), índice de clareza de insolação (adimensional) e decaimento térmico infravermelho do fluxo radioativo (kW*hora/m²/dia), totalizando dez entradas, e para a saída da rede (*Target*), foi escolhido a incidência total de radiação em uma superfície horizontal que tem como unidade de medida a potência gerada por metro quadrado por dia (kW*hora/m²/dia). A Tabela 2 mostra os valores mínimos e máximos dos parâmetros utilizados.

Tabela 2- Valores máximos e mínimos dos intervalos referentes aos parâmetros climáticos

Parâmetros	Unit	Valores mínimos	Valores máximos
Precipitação	mm	0	33,95
Humidade Relativa	%	52,2	88,76
Pressão da Superfície	Kpa	98,64	100,11
Temperatura Mínima	°C	15,95	25,42
Temperatura Máxima	°C	25,75	39,35
Velocidade Mínima do Vento	m/s	2,33	7,82
Velocidade Máxima do Vento	m/s	0,36	3,42
Temperatura da Face da Superfície	°C	21,45	32,42
Decaimento Térmico Infravermelho do Fluxo Radioativo	kW*h/m ² /dia	8,17	10,8
Índice de Clareza de insolação	Adimensional	0	0,72
Incidente Total de uma Superfície Horizontal	kW*h/m ² /dia	0	7,94

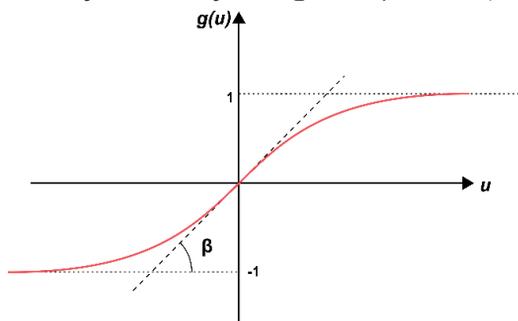
Fonte: Autoral (2020).

As arquiteturas das RNA's possuem sete variáveis de entrada (*Input*). Na camada escondida foram criadas, treinadas e testadas sete redes cada uma contendo 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 neurônios respectivamente na camada oculta, e na camada de saída (*Target*), apenas um neurônio. Como função de ativação, para os neurônios na camada escondida foi utilizada a função *Tansig*, onde o resultado de saída, sempre assumirá valores reais entre -1 e 1, onde β também é uma constante real associada ao nível de inclinação da função em relação ao seu ponto de inflexão, de acordo com a Equação (1) e apresentado na Figura 2. E para a camada de saída a função de ativação *Purelin*, a qual é uma função que produz resultados de saída idênticos aos valores do potencial de ativação $\{u\}$. Uma das aplicabilidades desta função está na utilização de RNA's como aproximadores universais de funções visando mapear o comportamento entre variáveis de entrada e saída de processos expresso na Equação (2) e apresentado na Figura 3.

Como critério de parada do treinamento foram utilizados o número de épocas, *mean-squared error* (MSE), ou seja, o valor do Erro Quadrático Médio (EQM) e o valor do coeficiente de Correlação.

$$g(u) = \frac{1 + e^{-\beta \cdot u}}{1 + e^{\beta \cdot u}} \quad (1)$$

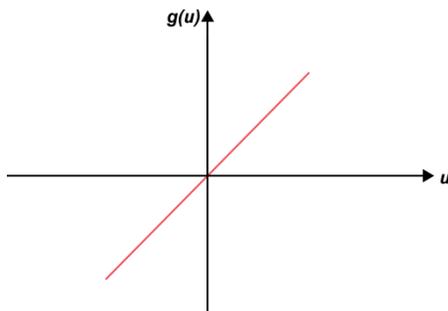
Figura 2 - Função de Ativação Tangente Hiperbólica (*Tansig*)



Fonte: Silva, Spatti e Flausino - Adaptado (2010) .

$$g(u) = u \quad (2)$$

Figura 3 - Função de Ativação Linear (Purelin)



Fonte: Silva, Spatti e Flausino - Adaptado (2010) .

O software utilizado neste trabalho foi o MATLAB® versão R2016b, manipulado em um Notebook com as seguintes configurações: Processador Intel Core i5, 2.4 GHz, com 8 GB RAM, com sistema operacional Windows 10 Home 64 bits.

O processo de predição utilizado neste trabalho é realizado através de RNA's. Este método é baseado nos princípios do funcionamento do cérebro humano para resolver uma variedade de problemas, assim desenvolvendo o que conhecemos de inteligência artificial. Este processo de predição é muito útil diante de problemas de reconhecimento de padrões e, logo, de acordo com os objetivos estabelecidos, ele se torna o estimador mais apropriado.

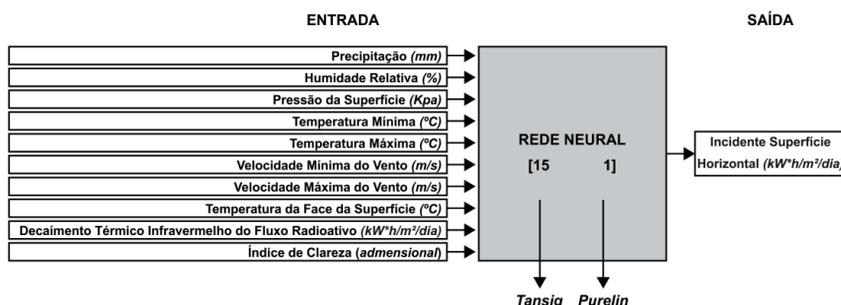
A utilização de RNA's, assim como a utilização de outros métodos de estimação, possui vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, podemos citar a flexibilidade na modelagem, flexibilidade estatística, categorização e Incorporação do conhecimento subjetivo. Como desvantagens podemos destacar que a RNA pode apresentar dificuldade de configuração, dificuldade em apresentar os resultados obtidos na forma da análise estatística tradicional, podem existir dificuldades de convergência e instabilidade inerentes aos algoritmos, e lentidão do processo de aprendizado. No entanto, mesmo com as

desvantagens apresentadas, as RNA's ainda são muito interessantes, para serem utilizadas, devido a sua capacidade de aprendizado e de generalização do conhecimento para produzir respostas adequadas às situações desconhecidas, além de interpretar e resolver problemas complexos não-lineares de difícil aproximação com muita eficiência, o que a torna uma ferramenta adequada para resolução deste trabalho.

Resultados e discussões

Após os testes de configurações e funções a serem utilizadas, a função *Tansig* na camada oculta como função de ativação e a função *Purelin* na camada de saída, demonstraram melhores desempenhos. Ambas são funções de transferência neural responsáveis por realizar cálculos a partir das entradas disponibilizadas. A arquitetura da RNA possui 10 variáveis de entrada (*input*). Na camada escondida foram testadas sete redes cada uma contendo 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 neurônios respectivamente e uma camada de saída (*target*), com apenas um neurônio como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Configuração da rede neural com 15 neurônios da camada oculta e as variáveis de entrada e saída



Fonte: Autoral (2020).

No desenvolvimento, coletamos 4015 dados de registros meteorológicos referentes ao ano de 2019 do banco de dados da NA-SA-SSE, onde 70 % dos dados foram utilizados para treinamento,

15 % para validação e 15 % teste. O treinamento da rede *Multilayer Perceptron* foi feito utilizando-se o algoritmo de *Levenberg-Marquardt*, que de acordo com (Haykin, 2001), uma rede MLP treinada com o algoritmo de *Backpropagation* pode ser vista como uma forma prática para realizar um mapeamento não-linear de entrada-saída de natureza, exemplificada na Figura 1.

Para testar as redes, foram utilizados 10 treinamentos para cada rede estruturada, através do *neural network fitting tool* (NFTool) que é uma *toolbox* do MATLAB. As sete redes treinadas apresentaram uma coeficiente de Regressão (R) superior a 0,93, avaliado como excelente correlação, pois o valor do coeficiente de correlação (R) dos dados da rede, quanto mais próximos de 1 (um) forem os valores, melhor é a correlação dos dados, ou seja, quão próximo estão os dados dos valores reais. Todas as redes foram conceituadas como satisfatórias conforme valores obtidos do EQM e Regressão. Neste trabalho, a rede selecionada que apresentou melhor desempenho foi a que contém 15 neurônios na camada oculta conforme mostra a Tabela 6, sendo esta a rede que apresentou o menor erro 0,072137 com 11 épocas. A segunda rede que apresentou melhor desempenho foi a rede neural com 10 neurônios na camada oculta e apresentou EQM de 0,091728 com 16 épocas e a rede que demonstrou pior rendimento foi a rede com 60 neurônios com o EQM de 0,290120 com 08 épocas.

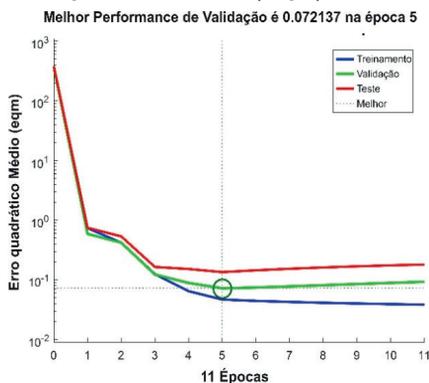
Tabela 3 - Resultados do EQM e Regressão das Redes.

Neurônios	Tempo (s)	EQM (MSE)	Épocas	Correlação (R) Levenberg-Marquardt			
				Treinamento	Validação	Teste	Todos
05	01	0,101980	24	0,98244	0,97356	0,97991	0,98063
10	05	0,091728	16	0,98485	0,97463	0,96893	0,98097
15	15	0,072137	11	0,98799	0,98634	0,94880	0,98349
20	08	0,143730	16	0,98898	0,97281	0,96972	0,98115
25	18	0,138260	10	0,99021	0,95396	0,94673	0,97990
30	12	0,253080	09	0,97463	0,93568	0,95501	0,96706
60	11	0,290120	08	0,98368	0,93409	0,95308	0,97175

Fonte: Autoral (2020).

A Figura 5 apresenta o desempenho da validação e EQM da RNA com 15 neurônios na camada oculta, começando com um valor alto em um processo decrescente. O gráfico consiste em três linhas para três etapas diferentes: treinamento, validação e teste. O processo de treinamento continua durante todas as fases, até que o modelo reduza o erro da rede nas fases de validação e teste. Como é observado na Figura 5, o melhor desempenho de validação ocorre na época 5 e, após 6 repetições de erro o processo é interrompido na época 11, adquirindo uma performance de validação no valor de 0,0721137, demonstrando esta rede de 15 neurônios como a mais eficiente entre redes testadas.

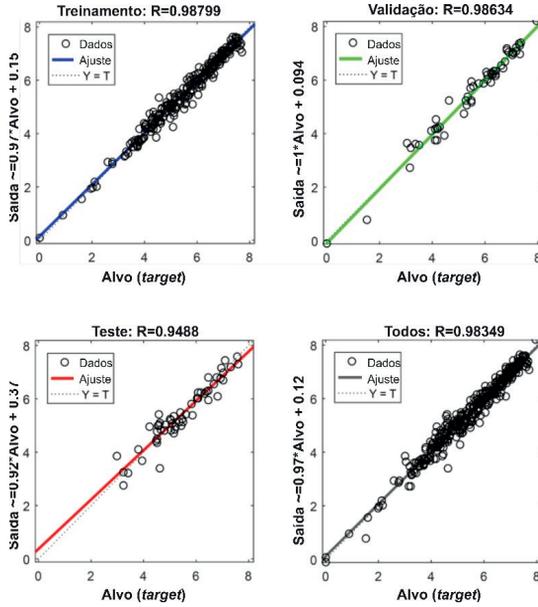
Figura 5 - Erro Quadrático Médio (EQM) com 15 neurônios.



Fonte: Autoral (2020).

Os gráficos de regressão da Figura 6 exibem as saídas (*Output*) da rede com relação aos alvos (*Target*) para conjuntos de treinamento, validação e teste. Para um ajuste perfeito, os dados devem ficar ao longo de uma linha de 45° graus, onde as saídas da rede são iguais às metas. Para esse problema, o ajuste é razoavelmente bom para todos os conjuntos de dados, com valores R em cada caso de 0,93 ou superior, pois quanto mais próximo de 1 melhor. O gráfico da Regressão, apresentado da RNA com 15 neurônios na camada escondida obteve o valor para o conjunto de dados de R= 0,98634, avaliado como um resultado satisfatório.

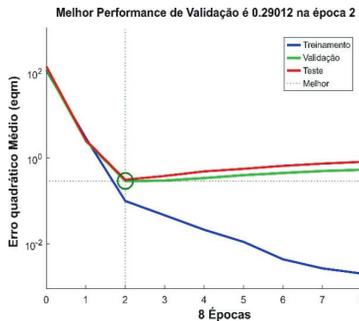
Figura 6 - Regressão da Rede Neural Artificial com 15 neurônios.



Fonte: Autoral (2020).

Na Figura 7, o melhor desempenho de validação do EQM da RNA com 60 neurônios da camada oculta ocorre na época 2 e, após 6 repetições de erro o processo é interrompido na época 8, adquirindo uma performance de validação no valor de 0,29012, mostrando ser a menos eficiente entre as redes testadas.

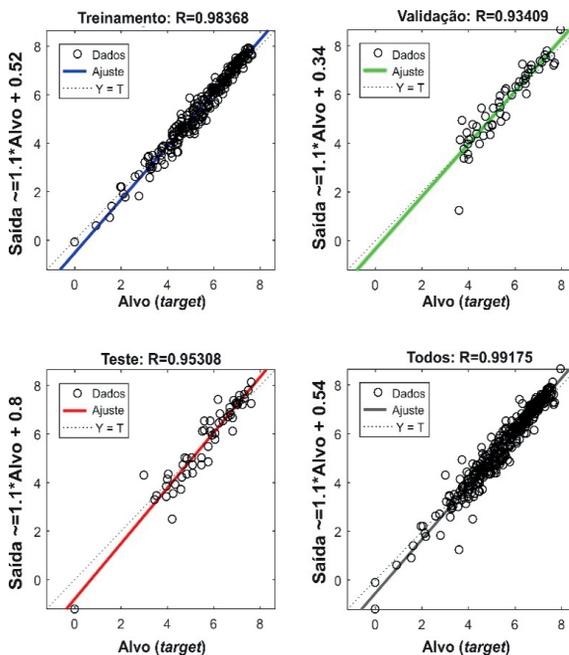
Figura 7 – Erro Quadrático Médio (EQM) com 60 neurônios.



Fonte: Autoral (2020).

O gráfico de Regressão na Figura 8, é referente a RNA com 60 neurônios na camada escondida obteve o valor para o conjunto de dados de $R= 0,93409$, considerado também como um resultado dentro dos limites aceitáveis.

Figura 8 - Regressão da Rede Neural Artificial com 60 neurônios.



Fonte: Autoral (2020).

A Tabela 4 contém a média mensal da radiação incidente de 2019, a radiação incidente predita pela rede e o erro entre ambos representado pelo gráfico da Figura 9 onde compara os valores extraídos da base de dados da NASA-SSE de 2019 com os dados preditos pela rede. A linha laranja tracejada refere-se aos valores de radiação Incidente em uma superfície horizontal ($kW*h/m^2/dia$) da NASA-SSE. A linha azul mostra os valores preditos pela rede com a mesma unidade de medida, o qual se revelou mais adequados para este tipo de

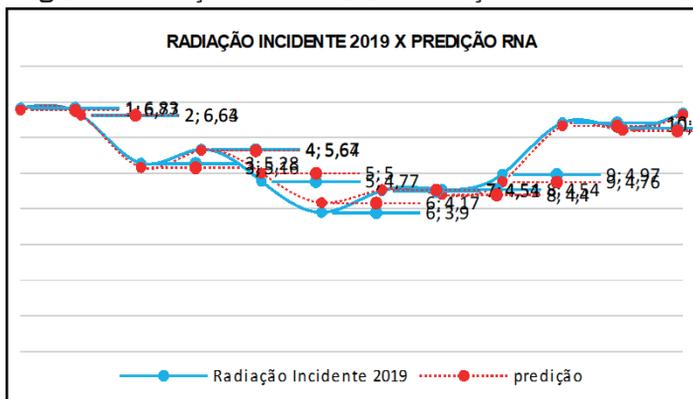
análise. Observa-se neste comparativo que os valores ficam muito próximos, dentro dos limites de erro aceitáveis.

Tabela 4 - Média mensal de 2019 da Radiação Incidente, Predição e Erro.

Mês	Radiação Incidente (kW/m ² /dia) 2019	Predição (kW/m ² /dia)	Erro (Predição X 2019)
JAN	6,830645161	6,773106231	0,057539
FEV	6,635714286	6,634512188	0,001202
MAR	5,279354839	5,159192356	0,120162
ABR	5,668333333	5,639430939	0,028902
MAI	4,774193548	5,003207498	0,229010
JUN	3,900000000	4,168427497	0,268430
JUL	4,507096774	4,535874243	0,028780
AGO	4,544193548	4,399488909	0,144705
SET	4,969666667	4,756940829	0,212726
OUT	6,417741935	6,329353417	0,088389
NOV	6,269666667	6,198915505	0,070751
DEZ	6,688709677	6,643041882	0,045668

Fonte: Base de dados da NASA-SSE (2019) e dados próprios (2020).

Figura 9 - Radiação incidente 2019 x Predição da Rede Neural.



Fonte: Autoral (2020).

A Tabela 5 contém os pesos da camada oculta e o bias da rede neural com 15 neurônios extraídos da rede após treinamento. Aqui é realizado o somatório do produto dos pesos da camada oculta com o as variáveis de entrada e somado com o bias.

Tabela 5 - Pesos da camada oculta e bias da rede neural com 15 neurónios.

REDE COM 15 NEURÓNIOS	Nº DE CAMADAS*PESOS DAS CAMADAS DE ENTRADAS	BIAS
N1	$[X1^* (-0,396) + X2^* (-0,094) + X3^* (-0,139) + X4^* (-0,591) + X5^* (-0,210) + X6^* (-0,907) + X7^* (-0,110) + X8^* (1,250) + X9^* (0,275) + X10^* (-0,803)] + (-2,078)$	
N2	$[X1^* (0,862) + X2^* (-0,030) + X3^* (-0,544) + X4^* (-0,198) + X5^* (-0,578) + X6^* (-0,876) + X7^* (1,002) + X8^* (0,849) + X9^* (0,582) + X10^* (-0,210)] + (-1,675)$	
N3	$[X1^* (-0,331) + X2^* (1,101) + X3^* (-0,320) + X4^* (-0,346) + X5^* (1,245) + X6^* (0,798) + X7^* (-0,053) + X8^* (-0,144) + X9^* (-0,407) + X10^* (-0,781)] + (1,375)$	
N4	$[X1^* (-0,977) + X2^* (0,777) + X3^* (-0,410) + X4^* (2,031) + X5^* (-0,419) + X6^* (0,854) + X7^* (-1,178) + X8^* (0,174) + X9^* (0,018) + X10^* (0,302)] + (1,196)$	
N5	$[X1^* (-0,858) + X2^* (0,319) + X3^* (0,032) + X4^* (0,418) + X5^* (-1,013) + X6^* (0,076) + X7^* (0,808) + X8^* (-0,583) + X9^* (0,969) + X10^* (-0,016)] + (0,864)$	
N6	$[X1^* (-0,212) + X2^* (-0,787) + X3^* (-0,050) + X4^* (-0,020) + X5^* (-0,684) + X6^* (0,094) + X7^* (-0,552) + X8^* (0,764) + X9^* (-0,188) + X10^* (-1,038)] + (-0,365)$	
N7	$[X1^* (-1,069) + X2^* (-0,507) + X3^* (0,369) + X4^* (0,173) + X5^* (-1,336) + X6^* (-0,480) + X7^* (-0,092) + X8^* (-0,859) + X9^* (0,261) + X10^* (-0,206)] + (0,246)$	
N8	$[X1^* (0,839) + X2^* (0,094) + X3^* (0,179) + X4^* (-0,896) + X5^* (1,086) + X6^* (0,334) + X7^* (0,572) + X8^* (-0,207) + X9^* (0,574) + X10^* (-0,451)] + (-0,261)$	
N9	$[X1^* (-1,230) + X2^* (0,392) + X3^* (0,817) + X4^* (0,771) + X5^* (-0,829) + X6^* (0,402) + X7^* (0,191) + X8^* (-0,238) + X9^* (0,625) + X10^* (-0,677)] + (-0,021)$	
N10	$[X1^* (-0,454) + X2^* (0,715) + X3^* (0,757) + X4^* (0,878) + X5^* (0,462) + X6^* (-0,320) + X7^* (-1,171) + X8^* (-1,029) + X9^* (0,375) + X10^* (-0,060)] + (-0,552)$	
N11	$[X1^* (0,961) + X2^* (0,023) + X3^* (0,859) + X4^* (-0,807) + X5^* (-0,509) + X6^* (0,068) + X7^* (-0,572) + X8^* (1,433) + X9^* (0,336) + X10^* (0,157)] + (1,287)$	
N12	$[X1^* (0,166) + X2^* (-0,251) + X3^* (0,469) + X4^* (-1,350) + X5^* (-0,265) + X6^* (-0,963) + X7^* (0,711) + X8^* (-0,457) + X9^* (-0,614) + X10^* (-0,503)] + (1,748)$	
N13	$[X1^* (0,517) + X2^* (-0,861) + X3^* (-0,112) + X4^* (-0,070) + X5^* (-1,069) + X6^* (0,296) + X7^* (0,824) + X8^* (-0,403) + X9^* (0,525) + X10^* (-0,226)] + (1,226)$	
N14	$[X1^* (-0,158) + X2^* (0,729) + X3^* (0,034) + X4^* (0,155) + X5^* (0,455) + X6^* (-0,619) + X7^* (0,921) + X8^* (0,680) + X9^* (-1,055) + X10^* (-0,540)] + (-1,887)$	
N15	$[X1^* (-0,183) + X2^* (-0,723) + X3^* (-1,583) + X4^* (-0,183) + X5^* (-0,212) + X6^* (0,295) + X7^* (0,307) + X8^* (0,214) + X9^* (-1,344) + X10^* (0,360)] + (-1,432)$	

Fonte:Autoral (2020).

Considerações finais

A Rede Neural Artificial criada foi capaz de prever com valores muito próximos da realidade. Os 365 dados previstos pela rede mostraram-se próximos os dados coletados da base de dados da NASA-SSE para cada dia do ano de 2019. Quando comparado a previsão da Rede Neural com os dados 2019 podemos destacar que a previsão para o mês de Fevereiro/2019 foi o que apresentou o menor diferença, sendo que a média coletado para esse mês foi de 6,635714286 kW*h/m²/dia contra 6,634512188 kW*h/m²/dia estimado pela rede, contabilizando uma diferença de 0,001202 kW*h/m²/dia. Já o mês de Setembro/2019 foi o que apresentou a maior diferença com 4,969666667 kW*h/m²/dia e 4,756940829 kW/m²/dia a partir dos dados coletados e dados previstos respectivamente, que quando subtraídos tem-se uma diferença de 0,212726 kW*h/m²/dia.

A arquitetura da melhor configuração da rede desenvolvida e implementada neste trabalho trouxe resultados eficientes. A mesma possui uma camada de entrada contendo 10 variáveis de entrada, uma camada oculta de 15 neurônios que utilizou o algoritmo *Levenberg-Marquardt* para treinamento da rede, as funções *Purelin* e *Tansig* de transferência e uma camada de saída.

A partir dos dados coletados e implementados neste trabalho, levantou-se o seguinte questionamento: As ferramentas utilizadas foram suficientes para prever a irradiação solar na cidade de Feira de Santana?

Logo, conclui-se que, a RNA criada foi capaz de prever com números bastantes próximos da realidade. Os 365 dados previstos pela rede mostraram-se próximos os dados coletados da base de dados da NASA-SSE para cada dia do ano de 2019.

Conforme resultados obtidos, conclui-se que RNA associada com o método *Levenberg-Marquardt* e com retropropagação (*Backpropagation*) é adequada para avaliar a potência gerada para previsão de disponibilidade de energia solar a partir dos dados extraídos da NASA-SSE para Feira de Santana.

Referências

DOBOS, A.; GILMAN, P.; KASBERG, M. P50/P90 Analysis for Solar Energy Systems Using the System Advisor Model. In: **Anais do 2012 World Renewable Energy Forum**. Denver, Colorado, 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/54488.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Fontes de Energia**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em 27 jun 2019.

HAYKIN, S. **Redes Neurais**: Princípios e práticas. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION [NASA-SSE]. **Power Project data set**. Solar and meteorological data sets from NASA research for support of renewable energy, building energy efficiency and agricultural needs. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em 02 ago 2019.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Curitiba: Hermus, 2002.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SISNANDO, A. D. **Análise e síntese de dispositivos fotônicos utilizando redes neurais artificiais**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

Desenvolvimento de placa absorvedora

*Joyce Mara Brito Maia
Fábio André Lora*

Introdução

O Brasil apresenta como forma principal para a geração de energia a fonte hidráulica, que mesmo sendo uma fonte energética renovável gera um considerável impacto ambiental por conta dos alagamentos gerados pelos reservatórios. Outras duas fontes têm se destacado como fontes de energias renováveis, a eólica, que já apresenta mais de 266 usinas instaladas no Brasil, e a fonte de energia solar, que já apresenta considerável capacidade instalada em painéis fotovoltaicos (ANEEL – BIG, 2015).

De acordo com Carvalho (2016), os meios de produzir energia através da fonte solar são por meio das fontes fotovoltaicas ou das fontes heliotérmicas, tendo esta última uma crescente aplicação por gerar vapor d'água para gerar energia elétrica por meio de turbina ou motor. Conseqüentemente é gerada energia elétrica por meio de turbina ou motor. Como consequência da primeira grande crise do petróleo e da necessidade de encontrar fontes alternativas de energia, tem-se datada de 1979 a instalação da primeira planta solar comercial utilizada para aproveitar o calor de processos industriais, que apresentava em sua composição coletores cilindros parabólicos (MALAGUETA, 2012). A fonte solar é uma das energias renováveis mais discutidas e estudadas, sendo de fundamental importância a análise dos métodos de fabricação existentes para os equipamentos necessários, o que implica diretamente em custo e propriedades finais destes.

Um dos equipamentos utilizados com a finalidade de aproveitamento desta fonte de energia é o coletor solar, sendo os mais utilizados o coletor de tubo a vácuo e o coletor de placa plana, este último considerado para desenvolvimento em projeto de pesquisa pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e que teve um método de fabricação de um de seus componentes estudados e possibilitando assim o desenvolvimento do mesmo através do projeto em questão. A partir disto, este trabalho tem como objetivo o estudo acerca dos coletores solares, técnica de fabricação da chapa absorvedora, componente fundamental para aplicação de um coletor solar, e a apresentação de resultado da fabricação deste componente.

Este Capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre coletores solares, estampagem incremental e utilização desse processo na fabricação de chapas para uso neste mesmo equipamento, além de apresentar a chapa absorvedora desenvolvida a partir de projeto de pesquisa. Para isso foram utilizados artigos científicos, teses, dissertações e livros, com os quais foi possível absorver maior conhecimento sobre coletores solares, seus componentes, sobre o processo de conformação por estampagem incremental e suas vantagens para utilização como processo de fabricação de chapas, além de características de algumas propriedades da conformação por este processo.

Coletores solares

A utilização da energia por concentração solar implica em saber a forma correta de captação e armazenamento para obter uma eficiência de geração, sendo também importante descobrir a melhor forma de fabricação dos equipamentos usados para essa captação, métodos esses que implicam diretamente nas propriedades dessas

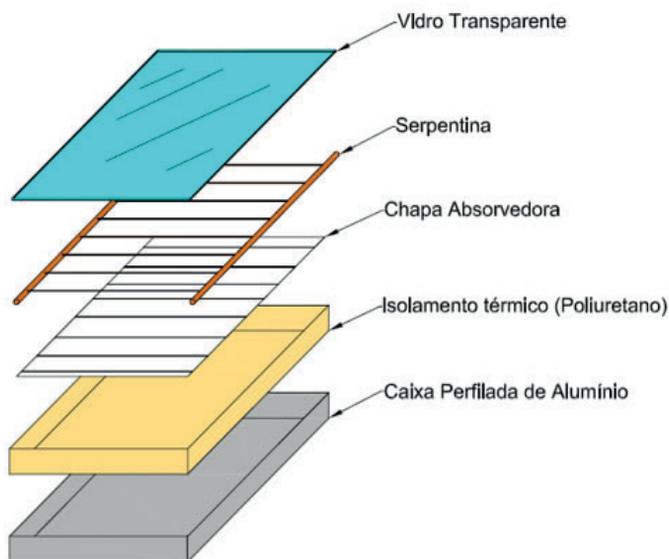
peças. Hoje em dia, os coletores solares planos são amplamente utilizados para aquecer água em residências, hospitais, etc. devido ao conforto e redução de consumo de energia elétrica, eles podem ser utilizados tanto para aquecimento quanto para geração de energia.

De acordo com Carvalho e Sionek (2015), coletor solar é definido com um equipamento capaz de absorver energia proveniente da radiação solar, converter em calor e o transferir para um fluido (podendo ser um óleo, água ou ar) que estará passando pelo coletor. O aquecimento deste fluido é possível por causa da absorção da radiação solar, processo realizado pelo componente responsável por essa função, este podendo variar de acordo com o tipo de coletor considerado, no caso do projeto de pesquisa foi levado em consideração um coletor plano.

Nos coletores solares o fluido quando aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até seu uso, podendo ser utilizado para aquecer água do banho, gerar ar quente para secagem de grãos, gerar gases para acionar turbinas, entre outras aplicações. Hoje em dia, os coletores solares planos são amplamente utilizados para aquecer água em residências, hospitais, etc. devido ao conforto e redução de consumo de energia elétrica (LOPEZ, 2012).

O coletor solar de placa plana tem uma superfície absorvedora de formato plano e sua tubulação se encontra no mesmo plano do absorvedor, não havendo utilização de concentração de radiação solar ou de tubos evacuados (AVILA, 2017). Se trata de um dos coletores que apresenta a melhor área útil, já que para cada 1,00 m² de área absorvedora é preciso a disponibilidade de apenas 1,13 m² de telhado para que o sistema seja comportado. Na Figura 01 é apresentado um esquema de coletor solar plano e seus componentes de forma separada, assim tornando mais fácil a compreensão do sistema.

Figura 1 – Componentes de um coletor solar plano básico.



Fonte: SOLAR AQUI (2019).

Os coletores planos apresentam grande variedade de modelos e são feitos de diversos materiais, esses equipamentos são utilizados para aquecimento de ar, água ou água com adição de aditivo anticongelamento (CARVALHO E SIONEK, 2015). Tem como objetivo coletar o máximo de energia possível apresentando baixo custo, sendo composto basicamente pelas seguintes partes:

- Caixa externa: é a parte que suporta todo o conjunto do coletor, pode ser fabricado em alumínio, aço ou material plástico.
- Isolamento térmico: tem como finalidade diminuir as perdas de calor do fluido para o meio, podendo ser de lã de vidro ou qualquer outro material isolante.
- Tubulação: componente que permite a passagem do fluido de trabalho.
- Placa absorvedora: pode ser única envolvendo todos os tubos ou em partes, é responsável pela absorção

da energia radiante e possibilita que a energia térmica seja passada para o fluido através dos tubos. A placa pode ser feita em alumínio ou cobre, geralmente é pintada com tinta preta.

Cobertura: a cobertura tem como função permitir a passagem da radiação solar e impedir perdas de calor para o meio seja por convecção ou radiação. As coberturas podem ser feitas em acrílico, vidro ou policarbonato.

A eficiência de um sistema fototérmico está atrelada ao trabalho de seus principais componentes e a eficiência total do sistema é medida através da razão entre a saída elétrica líquida pela energia solar recebida pelo coletor, onde a energia solar recebida é encontrada pela multiplicação da radiação direta anual pela área de abertura total do coletor.

No sistema do coletor a perda de energia em suas aplicações se deve ao posicionamento e ocorrência das perdas ópticas, consumo interno da fração de energia elétrica consumida pelo sistema de conversão e pela perda de energia térmica que ocorre quando é feita a conversão para energia elétrica e pela perda térmica no sistema de transporte e receptor.

Outros tipos de coletores solares

Cilindro parabólico

O coletor cilindro parabólico consiste em radiação solar incidindo nas unidades coletoras e sendo o calor refletido para tubos com presença de fluido com alta transferência de calor que transporta e armazena energia térmica, a troca de calor absorvida pelos tubos irá produzir troca de calor com a água e formará vapor, o que fará a turbina de um gerador ser acionada e gerar eletricidade. Na Figura 02 é possível observar a parábola e os tubos receptores.

Figura 2 – Planta com tecnologia de calha parabólica.



Fonte: Malagueta (2012).

Em suma, o fluido contido no receptor é aquecido pela energia solar e bombeado para uma série de trocadores de calor, sendo produzido um vapor superaquecido que impulsiona a turbina e gera eletricidade (LOPEZ, 2012).

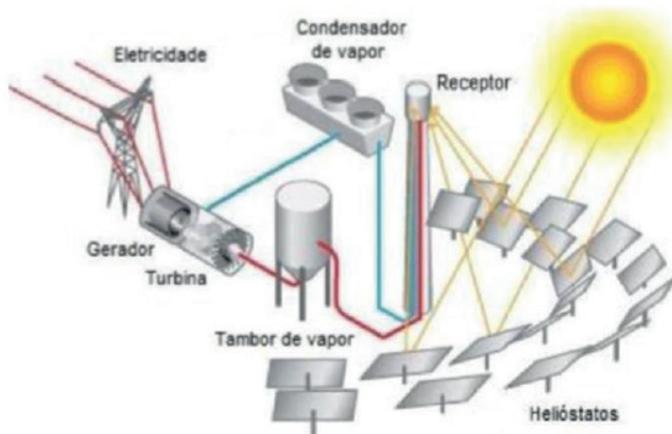
Refletor Linear Fresnel

O coletor Fresnel apresenta o mesmo princípio básico de geração de energia que o método anterior, sendo que neste o refletor parabólico é cortado em tiras e alinhados individualmente e cada uma das tiras segue a direção do sol de forma individual (MULLER, 2016). Refletores como estes apresentam receptores fixos e trazem a vantagem da necessidade de menor custo quando se comparada com uma planta do tipo calha parabólica (cilindro parabólico), além disso o sistema de refletores Fresnel é instalado próximo ao solo e isso reduz custo com exigências estruturais.

Torre Solar

Essa tecnologia utiliza espelhos instalados no solo com a finalidade de refletir para um receptor central e foco com rastreamento solar em dois eixos (LODI, 2011).

Figura 3 – Instalação e funcionamento de torre solar.



Fonte: ANEEL (2015).

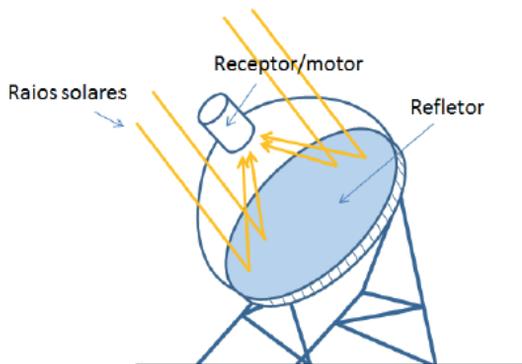
O sistema funciona por meio da circulação de um fluido dentro do receptor de forma a absorver energia solar e convertê-la em energia térmica e, posteriormente, em vapor utilizado na turbina, como mostrado na Figura 03. Basicamente, a energia é concentrada por um campo de espelhos sobre um receptor que fica numa torre central, o receptor aquecerá um fluido (sal derretido) e a energia irá gerar eletricidade por meio de um gerador a vapor convencional (LOPEZ, 2012).

Disco Parabólico

O sistema utiliza um prato parabólico reflexivo que concentra a energia solar que atinge o foco pontual do disco, transferindo-a para

o receptor que a transformará em energia térmica (MALAGUETA, 2012), como representado pela Figura 04.

Figura 4 – Esquema do disco parabólico.



Fonte: Muller (2016).

O calor gerado é transferido para o fluido que aciona um motor (stirling) que tem associado a si um gerador de energia elétrica que faz a conversão da energia mecânica em elétrica. Segundo Lopez (2012), o coletor concentra a energia incidente sobre o receptor que absorve e transfere para uma máquina a energia, este comprime o fluido de trabalho e o aquece causando sua expansão através de uma turbina ou pistão para que seja gerada a energia mecânica que será convertida em energia elétrica.

Processo de fabricação para a chapa absorvedora

Em um processo de conformação de chapas, é realizada a aplicação de uma força que causará deformação plástica numa chapa para que seja obtida a configuração desejada, processo esse que segue sofrendo aprimoramentos quanto aos processos de manufatura e materiais. Uma constante busca por redução no consumo de energia, redução de custo e melhor qualidade do produto final, gerou uma

revolução na busca por métodos de fabricação que conseguissem atender todos os requisitos industriais e principalmente os exigidos pelos usuários finais das peças. E diante disso foram estudados, por exemplo, processos como o de hidroconformação, conformação a laser, estampagem incremental e microestampagem.

Na estampagem convencional é possível variar o tipo de deformação aplicada sobre o material e a partir disto realizar a classificação do método empregado, como calandragem, embutimento profundo, corte ou estiramento. Na estampagem deve haver alinhamento entre parâmetros processuais, equipamento, material, geometria do componente e ferramental, garantindo a otimização do processo (LORA, 2014).

A estampagem incremental (EI) vem sendo estudada para uso em aplicações como em peças para o setor automobilístico, peças para prótese craniana, uso em coletor solar e diversas outras aplicações, isso graças a possibilidade de usar esse processo na fabricação de pequenos lotes e com baixo custo de fabricação. Basicamente a estampagem incremental resume-se um punção com ponta hemisférica que promove alta deformação plástica de forma progressiva e localizada, avançando em caminho já determinado até que se atinja a geometria final desejada (ARRUDA, 2010). Este tipo de estampagem apresenta vantagem em relação ao processo convencional por não haver necessidade de criação de ferramental específico e permitir flexibilidade na geometria das peças produzidas.

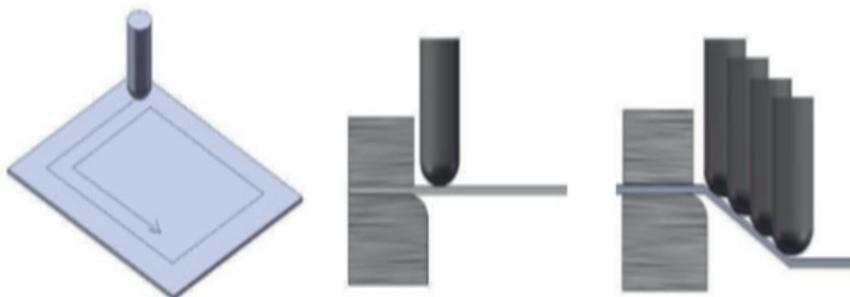
Um dos tipos de estampagem incremental é o realizado por dois pontos e consoante a Arruda (2010), na estampagem incremental por dois pontos (TPIF) são usados suportes sobre a chapa afim de possibilitar uma maior variedade geométrica e restringir o grau de liberdade da chapa. Nesta EI o suporte fica acoplado a um mecanismo que torna possível a movimentação ao longo do eixo Z, o que faz com que o prensa chapas acompanhe o punção a cada novo incremento

realizado. Como peça final é possível obter dimensões geométricas com maior precisão ou com ângulos de paredes mais íngremes. O outro tipo é a realizada por ponto único ou simples.

A estampagem incremental por ponto único é designada pela sigla SPIF (Single Point Incremental Forming), em que ocorre uma estampagem progressiva de uma chapa plana possuindo uma determinada espessura sendo penetrada verticalmente por uma ferramenta de conformação com ponta esférica e diâmetro conhecido (SCHREIBER, 2018). Deste modo, a conformação é feita por um punção hemisférico que percorre a superfície de uma chapa está fixada por um prensa chapas, como pode ser exemplificado na Figura 05.

A estampagem incremental de ponto único (SPIF) é a estampagem progressiva de chapa plana com espessura s_0 , a partir de penetração vertical de um punção que apresenta ponta esférica e diâmetro d_f , ficando a chapa apoiada entre o prensa chapas e placa de apoio. O punção penetra a chapa com uma velocidade de rotação (N) e realiza o incremento de estampagem na peça (Δz), são realizados diversos incrementos até que seja obtido o formato desejado na chapa e tendo a trajetória do punção realizado com comando numérico (SCHREIBER, 2018).

Figura 5 – Estampagem incremental de ponto simples (SPIF), caminho da ferramenta promove deformações progressivas na chapa.



Fonte: Arruda (2010).

O ângulo ψ é formado pelo incremento do punção sobre a chapa com o eixo horizontal e com o eixo vertical é formado o ângulo λ , em que com o aumento do ângulo ψ menor será o ângulo λ e conseqüentemente menor será a espessura da parede da peça final. Outros parâmetros como o lubrificante utilizado, a rotação (N), o avanço (α), o diâmetro do punção (d_f) e o incremento vertical (Δz) possuem influência sobre a qualidade final do produto que foi obtido por EI (SCHREIBER, 2018). É possível obter menor rugosidade e maior estampabilidade da chapa trabalhando com menor penetração do punção a cada incremento que for sendo realizado, assim como altos valores de rotação aumentam este processo por gerar maior temperatura na chapa. O esquema de um processo de estampagem incremental de ponto único é mostrado na Figura 06.

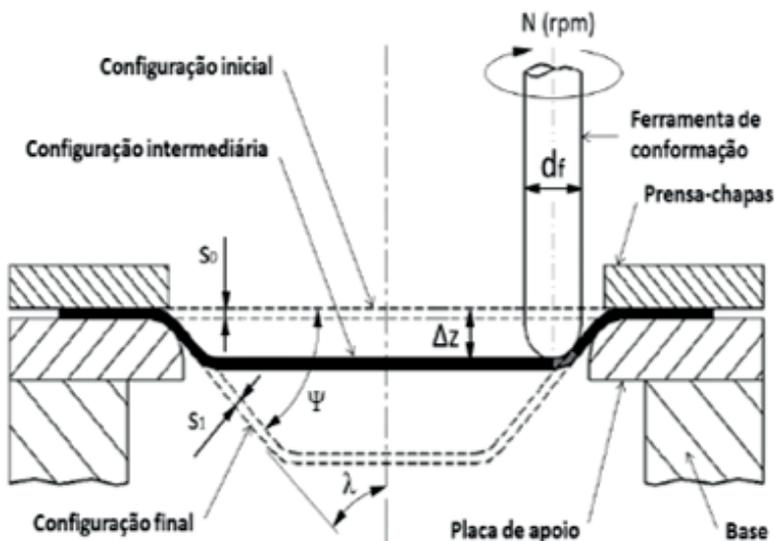
A viscosidade do lubrificante e o diâmetro do punção também interferem na peça final estampada, pois chapas de elevada dureza exigem lubrificantes com baixa viscosidade. Já o diâmetro do punção pode afetar a rugosidade da peça estampada, quanto maior for este parâmetro, menor será a rugosidade gerada.

No processo de EI por ponto único as matrizes de suporte apenas são empregadas para geometrias específicas ou em áreas maiores, sendo comumente posicionadas após o prensa chapas para que a região de deformação com ângulos e inclinações seja limitada (ARRUDA, 2010). Considerando as orientações de um sistema CAM e o prensa chapas, as peças são obtidas unicamente na região negativa (-Z).

Este é o processo utilizado para a fabricação da chapa absorvedora desenvolvida com auxílio de pesquisadores da Faculdade Satc (SATC), chapa que funcionará para a passagem do fluido utilizado no coletor, que gerará vapor para o acionar uma turbina capaz de gerar energia elétrica por meio de conversão. Estudos realizados

em todo o mundo auxiliaram o desenvolvimento do uso da estampagem para diversas formas de aplicações, principalmente em peças com pequena quantidade de unidades fabricadas, com necessidade de apresentar custo reduzido e uma alta flexibilidade.

Figura 6 - Representação esquemática de SPIF.



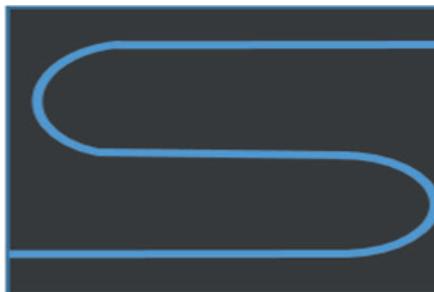
Fonte: Schreiber (2018).

Resultados

A Figura 07 mostra um design de chapa absorvedora permite que tubulação e placa para absorção da radiação solar sejam um só componente, todo feito de alumínio, material que apresenta um custo até 8 vezes inferior que o cobre, material comumente utilizado em coletores solares para a fabricação das tubulações. O alumínio ainda é um material leve e com facilidade de transformação alta, sendo esse inclusive um dos motivos de o tornar usual na fabricação de placas absorvedoras de coletores solares (ABA, 2019).

Para a aplicação da chapa no coletor solar esta será pintada com tinta preta para que absorva melhor o calor da luz solar e transmita para a água que estará circulando dentro dele, em que o sistema do coletor solar será em modelo de coletor solar plano. Na Figura 08 observa-se a placa fabricada pelo projeto, no entanto, ainda na forma bruta. Será necessário a realização de cortes laterais pra acoplamento da tubulação externa e a fixação de uma chapa para isolamento dos canais. Assim, apresentará em um único sistema a tubulação de água.

Figura 7 – Ilustração da placa absorvedora. **Figura 8** – Placa absorvedora fabricada.



Fonte: Autoral (2020).



Fonte: Autoral (2020).

Considerações finais

Os avanços da humanidade tornaram necessário realizar a conversão de um fonte de energia em outra e por muito tempo se focou em fontes não renováveis, fontes que prejudicavam de forma elevada o meio ambiente. Um dos sistemas que podem ser utilizados seria o de coletores solares, sendo considerado para sua fabricação o processo de estampagem incremental por ponto simples para a fabricação dos canais de circulação de água, este é considerado por apresentar alta flexibilidade e alto fator de contato entre água e tubulação.

Ao realizar este trabalho foi possível adquirir conhecimentos sobre coletores solares por meio de pesquisa bibliográfica, dando foco ao coletor solar de placa plana, coletor selecionado para desenvolvimento no projeto de pesquisa, além de estudar também sobre métodos de fabricação para a placa absorvedora, componente fundamental para o funcionamento de coletores solares. A ilustração da chapa absorvedora confeccionada para uso no projeto de pesquisa é apresentada, sendo também estudado o tipo de fabricação empregado para esta.

Com base em todo o exposto neste trabalho e por meio do projeto de pesquisa realizado, foi possível produzir chapas absorvedoras para utilização em coletor solar plano a ser confeccionado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CETENS), com este deseja-se gerar energia elétrica por meio do vapor gerado a partir do aquecimento de água e assim acionará uma turbina e por conversão a energia mecânica se transformará em energia elétrica.

Referências

ANEEL, 2015. Projeto estratégico: **Desenvolvimento da tecnologia nacional de geração heliotérmica de energia elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2015.

ARRUDA, Rodrigo Patrício de. **Estampagem incremental na conformação de chapas para fabricação de coletores solares planos**. 2010. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (ABA); Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/propriedades-mecanicas/>. Acesso em 10 de agosto 2019.

AVILA, Mônica Lacerda de. **Análise comparativa entre coletores solares planos e coletores solares de tubo a vácuo.** 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

CARVALHO, Cássio Cardoso de. **Fontes heliotérmicas: um estudo sobre o funcionamento e o potencial de implementação no Brasil.** 2016. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Eletricista, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CARVALHO, Filipe Rocha de; SIONEK, Mirella Cristina. **Análise da eficiência de um coletor solar plano.** 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

LODI, C., 2011. **Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada.** Rio de Janeiro, 2011.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade.** São Paulo: Artliber, 2012.

LORA, Fábio André. **Avaliação das deformações no aço DC04 quando submetido ao processo híbrido de estampagem incremental posterior ao processo convencional.** 2014. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MALAGUETA, C. M., **Geração heliotérmica: princípios e tecnologia.** Eletrobras CEPEL. Rio de Janeiro, 2012.

MULLER, Jair Carlos. **Estudo geométrico de um refletor fresnel linear para produção de energia térmica.** 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

SOLAR AQUI. **Coletor solar de banho**. Disponível em: <http://www.solar aqui.com.br/produtos/coletor-solar-de-banho/>. Acesso em: 25 de maio de 2020.

SCHREIBER, Rafael Gustavo. **Estampagem incremental e soldagem fsw para fabricação de coletor solar**. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Coletores solares: análise comparativa

*Bárbara Gomes Pereira
Joyce Mara Brito Maia
Fábio André Lora*

Introdução

Diante da necessidade de redução do consumo de combustíveis fósseis, devido aos efeitos drásticos do aquecimento global e variabilidade de seus preços, tem se intensificado os esforços para incluir as fontes de energia renováveis na matriz energética mundial. As energias solar e eólica despontam como as maiores alternativas aliadas neste processo, com tecnologias bem dominadas de implantação e razoáveis custos de geração (TELES, ISMAIL e ARABKOOHSAR, 2019).

A energia solar por sua vez tem despontado como protagonista neste cenário, já que pode ser utilizada tanto para a geração de eletricidade, através de sistemas fotovoltaicos ou usinas heliotérmicas, como para aquecimento, por meio de coletores e concentradores solares. Segundo Lemes *et al.* (2016), a utilização e produção de coletores solares para aquecimento de água vem se expandindo e desenvolvendo no mundo todo, em especial por ser um método limpo e renovável de produzir energia térmica, e em segundo lugar se mostrou uma estratégia econômica a longo prazo.

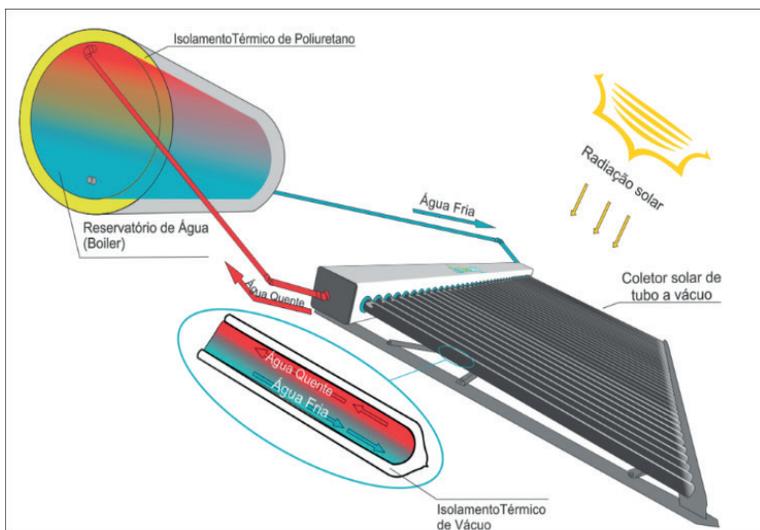
No Brasil, apesar de ter crescido bastante nos últimos anos, ainda é baixa sua utilização devido aos custos agregados. De acordo com Cruz (2015), o país pode tornar-se uma potência na energia solar devido aos altos índices de irradiação solar identificadas mas também por dispor de materiais necessários na fabricação dos equipamentos como: cobre, alumínio, aço, vidro e termoplásticos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a utilização de dois dos tipos de coletores solares que têm sido mais utilizados no mercado: o coletor solar de placa plana e o coletor solar de tubos a vácuo. Apresentando dessa forma, dados sobre as tecnologias envolvidas, os tipos de materiais envolvidos nas suas produções, bem como a eficiência alcançada em cada coletor e as vantagens e desvantagens de cada um.

Utilização de coletores no Brasil e no mundo

Os coletores são elementos importantes do sistema de aquecimento solar, podendo ser utilizados mesmo em lugares onde as condições de radiações são baixas. Eles promovem o aquecimento de um fluido, como água, ar ou outro fluido térmico, através da conversão da radiação eletromagnética proveniente do sol em energia térmica, conforme exemplificado na Figura 1.

Figura 1. Esquema de conversão de energia térmica



Fonte: Brassolar (2017).

De acordo com Manea, Rosa e Krenzinger (2013), a escolha do coletor dependerá da temperatura de operação para a aplicação destinada. Para instalar um sistema de aquecimento com coletores são necessárias informações sobre o tamanho do projeto, a qualidade do produto, o fornecedor e a garantia disponibilizada por ele, bem como a irradiação solar disponível no local onde o sistema será instalado. Saliente-se que os coletores devem ser direcionados para o norte, para melhor exposição ao sol e a sua inclinação deve seguir o ângulo da orientação solar na região.

Os tipos de coletores mais utilizados são os coletores abertos, coletores fechados e coletores com tubos evacuados (ECYCLE, 2016). Os coletores solares tradicionais ou coletores de placa plana atendem às necessidades de aquecimento de água para a maior parte das aplicações domésticas. Sendo assim, eles têm dominado o setor de aquecimento solar há muito tempo, restando assim, o uso de outros tipos de coletores, como os que utilizam tubos a vácuo, ficando estes mais destinados a aplicação industrial. Nos últimos anos, com a entrada massiva da China na sua fabricação e utilização, o uso destes coletores tem aumentado (MANEA, ROSA e KRENZINGER, 2013).

Mesmo que já se tenha conhecimento desse tipo de coletor desde a década de sessenta, eles passaram a ser produzidos mundialmente em escala comercial a pouco tempo. No Brasil, os coletores planos convencionais são os principais substitutos dos chuveiros elétricos, grandes responsáveis pelos custos nas contas de energia elétrica. O aquecimento de água residencial no Brasil consome aproximadamente 20 bilhões de kWh/ano de eletricidade. Caso toda essa energia fosse fornecida através da fonte solar, seria possível obter inúmeros benefícios ambientais, sociais e econômicos no país (CLIMATEC, 2018; OLIVESKI, KRENZINGER e OLIVEIRA, 2012).

O coletor de placa plana

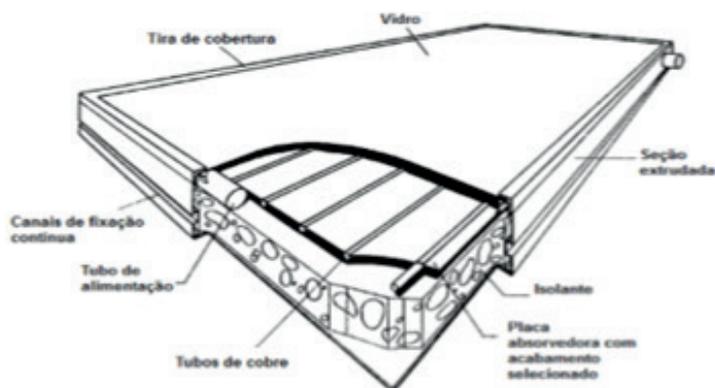
A utilização da energia por concentração solar implica em saber a forma correta de captação e armazenamento para obter uma boa eficiência de geração. Os coletores solares são equipamentos utilizados para realizar o aquecimento de fluidos, podendo ser líquidos ou gasosos, que podem ser coletores concentrados ou planos a depender da existência ou não de concentração de radiação solar (LOPEZ, 2012). Coletores solares planos são aqueles em que o absorvedor é plano e apresenta tubulação no mesmo plano do absorvedor, podendo serem de tipo aberto ou fechado. No primeiro caso se tem um coletor sem cobertura, ficando assim o absorvedor e a tubulação expostos. Já nos coletores fechados, uma caixa e uma cobertura protegem e isolam de forma térmica o absorvedor e a tubulação.

O aspecto externo de um coletor solar é de uma caixa retangular coberta por vidro, dentro da caixa há uma serpentina onde o fluido escoar e em volta da serpentina existe uma superfície pintada de preto com o objetivo aumentar sua absorção e calor, que quando absorvido pela placa é transferido à serpentina e o fluido sofrerá aquecimento ao passar pelos canos. Na parte inferior do coletor, com o objetivo de minimizar as perdas de calor, é colocado um isolamento térmico enquanto a cobertura de vidro permite que a radiação solar entre e que o calor da placa não se perca por convecção por causa da ação do vento. Existe ainda uma vedação que previne que a umidade entre no coletor.

A Figura 2 apresenta algumas partes do coletor plano, que, segundo Lopez (2012) é constituído por: Módulo (caixa): suporta e protege os componentes do coletor e é geralmente feito de alumínio; Vedação: evita perda de calor, interferências externas, entrada de umidade (causa degradação de tinta e isolamento), geralmente feito de silicone; Cobertura: reduz perda de calor e permite que a radiação

passo, é geralmente feito de vidro; Isolamento térmico: é o revestimento do módulo minimizando as perdas por condução, geralmente é feito com espuma de poliuretano ou lã; Placa de absorção: responsável pela absorção e transferência de energia solar para o fluido, é feita de metais com alta condutividade térmica e pintada de preto à base de epóxi, acrílico ou poliéster e Tubulação: tubos interconectados por onde o fluido escoa no interior do coletor, em geral de cobre.

Figura 2. Componentes do coletor de placa plana.



Fonte: Carvalho e Sionek (2015).

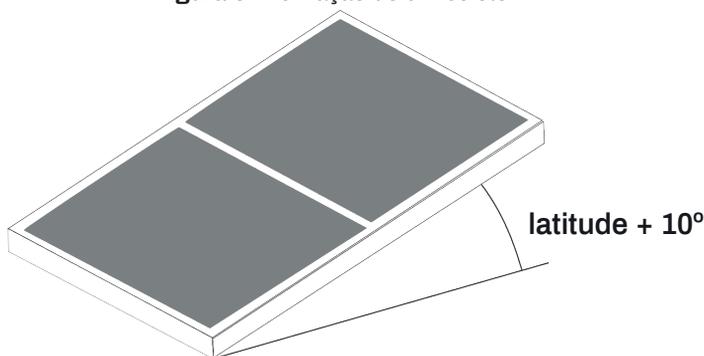
Como materiais isolantes geralmente são utilizados lã de vidro ou poliuretano expandido, que isolam o coletor impedindo que o calor captado escape. Uma cobertura de vidro impede a entrada de poeira, materiais sólidos, água da chuva, entre outros, porém sua principal função é gerar um efeito estufa no coletor. Ao incidir diretamente no vidro, uma parte da radiação solar penetra no coletor e outra parte é refletida, por ser composta de raios infravermelhos não conseguirão ultrapassar a camada de vidro durante a reflexão, aquecendo a água que está em circulação dentro dos tubos de cobre.

De acordo com Oliveira (2014), a água a ser aquecida para o consumo pode receber calor diretamente no coletor, o chamado

sistema direto, ou pode receber calor por meio de um líquido refrigerante que irá receber energia térmica no coletor e o transferir à água através de um trocador de calor, sendo esse o chamado sistema indireto. As vantagens do coletor solar plano quando comparado a outros tipos de coletor são referentes ao custo moderadamente baixo, a simplicidade de construção, a ausência de partes móveis e sua facilidade de realização de reparos.

Os coletores solares planos mesmo sofrendo efeitos da corrosão, radiação, quebra do vidro pelo fator da expansão térmica, alcalinidade do fluido, congelamento da água e até mesmo vandalismo, devem ter vida útil elevada, podendo ser usados até mesmo vidros temperados (CARVALHO; SIONEK, 2015). O melhor ângulo de inclinação para posicionar o coletor é levando em consideração a latitude do local com ângulos de 10 – 15° variando a depender da aplicação desejada. Segundo sugestão da norma ABNT NBR 15569 a latitude deve ser considerada acrescida de 10° sendo nunca inferior a 15°, como apresentado na Figura 3.

Figura 3. Inclinação de um coletor.

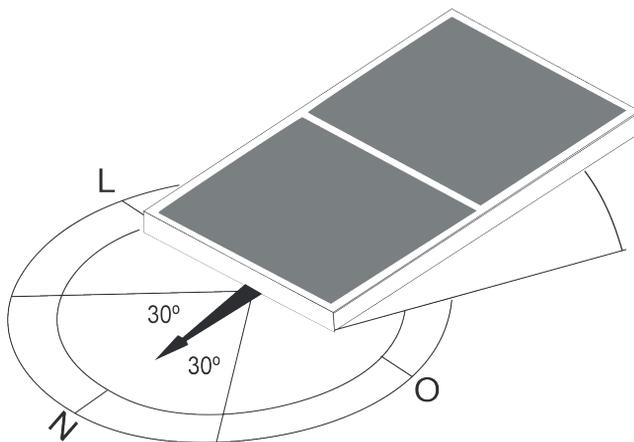


Fonte: ABNT NBR 15569 (2020).

Também segundo sugestão da ABNT NBR 15569, os coletores solares devem ser instalados voltados para o norte geográfico

apresentando um desvio máximo desta direção de até 30° , como observado na Figura 4. Conforme Camata e Lima (2016), o fluxo de radiação incidente em coletores planos é de aproximadamente 1000 w/m^2 e varia com o passar do tempo, sendo os coletores planos diferenciados de trocadores de calor comuns por apresentar a radiação solar como principal fonte de calor. Este tipo de coletor pode ser aplicado onde 110° C acima da temperatura ambiente seja a temperatura exigida para o fluido a ser utilizado, usando radiação difusa e direta, sem necessitar de rastreamento solar e fazendo uso de baixa manutenção.

Figura 4. Orientação de um coletor.



Fonte: ABNT NBR 15569 (2020).

O coletor de tubos a vácuo

O ponto principal de diferenciação entre os coletores de placa plana e os de tubos a vácuo se dá na captação da radiação, ao invés de placas de captação o aquecedor a vácuo trabalha com tubos, que através da substituição da lâmina de vidro pelo vácuo, tem conseguido alcançar maiores rendimentos. A instalação de aquecimento solar por

tubos a vácuo é indicada especialmente quando são requeridas altas temperaturas, por isso seu uso tem se concentrado nas atividades industriais. Um exemplo de coletor de tubos a vácuo pode ser observado na Figura 5.

O setor industrial tem o calor como uma necessidade em diversas atividades (CIMATEC, 2018), sendo o setor que mais consome energia no Brasil e, em muitos casos exigindo elevadas temperaturas, como por exemplo, o pré-aquecimento de água em processos de lavagem. Os coletores de tubos a vácuo também são indicados para aquecimento de água em regiões de incidência solar baixa, tal fato se dá por possuírem uma estrutura mais resistente ao frio.

Figura 5. Coletor a vácuo



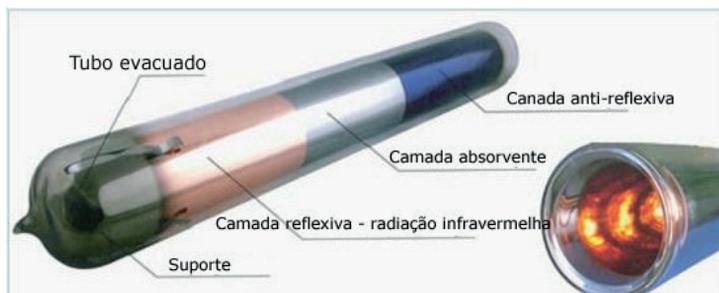
Fonte: Ebay (2020).

Segundo Yohanis *et al.* (2015), os coletores solares a vácuo podem ser divididos em três categorias: com concentrador de fluxo solar externo; com concentrador interno e com absorvedores de placa plana, sendo o último, o tipo mais comum de configuração. Este tipo possui, no interior do tubo de vidro evacuado, um tubo metálico com aleta clássica ou o tubo em U aletado para circular o transportador de calor (YOHANIS *et al.*, 2012).

Conforme Sabiha *et al.* (2015), a fragilidade nos tubos dos coletores se dá em razão dos tubos evacuados serem compostos por duas camadas de borossilicato recozido do vidro de catequina e vidros feitos de vidro recozido tendem a ser muito mais frágeis que o vidro temperado. Dessa forma, cuidados extras devem ser tomados ao transportar ou manejar esse tipo de coletor.

A estrutura dos tubos pode variar, mas basicamente seguem a estrutura mostrada na Figura 6. São compostos por dois tubos de vidro um interno e outro externo. O tubo interno é revestido com um revestimento seletivo, enquanto o tubo externo é transparente. Os raios de luz passam através do tubo externo transparente e são absorvidos pelo tubo interior. Tanto os tubos internos quanto os externos têm propriedade de reflexão mínima. O tubo interno aquece enquanto a luz do sol passa através do tubo externo e para manter o calor dentro do tubo interno, é criado um vácuo que permite que a radiação solar passe, mas não permite a transferência de calor. Para criar o vácuo, os dois tubos são fundidos na parte superior e ar existente é bombeado para fora. Assim, o calor permanece dentro dos tubos internos e coleta a radiação solar de forma eficiente. Portanto, um coletor solar de tubo é visto como o mais eficiente. Os coletores de tubo ainda são capazes coletar radiações difusas (SABIHA *et al.*, 2015).

Figura 6. Tubo evacuado.



Fonte: Brassolar (2017).

Eles podem ser utilizados para várias aplicações como dessalinização da água do mar, ar condicionado, aquecimento de edifícios, refrigeração e atividades que requerem temperaturas mais altas. Eles também podem operar outras aplicações com temperaturas ainda mais elevadas, como aquecimento de gás neutro, tanques solares integrados com elemento de impulso sistema e tanque de pré-aquecimento (SABIHA *et al.*, 2015). Conforme Lemes *et al.* (2016), é importante salientar que para se manter a água aquecida nestes sistemas, o reservatório térmico deve contar com um baixo coeficiente de troca térmica com o ambiente, utilizando materiais que sejam resistentes à corrosão, que possuam uma boa rigidez estrutural.

Em suma, coletores solares que utilizam o tubo a vácuo minimizam a troca de calor por convecção e condução colocando a superfície absorvedora em um ambiente quase totalmente evacuado de matéria. A troca de calor por radiação também é minimizada devido à superfície absorvedora ter baixa emissividade. Eles dispõem de uma estrutura física mais robusta e complexa (com vidro). Isso requer maior cuidado tanto na instalação quanto na utilização. Entretanto, caso seja projetado corretamente, o sistema a vácuo tende a ter uma vida útil maior comparada a coletores planos.

Análise comparativa entre os coletores

O primeiro ponto de comparação entre os dois coletores é o custo. Na Tabela 1 pode-se perceber que os coletores planos convencionais ainda são mais baratos do que os coletores solares a vácuo. No entanto, conforme afirmado por Oliveski, Krenzinger e Oliveira (2012), o custo dos coletores a vácuo vem diminuindo. De acordo com Lemes *et al.* (2016), os coletores a vácuo também possuem capacidade de aquecimento superior em relação aos coletores convencionais, principalmente em lugares onde a incidência de radiação solares não sejam muito constantes, áreas com incidência de vento e em períodos nublados.

Tabela 1. Custos de coletores solares no Brasil.

Tipo	Especificação	Preço
Coletor Aquecedor Solar Vácuo Banho	15 Tubos Classificação A	R\$ 1.545,00
Coletor Aquecedor Solar Vácuo Banho	20 Tubos Classificação A	R\$ 2.060,00
Placa Coletor Solar Para Banho	Tubulação em cobre e vidro temperado (2,0 x 1,0 m)	R\$ 772,50
Coletor Solar Rinnai	Tubulação em cobre (1,0 x 1,0 m)	R\$ 518,74

Fonte: Casas Bahia (2020).

Sabiha *et al* (2015), afirmaram que o pico de produção de energia fornecida por um coletor plano é apenas ao meio dia, quando o sol é perpendicular à superfície do coletor, enquanto que os tubos solares evacuados são capazes de rastrear o sol passivamente ao longo do dia, assim como forma do tubo evacuado. O ângulo incidente da luz solar nos tubos cilíndricos é de 90° ao longo do dia; daí o pico a absorção é sempre maior para um coletor de tubo. Também foi observado pelos autores que o coletor de tubo de vácuo é menos afetado pela baixa temperatura e ventos, devido o vácuo que envolve os tubos interno e externo.

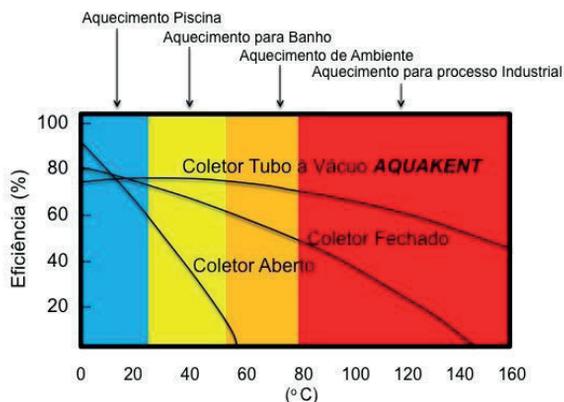
A manutenção de um coletor de tubo em relação ao plano é mais fácil e barato. Uma vez que, se um tubo estiver danificado ou quebrado, o sistema não vazar ou parar de funcionar, o coletor ainda opera com menor eficiência. Para o caso de coletor evacuado, é possível substituir o tubo danificado sem que seja necessário desligá-lo completamente, enquanto que para o coletor plano, se o coletor estiver danificado, é necessário que todo o sistema seja desligado para a substituição do coletor (SABIHA *et al.*, 2015).

Conforme afirmado por Sabiha *et al.* (2015), os coletores de tubo a vácuo têm proteção natural contra congelamento, sem qualquer dano, podendo ser usados em $T < 0^{\circ}\text{C}$, enquanto que sistemas anti-congelantes (glicol) precisariam ser instalados em painéis de placas

planas para poderem operar sob a mesma temperaturas, o que torna o processo complexo e oneroso diante das substituições regulares de glicol, que precisa ser substituído a cada 3 anos. Portanto, a longo prazo, um coletor de tubo é mais econômico e eficaz que um plano.

Outra característica dos coletores a vácuo é produzir temperaturas mais altas do que outros coletores, conforme representado na Figura 7. Portanto, eles não são recomendados para aquecimento doméstico de água solar ou para sistema de aquecimento solar, pois a alta temperatura pode causar problemas significativos quando excedem o ponto de ebulição da água. Para utilização doméstica sugere-se que a temperatura mantenha-se abaixo de 100 °C (SABIHA *et al.*, 2015).

Figura 7. Análise de temperatura de coletores.



Fonte: CONFORTEC (2012).

Nos últimos anos, os modelos de tubos a vácuo se tornaram mais populares e estão compartilhando firmemente o mercado com os coletores solares de placa plana. Percebeu-se também que há uma grande expansão do mercado de aquecedor solar de água a tubo evacuado na China, Europa e Japão como resultado do crescimento global das indústrias de coletores de tubos evacuados (TELES, ISMAIL e ARABKOOHSAR, 2019).

Conforme verificado por Pappis *et al.* (2014) os coletores de tubo também despontam como a melhor escolha do ponto de vista ambiental devido ao menor impacto gerado durante o processo de fabricação. Todavia, um coletor plano é preferível do ponto de vista econômico, pois é necessário menor investimento para a instalação de seu sistema. No que diz respeito a eficiência, percebeu-se que eficiência óptica dos coletores solares de tubo de vácuo com base na área de abertura é quase igual ao de um coletor solar de placas chatas 'típico'. O coeficiente de perda de calor dos coletores solares a vácuo, por outro lado, é 2,8 vezes menor que a dos coletores de placa plana. Em princípio, isso significa que coletores solares a vácuo devem ter uma clara vantagem sobre os coletores de placa plana, devido a menores perdas de calor e aproximadamente o mesmo fluxo de energia solar (YOHANIS, 2012).

Rosa, Manea e Krenzinger (2013) apontam que baseado em informações disponíveis na norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009), a área do absorvedor é a área situada na parte responsável por receber radiação solar e realizar a conversão para energia térmica, sendo no coletor plano considerada a área da placa absorvedora enquanto que no coletor de tubos evacuados é considerada a soma das áreas projetadas dos tubos internos. Diferentes áreas calculadas para dois tipos de coletores planos e um tipo de coletor de tubo podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Diferença da área entre dois coletores

Tipo de coletor	Área absorvedora	Área abertura	Área total
Plano sem cobertura	1,60 m ²	1,60 m ²	1,60 m ²
Plano com cobertura	1,60 m ²	1,68 m ²	1,80 m ²
Tubos	1,60 m ²	1,92 m ²	3,05 m ²

Fonte: Rosa, Manea e Krenzinger (2013).

A área de abertura é a faixa de área em que é permitida a entrada de radiação para a parte absorvedora, no coletor plano essa é a área da cobertura, geralmente esta é feita de vidro, já em coletores de tubo evacuados esta é a soma das áreas projetadas dos tubos externos. Por fim, a área total é aquela ocupada pelo coletor, em coletores planos esta é a área total ocupada pela caixa externa e nos coletores de tubo esta é a área total externa levando em consideração ainda os suportes inferiores e o cabeçote. Assim, se percebe que a área total de coletores planos é pouco maior que a área do absorvedor, desta forma quase toda a área pode absorver a radiação solar.

Considerações finais

Os coletores planos são atualmente os mais utilizados em locais domésticos, enquanto os coletores a vácuo tem maior aplicação industrial. A principal justificativa essa ocorrência são os custos dos equipamentos e limitações de instalação.

A principal vantagem dos coletores a vácuo em relação ao coletor de placa plana é o isolamento térmico que ele possui. Enquanto os coletores planos chegam a temperaturas em torno de 60°C, os coletores a vácuo podem atingir temperaturas acima de 100°C.

Desta forma ambos coletores possuem vantagens e desvantagens, no entanto a sua escolha dependerá dos critérios de seleção do usuário. Assim, os coletores à vácuo continuarão aumentando seu campo de aplicação, enquanto os coletores planos deverão desenvolver sistemas cada vez mais eficientes.

Referências

CAMATA, Daniel Cordeiro; LIMA, Gabriel de Paula. **Projeto de Graduação Software para Dimensionamento de Coletores Solares de Placa Plana**. 2016. 52 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

CARVALHO, Filipe Rocha de; SIONEK, Mirella Cristina. **Análise da eficiência de um coletor solar plano**. 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CIMATEC, Senai. **Atlas Solar**: Bahia. Salvador: Senai Cimatec, 2018. 76 p. Elaborado por AWS Truepower, Camargo Schubert Engenheiros Associados, FIEB/SENAI CIMATEC. Disponível em: <<http://www.senaicimatec.com.br/download/Atlas-Solar-Bahia-2018.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e mini geração eólica e solar no Brasil: Propostas para o desenvolvimento do setor**. 2015. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ECYCLE. **Aquecimento solar de água**: entenda variações e funcionalidades dos tipos de sistema. Disponível em: Acesso em 07 de julho de 2016

REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR. (2008). **Noções Iniciais Sobre o Aquecimento Solar**. Disponível em: <http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manualiniciais.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2020.

KURPASKA, S., LATAŁA, H., MALINOWSKI, M., & KIEŁBASA, P. (2019). **Efficiency of solar conversion in flat plate and vacuum tube solar collectors**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 214, 012033. doi:10.1088/1755-1315/214/1/012033.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MANEA, Tiago Francisco; ROSA, Fábio Niemezewski da; KREZNINGER, Arno. **Determinação dos parâmetros de desempenho de um coletor solar de tubos de vidro a vácuo**. Revista Brasileira de Energia Solar, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 39-46, 2013. Semestral.

Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas 15569 (ABNT NBR 15569). 1Ed.

OLIVEIRA, Álvaro Daniel de. **Análise de custos entre coletores quanto a aspectos construtivos**. 2014. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Novo Hamburgo, 2014.

OLIVESKI, Rejane de César; KREZINGER, Arno; OLIVEIRA-, Lucas Lopes de Morin. **Estudo do comportamento de coletores tubulares a vácuo operando em transferência direta**. Revista Brasileira de Energia Solar, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 126-133, 2012. Semestral.

PAPPIS F, FRIDERICH S, SERAFINI S, FOLETTO E. **Economic-environmental comparison between Flat Plate and Evacuated Tube Solar Collectors**. Global NEST Journal, Vol 16, No 6, pp 1100-1110, 2014. Disponível em: https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest_01386/gnest_01386_published.pdf. Acesso em: 21 mai. 2020.

ROSA, Fábio Niemezowski da; MANEA, Tiago Francisco; KREZINGER, Arno. **Estudo comparativo da utilização de coletores solares planos e tubulares para aquecimento de água**. Revista Brasileira de Energia Solar, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 93-100, dez. 2013.

SABIHA, M. A., SAIDUR, R., MEKHILEF, S., & MAHIAN, O. (2015). **Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1038–1054. doi:10.1016/j.rser.2015.07.016

TELES, M. de P. R., ISMAIL, K. A. R., & ARABKOOHSAR, A. (2019). **A new version of a low concentration evacuated tube solar collector: Optical and thermal investigation**. *Solar Energy*, 180, 324–339. doi:10.1016/j.solener. 2019.01.039

YOHANIS, Y. G., POPEL, O. S., FRID, S. E., & KOLOMIETS, Y. G. (2012). **Detailed comparison of the performance of flat-plate and vacuum tube solar collectors for domestic hot water heating**. *International Journal of Sustainable Energy*, 31(5), 347–364. doi:10.1080/14786451.2012.661733.

Materiais usados em coletores solares

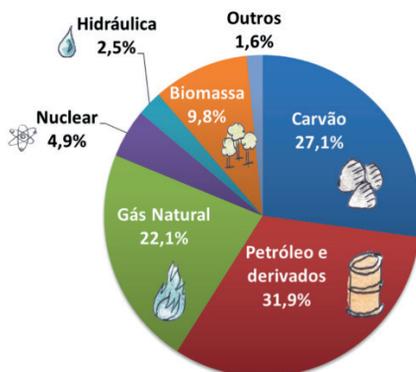
*Joyce Mara Brito Maia
Bárbara Gomes Pereira
Fábio André Lora*

Introdução

A vida cotidiana e a evolução humana são dependentes da necessidade de energia, e é com uso desta que se realiza grande parte das atividades diárias, desde acender uma luz para realizar uma simples leitura até utilizar um automóvel para realizar a própria locomoção para um determinado destino. A energia utilizada pela sociedade provém de fontes que em conjunto formam a matriz energética, comumente formada por fontes não renováveis e renováveis, sendo que a segunda tem ganhado espaço e desenvolvimento em pesquisa nas últimas décadas.

A falta de chuvas, o avanço no desenvolvimento humano, a elevada dependência de fontes hidráulicas e térmicas, o aumento do consumo energético e o fraco investimento em outras formas de geração de energia são fatores causadores de uma crise energética brasileira sofrida nos últimos anos (CARVALHO, 2016).

O uso de fontes energéticas associadas a tecnologias melhorou a qualidade da vida humana, o que causou aumento no consumo energético, tornando fundamental a pesquisa e investimento em novas fontes de energia, principalmente as de cunho renovável. Como exemplo de fontes de energia, tem-se os combustíveis fósseis, energia nuclear, energia hidrelétrica, biomassa, energia eólica e energia solar, alguns destes estão apresentados na Figura 01, sendo apresentado o percentual energético proveniente de cada tipo de fonte em cenário mundial.

Figura 01 – Matriz Energética Mundial em 2016.

Fonte: IEA (2018 *apud* IEA, 2019).

Com os avanços do século XX, a geração de energia solar teve um grande desenvolvimento em tecnologia que vão desde o aquecimento de cilindros parabólicos para transformação de água em vapor dentro de receptores e funcionalidade de bombeamento até uso de placas solares para geração de energia elétrica.

O trabalho em questão tem o objetivo de apresentar uma revisão de literatura sobre materiais que podem ser utilizados para a construção de um coletor solar, abrangendo ainda assuntos como a geração de energia a partir de radiação solar e a utilização de geração distribuída (geração de energia próximo da unidade que irá consumi-la e podendo ser oriunda de fontes fósseis ou renováveis), temas que estão ligados diretamente ao funcionamento dos coletores solares.

Este trabalho realizou um estudo bibliográfico baseado na temática da geração de energia de forma distribuída e com foco na energia solar, tratando ainda da utilização de coletores solares e seus possíveis materiais para confecção. Utilizando a classificação de acordo com o objetivo apresentado pode-se concluir que este é um estudo de cunho descritivo, já que se busca gerar maior familiaridade com o tema discutido para o tornar mais explícito ou criar

hipóteses, possibilitando considerar vários aspectos relacionados ao fato estudado.

Energia solar fotovoltaica ou fototérmica

A energia solar é considerada uma fonte inesgotável que pode ser usada para geração de energia ou para aquecimento. Este último muito usado desde o princípio das civilizações como forma de manter os alimentos preservados ou para secagem (CARVALHO, 2016).

O sol disponibiliza uma elevada fração de potência na atmosfera da Terra de aproximadamente 174.000 TW, em termos práticos, 84 minutos de radiação solar seria suficiente para o consumo de energia elétrica mundial durante um ano (FILHO, 2013).

Existem hoje duas formas de geração de energia através da utilização da energia solar, a fotovoltaica e a heliotérmica. A primeira consiste em obter de forma direta a energia elétrica a partir da solar quando a luz solar incide sobre um material semicondutor e utiliza a radiação global como recurso. A heliotérmica consiste na radiação solar incidindo em uma unidade coletora e transformada em energia elétrica, porém esta será discutida no próximo tópico.

Em decorrência das flutuações que ocorrem no clima, a radiação solar incidente na superfície da atmosfera sofre reflexões, dispersões e absorções até que esta chegue ao solo, sendo assim, a incidência total da radiação solar sobre um corpo situado no solo é somatório dos componentes direto, difuso e direto.

A radiação direta é proveniente do disco solar sem mudança de direção, a radiação difusa é a recebida por um corpo após a modificação da direção sofrida pelos raios solares por causa do espalhamento e da reflexão, enquanto a radiação refletida depende da inclinação do equipamento e das características do solo (REIS, 2011).

Materiais utilizados em coletores solares

A utilização da energia por concentração solar implica em saber a forma correta de captação e armazenamento para obter uma boa eficiência de geração. Os coletores solares são equipamentos utilizados para realizar o aquecimento de fluidos e podem ser concentrados ou planos, a depender da existência ou não de concentração de radiação solar (LOPEZ, 2012).

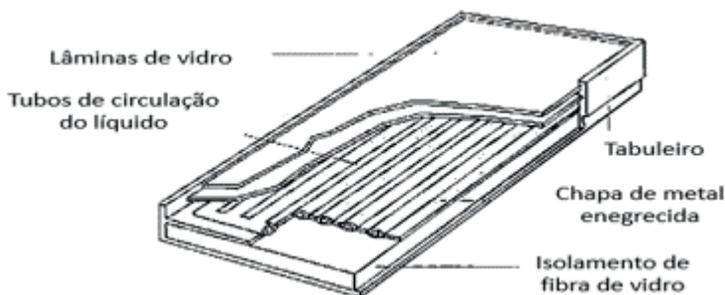
O aspecto externo de um coletor solar plano é o de uma caixa retangular coberta por vidro. Dentro da caixa há uma serpentina onde o fluido escoia e em volta dela há uma superfície pintada de preto com o objetivo aumentar a absorção de calor pela placa, que é transferido à serpentina, aquecendo o fluido. Na parte inferior do coletor é colocado um isolante térmico para minimizar perdas de calor, já que a cobertura de vidro permite a entrada de radiação solar e mas perde calor por convecção pela ação do vento. Existe ainda uma vedação que evita a entrada de umidade no coletor, como mostra a Figura 02.

Nos coletores solares o fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até seu uso, que pode ser aquecimento de água, geração de ar quente para secagem de grãos ou para acionar turbinas, entre outras aplicações. Hoje em dia, os coletores solares planos são amplamente utilizados para aquecer água em residências, hospitais, entre outros, devido ao conforto e redução de consumo de energia elétrica (LOPEZ, 2012).

Dentre as alternativas de materiais existentes no mercado e que podem ser utilizados para a fabricação de um coletor solar é preciso se atentar a características como resposta ao possível congelamento da água, custo, variação dimensional do material, entre outros. Tradicionalmente cobre é o mais utilizado como material para a fabricação dos tubos dos coletores solares, sendo uma alterna-

tiva a utilização de aço inoxidável por apresentar maior tensão de escoamento (OLIVEIRA, 2014). A Figura 03 mostra um coletor que utiliza tubos de aço inoxidável com a cor preta para gerar uma baixa refletância.

Figura 2 – Componentes de um coletor solar.



Fonte: Souza (2000 *apud* MACEDO Neto, 2014).

Figura 3 – Coletor com tubos em aço inoxidável.



Fonte: ENERGIAECO (2014 *apud* OLIVEIRA, 2014).

O aço inoxidável garante resistência à corrosão e resistência mecânica, importantes para evitar o rompimento dos tubos (MACEDO NETO, 2014). Quanto ao cobre utilizado, um material sempre presente no desenvolvimento da humanidade, muito se fala do tipo

Cu DPL, com baixo teor de carbono, boa soldabilidade, resistência elétrica e condutividade térmica.

Ao se falar em valores de condutividade térmica, o cobre apresenta resultado trinta vezes superior ao aço e quase duas vezes maior que o alumínio, sendo bastante indicado para aplicações em coletores solares, sistemas que não necessitam de rápida transferência térmica. Algumas empresas estão adotando a utilização de ambos os materiais de forma acoplada, onde o aço inoxidável viria dentro do tubo de cobre e isso daria ao coletor uma maior resistência ao rompimento de seus tubos, sendo um sistema anticongelamento caso o uso do coletor seja em uma região que em determinadas épocas possa alcançar baixas temperaturas.

É possível fazer um comparativo de características entre o cobre e o aço inoxidável que sofre tratamento térmico. Este último apresentando elevadas propriedades mecânicas, principalmente quando é observada a tensão de ruptura que do cobre é de 22 a 45 Kgf/mm² enquanto a do aço é de 60 a 70 Kgf/mm² e apresenta também valor muito mais elevado de limite de escoamento quando comparado com o cobre (OLIVEIRA, 2014).

Apesar do cobre apresentar boas propriedades, inclusive boa temperatura na saída do coletor, este material tem custo elevado que muitas vezes inviabiliza sua aplicação. É comum utilizar alumínio para fabricar a chapa absorvedora em coletores solares, material até oito vezes mais barato que o cobre e mais abundante. O alumínio tem elevada resistência mecânica em comparação ao cobre, é leve e facilmente transformado (ABA, 2019).

Possuindo condutibilidade térmica quase cinco vezes maior que o aço, o alumínio apresenta excelente refletância, um coletor solar geralmente tem tubulação de cobre, chapa absorvedora de alumínio, isolante térmico feito com lã de vidro e composição de vidro liso.

Geração distribuída

A geração distribuída – GD ocasionou na malha elétrica uma significativa mudança quando falamos em forma de geração de energia, este modelo traz uma geração feita em pequena escala conectada à rede e tecnologias consistentes em geradores e em alguns casos em fontes limpas de energia.

Segundo Driemeier (2009), na GD há de forma descentralizada um planejamento de geração e de despacho, e isso faz com que não exista um órgão para comandar as ações de unidades de geração com estas. Em suma, seria uma central com capacidade mínima para ter a possibilidade de conexão com a rede de distribuição e estar próxima ao consumidor. O início da geração de energia no mundo se deu de forma distribuída, ocorrendo a geração de energia de forma isolada por parte de cada indivíduo que desejasse eletricidade. Porém, devido ao aumento da demanda por eletricidade e necessidade de aumento da carga, passos foram dados em direção a geração centralizada, já que a GD é limitada a potência em torno de 30 MW.

A geração descentralizada apresenta benefícios como o fornecimento de uma energia com custo muito reduzido, alto nível de segurança e a geração de menores danos ao meio ambiente quando se faz uma comparação com métodos comumente utilizados para a geração de energia. Em países onde ocorre um crescimento expressivo da geração distribuída há incentivos fiscais por parte do governo e alinhamento com regulamentação clara e atualizada para diminuir possíveis entraves da geração distribuída conectada à rede (NARUTO, 2017). Em seu início os sistemas de geração distribuída foram utilizados como sistemas de emergência aumentando a independência do consumidor quando se falava em falhas do sistema elétrico, hoje em dia essas unidades são comumente abastecidas com diesel,

porém se tem uma grande busca por sistemas de geração distribuída que utilizem fontes renováveis. Um exemplo que é possível citar é geração solar fotovoltaica que é conectada à uma rede e acoplada a um sistema de baterias.

Um dos benefícios da GD é o desenvolvimento de uma rede inteligente capaz de monitorar e controlar estes sistemas quanto ao seu efeito sobre a performance do sistema elétrico principal. Outro benefício é a independência do consumidor em relação a energia fornecida pela distribuidora e assim ele pode pagar só o valor mínimo obrigatório, chamado de “Custo de Disponibilidade” (NARUTO, 2017).

Considerações finais

Os avanços da humanidade tornaram necessário realizar a conversão de uma fonte de energia em outra e por muito tempo se focou em fontes não renováveis, fontes que prejudicavam de forma elevada o meio ambiente. A necessidade pela redução de taxas de emissões gerou um aumento nas pesquisas por fontes alternativas e limpas, entre essas podemos citar a energia solar, que teve alto incentivo em pesquisas e replicabilidade sendo bastante usada na forma de geração distribuída, já que é possível, por exemplo, instalar painéis solares em residências e reduzir o consumo da energia fornecida pelas distribuidoras.

O desenvolvimento do presente capítulo possibilitou a realização de uma pesquisa de cunho bibliográfico sobre GD e materiais possíveis de serem utilizados para a confecção de um sistema desse tipo, sendo colocado em foco o sistema por coletor solar plano.

Diante de todo o exposto é possível compreender que a GD ocorre sem a centralização da geração e despacho da energia, sendo gerada pelo próprio consumidor e podendo ser obtida a partir de energia solar, como exemplo. Um dos sistemas que podem ser uti-

lizados seria o de coletores solares, sendo abordados os possíveis materiais utilizados para sua fabricação, em que o alumínio aparece como o mais indicado por apresentar menor custo que os outros materiais citados e boas propriedades quanto ao funcionamento e eficiência do coletor.

Referências

Associação Brasileira do Alumínio (ABA); Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/propriedades-mecanicas/>. Acesso em 10 de agosto 2019.

CARVALHO, Cássio Cardoso de. **Fontes heliotérmicas: um estudo sobre o funcionamento e o potencial de implementação no Brasil**. 2016. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Eletricista, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

DRIEMEIER, Luís Henrique. **Geração distribuída**. 2009. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FILHO, C., 2014. **Metodologia para Estudo de Implantação de uma Usina Heliotérmica de Receptor Central no Brasil**. UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

IEA [International Energy Agency]. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 12.08.2019.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MACEDO NETO, Miguel Cabral de *et al.* **Aplicação de materiais alternativos para o uso da energia solar**. Holos, [s.l.], v. 4, p.212-223, 4ago2014. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.663>.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica.** 2017. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OLIVEIRA, Álvaro Daniel de. **Análise de custos entre coletores solares quanto a aspectos construtivos.** 2014. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Novo Hamburgo, 2014.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** 2. ed. Barueri: Manole, 2011.

Microgeração solar na Bahia

*Bárbara Gomes Pereira
Joyce Mara Brito Maia
Fábio André Lora*

Introdução

A Bahia, com uma extensão territorial de quase 565 mil km², possui um dos melhores potenciais de produção de energia solar do país. O potencial estimado supera o consumo atual de energia elétrica do estado que em 2015 era de 28,1 TWh (CIMATEC, 2018).

Apesar do uso crescente das renováveis nos últimos anos, a maior parte da energia utilizada na Bahia é proveniente de hidrelétricas, responsável por 59,6 % da energia fornecida. Esse alto percentual torna o sistema elétrico do estado dependente de uma fonte e fragilizado diante da sazonalidade dos recursos hídricos, tornando necessário recorrer às termelétricas, que em sua maioria utilizam combustíveis fósseis e tem um alto custo de operação agregado. As termelétricas são responsáveis por aproximadamente 22,3 % do fornecimento elétrico baiano, enquanto a eólica corresponde a 18 % (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Empreendimentos que utilizam como fonte a energia solar, como a usina solar instalada no estádio de Pituaçu de Salvador (ver Figura 1), tem-se espalhado por todo o estado., com um dos maiores parques solares do país na cidade de Bom Jesus da Lapa. O parque é a junção de duas usinas, a Bom Jesus da Lapa, com 80 MW e a Lapa, com 78 MW, totalizando 158 MW de potência. Em um ano, o parque solar Lapa é capaz de gerar 340 GWh de energia, suficientes para abastecer 166 mil casas nesse período (MARTINS, 2018).

Figura 1. Usina solar do estádio de Pituáçu.



Fonte: Atlas solar da Bahia (2018).

A instalação destas e de outras usinas na região são estratégicas, pois se beneficiam do grande potencial de irradiação disponível, que favorece a utilização de sistemas térmicos e elétricos movidos a energia solar. Assim, a energia solar desponta como uma das fontes mais indicadas para a mini e micro geração, de forma a atender as demandas domésticas e industriais de energia na Bahia (KANNAN, 2016).

A radiação solar na Bahia

Segundo Kannan (2016), a radiação solar pode ser definida como a propagação de ondas eletromagnéticas, ela é responsável pela maior parte da energia presente na Terra. A energia emitida em um único dia de radiação que atinge o planeta é consideravelmente maior que toda a energia consumida nele em um ano (LENZ, 2016).

Conforme apresentado por Incropera (2008), a irradiação é a taxa na qual todas as radiações incidem sobre uma superfície a partir da sua vizinhança. A irradiação global horizontal é uma componente que permite avaliar o nível de produção de uma célula fotovoltaica. Para a analisar o potencial de produção em um projeto solar são

necessários ter em mãos dados sobre a incidência de radiação da região, que depende de quatro critérios básicos: latitude, altitude, nebulosidade e inclinação (CIMATEC, 2018).

A Bahia apresenta muitas vantagens nestes critérios, pois localiza-se em baixas latitudes, o que reduz a variação de duração dos dias. Também possui regiões que estão em altas altitudes. A nebulosidade que é um fator muitas vezes negativo, ajuda na região, pois o céu mais limpo no interior do estado durante o inverno favorece a incidência de radiação.

Radiação solar como fonte de energia

As fontes renováveis têm ganhado especial relevância no fornecimento e geração de energia em pequena escala. Além de conseguirem se instalarem mais próximos dos consumidores finais, elas geram impactos ambientais ínfimos, quando comparadas aos combustíveis fósseis. As duas formas de aproveitamento da energia solar mais utilizadas são a geração de energia elétrica e o aquecimento solar (LENZ, 2016).

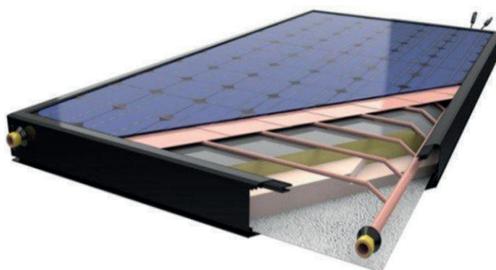
A tecnologia fotovoltaica é a forma de aproveitamento solar mais disseminada atualmente (CIMATEC, 2018). São instalações que captam a radiação solar e a transformam em energia elétrica utilizando semicondutores fotossensíveis que geram uma diferença de potencial nos terminais da junção P-N₂, promovendo o aparecimento de uma corrente contínua. As tecnologias fotovoltaicas mais comuns são as de silício mono e policristalino, silício amorfo e filmes finos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2019).

Aproximadamente 20 bilhões de kWh são consumidos no Brasil para uso em chuveiros elétricos. Um coletor solar (Figura 2) substitui o consumo elétrico dos chuveiros, responsáveis pelos altos custos nas contas de energia elétrica. Uma vantagem dos coletores solares é que eles podem ser utilizados mesmo em lugares onde as condições de radiação são baixas (RIBEIRO, 2019; CIMATEC, 2018).

Figura 2. Coletor Solar térmico.

Fonte: Painéis Solares (2018).

Conforme Incropera (2008), a energia solar térmica tem como princípio de obtenção de energia o calor gerado pela radiação eletromagnética num coletor solar com circulação de fluido no seu interior, funcionando como trocador de calor e transferindo a energia absorvida para o fluido. Essas duas formas de utilização da energia solar também podem ser encontradas em um mesmo equipamento. Eles são chamados de painéis ou coletores híbridos porque incorporam duas funções num mesmo equipamento (MAKKI, 2015; RIBEIRO, 2019).

Figura 3. Sistema híbrido fotovoltaico e térmico.

Fonte: Portal Energia (2018).

Um dos problemas que favorecem a utilização desse sistema é a dissipação de energia para o ambiente. Num sistema fotovoltaico menos de 20 % da energia é convertida em eletricidade e todo o res-

tante em calor. Essa energia desperdiçada pode ser utilizada. Neste processo o fluxo de água no painel irá diminuir sua temperatura e manter sua eficiência e, ao mesmo tempo, a energia dissipada pelo painel fotovoltaico aquecerá a água (RIBEIRO, 2019).

Micro e mini geração na Bahia

Segundo Alstone (2015), a geração distribuída - GD pode ser definida como a geração de energia próxima aos consumidores com a inserção de excedentes na rede. Ela torna o consumidor independente e lhes concede benefícios econômicos, devido ao sistema de compensação de créditos que permite ao gerador trocar créditos com a concessionária.

A Bahia tem um potencial bastante alto de utilização de renováveis por GD, mas faltam políticas estaduais que impulsionem o setor.

A Tabela 1 mostra dados de irradiação de oito cidades de características e economias distintas, mas de grande importância no estado. Nela é possível identificar que a irradiação solar diária média nas cidades localizadas no oeste, região com economia baseada no agronegócio, consegue atingir valores nos meses de Junho bem próximos da média anual.

Tabela 1. Irradiação solar diária média

Cidade	Menor índice/mês (kWh/m ² .dia)	Maior índice/mês (kWh/m ² .dia)	Média Anual (kWh/m ² .dia)
Paulo Afonso	4,01/Jun	6,49/Nov	5,46
Salvador	3,75/Jun	6,39/Dez	5,25
Camaçari	3,78/Jun	6,37/Dez	5,21
Feira de Santana	3,61/ Jun	6,01/Dez	5,01
Lençóis	3,80/Jun	5,92/Fev	5,04
Luís Eduardo Magalhães	5,09/Jun	6,18/Set	5,62
Bom Jesus da Lapa	4,88/Jun	6,62/Jan	5,88
Porto Seguro	3,57/Jun	6,29/Fev	5,02

Fonte: Potencial Solar - SunData v 3.0 – (cresesb 2017).

Todavia, não se pode negar que a mini e micro geração solar também beneficia o setor industrial e comercial baiano. As cidades de Feira de Santana e Camaçari se encaixam perfeitamente nessas categorias por apresentarem, respectivamente, os maiores pólos comerciais e industriais da Bahia. Apesar de não apresentarem números tão elevados de irradiação, as cidades estão dentro da média apresentada pelas outras cidades anualmente.

Ambos os setores, comércio e indústria, consomem muita energia, mas o setor industrial tem o maior consumo energético, sendo o calor uma necessidade em diversas atividades e os custos elétricos responsáveis pelos maiores gastos financeiros destas indústrias (LENZ, 2016).

Segundo Vidal (2017), existem perspectivas positivas para o avanço da mini e micro geração distribuída para atender a demanda desses setores, sendo necessário aumentar o número de coletores solares em relação à utilização residencial, diminuindo o custo destas tecnologias, estimulando o setor de vendas e instalações de painéis e coletores solares, bem como fomentar a busca por capacitação e a geração de novos empregos. Devido à intermitência da fonte solar, podem ser utilizadas outras fontes renováveis, como eólica e biomassa, a fim de trazer mais segurança ao fornecimento de energia. E também diminuir a utilização das fontes fósseis, diversificando e promovendo segurança energética na matriz elétrica do estado. O autor afirma, por fim, que a mini e microgeração também funcionam como um fator de competitividade para estas empresas, devido aos clientes buscarem cada vez mais por empresas que estejam baseadas em processos mais sustentáveis.

Discussão e possibilidades

Um dos maiores impasses para os avanços da utilização da radiação solar como fonte de energia é o desenvolvimento de tecnologias que consigam aproveitar o máximo do potencial disponível, pois ainda há muitas perdas associadas.

Conforme verificado, a utilização da energia solar pode agrupar benefícios sociais, econômicos e ambientais a partir da aplicação deste recurso para geração própria energia. A Bahia apresenta um alto potencial de irradiação, sobretudo no oeste do estado, e ainda possui grandes jazidas de silício, material de suma importância para a fabricação de painéis fotovoltaicos, fatores que aliados favorecem o desenvolvimento e utilização das formas mais comuns de conversão de energia solar.

No entanto, o estado ainda possui pouca capacidade instalada de sistemas de mini e microgeração, este processo se dá em virtude dos custos do equipamento, dos projetos e da falta de incentivos estaduais que tornam esse investimento caro e inviável para pequenos sistemas. Tornando-se necessários maiores incentivos governamentais para que a mini e microgeração distribuída desenvolva um papel de geração eficiente de energia e, conseqüentemente, sejam capazes de atenuar à dependência dos combustíveis fósseis.

Referências

ALSTONE, Peter; GERSHENSON, Dimitry; KAMMEN, Daniel M. **Decentralized energy systems for clean electricity access**. Nature Climate Change, [s.l.], v. 5, n. 4, p.305-314, 25 mar. 2015. Week. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2512>.

CIMATEC, Senai. **Atlas Solar: Bahia**. Salvador: Senai Cimatec, 2018. 76 p. Elaborado por AWS Truepower, Camargo Schubert Engenheiros Associados, FIEB/SENAI CIMATEC. Disponível em: <http://www.senaicimatec.com.br/download/Atlas-Solar-Bahia-2018.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2015**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEle> Acesso em: 08 ago. 2019.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; BERGMAN, T. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KANNAN, Nadarajah; VAKEESAN, **Divagar. Solar energy for future world: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 62, p.1092-1105, set. 2016. Monthly. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>.

LENZ, Anderson Miguel. **Uso da energia solar para aquecimento de água e microgeração de eletricidade visando a sustentabilidade energética de uma residência unifamiliar rural**. 2016. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

MAKKI, Adham; OMER, Siddig; SABIR, Hisham. **Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 41, p.658-684, jan. 2015. Monthly. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.069>.

MARTINS, Jeovane Bet. **Estratégias e mecanismos econômicos para a inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica brasileira**. 2018. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018.

OLIVEIRA, Thiago Figueiredo de *et al.* **A matriz energética baiana e o potencial de aproveitamento solar e eólico na geração de energia elétrica no estado da Bahia**. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [s.l.], v.6, n.1, p.1-17, 24.abr.2018. Semestral.

RIBEIRO, Nadja Cardoso Campos. **Análise de sistema híbrido solar: Fotovoltaico e térmico**. 2016. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Universidade Federal da Bahia. <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v6i1.21711>.

VIDAL, Adriana Lopes. **Energia Solar no Brasil: Geração distribuída nos setores comercial e industrial**. 2017. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Estágio discente: em engenharia de energia

*Ítalo Ximenes Fraga
Luciano Sergio Hocevar*

Introdução

O ensino e o aprendizado da Engenharia trazem desafios constantes, quer sejam de natureza teórica, ao trazer para suas componentes curriculares os conceitos mais recentes, quer de natureza prática, que permitirão ao futuro engenheiro desempenhar com desenvoltura a sua profissão, de modo que a experiência de um estágio discente realizado em empresa de projeto de energia solar fotovoltaica pode ser ao mesmo tempo, desafiadora e promissora.

Entendemos que a formação acadêmica é um aspecto importante na construção do futuro profissional em engenharia, mas não é a sua formação completa, que necessita do amadurecimento da relação teoria-prática. O estágio é uma oportunidade dentro do ciclo acadêmico para colocar em prática o conhecimento teórico apreendido, além de abrir espaço para questionamentos da própria teoria e da melhor maneira de colocá-la em prática, que é a própria Engenharia em seu sentido mais amplo.

O Curso de Engenharia de Energias da UFRB valoriza e estimula a experiência do Estágio Curricular Supervisionado, contemplando-o em seu Projeto Pedagógico do Curso – PPC (UFRB PPC Engenharia de Energias, 2018). Neste sentido, todas as esferas de administração do Curso - Colegiado e Coordenação - buscam estreitar laços com empresas e entidades públicas, formatando convênios para que recebam nossos alunos para estágios e proporcionem-lhes uma experiência o mais próxima possível da realidade profissional.

O PPC do curso foi pensado de modo a permitir a que os graduados em Engenharia de Energias da UFRB sejam capazes de compreender os fundamentos da modalidade, possam aplicar o conhecimento adquirido para resolver problemas na produção, processamento, transporte, armazenamento, distribuição e utilização de energia, além de aprender a inovar e empreender, já que a energia é gerada, vendida, comprada e distribuída sob as mais variadas formas, constituindo-se um segmento umbilicalmente alinhado ao desenvolvimento econômico do país.

Para o caso específico da geração de eletricidade a partir de energia solar fotovoltaica – ESFV, objeto de interesse do estudante autor deste capítulo, a Geração Distribuída – GD, permite que qualquer consumidor possa gerar até a totalidade de sua demanda energética. E é nesta região que este trabalho transita: a experiência de estágio e a geração de energia solar fotovoltaica – ESFV.

Abordaremos a questão do estágio tanto pelos aspectos teóricos relacionados aos conceitos de estágio e mercado de trabalho para engenharia de energia utilizando as tecnologias para geração de ESFV, tanto pelo relato de uma experiência prática de estágio e seu significado para o discente.

De acordo com Pelizzari (PELIZZARI *et al.*, 2002), para que uma aprendizagem seja significativa para o estudante, duas condições são necessárias: é preciso ter disposição para aprender e o conteúdo deve ser significado. A primeira condição, subjetiva, depende do sujeito e não do objeto de estudo; mas a segunda, pode ser definida pela instituição de ensino, isoladamente, em conjunto com outras instituições ou por meio de parcerias com empresas e órgãos fomentadores, como é o caso dos estágios.

Desta forma, ao propor desafios aos seus alunos sob a forma de práticas num ambiente que simula a realidade profissional, a UFRB quer estimular o estudante a fortalecer sua disposição para aprender e, ao mesmo tempo, trazer novos conteúdos, carregados de valor.

Segundo Tonini (2007), estimular o exercício de atividades complementares ao currículo acadêmico é uma das maneiras de promover a formação integral, potencializando conexões entre discentes e sociedade o que, indiscutivelmente, também pode ser alcançado por meio do estágio.

O próprio Conselho Nacional de Educação - CNE, por meio das novas Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia - DCN, define em seu artigo 6º que os cursos de Graduação em Engenharia devem “... *possuir Projeto Pedagógico do Curso (PPC) que contemple o conjunto das atividades de aprendizagem e assegure o desenvolvimento das competências, estabelecidas no perfil do egresso*”.

Segundo o mesmo artigo, em seu inciso VI, o PPC deve “especificar e descrever claramente o Estágio Curricular Supervisionado, como componente curricular obrigatório”.

No Art. 10 da mesma Resolução é dito que “As atividades complementares, sejam elas realizadas dentro ou fora do ambiente escolar, devem contribuir efetivamente para o desenvolvimento das competências previstas para o egresso”, para, no Art. 11 estabelecer que “A formação do engenheiro inclui, como etapa integrante da graduação, as práticas reais, entre as quais o estágio curricular obrigatório sob supervisão direta do curso” (BRASIL, 2019).

Estágio de engenharia de energias/UFRB

Do ponto de vista do curso, o Estágio Curricular Supervisionado é conteúdo obrigatório, com carga horária mínima de 160 horas, sendo regulamentado pela Lei 11.788/2008 (“Lei de Estágio”), pelo Regulamento de Estágio em Engenharia de Energias da UFRB, pela Resolução CONAC 005/2019 e pelos regimentos da UFRB.

De acordo com a Lei 11.788 / 2008 (BRASIL, 2008), em seu artigo 1º, o estágio é:

[...] ato educativo escolar supervisionado, desenvolvido no ambiente de trabalho, que visa à preparação para o trabalho produtivo de educandos que estejam frequentando o ensino regular em instituições de educação superior, de educação profissional, de ensino médio, da educação especial e dos anos finais do ensino fundamental, na modalidade profissional da educação de jovens e adultos.

E Também que o estágio [...] “visa ao aprendizado de competências próprias da atividade profissional e à contextualização curricular, objetivando o desenvolvimento do educando para a vida cidadã e para o trabalho”.

Assim, pretende-se que a formação do estudante seja mais ampla do que a promovida em currículos tradicionais, incluindo conhecimentos que possam permitir ao futuro profissional transitar além das questões estritamente técnicas, mas também àquelas que trazem interfaces política, cultural, econômica e social, já que a tecnologia é para ser utilizada e usufruída pela sociedade e pelos cidadãos.

É valorizado o aprendizado do estudante sobre relações de trabalho, em ambiente mais próximo daquele que encontrarão ao graduarem-se, e o estágio é uma oportunidade que permite este aprendizado, desenvolvendo competências técnicas e comportamentais que transcendem o limite físico da sala de aula e ao colocá-lo ao alcance do estudante, o professor amplia as fontes de informação e conhecimento à disposição do aluno, passando a atuar como um supervisor de estágio ou orientador, no sentido amplo do conceito (ARRUDA *et al.*, 2017).

A energia solar fotovoltaica

O que é a energia solar? Trata-se de todas as formas de energia que vem da luz e do calor do sol, as quais podem ser aproveita-

das por meio de diferentes tecnologias e para diferentes finalidades, como a geração elétrica através das placas solares fotovoltaicas.

O desenvolvimento da sociedade humana conecta-se ao uso de energia e, entre as diversas fontes disponíveis, nenhuma oferece tanto potencial ou é tão abundante quanto a solar.

Por muito tempo, nossa sociedade ficou dependente de fontes de energia poluentes, em parte devido à falta de tecnologias que oferecessem, para as energias renováveis, as mesmas quantidades de energia que os combustíveis fósseis.

No entanto, as fontes de combustíveis fósseis estão acabando e, além do imenso impacto ambiental causado por essas fontes de energia, hoje as fontes renováveis não são mais uma alternativa, mas sim uma prioridade.

Por esse motivo é importante conhecer a energia solar e como será o mercado de trabalho com essa nova fonte de energia.

A energia solar é produzida pelas reações nucleares que acontecem a grandes profundidades no interior do sol.

Numa dessas reações átomos de H_2 se combinam, formam átomos de He e liberam energia. Esta energia viaja do interior do sol até a sua superfície (chamada de fotosfera), e daí se irradia em todas as direções, razão pela qual nem toda sua energia chega até nós.

Essa energia irradiada chega à Terra vinda do espaço através das partículas de energia chamadas de fótons. Os fótons se deslocam a uma velocidade de 300.000 km/s e demoram cerca de 8 minutos para chegar à Terra, que está a aproximadamente 150 milhões de quilômetros do Sol.

A energia solar que chega à Terra em um ano é muito maior que o consumo humano de energia no mesmo período. Infelizmente, todo esse potencial não é aproveitado.

Existem tecnologias que são capazes de captar a energia do sol para transformar em energia elétrica que são arquitetura bioclimática, energia solar térmica, energia solar heliotérmica, energia solar

fotovoltaica. Entre todas essas tecnologias, a mais acessível para qualquer consumidor é a energia fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica (ESFV) ou energia solar, simplesmente, tem as suas vantagens e desvantagens para sua utilização em residências e empresas.

Análise de mercado para a ESFV

A ESFV vive um momento bastante particular e positivo na história recente do país, com crescimento exponencial do setor nos últimos anos, geração de empregos, inovação tecnológica e desenvolvimento.

A Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD) estima que mais de 17 mil empresas já atuam no segmento, incluindo fabricantes, distribuidores e instaladores. Segundo levantamento do Portal Solar cerca de 6 mil postos de trabalho foram gerados nos últimos 12 meses pelas empresas que atuam nas áreas de equipamentos e serviços para a geração distribuída. Estima-se que as companhias empregam atualmente 20 mil profissionais, com investimentos acumulados que ultrapassam R\$ 20 bilhões.

Outro dado que chama a atenção é que a renda média familiar das pessoas interessadas em gerar a própria energia a partir da fonte fotovoltaica é de R\$ 2.857,00 (Classe C).

A pesquisa mostra ainda que 30 % dos consumidores são empresários, 25 % assalariados, 22 % autônomos ou profissionais liberais, 16 % funcionários públicos e 8 % aposentados ou pensionistas. Do total, 75 % dos sistemas são residenciais e apenas 25 % instalados em comércios e indústrias.

No *ranking* dos estados consumidores, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais lideram o nível de interesse por geradores solares, como pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 1. *Ranking* dos estados com maior interesse pela energia solar:

Estados	Interesse pela energia solar
São Paulo	23,23 %
Minas Gerais	11,83 %
Rio de Janeiro	11,13 %
Rio Grande do Sul	6,99 %
Paraná	6,28 %
Bahia	5,10 %
Santa Catarina	4,34 %
Ceará	4,16 %
Pernambuco	3,22 %
Goiás	3,40 %
Outros estados	20,32 %
TOTAL	100,00 %

Fonte: Portal Solar (2020).

As vantagens da ESFV para uso residencial e comercial incluem:

a) Rápido retorno do investimento

A aquisição de um sistema de energia solar representa um investimento que volta ao cliente na forma da economia de até 95% obtida na conta de energia elétrica, com *payback* entre 3 a 6 anos, dependendo da região do país onde será instalada.

b) Longa vida útil da tecnologia

Os equipamentos dos sistemas fotovoltaicos possuem vida útil de geração de, ao menos, 25 anos para os módulos e de 15 ou mais para os inversores, prazo muito acima do *payback*.

c) Pouca manutenção

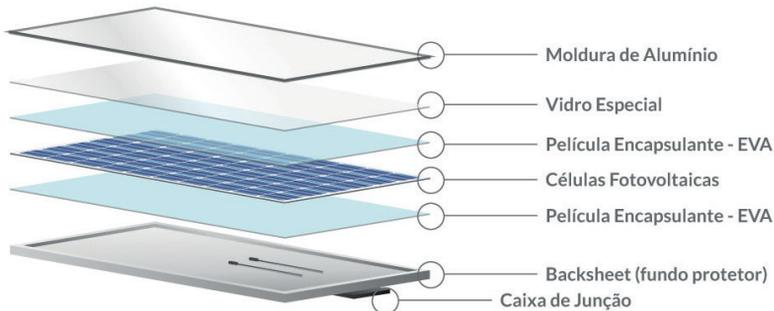
Os sistemas fotovoltaicos demandam pouca manutenção, quase restrita à limpeza dos módulos, especialmente em lugares muito secos

e com acúmulo de poeira, como Feira de Santana. Nas instalações em lugares chuvosos esta limpeza é menos necessária porque a própria chuva se encarrega de fazer a limpeza dos módulos. A manutenção elétrica também é necessária, porém feita apenas uma ou duas vezes por ano, e garante a longa vida útil do sistema.

d) Resistência a intempéries

Por ficarem expostas sobre os telhados e sujeitas as condições climáticas, as placas solares são fabricadas com as mais altas medidas de segurança. Veja sua composição na imagem abaixo:

Figura 1. Composição de uma placa solar.



Fonte: BLOG BLUESOL (2020).

e) Rápida instalação

A instalação do sistema é a parte mais rápida de todo processo, cujo prazo médio nas instalações residenciais é de 2 a 3 dias. Desde a visita inicial à empresa de energia solar até ter o sistema instalado, são 8 simples passos que o consumidor leva para se tornar um “prosumidor”, como são conhecidos aqueles que produzem a sua energia.

f) Geração silenciosa

A geração de energia pela tecnologia solar fotovoltaica é totalmente silenciosa, isso porque utiliza o processo fotovoltaico e não mecânico, para gerar energia elétrica, que ocorre silenciosamente dentro de cada uma das células que compõem o módulo.

g) Imunidade contra a inflação energética

Por último, o melhor: instalar um sistema fotovoltaico, além de um investimento com alto retorno, é ficar protegido contra a inflação energética que assombra o bolso dos brasileiros.

Devido ao fato de como está estruturado o setor elétrico do Brasil, fora os acontecimentos recentes que criaram dívidas a serem pagas por nós, consumidores, o preço da energia continuará subindo.

A empresa e o estágio realizado

Na cidade de Feira de Santana, estado da Bahia, várias empresas trabalham com projetos de ESFV e dentre elas a empresa que chamaremos “Empresa A”, é a empresa no qual eu fiz o meu primeiro estágio como estudante de engenharia de energia da UFRB.

A “Empresa A” é especializada em serviços de engenharia elétrica, treinamentos e projetos que aliam tecnologia e qualidade ao oferecer as mais diversas soluções para os setores público e privado englobando as áreas industrial, predial e residencial.

Além de atender o segmento de geração de ESFV, iluminação pública, telecomunicações, instalações e manutenções elétricas, dentre outros, a “Empresa A”, possui um *mix* de produtos e serviços alinhados às tendências do mercado internacional, disponibilizando a rodovias, indústrias, prefeituras, condomínios, shoppings e supermercados, soluções com o máximo de desempenho, qualidade e segurança quanto às vertentes de soluções elétricas.

Considero que este estágio na “Empresa A” me deu uma experiência que não tive nas aulas na universidade, que foi a de trabalhar dentro de uma empresa, dentro da realidade do mercado de trabalho.

No estágio, utilizando o *software* PVSOL[®], eu desenvolvi a capacidade de elaborar orçamentos de sistemas fotovoltaicos e simular sistemas fotovoltaicos para que o cliente tenha uma noção de como ficará na sua residência e qual o efeito na sua conta de energia elétrica depois que o sistema for instalado.

Também participei de um curso de Projetista e Instalador de Sistemas Fotovoltaicos *On-grid* e *Off-grid*, com carga horária de 20 horas. Esse curso me serviu de base para exercer as atividades com segurança e independência.

O *software* PVSOL[®], desenvolvido pela empresa alemã Valentin Software GmbH, é um dos *software* utilizados para simulação de sistemas de energia solar fotovoltaica.

O projetista, ao utilizar o PVSOL[®], tem à sua disposição ferramentas necessárias para a elaboração técnica e comercial do projeto de ESFV, desde o levantamento de dados até a instalação do sistema e legalização na concessionária.

O projeto utiliza georreferenciamento, imagens de satélite e simulação de sombras projetadas por prédios, vegetação ou relevo para definir a configuração e dimensionamento das placas, a fim de obter o melhor rendimento na geração de energia.

A “Empresa A”, onde realizei o meu estágio, é uma empresa fundada em fevereiro de 2016, com atividade principal definida pelo CNAE 42.21-9-03 - Manutenção de redes de distribuição de energia elétrica, com aproximadamente dez colaboradores contratados, além de outros terceirizados. Em novembro de 2018 firmou convênio com a UFRB para Cooperação Técnica e Científica, incluindo estágios.

Relato sobre o estágio

A “Empresa A” presta serviços de projeto, instalação (terceirizada), intermediação de compra de produtos e de financiamento de equipamentos.

A prestação dos serviços obedecia à seguinte sequência:

- a) O setor comercial captava o cliente que tinha interesse em adquirir um projeto e manifestava essa intenção por meio do site da empresa, redes sociais ou rede de contatos;
- b) Em seguida, um orçamento era solicitado ao setor de projetos, que utilizava planilhas pré-formatadas para executá-lo;
- c) O orçamento era, então, enviado ao cliente
- d) Quando o orçamento fosse aprovado pelo cliente, era encaminhado ao setor comercial para assinatura de contrato e pagamento, e reencaminhado ao setor de projetos;
- e) Uma visita técnica era realizada para tomada de dados com o auxílio de um drone;
- f) O projeto era confeccionado, materiais comprados e instalação executada.
- g) Como estudante de engenharia eu atuava no setor de orçamento e projetos.
- h) Muitas vezes auxiliava o setor comercial também para esclarecer dúvidas técnicas.

Ressalto a importância que a capacitação para utilizar o software PVSOL® e também a qualificação obtida por meio do curso de Projetista e Instalador de Sistemas Fotovoltaicos *On-grid* e *Off-grid*, tiveram para que eu pudesse exercer as atividades com segurança e independência.

Essas atividades eram, em linhas gerais:

- a) Orçamento: a atividade iniciava com a coleta de dados do cliente (quantidade de energia consumida por mês no último ano; valor pago pelo cliente por kwh consumido e a localização do seu empreendimento) e tabulação em planilhas pré-formatadas. Em seguida o orçamento era feito com auxílio de software específico - PVSOL® – no qual os dados da planilha geravam um modelo 3D replicando as dimensões e condições reais da instalação do sistema e do empreendimento;
- b) Projeto: consistia em utilizar os dados de orçamento para dimensionar o sistema e confeccionar as plantas que depois serviriam para o responsável preencher a documentação de envio à concessionária - COELBA - e acompanhar a compra dos componentes do sistema;
- c) Visita Técnica: acompanhado de um engenheiro eletricista, visitava-se o local de implantação da usina com o objetivo de avaliar: ligação elétrica, estrutura do telhado e medidas do local de implantação. Também se tiravam fotos do local de implantação utilizando um drone.

Também ajudei a organização de pastas de projetos na nuvem, que não existia ou era muito pouco utilizada.

Ainda como exemplo das atividades realizadas, posso relatar os seguintes casos reais:

O orçamento do Condomínio “A” foi feito da seguinte maneira: eu abri a planilha de Excel e a conta de energia do cliente, preenchi a aba home da planilha com informações da conta do cliente e informações do projeto. Com esses dados a aba mini orçamento vai sendo preenchida automaticamente através das funções de fórmulas do Excel um espaço onde coloca as informações sobre o cliente, que são o consumo mensal da conta de energia, a cidade que o cliente mora, o tipo de instalação do sistema fotovoltaico, ou seja, se vai ser

bifásico ou trifásico, o mês da conta, a tarifa da conta, o valor da conta, a classificação do cliente se é grupo A ou grupo B de consumo, o tipo de fixação que é o tipo de telhado (cerâmico, laje ou metálico), o sombreamento do sistema e a orientação espacial em relação às coordenadas norte, sul, leste ou oeste.

Também são inseridas na planilha as informações como nome do projeto, o número do orçamento para fins de organização da “Empresa A”, quem representando a empresa entrou em contato com o cliente, a proposta que é o estudo inicial, o valor por kWp (quilo watts pico), o valor de entrada no Banco Financiador S que é a porcentagem do valor do investimento para dar entrada no banco, o valor em porcentagem mensal das parcelas do Banco Financiador A, o valor de entrada no Banco Financiador B, o valor de financiamento por ano do Banco Financiador B, o custo operacional, o valor da inflação em porcentagem, potência do módulo que é a placa solar, o tamanho do módulo.

Também é informado o nome da empresa, o endereço da empresa, nome da pessoa de contato, telefone e e-mail, se o cliente for uma empresa credenciada.

As informações mensais da radiação solar da cidade do cliente onde vai ser instalado o sistema, também alimentam o banco de dados do projeto e são obtidas pelo site do CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2020).

Em todos os orçamentos as informações são padronizadas, ou seja, tem informações que tem que ter em todos os orçamentos independentes de qual seja o tipo de cliente, então é mais fácil, mais rápido e mais automatizado fazer o orçamento no Excel em vez de fazer, por exemplo, no Word. Foi a sugestão que eu dei.

No orçamento do “Empreendimento B” foi feito usando a planilha nova da “Empresa A” da seguinte maneira, eu abri a planilha de

Excel e a conta de energia do cliente, na planilha tem as abas conta de energia, home e a orçamento, na aba conta de energia tem uma tabela para o grupo B onde eu coloco a energia em kWp consumida mês a mês na primeira coluna, se o sistema for feito para mais de uma conta do mesmo cliente, coloca a energia consumida das outras contas nas outras colunas. Na tabela do grupo A de consumo eu coloco barras vermelhas do Excel no mesmo tamanho de cada barra da tabela de consumo ativo fora da ponta e do consumo ativo ponta, para que seja preenchido automaticamente na tabela do Excel o consumo mês a mês do grupo A.

Na aba *home* tem que colocar as seguintes informações, número da proposta para fins de organização da “Empresa A”, conta contrato, nome do projeto que é o nome do cliente, o contato que é a pessoa da “Empresa A” no qual o cliente entrou em contato, a proposta que é o tipo de cliente se é grupo A ou grupo B, a conta para colocar se o cliente tinha a conta de energia ou não, o nome da concessionária de energia, o tipo de cliente, o número de unidades, ou seja, a quantidade de contas de energia que estão sendo usadas para elaborar o orçamento, o consumo mínimo que é a energia elétrica mínima que var ser consumida de acordo com o padrão de entrada do cliente , ou seja, se é monofásico, bifásico ou trifásico, a cidade onde o cliente mora, a demanda atual, demanda ultrapassada, demanda tarifa e demanda futura todas essas demandas são para o grupo A, depois tem uma tabela onde no primeira coluna coloca o número da conta contrato de todas as contas, na segunda coluna coloca a somatória do consumo de cada conta que está na aba conta de energia, na terceira coluna coloca a tarifa de cada conta e na última coluna colocar o valor da última conta, ou seja, o valor que o cliente pagou na sua conta de energia mais recente, na parte de energia solar colocar as seguintes informações sobre o sistema que será instalado, o tipo de fixação que

é o tipo de telhado, a potência do módulo, fator de dimensionamento que é 5% para qualquer tipo de cliente, potência do gerador fotovoltaico que é preenchido automaticamente pelo Excel com base nas informações da conta de energia e da potência do módulo, o valor do sistema que é o valor a ser pago pelo cliente para instalar o sistema, informações do Banco Financiador B, que são recursos próprios do Banco Financiador B, carência estipulada pelo banco Financiador B, tempo de financiamento em anos do Banco Financiador S e do Financiador B e o valor mensal em porcentagem da parcela.

Na aba orçamento ficam as informações que serão imprimidas e mostradas para o cliente: informações do cliente, informações da empresa, alguns projetos já executados pela “Empresa A” para o cliente conhecer um pouco sobre a “Empresa A”, um pouco de informação sobre o que é um sistema solar, tem uma tabela que mostra o consumo mensal e anual de energia do cliente, resultado da simulação que é preenchido automaticamente pelo Excel com as informações do consumo do cliente e com informações e formulas calculadas pelo PVSOL[®] que são potência do gerador fotovoltaico, energia do gerador anual, energia do gerador mensal, economia potencial anual, economia potencial mensal, emissões de CO₂ evitadas, uma tabela comparando a energia gerado pelo sistema com o consumo e o balanço de produção, mostra a garantia dos módulos, inversores e da estrutura do sistema, o layout de instalação que é a área projetada que o sistema vai ocupar, a quantidade de módulos e a potência dos módulos, informações sobre o monitoramento da geração do sistema que o cliente pode fazer, uma projeção da conta de energia em até 25 anos que mostra o valor que o cliente vai pagar para concessionária ao longo de 25 anos sem ter o sistema instalado, mostra as vantagens de investir no sistema que é a economia no primeiro mês, valorização do imóvel, baixa manutenção anual, sem aumento de tarifa e a sus-

tentabilidade, o valor de investimento para implantação do sistema *on-grid*, as mesmas informações sobre os Bancos Financiadores B e S que tem na planilha antiga, o ROI que é o Retorno Sobre o Investimento de cada banco, um gráfico do fluxo de caixa que é o valor líquido em real ao longo de 25 anos e um gráfico comparativo do aumento da conta de energia e a parcela do financiamento de cada banco.

Em cada um destes orçamentos o problema foi o mesmo que é a economia na conta de energia e com a implantação do sistema solar os dois clientes têm uma redução de até 90% na conta de energia, mas por que não reduz 100% na conta? Porque o cliente ainda vai ter que pagar um valor mínimo para concessionária correspondente ao seu padrão de entrada se é monofásico, bifásico ou trifásico.

Considerações finais

Estágios são experiências fundamentais para a evolução de um estudante universitário, pois enriquecem o currículo, abrem portas para novas oportunidades para ter um futuro de sucesso.

É por meio do estágio que o estudante universitário tem a oportunidade de vivenciar os conteúdos teóricos aprendidos na sala de aula em uma situação prática, com o acompanhamento de um profissional qualificado. Apesar de ser importante ter muito conhecimento teórico é interessante aprender a transformar a teoria em prática, o que nem sempre é possível durante as aulas.

As situações do cotidiano empresarial ensinam lições importantes e que serão levadas por toda a carreira.

Enquanto você está na faculdade, não é muito fácil fazer contato com profissionais do mercado de trabalho. Porém, durante o período como estagiário é possível se relacionar com muitas pessoas da sua área de atuação, tanto na empresa em que você está quanto em outros locais.

Isso é muito importante para o futuro na profissão, pois é uma maneira de se tornar conhecido no mercado e aumentar as possibilidades de contratação depois de formado.

Referências

ABGD - Associação Brasileira de Geração Distribuída. Disponível em: <https://canalenergia.com.br/noticias/53099150/brasil-alcanca-10-mil-empresas-que-atuam-em-energia-solar> Acesso em 03/08/2020.

ABGD - Associação Brasileira de Geração Distribuída. **Energia solar "bomba" no Brasil atrai grandes empresas chinesas e startups.** In: Revista Época. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2020/02/epoca-negocios-especial-energia-solar-bomba-no-brasil-e-atrai-de-gigantes-chinesas-a-startups.html>. Acesso em 03/08/2020.

ARRUDA, M. P.; ARRUDA, R. P.; STEFENON, S. F. **Metodologias Ativas para Promover Autonomia:** Reflexões de Professores do Ensino Superior. ESPACIOS. v.38, p.2-15, 2017.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **O Que É Energia Solar? Menos de 5 Minutos Para Você Aprender Tudo Sobre a Tecnologia.** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/o-que-e-energia-solar>. Acesso em 27/05/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. CNE/CES. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia.** Brasília, 2019. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=112681-rces002-19&category_slug=abril-2019-pdf&Itemid=30192. Acesso em 31/05/2020.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei 11.788 de 25 de Setembro de 2008 que Dispõe sobre o estágio de estudantes.** Brasília, 25/09/2008.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em 08/08/2020.

PELIZZARI, A. **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel**. Revista PEC, Curitiba, v.2, n.1, p. 37-42, jul. 2001 – jul. 2002.

PORTAL SOLAR. Disponível em: [https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-atinge-7-mil-empresas-de-energia-solar-e-geracao-distribuida.html#:~:text=Segundo%20levantamento%2C%20a%20renda%20m%C3%A9dia,%2C00%20\(Classe%20C\)](https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-atinge-7-mil-empresas-de-energia-solar-e-geracao-distribuida.html#:~:text=Segundo%20levantamento%2C%20a%20renda%20m%C3%A9dia,%2C00%20(Classe%20C)). Acesso em 03/08/2020.

TONINI, A. M. **Ensino de Engenharia: Atividades Acadêmicas Complementares na Formação do Engenheiro**. 2007. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2007.

UFRB, PPC 2018. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**. Disponível em <https://www.ufrb.edu.br/cetens/documentos/category/49-bacharelado-em-engenharia-de-energias>. Acesso em 27/07/2020.

Energia eólica

*Bárbara Gomes Pereira
Carine Tondo Alves*

Introdução

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) fazem parte da agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em 2015, composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030.

O ODS 7 - Energia Acessível e Limpa, especificamente, tem como objetivo assegurar acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível de energia para todos. Para os próximos anos, a tendência é que a energia passe por um processo de diminuição de custos, em virtude dos avanços tecnológicos principalmente no setor das energias renováveis (ONU, 2015).

A segurança energética é um dos principais objetivos dos países que têm buscado diversificar suas matrizes energéticas. De acordo com Chand (2019), interrupções no fornecimento de energia, podem causar sérios problemas financeiros e perdas econômicas. Assim, a tendência mundial é uma diversificação para aumentar cada vez mais a participação da matriz energética limpa e renovável, para garantir estabilidade no setor energético. Pesquisadores, especialistas, governos, ONGs e grandes empresas do setor de energia concordam que essa revolução energética será caracterizada pela expansão das fontes eólica e solar, principalmente.

A energia, fundamental para desenvolvimento de diversos setores e economias dos países em desenvolvimento, é o propulsor do crescimento industrial de qualquer país e, independente da fonte uti-

lizada, seu papel no crescimento macroeconômico, não pode ser negado. A energia atua como a espinha dorsal da era industrial, pois é necessária para converter matérias-primas em bens e serviços úteis (MAQBOOL e MALIK, 2017).

De acordo com Maqbool e Malik (2017), há uma forte relação entre a quantidade de energia que uma nação usa e o tamanho de sua economia, ou seja, a quantidade de riqueza que produz. Grandes economias, como a americana, a chinesa e a japonesa, consomem consideravelmente muito mais energia do que economias menores. O uso de energia também pode ser relacionado ao padrão de vida das pessoas num país e, conseqüentemente, aumentando o uso de energia de um país, aos padrões de vida de seu povo podem ser melhorados.

Diante da importância deste setor, as tradicionais fontes hidrelétricas e térmicas continuarão fundamentais para fornecer flexibilidade e segurança ao suprimento elétrico no Brasil. Mundialmente, os combustíveis fósseis ainda se apresentaram como protagonistas neste setor, mesmo diante da evidencia de que sua queima acarreta em emissões de gases de efeito estufa, que provocam mudanças drásticas no clima da terra (SILVA e VIEIRA, 2016).

Diante do exposto, evidencia-se a necessidade de atender à necessidades da economia e proteger o meio ambiente é um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a fonte renovável que mais tem despontado capacidade de conciliar as metas dos ODS, diversificar a matriz energética mundial, atender as demandas econômicas dos países em desenvolvimento com capacidade instalada verificada e, auxiliar na manutenção da segurança energética desses países, é a fonte eólica.

Dessa forma, apresentamos neste capítulo as relações existentes entre mudanças climáticas e a geração de energia eólica no Brasil, sob a perspectiva do desenvolvimento do sustentável, desta-

cando também, os possíveis impactos ambientais gerados pela produção eólica no país.

Desenvolvimento sustentável

A energia é um fator essencial para o desenvolvimento humano. Há séculos que o homem tem buscado formas de suprir suas necessidades através de maneiras alternativas de produzi-la. Com o surgimento de novas tecnologias, o consumo energético tende a aumentar a cada ano e, os atuais meios de geração têm causado alterações de grandes dimensões na estrutura do planeta (FREITAS *et al.*, 2015).

Silveira (2017), afirma que o aumento no consumo de energia é um problema, pois os combustíveis fósseis são a base da produção e do consumo de energia, contudo, também dos modelos atuais de produção de bens e serviços, o que coloca o suprimento da energia a longo prazo, em perigo. A sustentabilidade terá importância significativa nesse processo de crescimento no consumo, indicando os caminhos que os negócios, as indústrias e a produção devem seguir no futuro. Para que isso aconteça, o assunto deve ser compreendido e levado a sério. Pensar na sustentabilidade a longo prazo, é pensar na capacidade de que as gerações futuras tenham de se manter e prover, e que será posta em risco se não houver desenvolvimento sustentável agora.

O fato é que não existe desenvolvimento sem a utilização de energia. Contudo, para que se possa garantir um desenvolvimento que pautar a sustentabilidade, torna-se necessário estabelecer uma cultura e uma consciência ecológica, tanto na sociedade como nas organizações. De acordo com Silveira (2017), com uma cultura sustentável devidamente estabelecida na sociedade, as organizações irão se adequar de forma mais fácil a este processo. Sendo assim, capazes de estimular a relação entre inovação e sustentabilidade e contribuir para

o desenvolvimento de formas mais limpas de produção e consumo, sempre na tentativa de aperfeiçoar o uso dos recursos ambientais.

A maior desvantagem debatida, atualmente, pelo uso de energia é o impacto que a energia tem sobre o meio ambiente. Entretanto, a disponibilidade de energia tem um impacto direto em questões como a pobreza, as oportunidades de emprego, a educação, a poluição interna e a saúde pública. Além disso, podem trazer problemas relacionados a questões de gênero e idade. Um dos parâmetros mais importantes do sucesso de um país é a disponibilidade de recursos limpos, seguros, confiáveis e energia acessível ao seu povo (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

Após a assinatura do Protocolo de Quioto, aumentou a procura por fontes alternativas de energia que, ao mesmo tempo, gerassem menor impacto ambiental, pudessem atender às necessidades da economia, melhorar o acesso universal à energia e que fossem capazes de sanar os problemas como a poluição. É importante ressaltar os impactos positivos das fontes renováveis em diversas áreas (BILGEN e SARDKAYA, 2018).

Bilgen e Sardkaya (2018) salientam que os planos para inserção da energia renovável se diferenciam em cada país, de acordo com os recursos disponíveis e sua capacidade instalada, contudo, de modo geral incluem a utilização de energia eólica, energia geotérmica, energia solar (ou fotovoltaica) e térmica, hidroeletricidade, biomassa e biogás. Segundo os autores, a energia eólica se destaca como uma das alternativas de maior potencial competitivo e promissor nessa dinâmica de inovações tecnológicas, ao ramo da produção energética.

Ainda conforme Bilgen e Sardkaya (2018), no desenvolvimento sustentável, as fontes renováveis criam pouco ou nenhum resíduo a ser emitido no meio ambiente. No entanto, todo o uso de recursos

leva a algum grau de problema ambiental e as limitações impostas ao desenvolvimento sustentável pelas emissões ambientais podem ser, em parte, superadas incentivando maior eficiência. De acordo com os autores, a conservação de energia correlaciona-se inteiramente com o conceito de eficiência, especialmente em uma economia de crescimento, pois visa mudar o comportamento das pessoas para utilizar a energia de maneira mais eficiente.

A conservação de energia aumenta a eficiência energética e pode ser a opção mais econômica e confiável, se aplicada corretamente. Ela inclui o desenvolvimento de eficiência energética, e a formulação de políticas de preços, boas práticas industriais e boas estratégias de gerenciamento. Sendo assim, absolutamente útil para o meio ambiente, visto que uma unidade de energia não consumida equivale a uma unidade de recursos economizados e uma unidade de poluição não produzida (BILGEN e SARDKAYA, 2018).

Por fim, a eficiência energética mostra-se como a porta de entrada para um modelo sustentável, ela deve se tornar uma prática comum e diária em toda e qualquer atividade que utilize energia. A humanidade adapta-se ao meio no qual está inserida, porém, ainda precisa aprender a se adaptar à métodos de produção mais eficazes e eficientes. Entretanto, é importante salientar que mudanças comportamentais podem ser realizadas por pouco ou nenhum custo atrelado. O kWh mais barato será sempre aquele que não for utilizado (SILVEIRA, 2017).

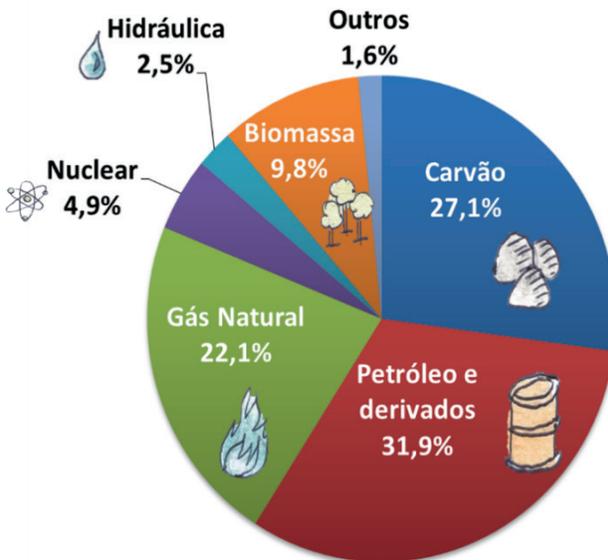
Fontes renováveis

Segundo Ribeiro (2019), a forma como a energia é produzida está na origem de muitos problemas ambientais atuais. Ao todo, o mundo produz 13,790 MTep por ano (International Energy Agency, 2015) ou seja, mais de 160,377 TWh. Para termos uma ideia, São

Paulo, a oitava cidade mais populosa do mundo, consome cerca de 27 TWh por ano. É muita energia ao nosso alcance e, ainda assim, temos 1.1 bilhão de pessoas vivendo sem energia, a maioria na África e no sudeste da Ásia (RIBEIRO, 2019).

Um dos maiores problemas em torno dessa produção energética é que a maior parte é obtida de fontes consideradas poluentes: 62 % da geração tem como base o carvão e o petróleo, como mostra a Figura 1. Os custos desta energia, variáveis, dependem da capacidade instalada, da estrutura de distribuição e das tarifas de cada país (RIBEIRO, 2019).

Figura 18 - Matriz Energética Mundial em 2016.



Fonte: Internacional Energy Outlook-IEA (2018).

Nas últimas décadas, os países têm se organizado de forma a buscar medidas para promoção de um desenvolvimento econômico e energético alinhado com questões climáticas e ambientais. Em 1999, foi sancionado o protocolo de Quioto, com o objetivo de desenvolver

medidas capazes de diminuir as emissões de gases do efeito estufa e, combater o aquecimento global. Em 2015, durante a COP21, foi firmado o Acordo de Paris, que renovou os esforços anteriores e determinou objetivos mais agressivos no sentido de limitar o aquecimento global para menos de 2 °C, com esforços concretos para ficar no limite de 1,5 °C (RIBEIRO, 2019).

Assim, a dependência do petróleo e a não disponibilidade de outros recursos naturais para geração de energia, aliadas com as metas firmadas no protocolo de Quioto e no acordo de Paris, fizeram os países signatários investirem em fontes de energia renováveis, principalmente no setor eólico, para garantir o suprimento e reduzir a dependência do petróleo (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

De acordo com Azevedo, Nascimento e Schram (2017), as fontes energéticas não renováveis são assim definidas, devido à finitude de suas reservas, ou seja, elas são fontes energéticas que possuem reservas limitadas. O tempo para recuperação ou renovação desta reserva é de longo prazo, cerca de milhares de anos, comparando com o seu consumo. Um exemplo destas fontes são o carvão mineral, o petróleo e o gás natural.

Já as fontes renováveis são assim designadas devido a capacidade de regeneração em curto prazo, ou ainda, que não se esgotem, como a energia proveniente dos ventos, dos mares, do sol, entre outras. Essas fontes de energia se tornaram a principal estratégia para a mitigação global dos gases do efeito estufa (GEE), devido à participação do setor energético nas emissões globais.

Apesar de projeções positivas como a da IEA (2018) que afirma que até 2040 a produção de energia eólica chegue a 8 300 TWh e a de energia solar fotovoltaica a 7 200 TWh, superando a produção de energia hidrelétrica (6 950 TWh). Ao mesmo tempo, afirma que a parcela de calor proveniente de fontes renováveis deve aumentar

para 30% do total ou 1.200 Mtep, seu aproveitamento ainda não é satisfatório, visto que a maior parte da energia utilizada no planeta ainda é de origem não renovável. Mesmo com a utilização das fontes fósseis, as renováveis terão participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas próximas décadas, sem pressupor o abandono imediato dos recursos tradicionais e, sem subestimar a capacidade das renováveis (AZEVEDO, NASCIMENTO e SCHRAM, 2017; FREITAS *et al.*, 2015).

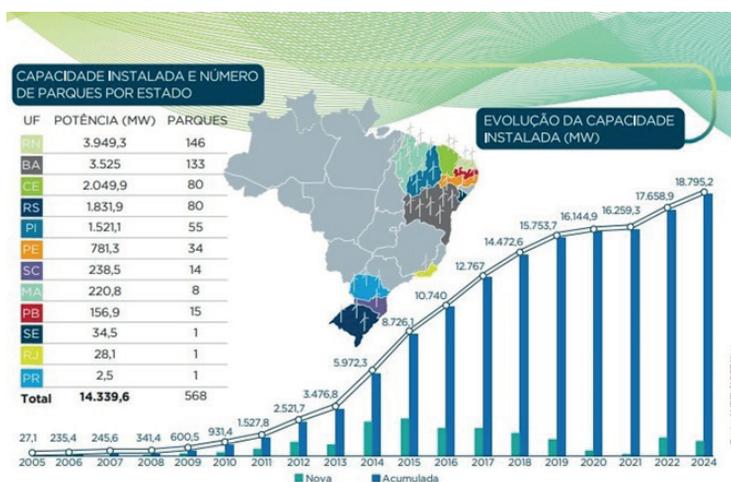
O Brasil e a energia eólica

Conforme afirmam Silva e Vieira (2016), o início de desenvolvimento da energia eólica no Brasil remete-se à década de 1990, quando surge como uma tentativa dos governos para garantirem a segurança energética. A energia eólica foi introduzida comercialmente na matriz elétrica nacional após o racionamento de energia elétrica de 2001, que revelou um grave problema estrutural, no qual a oferta de eletricidade por hidrelétricas não atendia à demanda, sendo necessário repensar o planejamento do setor elétrico brasileiro, a fim de desenvolver políticas de incentivos, financiamentos e investimentos, além de buscar parcerias estratégicas com o setor privado (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

Segundo Lima, Santos e Moizinho (2018), a energia eólica é a fonte de energia mais facilmente renovável e com menores impactos ambientais. Uma das variáveis fundamentais para a geração de energia elétrica por fonte eólica é a quantidade e qualidade dos ventos disponíveis e, nesse quesito, o Brasil tem um dos melhores recursos eólicos do mundo. Segundo dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (ANO), o potencial eólico brasileiro pode chegar a 880 GW com máquinas de 100 metros, sendo que 522 GW são considerados tecnicamente viáveis (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

No Brasil, os melhores índices identificados para a produção eólica são observados nas regiões costeiras do nordeste, na região ao longo do Vale do Rio São Francisco e na região sul do país. Embora existam algumas divergências entre especialistas do setor, estima-se em 143 GW a capacidade para instalação, dos quais já há 15 GW em capacidade instalada aproveitada até o ano de 2018, como pode ser visto na Figura 2 (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018; SILVEIRA, 2017).

Figura 19 - Situação da energia eólica no Brasil.



Fonte: ABEEólica (2018).

O Brasil foi o primeiro país latino-americano a instalar aerogeradores para energia eólica, no começo dos anos 1990, na Ilha de Fernando de Noronha, estado de Pernambuco. Desde então, a expansão da energia eólica, ainda que tímida até o ano de 2009, tem sido um dos principais vetores para a diversificação da matriz energética brasileira. Tal expansão pode representar uma conduta importante na direção de atenuar os efeitos das mudanças climáticas e para garantir a segurança energética no futuro (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018; AZEVEDO, NASCIMENTO e SCHRAM, 2017).

O ano de 2018 encerrou com US\$ 1,27 bilhão (R\$ 4,67 bilhões) investidos no setor eólico, representando 35% dos investimentos realizados em renováveis (solar, eólica, biocombustíveis, biomassa e resíduos, PCHs e outros), no Brasil (ABEEÓLICA, 2018). As políticas públicas para o setor de energia eólica, são capazes de promover o incentivo da iniciativa privada à empreendimentos de grande porte, tais como a construção do parque eólico Oitis, que será construído entre os estados do Piauí e Bahia (REIS, 2019). O parque conta com investimentos por volta de 480 milhões de euros do grupo Iberdrola, o projeto será composto por 12 parques com capacidade instalada combinada de 566,5 MW e deverá entrar em operação em 2022. Tais incentivos são essenciais para a diversificação da matriz elétrica, desconcentração dos investimentos em fontes de energia alternativas, expansão da malha de energia eólica e ampliação da oferta (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

É importante salientar que grande parte dos projetos participantes dos leilões de energia conduzidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL encontra-se no Nordeste. No entanto, os estados que sempre estiveram na dianteira da produção de energia eólica, devido a abundância em recursos, devem entender que para se manterem no topo da produção e atrair investidores, não devem contar apenas com essa variável. Conforme Macedo (2015, p. 317) adverte, “[...] não basta ter vento. É preciso, adicionalmente, fomentar o encadeamento produtivo com investimento em infraestrutura de transmissão e de logística, e com incentivos financeiros”.

Segundo Azevedo e Nascimento (2017), existem diversos tipos de estruturas de turbinas eólicas, entretanto, padronizou-se os seguintes parâmetros para estruturação de uma turbina: eixo de rotação horizontal; três pás; alinhamento ativo; gerador de indução e estrutura não flexível.

No que se refere à geração, segundo Silva e Vieira (2016) existem pelo menos duas formas de instalação para a eólica: a *Onshore* e a *Offshore*. Cada uma dessas formas pode ter várias subdivisões, classificando-as de acordo com a capacidade de produção ou, de acordo com a finalidade de distribuição.

A tecnologia *OnShore* é a mais utilizada no Brasil, pois tem um custo de instalação mais baixo em relação à *OffShore*, mas possui uma capacidade de produção mais reduzida, uma vez que depende mais da variação dos ventos. As turbinas eólicas *OnShore* variam entre 30 m e 150 m de altura em média.

Já a tecnologia *OffShore* é destinada a produção marítima, com distância mínima de 20 km da costa. Essa distância exige características construtivas que elevam seu custo de instalação e manutenção, já que é necessária uma logística complexa para transporte e instalação das torres, das turbinas e do cabeamento subterrâneo desde a localização da turbina até a costa, superando as adversidades como, a variação da ductilidade do terreno, das marés, dos ventos e a proteção da biodiversidade local. Outro fator a ser considerado é a corrosão, com conseqüente deterioração do material utilizado, tendo em vista o contato permanente com águas salinas e intempéries.

Figura 20 - Parque eólico *Off Shore*.



Fonte: Click petróleo e gás (2019).

Contudo, o parque eólico *OffShore* contrapõe alguns dificultadores apresentados na outra modalidade, como o tamanho das turbinas que pode ser maior e, por consequência, gera uma quantidade maior de energia. De uma forma geral, independentemente do tipo de instalação, não se pode negar que existem desvantagens na utilização de energia eólica que devem ser levadas em consideração, como por exemplo: o barulho provocado, que não é muito elevado se o módulo for frequentemente monitorado, a área ocupada que deve ser específica (sem muitas elevações e habitações por perto), e o seu custo (que ainda é um pouco elevado), de modo que é muito difícil uma população ter o seu próprio fornecimento de energia elétrica gerada por meios eólicos. Além disso, o seu aproveitamento ainda não é satisfatoriamente elevado, entretanto, esses fatores podem ser superados com o desenvolvimento desta tecnologia (AZEVEDO, *et al.*, 2017).

A má compreensão desses impactos ambientais é uma preocupação séria para a indústria de energia eólica, especialmente nos países em desenvolvimento e regiões ecologicamente vulneráveis. Qualquer intervenção do ser humano na natureza gera um impacto, ainda que mínimo. No caso dos parques eólicos, alguns deles são específicos e inerentes a esse tipo de produção, mas são objeto de estudo para reduzi-los (AZEVEDO, *et al.* 2017).

Para o Ministério de Relações Exteriores (2015), manifestando-se sobre energia eólica e a política externa brasileira em um mundo marcado pela distribuição desigual das fontes energéticas, o acesso à energia é questão central na economia nacional, sendo importante aspecto estratégico a ser considerado na formulação da política externa. A maneira como cada país produz, se abastece e consome energia afeta diretamente a segurança, o desenvolvimento socioeconômico e o meio ambiente, em nível global. A relação entre ener-

gia e extração de recursos naturais precisa ser monitorada de perto para garantir desenvolvimento sustentável. Assim, o desenvolvimento sustentável só poderá ser alcançado por novas opções de energia e aumentando a eficácia das opções existentes (MAQBOOL e MALIK, 2017; CORREIA, 2015).

Como visto, a exploração renovável das fontes de energia relaciona-se diretamente com o desenvolvimento tecnológico e com a preservação do meio ambiente, diminuindo o uso de combustíveis não renováveis e as emissões de gases poluentes. Dessa maneira, é importante que os *policy makers* brasileiros tenham como prioridades criar estratégias de planejamento mais estruturadas para este setor (SILVEIRA, 2017).

Segundo Silveira (2017), o Brasil dispõe de grande potencial de crescimento econômico e de consumo de energia e necessita de planejamento da expansão energética que considere modelos produtivos que valorizem, tanto o curto, quanto o longo prazo. No fim das estratégias de curto prazo, cessam-se os investimentos e, ao fim das estratégias de longo prazo, os mesmos continuam. Mostra-se que, as estratégias de longo prazo são mais relevantes e importantes ao se construir modelos de consumo de energia.

Um exemplo da importância das medidas de planejamento foi a crise hídrica de 2014, que impactou diretamente no setor energético brasileiro e tornou evidente a indiferença que o poder público em todos os níveis têm em relação a má distribuição da água, ao desmatamento, ao desperdício e aos conflitos de uso de água. Constatando-se assim, que um dos grandes desafios para a humanidade, e em particular para o Brasil, é acabar com o padrão de desenvolvimento sem planejamento e fazer a transição para um futuro de energia sustentável, que beneficie a todos (CORREIA, 2015).

Mudanças climáticas e energia eólica

As mudanças do clima estão inter-relacionadas com o aquecimento global. De acordo com Feitas *et al.* (2015), o aquecimento global se refere a um aumento acima do normal da temperatura. Essas alterações podem ser causadas por processos internos ao sistema Terra-Atmosfera, ou por forças externas como, por exemplo, variações na atividade solar ou, mais recentemente, pelo resultado da atividade humana.

Tais atividades, em especial o alto consumo de combustíveis fósseis, são os fatores que mais tem colaborado pelo efeito estufa. O efeito estufa é importante para a manutenção da vida na terra, visto que sem ele, a temperatura média da terra seria 33°C mais baixa, tornando o planeta muito frio, inviabilizando dessa forma a sobrevivência de diversas espécies. Ele funciona como se fosse um recinto fechado de vidro, cuja finalidade é manter o ambiente interno aquecido, o problema é que, quando ocorrem a emissão de gases que colaboram com esse efeito, a temperatura aumento acima do normal gerando transformações que põem em risco as condições de vida na terra (FREITAS, *et al.*, 2015; GOLDEMBERG, 2015).

De acordo com o World Resource Institute-Brasil (WRI, 2020), o consumo de energia em nível mundial, a energia (incluindo transportes) é responsável por 73% dos GEE. A geração de energia através das fontes não-renováveis não é apenas responsável pelo aquecimento global, mas também corrobora com outros diversos impactos ambientais. As práticas de mineração, transporte e processamento do carvão deixam marcas na paisagem e a lixiviação desses resíduos minerais, que na maioria são compostos de enxofre, poluem de forma violenta os recursos hídricos (SHUTTE, 2014).

Nesse cenário, a energia eólica, mesmo sendo apontada como a melhor estratégia para alcançar as metas de desenvolvimento sus-

tentável, apresenta questões críticas em relação aos seus impactos que não devem ser ignorados. À medida que pequenas questões hoje invisibilizadas podem causar efeitos desastrosos no futuro, quando a energia eólica vir a se tornar uma das principais fontes de energia (SHUTTE, 2014).

Em seu trabalho, Azevedo, Nascimento e Schram (2017), apresentam estudos que demonstram que as turbinas eólicas podem afetar o clima local e o clima regional. Os autores apresentam dados que afirmam que, se 10% da demanda de energia global forem provenientes de energia eólica em 2100, a temperatura global aumentaria em 1°C. Segundo os autores, os parques eólicos podem também mudar a distribuição global de chuvas e nuvens.

Todavia, estes impactos são mínimos quando comparados com o efeito de aquecimento causado em escala global. Nesse contexto, alguns outros estudos relataram que parques eólicos foram capazes de aliviar climas adversos, mesmo que o efeito sendo muito limitado. Ainda segundo os autores, estudos descobriram que os parques eólicos na província de Gansu de China foram eficazes na diminuição da velocidade do vento local e mitigados os riscos de tempestades de areia (AZEVEDO, NASCIMENTO e SCHRAM, 2017).

O desmatamento e a erosão do solo também são outros fatores de preocupação pois, são fatores inerentes a etapa da construção de um parque eólico. São resultados de atividades, tais como escavação, fundação e construção de estradas, ou seja, se plantas necessitarem ser removidas, a superfície do solo ficaria exposta a ventos e chuvas, resultando em erosão do solo.

Por fim, outro fator importante são as interferências eletromagnéticas (IEM). As turbinas eólicas podem causar IEM por reflexão de sinais das pás de modo que um receptor próximo recebe um sinal direto e um refletido. A interferência ocorre porque o sinal refletido é

atrasado devido à diferença entre o comprimento das ondas alterado pelo movimento das pás. A IEM é maior em materiais metálicos, que são refletores, e menor em pás de madeira, que são absorvedores. A fibra de vidro reforçada com epóxi, utilizada na maioria das pás modernas, é parcialmente transparente às ondas eletromagnéticas e, portanto, tende a diminuir o efeito da IEM (AZEVEDO, NASCIMENTO e SCHRAM, 2017; CORREIA, 2015).

Assim, o aproveitamento dos ventos para geração de energia apresenta, como toda tecnologia energética, impactos ambientais como, por exemplo: impacto visual, poluição sonora, interferência eletromagnética, mudanças no clima, aumento do efeito estufa e danos à fauna. Porém, algumas destas características podem ser significativamente minimizadas caso haja investimento, planejamento adequado e inovações tecnológicas (LIMA, SANTOS e MOIZINHO, 2018).

Considerações finais

De forma geral, pode-se perceber que um dos pontos cruciais para a promoção de um modelo de desenvolvimento capaz de mitigar e refrear os impactos das mudanças climáticas é a partir da maneira como se entende e se consome energia. A produção de comida, o acesso a água potável, a aquisição de produtos e serviços, o transporte, e entre tantas outras coisas que têm seus preços impactados pelo custo da energia e necessitam de energia para que estejam disponíveis para todos.

Mais do que os desafios ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis, temos que encontrar uma forma de obter energia que seja abundante, barata, renovável, acessível e distribuída. É nisso que consiste o grande trunfo para elevar nossa civilização para um outro patamar. Como visto, mesmo identificando algumas problemáticas acerca da produção de energia eólica o fato é, que ela desponta

como a melhor alternativa de produção de energia dentro do cenário de emergência climática e degradação de recursos hídricos atual.

O mundo precisa, portanto, de energia barata e limpa para permitir o crescimento econômico sem prejudicar o meio ambiente, ou seja, é preciso conciliar um futuro sustentável com o aumento da produção de energia. A solução está na busca da eficiência energética e no desenvolvimento de tecnologias limpas, ecologicamente sustentáveis.

Referências

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2018**. 2018. Disponível em:http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf. Acesso em: 25/05/2020.

AZEVEDO, João Paulo Minardi de; NASCIMENTO, Raphael Santos do; SCHRAM, Igor Bertolino. Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão. **Revista Uningá**, Maringá, v. 51, n. 1, p. 101-106, 2017. Trimestral.

BILGEN, Selçuk; SARDKAYA, İkbal. **Energy conservation policy and environment for a clean and sustainable energy future. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 183-189, 8 jan. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15567249.2017.1423412>.

CHAND, Vishal. Conservation of energy resources for sustainable development: a big issue and challenge for future: a big issue and challenge for future. **Environmental Concerns And Sustainable Development**, [s.l.], p. 293-315, 4 jul. 2019. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-5889-0_1

CORREIA, Thais Fernanda. **A contribuição da energia eólica para a política externa brasileira**. 2015. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Relações Internacionais, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FREITAS *et al.* **Energias renováveis , clima e mudanças climáticas.** R. gest. sust. ambient, Florianópolis, n. esp, p.317-329, dez. 2015.

GOLDEMBERG, José. **Mudanças climáticas e inovação.** 2015. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/jose-goldemberg-mudancas-climaticas-e-inovacao/> Acesso em: 26/05/2020.

IEA. **International Energy Outlook 2018.** (IEO2018) for Center for Strategic and International Studies July 24, 2018. Washington, DC. Linda Capuano, Administrator U.S. Energy Information Administration. Disponível em: www.eia.gov/ieo. Acesso em: 26/05/2020.

ISLAM, M.; HASANUZZAMAN, M. **Introduction to energy and sustainable development. Energy for Sustainable Development,** [s.l.], p. 1-18, 2020. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-814645-3.00001-8>.

LIMA, Elaine Carvalho de; SANTOS, Isabela Amâncio; MOIZINHO, Luzélia Calegari Santos. **Energia eólica no Brasil: oportunidades e limitações para o desenvolvimento sustentável.** Revista Estudo & Debate, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 216-236, 29 abr. 2018. Trimestral. Editora Univates. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036x.v25i1a2018.1641>.

MACEDO. Luziene Dantas. **Produção de Energia Elétrica por Fonte Eólica no Brasil e Aspectos de seu Impacto na Região Nordeste e Rio Grande do Norte.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Econômico da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo (SP), 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000949591>. Acesso em: 26/05/2020.

MRE. Ministério das Relações Exteriores. **O Brasil e o meio ambiente.** 2015. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=164&catid=92&Itemid=433&lang=pt-BR. Acesso em: 25/05/2020.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Agenda 2030.** 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 25/05/2020.

REIS, Pedro. **Brasil terá o maior parque eólico da América Latina através da Neoenergia**. 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/brasil-maior-parque-eolico-neoenergia-148045/>. Acesso em: 26/05/2020.

RIBEIRO, Pablo. **O Futuro da Energia**. 2019. Disponível em: <https://medium.com/@pablosnr/o-futuro-da-energia-b027ff438b>. Acesso em: 25/05/2020.

SCHUTTE, G. **Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil em comparação internacional**. Revista Do Serviço Público, v.66, n.2, p. 227 – 255, 2015.

SILVEIRA, Lucas Dziurza Martinez. A produção de energia eólica e seu potencial para desenvolvimento sustentável. In: Encontro nacional de engenharia de produção, 37., 2017, Joinville. **Anais [...]**. Joinville: Abepro, 2017, p. 1-14.

Desgaste em pás eólicas

*Dominique P. da Silva
Thiago A. Simões*

Introdução

As energias renováveis vêm tomando cada vez mais um lugar imprescindível em todas as áreas que levam ao desenvolvimento de um país. Dentre as fontes de energias renováveis, a energia eólica, apesar de ser utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, teve um grande avanço principalmente na área de geração de eletricidade, por volta da década de 1970, quando houve a crise internacional do petróleo. Ao final de 2016 haviam 341.320 turbinas eólicas no mundo (SILVA, 2018).

As centrais eólicas normalmente são afastadas dos grandes centros urbanos, e, conseqüentemente, a locomoção para fazer qualquer tipo de manutenção em uma usina já instalada requer grandes custos. Logo, é imprescindível que a qualidade dos aerogeradores seja prioridade num projeto de uma grande usina. Isso remete diretamente à qualidade das hélices, rotores e torre, que ao se degradarem com o tempo podem resultar em um custo que pode inviabilizar a instalação de uma central eólica. Dentro desses componentes de um aerogerador, as pás dos rotores representam uma parte significativa e de grande importância para os estudos de viabilidade de implementação de uma usina eólica, já que elas representam até 20 % do valor total de uma turbina (CAMPOS, 2013).

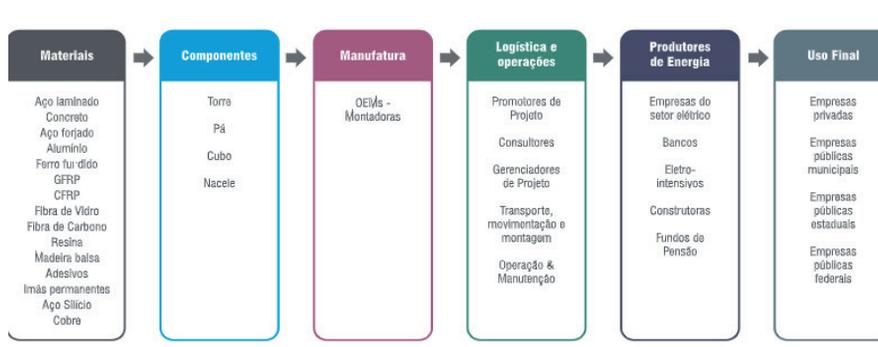
A durabilidade das pás sofre grande influência do meio em que é posto um aerogerador. Há ambientes que são mais agressivos em relação à corrosão e desgaste dessas pás devido a presença de sa-

linidade, muita incidência de ventos, ou até mesmo incidência solar. Para diminuir os efeitos desses meios mais agressivos, ou mesmo proporcionar uma longevidade maior às turbinas eólicas sem necessidades de constantes manutenções, deve haver uma seleção de materiais adequados para serem utilizados em determinado local, além de estratégias de revestimento das pás para aumentarem sua resistência (SILVA, 2018).

Ainda há uma carência de estudos voltados à potencialização da vitalidade dos materiais envolvidos na produção de pás de aerogeradores e à análise sobre até que ponto determinados fenômenos influenciam na degradação desses materiais. Por isso, considerando a importância desse assunto para a comunidade científica, é essencial uma busca pela junção das informações que se tem em artigos acadêmicos recentes, para assim proporcionar um melhor aprofundamento do estudo direcionado a essa temática. A partir disso, esse trabalho tem o objetivo de identificar os tipos de degradações que ocorrem nas pás eólicas e listar os fatores que influenciam nesses desgastes a partir de uma revisão da literatura.

Energia eólica

Países em todo o mundo vem adotando políticas públicas para incentivarem o mercado de energia eólica, de forma a diminuir os custos com essa forma de geração, possibilitar o desenvolvimento de novas tecnologias e progredir com a indústria de equipamentos eólicos (FADIGAS, 2011). Na figura 1 apresenta uma cadeia de valor de bens e serviços, mostrando os materiais utilizados para fabricar esses equipamentos e os responsáveis pela montagem de um aerogerador, logística e operação, produção de energia e pelo uso final da mesma.

Figura 1 - Esquema da cadeia de bens e serviços.

Fonte: ABDi (2014).

Energia eólica no Brasil e na Bahia

Visto que a incidência de ventos está atrelada a quantidade de energia gerada, o Brasil se encaixa como um país extremamente favorecido por conta do seu clima, principalmente no Norte e Nordeste, pois apresentam elevadas taxas de velocidades dos ventos (OLIVEIRA *et al*, 2018). Comparando a matriz elétrica nacional de 2014 a 2017 percebe-se aumento de 247 % da geração de energia eólica ou 30.163 GWh gerados. Observando a matriz dos últimos anos, é notável que esse crescimento ainda ocorre de forma acelerada (EPE, 2018), principalmente quando se observa o investimento do país nessa fonte energética.

Tabela 1 - Resumo da Situação Atual dos Empreendimentos de Energia eólica no Brasil.

Quantidade	Situação	Potência Associada (kW)
138 empreendimento(s)	Construção não iniciada	4.649.175
68 empreendimento(s)	Construção	1.745.755
628 empreendimento(s)	Operação	15.346.668

Fonte: ANEEL (2019).

A Tabela 1 mostra dados da atual situação brasileira em relação aos empreendimentos de energia eólica. É possível perceber que, além do investimento em usinas que já em operação, tem-se também os voltados para a construção de novas usinas (ANEEL, 2019). Segundo Oliveira *et al* (2018), o Nordeste é a região mais promissora para o desenvolvimento do setor no país e que predominam os ventos na parte setentrional da região (OLIVEIRA *et al*, 2019). Cerca de 86 % da produção de energia eólica é proveniente do Nordeste (MEIO NORTE, 2019), com a Bahia ocupando o lugar de segundo maior produtor desse tipo de energia (CREA-BA, 2018).

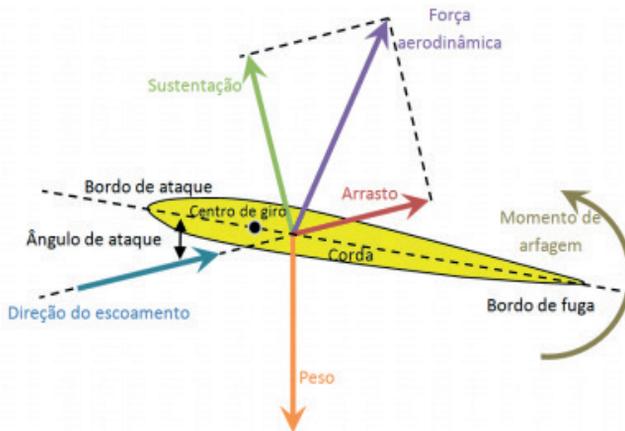
A matriz elétrica baiana é composta por energia hidráulica, correspondendo a 59,6 % de energia gerada, termelétrica com 22,3 % e eólica com 18,1 % (ANEEL, 2016). Contudo, segundo Oliveira (2018), a tendência é que essa conjuntura mude, pois estão em fase de construção no estado 46 centrais eólicas, com potência prevista de 901,5 MW, além de aproximadamente 120 outros empreendimentos projetados (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Mecanismos de geração

A energia eólica é gerada a partir da conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica, processo no qual há ação de forças aerodinâmicas: as forças de sustentação e as forças de arrasto (CAMPOS, 2013). Essas forças fazem com que as pás dos aerogeradores girem em torno de um eixo e a energia mecânica gerada seja convertida em eletricidade através de acoplamento com geradores. Quando as forças do vento são muito fortes, pode-se danificar o aerogerador, portanto, alguns projetos aerodinâmicos são utilizados para resolver esse problema. Um exemplo disso é o sistema de estol, onde a turbina dissipa o excedente de energia do vento devido ao aumento do ângulo entre o fluxo de ar e o perfil da pá, que

é chamado de ângulo de ataque (Figura 2). As forças de sustentação e de arrasto dependem desse ângulo e das velocidades dos ventos.

Figura 2 - Diagrama de corpo livre em um perfil sujeito a escoamento.



Fonte: Oliveira (2011).

Para compreender melhor os mecanismos de geração dos aerogeradores, é preciso conhecer os tipos de turbinas eólicas existentes, seus formatos, tamanhos e materiais, e as condições ambientais nas quais elas são construídas.

Pás eólicas (formato e materiais)

Para Leon Mishnaevsky, *et al.*, (2017), as pás (ou lâminas) compostas de um aerogerador são os elementos mais importantes e de maiores custos nas turbinas (MISHNAEVSKY JR *et al*, 2017), que, segundo Jureczko *et al.* (2005, *apud* CAMPOS, 2013), chega a ser cerca de 15 a 20 % do valor total da turbina. Por isso, é de extrema importância que seja feita uma escolha adequada dos materiais para a fabricação das pás para que se obtenha sucesso na tecnologia de geração de energia eólica.

As primeiras lâminas dos aerogeradores foram feitas de aço, e, apesar de apresentarem um baixo custo, o seu peso e os gastos com anticorrosivos e com reforços estruturais não compensavam o seu uso. Por essa razão foi primordial estudar condições que promovessem uma vitalidade mais prolongada às pás e trouxessem independência das manutenções advindas das falhas frequentes. Foi desse modo que começaram a substituir o aço por materiais compósitos (MUHAMMED *et al.*, 2019).

Todavia, os tipos de materiais utilizados para as pás das turbinas podem variar de acordo com a localidade na qual ela está instalada. Dentre eles estão o próprio aço, a fibra de vidro ou de carbono, o alumínio, a madeira, PVC, resina de polímeros e por fim o Kevlar. A madeira é mais aplicada a pequenos aerogeradores. Já o Kevlar e as fibras de carbono apresentam boa confiabilidade (ao contrário do alumínio) mas em contrapartida tem custos muito altos (AREIAS, MELOTTI e SILVA 2012).

De acordo com Muhammed, *et al.* (2019), os compósitos tradicionais utilizados nas pás de turbinas eólicas são composições de polímeros (em especial o epóxi) e fibras de vidro (MUHAMMED *et al.*, 2019). Segundo estudos da Universidade de Montana nos EUA, essa é uma combinação que traz uma melhor relação custo/resistência (AREIAS, MELOTTI e SILVA, 2012).

Os fios de carbono e de vidro são utilizados como fibras devido a sua boa resistência. Neles são utilizadas resinas que podem variar em custo/benefício (tabela 2).

Tabela 2 - Comparativo resinas estruturais típicas.

Resina	Vantagens	Desvantagens
Poliéster	Fácil de usar	Propriedades mecânicas moderadas
	Baixo custo	Alta contração durante a cura Compactibilidade apenas com fibra de vidro
Vinil Éster	Alta resistência química	Geralmente é requerida pós-cura para alcançar melhores propriedades mecânicas
	Propriedades mecânicas superiores às da resina poliéster	Alta concentração de estireno
		Custo superior ao da resina poliéster
Boa adesão com fibras de vidro	Alta contração durante a cura Fracá adesão com fibras de carbono e Kevlar®	
Époxi	Altas propriedades térmicas e mecânicas	Custo superior ao da resina vinil éster e poliéster
	Alta resistência à água (hidrólise)	
	Disponibilidade de trabalho por tempos mais longos	Alta viscosidade durante seu processamento
	Baixa contração durante a cura	Longo ciclo de cura
	Boa adesão com fibras de vidro	

Fonte: Rios (2012).

As resinas epóxi, vinil e poliéster são três das mais utilizadas e variam em termos de custo e de resistência térmica, mecânica e química. Entretanto, o emprego delas torna o processo de reciclagem das pás inviável por se tratarem de polímeros termofixos. Compósitos de polímeros termoplásticos (poliestireno, nylon, entre outros) são ecologicamente mais corretos e biodegradáveis, entretanto, mais complexos em sua fabricação. Esse fato reverbera uma alternativa de compósitos híbridos, os quais apresentam melhores propriedades, principalmente quando são adicionados nanomateriais. Estes proporcionam alta resistência e menor peso às lâminas de turbinas eólicas (PRADEEP *et al*, 2019).

Desgastes de materiais

Desgaste é a perda gradativa de material devido às reações químicas e eletroquímicas ou devido ao movimento relativo entre

uma superfície e outra substância com a qual essa superfície está em contato (CALLISTER JR, 2013).

Nos metais, a degradação ocorre por meio de reações eletroquímicas denominadas oxidação ou redução. Nas cerâmicas, ocorre uma simples dissolução química, e por conterem metais e ametais em sua composição, elas têm uma grande capacidade de resistir a corrosão. Já nos polímeros, a interação com um meio específico pode causar deterioração por inchamento e por dissolução nos materiais poliméricos ou comprometer sua integridade mecânica quando expostos a radiação e a altas temperaturas, as quais são capazes de provocar rupturas nas ligações covalentes desses materiais (CALLISTER JR, 2013).

Desgaste das pás dos aerogeradores

Dentre os fatores que comprometem a integridade das pás causando desgastes no equipamento ao longo do tempo estão: temperatura, oxidação, cargas e impactos de particulados sólidos, presença de umidade, congelamentos cíclicos e cargas cíclicas (HU *et al*, 2016 apud SILVA, 2018). Eles são intrinsecamente associados ao local de instalação das turbinas, pois a depender do território, podem ocorrer corrosão salina, chuvas, granizo, neve, relâmpagos, diferentes intensidades de vento, terremotos e outras condições que podem influenciar o desgaste ou fadiga das lâminas das turbinas eólicas (SILVA, 2018).

Os custos para geração de energia não são apenas provenientes do custo das máquinas, mas da operação, da manutenção, das condições da fundação em relação ao tipo de solo e da conexão com a rede elétrica. Além do mais há custos também com prospecção de áreas, estudos de viabilidade e desenvolvimento de projetos.

A escolha de uma localização adequada para a instalação de uma turbina ou usina eólica também pode ser essencial para mitigar ao máximo os impactos ambientais, tais como evitar áreas que ser-

vem de corredor para migração de pássaros, melhorar o perfil das pás e usar sistemas elasticamente amortecidos para amenizar as vibrações no interior da cabine de forma a diminuir os ruídos aerodinâmicos e mecânicos dos aerogeradores.

Os indicadores que mais ocasionam falha nas lâminas de aerogeradores são os raios, as tempestades, a utilização de materiais inflamáveis na sua produção, altas e baixas temperaturas, radiação ultravioleta, umidade, dentre outros (SILVA, 2018 e RIOS, 2012).

Apesar de ambientes com temperaturas baixas oferecerem maiores potenciais de geração de energia eólica devido à presença de um ar mais denso e ventos mais fortes, quando há um congelamento atmosférico, camadas de gelo podem acumular-se nas pás (Figura 3). Isso cria rugosidades na superfície e diminui a sua eficiência aerodinâmica, além de desequilibrar o rotor e aumentar as cargas que levam a fadiga. Num congelamento atmosférico onde há condições em que a temperatura fica abaixo de zero por dias ou semanas após o evento de congelamento, há maiores prejuízos com a perda de potência. Para resolver essa situação, os estudos apontam para técnicas de revestimento das superfícies das pás, ultrassons, e projetos de aquecimento (JHA, BRILLEMBOURG e SCHMITZ, 2012).

Figura 3 - Formação de gelo nas pás eólicas.



Fonte: Dalili (2009 *apud* SILVA (2018)).

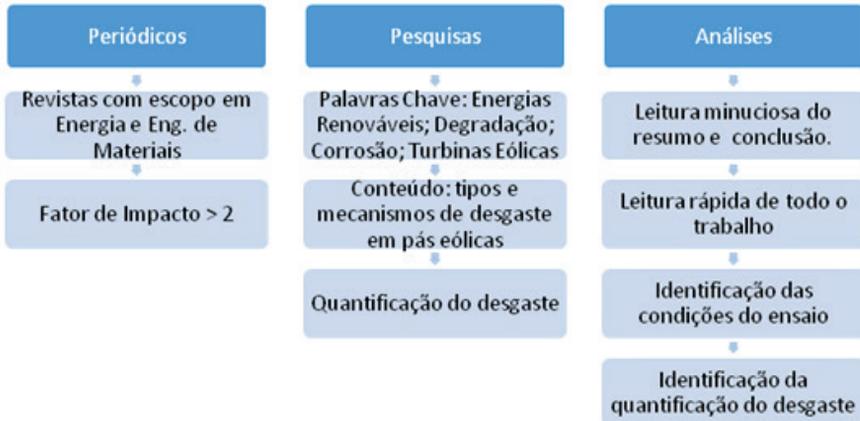
Nas regiões de altas temperaturas as incidências dos raios solares são intensas. Um dos aspectos mais preocupantes do desgaste das pás é a mudança ou perda de cor, pois, interferem nas estruturas químicas e físicas dos materiais, especialmente nos polímeros, que, por serem geralmente termofixos, sua deterioração é irreversível e mais rápida na presença da radiação (SILVA, 2018). As fibras de vidro também são afetadas por reações fotoquímicas, modificando as interfaces resina / fibra. Além da temperatura, a variável que contribui para que haja degradação térmica é o tempo de exposição do material à radiação. Assim, se um dado polímero se degrada rapidamente por absorver energia suficiente para romper suas ligações químicas a temperaturas acima de 400°C, ele também pode se degradar a temperaturas de 30 a 60 °C por um período bem maior, como meses ou anos (RIOS, 2012).

Outro desafio que as indústrias de energia enfrentam são os relacionados à incidência de raios. Por serem muito altas e terem partes metálicas nas extremidades superiores, as turbinas eólicas são vítimas de raios ascendentes, que duram alguns segundos a mais do que as descendentes, o que agrava os estragos, acarretando a detonação das lâminas ou na queima do aerogerador (SILVA, 2018). Em usinas eólicas *offshore* a tendência é que a ação dos raios seja ainda mais desastrosa, pois a exposição por longo tempo em ambiente marinho faz com que névoas salinas sejam aderidas pelas superfícies das lâminas, reduzindo a eficácia dos sistemas de proteção contra raios. Isso ocorre porque elementos como areia e sal se acumulam superficialmente nas pás, eles ampliam a atuação de descargas elétricas nessa superfície. Segundo Li *et al* (2017), estatísticas mostram que, por ano, a cada 100 pás de turbinas eólicas em ambientes marinhos, 5,56 são danificadas pelos efeitos de um raio (LI *et al*, 2017).

O meio marinho por si só é um ambiente hostil devido ao efeito corrosivo das névoas salinas que surgem nesse local. Nessas regiões, as principais causas que afetam a eficiência de resistência a fadiga das pás são a difusão de moléculas de água e a radiação ultravioleta, as quais causam o envelhecimento do material e a erosão das pás (LIU *et al*, 2019). De acordo com Liu *et al* (2019), estudos mostram que a operação e a manutenção dos parques eólicos *offshore* custam entre 20 e 30% do custo da eletricidade gerada (LIU *et al*, 2019). Todavia, a geração de energia através de parque eólicos *offshore* carregam consigo a necessidade de conter estragos devido ao ambiente, pois o local, apesar de muito agressivo, traz muitas vantagens, como a incidência mais constante e forte de ventos. Conseguindo prevenir as turbinas contra esses estragos acarretaria um potencial energético ainda mais promissor.

Para atender aos objetivos de estudo, foi realizada uma pesquisa descritiva que quanto ao seu delineamento, trata-se de uma revisão bibliográfica. Quanto a sua abordagem qualitativa. Para o levantamento bibliográfico foram utilizadas como ferramentas de pesquisa indexadores científicos como *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Google Academic* e o *Sielo.org*. Para o referencial teórico foram pesquisados artigos, teses e dissertações que retratassem sobre os materiais de que são feitas as pás dos aerogeradores, tipos de degradações que ocorrem nessas pás e a relação desses fatores com a vida útil das mesmas.

Uma revisão mais sistemática priorizando artigos recentes e de alto impacto foi realizada por meio de uma busca por palavras chaves (*Renewable Energy*, *Degradation*, *Corrosion*, *Wind Turbine*) em artigos científicos de 2008 à 2019. A partir disso, esses trabalhos passaram por alguns critérios de seleção como escopo e fator de impacto das revistas. Seguiu-se de acordo com o esquema da Figura 4.

Figura 4 - Esquema de seleção de artigos.

Fonte: Autoral (2019).

Resultados e discussões

Nesta seção, foi realizado uma compilação de artigos recentes no tema, demonstrando importantes mecanismos de degradação e soluções alternativas para redução do desgaste.

No artigo de Liu *et al.* (2019) foram realizados estudos de confiabilidade das pás de turbinas eólicas *offshore* suportadas por fundações flutuantes. Nele foram feitos cálculos de probabilidade de sobrecarga e de fadiga na raiz das pás, e cálculo de deslocamento excessivo da ponta da lâmina. A partir disso, foi possível ver que a probabilidade de falha de pás de turbinas suportadas por fundações flutuantes é maior que as suportadas por fundações fixas. Foi possível perceber também que os materiais piezoelétricos nas lâminas são favoráveis para a redução do estresse em sua raiz e do deslocamento em suas pontas, diminuindo a possibilidade de falhar por fadiga (LIU *et al.*, 2019).

O artigo de Lee (2008) avaliou a resistência à corrosão de revestimentos de níquel-fósforo (NP) não eletrolítico em compósitos de

plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) usados em pás de aerogeradores. O comportamento de resistência a corrosão dos revestimentos de NP foi observado em solução de NaCl a 3,5 % em peso. Os resultados mostraram que quando se aumentava a rugosidade da superfície do PRFV para mais de 3 μm obtinha-se menor microporosidade, maior espessura e maior dureza nos revestimentos NP, o que possibilitava uma melhor resistência à corrosão e ao desgaste. Ou seja, condições de pré-tratamento de moagem, que dão o estado de rugosidade da superfície do PRFV, tem uma relação intrínseca com a eficácia do revestimento desse material com ligas de NP. Nas superfícies que foram utilizadas lixas de 120, 240 e 400 obtiveram-se taxas de corrosão (ou densidade de corrente) de 273, 352 e 690 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ respectivamente. Já os polimentos com lixas de 800, 1000 e com a polia, foram obtidas as respectivas densidades de corrente 790, 940 e 2834 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Observou-se também que quanto maior a rugosidade da lixa, maior o teor de fósforo, o que também influencia no aumento da resistência à corrosão (LEE, 2008).

No estudo de Chen (2019) são relatadas observações sobre a degradação por fadiga de uma pá de turbina eólica de 47 m de comprimento sujeita a um teste com a aplicação de uma carga de força e pressão. Essa experiência possibilitou a discussão sobre as mudanças de frequência naturais (FN) e taxas de amortecimento (TA), as quais foram medidas antes e depois do teste da lâmina. O observado foi que não houve uma mudança significativa nas FN (<1 %). Já as mudanças nas TA foram bastante notáveis com um aumento de aproximadamente 20 %, o que pode ser um indicador responsável pela formação de microfissuras em parte da lâmina que leva ao aumento da dissipação de energia quando a lâmina vibra no modo de torção. Em geral, os danos estruturais encontrados na pá foram rachaduras nos materiais do núcleo e outros danos locais apontados como

pequenos demais para prejudicar a resistência estrutural da lâmina como um todo (CHEN, 2019).

O artigo de Chou *et al.* (2012) foi baseado em estudos de dados em documentos de engenharia relacionados com danos e acidentes com as pás de aerogeradores para que pudesse ser feita uma análise das causas das delaminações e rachaduras das lâminas das turbinas eólicas que levaram a esses incidentes. Foi percebido que a resistência aos ventos varia de acordo com os modelos das lâminas, isso porque cada pá terá propriedades do material do qual ela é fabricada e espessuras e formatos variados. Além do mais, o efeito de ressonância também aumenta a probabilidade de falha pois, quando a frequência natural da estrutura corresponde a frequência de carga externa (provenientes do vento), a resposta estrutural é amplificada. Segundo os autores, as pás podem resistir a forças induzidas por uma velocidade de vento de 80 m/s, mas a falha pode ser ocasionada por diversos outros fatores, inclusive devido a uma má instalação das turbinas eólicas (CHOU *et al.*, 2012).

No artigo de Yu *et al.* (2019), um método de identificação de defeitos de pás de turbinas eólicas é proposto com base em características semânticas de defeitos com extrator de características de transferência. Para isso, foi construída uma rede neural convolucional profunda para o processamento e análise de imagens digitais. Através dessa rede, as imagens das pás puderam ser diagnosticadas pelo classificador de defeitos com base nos recursos semânticos de defeitos. As experiências são realizadas em um conjunto de dados real de imagens de pás de turbinas eólicas. Os métodos tradicionais de diagnósticos de defeitos são manuais e visuais, e os danos podem não ser detectados a tempo de evitar uma falha. A vantagem dessa rede neural seria, portanto, uma identificação desses defeitos de forma mais rápida e eficaz (YU *et al.*, 2019).

Garolera *et al* (2016) fez uma análise de 304 casos de danos nas pás de aerogeradores localizados em parques eólicos nos EUA devido à incidência de raios em suas superfícies. Por isso são apresentados dados estatísticos desses danos referentes a vários tipos de lâminas, com tamanhos diferentes, com diversas estruturas laminadas e proteção contra raios. Os resultados exprimiram que a maioria dos efeitos negativos causados por raios está concentrada na ponta da lâmina, correspondendo a cerca de 58,6%, independente do seu material ou do seu formato. 23,6% ocorre nas conchas sobre as tampas das longarinas e 17,8% nas bordas das pás. Um fato atrelado a maior probabilidade de dano na extremidade das pás são os raios ascendentes, que normalmente se iniciam nesse local (GAROLERA *et al*, 2016).

O artigo de Sareen, Sapre e Selig estuda o efeito da erosão de ponta no desempenho aerodinâmico de um aerofólio de turbina eólica. Ele foi feito com base em testes de erosão simulada na borda principal das lâminas a partir de variações no tipo e na magnitude da erosão, para que a perda de desempenho proveniente de uma borda erodida fosse investigada. Além disso, foi analisado a influência do acúmulo de insetos na eficiência de uma turbina eólica. O objetivo foi desenvolver um entendimento básico dos efeitos aerodinâmicos de diferentes níveis de erosão na borda de ataque e quantificar seu impacto relativo no desempenho do aerofólio. Os resultados mostraram que a erosão da borda de ataque pode produzir uma degradação substancial do desempenho do aerogerador, aumentando o arrasto e diminuindo a sustentação. Os dados dos testes realizados nesse artigo mostraram um aumento no arrasto de 6 a 500% em casos de erosão leve e pesada da borda principal. Em ângulos de ataque mais altos houve uma perda significativa da sustentação em consequência da erosão. Estimou-se que com um aumento de 80% no arrasto com

um grau relativamente pequeno de erosão pode resultar em uma perda de 5% na produção anual de energia. Já para um aumento de 400 a 500% no arrasto com erosão moderada e pesada, essa perda chega a cerca de 25% (SAREEN, SAPRE e SELIG, 2014).

Esses testes mostraram a importância da tomada de medidas para se mitigar os efeitos da erosão, já que eles podem causar grandes perdas para a geração de energia em poucos anos.

As cargas e as velocidades de rotação dos rolamentos dos aerogeradores mudam bastante ao decorrer dos fluxos dinâmicos do vento, e em alguns casos extremos, esses rolamentos sofrem cargas excessivas e podem ser danificados. Por isso, o artigo de Liu e Zhang (2019) sistematizou e resumiu os atuais modos de falha de rolamentos das turbinas em larga escala e suas formas de diagnósticos, fornecendo uma referência abrangente para pesquisadores e engenheiros para entenderem melhor as questões tribológicas fundamentais e suas propriedades. Para os autores, esse estudo pode servir como base inicial para a criação de novos métodos de diagnóstico de falhas de rolamentos que sejam mais eficazes e econômicos (LIU e ZHANG, 2019).

Ahuir-Torres *et al* (2019) descreve em seu artigo os limites de corrosão testados em laboratório para diferentes condições ambientais de materiais metálicos que geralmente são usados em aerogeradores. As técnicas de análise eletroquímica empregadas foram feitas em meios representativos do ambiente de operação das peças de uma turbina como água do mar, graxas, óleos ou lubrificantes a uma temperatura ambiente e à 328K. Os valores obtidos dos limites de corrosão proporcionam um indicador de quando ocorrem corrosões gerais, locais ou na superfície de revestimento dos componentes, podendo servir como um detector e monitorar a corrosão em determinado local da estrutura de um aerogerador (AHUIR-TORRES *et al*, 2019).

Resultados da análise

A partir da análise desses artigos, pôde-se perceber que a maior ocorrência de desgastes foi por fadiga, pois pelo menos três deles citaram esse tipo de falha (Tabela 3).

Tabela 3 - Tipos de desgaste retratados nos artigos e suas respectivas ocorrências.

TIPOS DE DESGASTE	OCORRÊNCIA
Erosão	2
Desgaste Adesivo	1
Desgaste Abrasivo	2
Deformação Plástica	1
Delaminação e Descolagem	2
Desgaste por Fadiga	5
Corrosão	2

Fonte: Autoral (2019).

Além dos três trabalhos que focaram no desgaste por fadiga, teve também aqueles que mostraram de forma mais indireta esse tipo de degradação, formando um total de 05 artigos que retrataram sobre o assunto. Isso porque as pás e as outras partes de um aerogeradores estão sempre sujeitas a cargas cíclicas de vento que, devido a sua consecutiva incidência, terminam fragilizando determinados locais das turbinas, acarretando em rachaduras ou fraturas que com o tempo levam à falha do componente.

A erosão, abrasão, corrosão e delaminação foram tipos de desgastes que foram relatados na mesma proporção de ocorrência nesses artigos, demonstrando então o fato de que a fadiga não é o único problema preocupante em relação às falhas nas pás dos aerogeradores. Os variados tipos de degradação pelos quais elas estão sujeitas precisam ser mitigados de alguma forma. Por isso a importância de investimentos em pesquisas nessa área.

Considerações finais

Foi possível listar muitos fatores que podem contribuir para a degradação das pás de turbinas eólicas e descrever mais detalhadamente como eles interferem na vida útil das lâminas. De todas as intempéries citadas, pôde-se observar que o ambiente marinho é o mais agressivo para as pás. Além da corrosão devido a nevoa salina, seja das próprias lâminas ou das engrenagens e rolamentos nas quais elas são conectadas, também é um meio em que todos os outros problemas podem ser mais intensos, como a incidência de raios, a radiação solar, o acúmulo de gelo, o escoamento turbulento de ventos e o desgaste erosivo.

Os artigos recentes chamam a atenção principalmente para falha por fadiga nas pás eólicas. Tais falhas podem ocorrer bem antecipadamente se considerarmos micro-tensões ou trincas induzidas no processo de fabricação e/ou falhas por condições de uso, como delaminação ou erosão.

Sendo assim, é importante que se invista em pesquisas para desenvolver técnicas e materiais para revestimentos que sejam mais eficazes nesse local. Afinal, se uma turbina eólica deixa de funcionar, ela passa a trazer prejuízos econômicos por conta de todo o planejamento que a incluía.

Referências

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. [S.l.], 2014. Disponível://docplayer.com.br/1050157-Mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil.html. Acesso em: 18 dez. 2019.

AHUIR-TORRES, J. I. *et al.* **Corrosion threshold data of metallic materials in various operating environment of offshore wind turbine parts (tower, foundation, and nacelle/gearbox)**. Data in brief, v. 25, 2019.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**: Fontes de Energia Exploradas no Brasil. Disponível em: www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp. Acesso em 18.dez.2019.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica. 2016**. Disponível:aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm. Acesso:18.dez. 2019.

AREIAS, Lorenzo Castro; MELOTTI, Gledson; DA SILVA, Flávio Lopes. Materiais para a produção de energia eólica. In. **Anais do 20 CBECIMAT**– Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2012.

CALLISTER JR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8^a. Ed., Rio de Janeiro: LTC Editora, 2013.

CAMPOS, Maxdavid Oliveira. **Estudo comparativo de pás para aerogeradores de grande porte fabricadas em materiais compósitos reforçadas com fibra de carbono ou fibra de vidro**. Dissertação de Mestrado em ciências e engenharia de materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

CHEN, Xíao. **Experimental observation of fatigue degradation in a composite wind turbine blade**. Composite Structures, v. 212, 2019.

CHOU, Jui-Sheng *et al.* **Failure analysis of wind turbine blade under critical wind loads**. Engineering Failure Analysis, v. 27, 2013.

CREA-BA. **Bons Ventos na Bahia**: Estado é o segundo maior produtor do Brasil em energia eólica; setor abre oportunidades para vários ramos da Engenharia. CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DA BAHIA, Salvador, v. 16, ed. 60, p. 24-27, Segundo trimestre 2018. Disponível: www.creaba.org.br/Imagens/FCKimagens/Pdf/Revista_CRE_A_60.pdf. Acesso: 18.dez. 2019.

COZZA, Ronaldo Câmara. **Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-abrasivo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2018**. [S. l.: s. n.], maio 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>. Acesso em: 11.set.2020.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia eólica**. Barueri: Manole, 2011.

GAROLERA, Anna Candela *et al.* **Lightning damage to wind turbine blades from wind farms in the US**. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 31, n. 3, 2014.

JHA, Pankaj; BRILLEMBOURG, Dwight; SCHMITZ, Sven. **Wind turbines under atmospheric icing conditions-ice accretion modeling, aerodynamics, and control strategies for mitigating performance degradation**. In: 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. 2012.

LEE, C. K. **Corrosion and wear-corrosion resistance properties of electroless Ni–P coatings on GFRP composite in wind turbine blades**. Surface and Coatings Technology, v. 202, n. 19, 2008.

LI, Q.; MA, Y.; GUO, Z.; REN, H.; WANG, G.; ARIF, W.; SIEW, W. H. **The lightning striking probability for offshore wind turbine blade with salt fog contamination**. Journal of Applied Physics, v. 122, n. 7, 2017.

LI, Yan; TAGAWA, K.; FENG, F.; LI, Q.; HE, Q. **A wind tunnel experimental study of icing on wind turbine blade Airfoil, 2014**. Energy Conversion and Management. Engineering College, v. 85, 2014.

LIU, Liqin *et al.* **Reliability analysis of blade of the offshore wind turbine supported by the floating foundation**. Composite Structures, v. 211, 2019.

LIU, Zepeng; ZHANG, Long. **A review of failure modes, condition monitoring and fault diagnosis methods for large-scale wind turbine bearings**. Measurement, 2019.

MEIO NORTE. **Nordeste é responsável por 86 % da produção de energia eólica no país.** Bahia, 24.maio.2019. Disponível: www.meio-norte.com/blogs/efremribeiro/nordeste-e-responsavel-por-86-da-producao-de-energia-eolica-no-pais-333164. Acesso: 18 dez. 2019.

MISHNAEVSKY JR, Leon, *et al.* **Materials for Wind Turbine Blades: An Overview.** Materials, 2017.

MUHAMMED, K. Ansal *et al.* **Experimental investigation on AW 106 Epoxy/E-Glass fiber/nano clay composite for wind turbine blade.** Materials Today: Proceedings, 2019.

OLIVEIRA, T. F.; SOUZA, K.B.; NETO, J. F. R.; COUTO, E. R. **A Matriz Energética Baiana e o Potencial de Aproveitamento Solar e Eólico na Geração de Energia Elétrica no Estado da Bahia.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), Salvador, v. 6, ed. 1, p. 1-17, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/domin/Desktop/21711-91615-1-PB.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

PINTAÚDE, Giuseppe. **Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza.** Tese de Doutorado, Escola politécnica da USP, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2002.

PRADEEP, A. V. *et al.* **A comprehensive review on contemporary materials used for blades of wind turbine.** Materials Today: Proceedings, 2019.

RIOS, Alexandre de Souza. **Estudo do envelhecimento acelerado de materiais compósitos revestidos com poliuretano aplicados em aerogeradores.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SAREEN, Agrim; SAPRE, Chinmay A.; SELIG, Michael S. **Effects of leading edge erosion on wind turbine blade performance.** Wind Energy, v. 17, n. 10, 2014.

SILVA, Fernando Nunes da. **Desgaste corrosivo-cavitativo-erosivo de um aço-carbono em meio aquoso com frações de sal (NaCl),**

CO2 e particulados sólidos (SiO2). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, Ranaldo Gomes da. **Estudo do efeito de intempéries regionais na deterioração de pás eólicas.** Dissertação de Mestrado. Brasil, 2018.

YU, Yajie *et al.* **Defect identification of wind turbine blades based on defect semantic features with transfer feature extractor.** Neurocomputing, 2019.

Estação meteorológica

*Jamerson Regis Lima
Jadiel dos Santos Pereira*

Introdução

Os primeiros registros da utilização dos ventos foram feitos pelos povos egípcios, fenícios e romanos, auxiliando-os nas suas navegações, mas na antiga China e também na Pérsia já foram relatados moinhos de vento para moagem de grãos e bombeamento de água para irrigação (FARIAS; SELLITTO, 2011).

O crescimento da agricultura e a necessidade de produzir e processar grandes quantidades de grãos exigiu do homem ferramentas capazes de auxiliá-lo nesse novo cenário. Algumas das primeiras tecnologias criadas pelo homem com o objetivo de ampliar a produção foram as rodas d'água, as quais utilizam a força motriz das águas dos rios para gerar movimento necessário na moagem dos grãos e bombeamento de água enquanto que os moinhos de vento com tecnologias semelhantes movem-se com a força dos ventos e também eram aproveitados nas atividades agrícolas em regiões secas (CRESESB, 2008).

Em 1765, James Watt desenvolveu a tecnologia que revolucionou o setor industrial e iniciou uma era com novos níveis de demandas por energia. A criação da máquina a vapor trouxe ao mundo o desenvolvimento do setor energético através da queima do carvão mineral para a produção de trabalho. Posteriormente, no século XIX a existência da eletricidade impulsionou a criação das máquinas elétricas o que exigiu ainda mais do setor energético. Essas criações levaram a humanidade a níveis de consumo bem maiores o que pos-

sibilitou o desenvolvimento de diferentes formas de geração de energia elétrica (LOPEZ, 2012).

Com o avanço das tecnologias de conversão os ventos também passaram a ser aproveitados para a produção de energia elétrica. Os meios de geração de eletricidade e as formas de produção de energias atraíram a atenção do homem. As possibilidades em transformar os movimentos naturais em diferentes formas de energia são propulsoras para o desenvolvimento das tecnologias de geração (RESENDE, 2011).

O Brasil é um país com algumas das melhores condições no mundo para a produção de energia por fontes renováveis: tem bons níveis de insolação, boas condições de ventos e melhores biomassas, tudo devido às grandes extensões de terras e boas condições geográficas. As tecnologias de geração eólica de energia surgem nesse contexto como uma alternativa sustentável, ideal às condições de vento no país, eficiente, mitigadora de impactos ambientais e traz vasto potencial em capacidade instalada. Entre os principais pontos em utilizar a energia eólica no Brasil está a possibilidade em auxiliar a matriz hidrelétrica no suprimento da energia elétrica para os setores industrial e residencial do país (TIEPOLO *et al.*, 2012).

De acordo com Dutra (2008 apud MORELLI, 2012), o principal fator que torna a fonte eólica viável no Brasil são os bons fluxos de ventos em determinadas regiões do país. Por esse motivo o estudo dos ventos no local da instalação do micro gerador eólico ou da fazenda eólica se faz necessário para garantir a eficiência do sistema. Alguns fatores influenciam diretamente na velocidade dos ventos: as estações do ano, as horas do dia, topografia, rugosidade do solo, altura de operação e espaçamento entre as pás do aerogerador. Para que seja realizado o dimensionamento correto dos sistemas eólicos

é necessário um estudo detalhado do local onde será instalado o sistema, realizando o levantamento de dados que possam fornecer a velocidade e frequência dos ventos com o máximo de precisão possível. Logo, entender e dominar as técnicas de levantamento de dados meteorológicos é o primeiro passo para o estudo de sistemas eólicos. Neste sentido, o presente capítulo relata a construção de uma estação meteorológica de baixo custo, fornecendo aos estudantes do Centro de Ciência e Tecnologia em energia e Sustentabilidade - CETENS uma alternativa de estação meteorológica que, ao mesmo tempo, registra dados meteorológicos e coloca-os à disposição para serem utilizados no desenvolvimento de projetos de microgeração de energia realizados pelo CETENS na cidade de Feira de Santana.

A estação de baixo custo apresenta como grande atrativo a sua reprodutibilidade, podendo ser implantada em pequenas residências, subsidiando sistemas de microgeração eólica de energia, ao fornecer dados meteorológicos de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento.

O capítulo relata o processo de construção de estação meteorológica de baixo custo que foi implantada no CETENS/UFRB. Ao longo do texto, as etapas desenvolvidas foram pensadas de forma que o equipamento possa ser reproduzido, pois as metas principais consistem em utilizar uma tecnologia acessível e de fácil reprodução e disponibilizar dados que possam auxiliar estudos acadêmicos voltados às áreas afins a energias renováveis por meio de um banco de dados.

Projeto

Nesta etapa, foram levantadas informações básicas como: dimensionamento, estrutura, localização, sensores e conexões. Para auxiliar na tomada de decisões foram desenvolvidos o projeto estrutural e o diagrama elétrico, apresentados nos Apêndices A e B, respectivamente.

Estrutura

A estação meteorológica foi projetada com uma torre de 3,8 m de tubo de policloreto de vinila (PVC), material resistente a intempéries. A fixação ao solo foi feita com uma base de cimento e na sustentação para evitar que a torre balance foi utilizado fio de náilon. Dados necessários para a construção foram coletados da literatura de referência disponível.

Materiais da estrutura

Foram utilizados os seguintes materiais em PVC: tubos (20mm; 32mm e 100mm); tês (20mm e 32mm); luva redutora (32 mm p/ 20 mm); joelhos de 90°; cap tampão p/ tubo 20mm.

Para proteger a parte eletrônica foi utilizada uma vasilha plástica com tampa protegendo o Arduino de intempéries. Também foi utilizada uma chapa de alumínio encontrada em case de leitores de CD, para a confecção da biruta; parafusos sextavados 3/16X1/2 com porca; parafusos lenticilha 3/16X3/4 com porca; engrenagens plásticas retiradas de impressora; 1 tubo fino de alumínio retirado de antena de televisão para a biruta; 1 caixinha de metal para proteger o sensor de velocidade, que pode ser substituída por uma caixinha plástica; 1 vasilha de gel de cabelo, para proteger o sensor encoder de direção; 1 tampa de desodorante roll-on, para proteger o sensor de temperatura e umidade; 4 bolinhas de piscina de bolinhas para as pás do anemômetro; 1 eixo de motor de carrinho de brinquedo; 2kg de cimento; 3/4 lata de gravilhão; 3/4 lata de areia lavada; 0,84m de ripa.

Como ferramentas foram utilizadas estilete; furadeira; arco e serra; trena; pá; enxada; cola instantânea e cola de PVC.

Materiais do sistema eletrônico

A eletrônica foi desenvolvida utilizando os seguintes materiais; 1 Arduino Uno Rev3 R3 Atmega 328 Smd; 1 cabo USB; 1 protoboard Breadboard 400 pontos; jumpers, retirados de fios de internet; 1 módulo RTC DS 1307 12C com uma bateria; 1 cartão de memória SD 2GB; 1 módulo micro cartão SD; 1 sensor de velocidade chave óptica para encoder 5mm; 1 disco encoder 20 dentes para o sensor de velocidade; 1 sensor de temperatura e umidade Dht11; 1 módulo encoder rotativo rotary sensor de direção; 1 eliminador 9V; 1 cubo de isopor 8,5 cm x 14 m x 3,5 cm para alocar o Arduino e a placa protoboard.

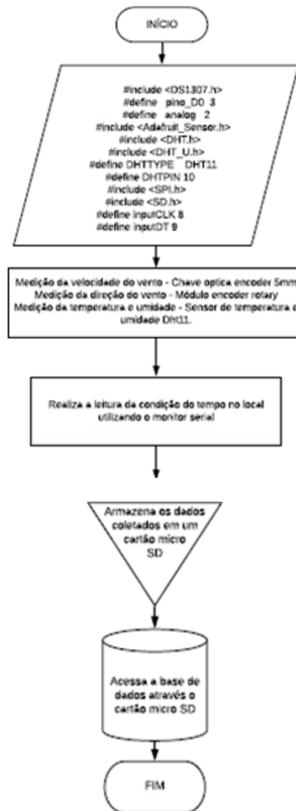
Estrutura da estação meteorológica

Após a definição dos materiais necessários para a construção, a base de sustentação foi construída e os tubos de PVC conectados, finalizando em uma torre de 3,8m de altura, com os compartimentos para proteger os sensores e a eletrônica.

Programação

A programação da estação consiste na configuração dos sensores utilizados, coleta dos dados através das entradas analógicas do Arduino, processamento dos dados e armazenado dos dados em cartão de memória SD. O fluxograma da programação pode ser visto na Fig. 1.

Figura 1. Fluxograma do funcionamento da estação meteorológica.



Fonte: Do Autor (2019).

Calibragem dos sensores

Os sensores utilizados apresentam valores padronizados de saída em função da leitura do sinal. No entanto, estimar a confiança dos sensores foi um padrão estabelecido. Como metodologia de avaliação, os dados coletados na estação foram confrontados com os valores disponibilizados na estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), mais próxima. Os dados utilizados para a compa-

ração são obtidos de uma estação autônoma, no mesmo período das medidas realizadas pela estação construída.

Coleta de dados

As leituras realizadas pelos sensores DHT11, encoder de velocidade e encoder rotativo, são enviadas ao módulo cartão micro SD, no qual tem a função de guardar os dados, enviando-os para um micro cartão de memória SD de 2GB em intervalos de quatro segundos.

Custos

Por se tratar de uma estação de baixo custo, o reaproveitamento de material esteve sempre presente ao longo de todo o processo. No entanto, alguns itens precisaram ser comprados, pois se trata de equipamentos eletrônicos. Em relação a parte estrutural, após a seleção dos materiais reaproveitados, foi necessário ainda a compra de matérias com um custo total de R\$ 24.00. Os componentes eletrônicos adquiridos para o projeto tiveram um somatório da ordem de R\$ 132,00.

Resultados e discussão

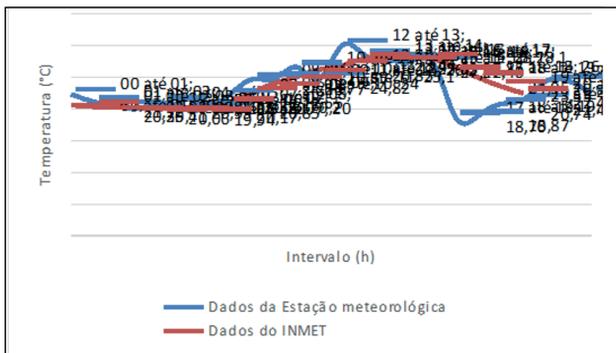
Como descrito nas seções anteriores, a estação meteorológica é construída no CETENS, campus da UFRB situado na cidade de Feira de Santana. Após a definição do projeto e programação dos sensores, foi definido o local de instalação da estação meteorológica experimental. Dois pontos importantes levados em consideração para definição da localização inicial da estação é a proximidade de um ponto de rede elétrica e internet, para alimentar o sistema e possibilitar uma futura aquisição de dados de forma online. Uma imagem da estação montada pode ser vista na Figura. 2.

Figura 2. Estação meteorológica.

Fonte: Autoral (2019).

Na Figura 3 a seguir apresentamos um comparativo dos valores coletados de temperaturas com os valores disponibilizados na plataforma do INMET para um período de 30 dias. Por meio do gráfico é possível inferir que os valores registrados para temperatura, nos dois bancos de dados, são semelhantes. Os valores adquiridos na estação apresentam boa concordância até as 16h, quando a estação experimental apresenta uma variação muito rápida de temperatura. Este comportamento pode ser mais bem estudado em futuros experimentos.

Figura 3: Gráfico da comparação entre os valores de médios de temperatura da estação experimental e da plataforma do INMET, para um período de 30 dias em 24h.



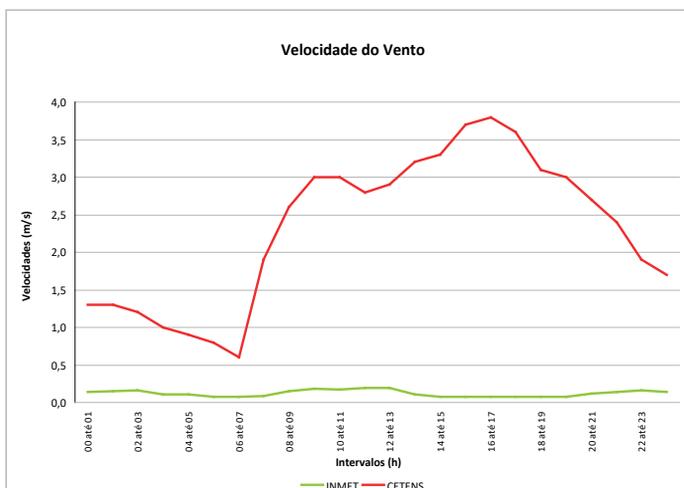
Fonte: Autoral (2020).

Os valores médios de umidade obtidos com a estação ao longo do período de 30 dias apresentaram-se abaixo do esperado para a região. Segundo dados do INMET, espera-se para a região de Feira de Santana, valores de umidade entre 50% a 95%. No entanto, os valores médios diários ficaram abaixo dos 30%.

A discrepância entre os valores esperados e os valores obtidos, nessa ordem de grandeza precisa ser investigada, para descartar desde um possível erro no sensor até alguma interferência externa a estação, que possa comprometer os valores coletados.

Os valores mostrados na figura 4 são relativos à velocidade do vento e foram coletados por meio de um sensor Encoder, que fez o papel de anemômetro. Por meio do gráfico das velocidades médias, percebemos que os valores estão compreendidos entre 0,5 m/s e 4,0 m/s, uma faixa esperada de valores para uma estação instalada dentro de área com construções.

Figura 4: Gráfico da comparação entre os valores de médios das velocidades da estação experimental do CETENS e da plataforma do INMET, para um período de 30 dias com intervalos de 24h.



Fonte: Autoral (2020).

Ainda por meio da figura 4 é possível perceber que os valores de velocidades do vento na cidade de Feira de Santana não são tão altos, com velocidade máxima avaliada de 4,0 m/s. Os valores apresentados no gráfico tanto para a estação experimental quanto do INMET, mostram as variações que podem ocorrer com relação a velocidade, dentro de uma mesma cidade, considerando o local de medição.

Os valores médios de direção do vento detectados dentro do CETENS com a estação experimental não apresentaram variações significativas. Mostrando que o vento adota uma direção preferencial dentro do campus.

O banco de dados da estação comporta um micro cartão SD de 2 GB com espaço suficiente para armazenar aproximadamente 15,7 bilhões de dados. Os dados ficam disponíveis a todo o corpo docente e discente do CETENS na própria estação meteorológica.

É importante destacar que quando o módulo Wi-Fi for incorporado ao sistema, os dados ficarão disponíveis online, evitando o acesso direto a estã por usuários.

Considerações finais

A construção e operação da estação meteorológica cumpriu satisfatoriamente o objetivo de disponibilizar dados para trabalhos acadêmicos, porém observou-se que os dados produzidos pelos sensores que ainda precisam passar por rigoroso teste de calibração. São dados específicos do CETENS, mas que podem ser coletados em localidades diferenciadas, simplesmente pelo fato de possibilitar a locomoção, o que dá amplitude aos trabalhos acadêmicos dos estudantes do CETENS. A comparação dos valores coletados de temperaturas com os valores disponibilizados na plataforma do INMET para um período de 30 dias mostra que os registros são semelhantes,

mas os valores na estação apresentam variação muito rápida de temperatura após as 16 h, o que pode ser objeto de estudos futuros.

Os dados coletados por meio da estação meteorológica revelaram informações importantes do local de coleta, como: na velocidade do vento percebeu-se variação entre 0,06m/s e 0,2m/s; a temperatura variou entre 19°C e 30°C; a umidade variou de 16 % a 20 % e a direção do vento apontou para 0° (Norte). Todas essas informações foram retiradas do banco de dados gerados pela estação construída e instalada no CETENS.

Independente das médias dos dados estarem precisas neste momento, o objetivo de construir uma estação meteorológica foi cumprida satisfatoriamente. Por mais que exista uma estação profissional funcionando e disponibilizando dados referentes a locais próximos do CETENS, os dados coletados no próprio local de estudo pelos alunos podem ser muito mais atraentes para o aprendizado. Portanto, é perceptível a importância em ter uma estação móvel.

O desenvolvimento de qualquer tecnologia traz benefícios para a comunidade acadêmica e principalmente para a sociedade. A construção de equipamentos tecnológicos nas universidades traz bases sólidas aos estudantes universitários. O aprendizado é algo que se constrói não apenas com teoria, mas também com prática, aplicando o que foi aprendido em sala de aula. Na construção da nossa estação meteorológica não foi diferente, o aprendizado fez parte de cada etapa de produção, planejamento, fabricação, montagem e instalação da estação meteorológica.

Diante de todas as etapas, foi possível refletir sobre o que um estudante de engenharia precisa para ser um profissional completo, construir tecnologias, pois as tecnologias revolucionam o mundo. Portanto, para o estudante de engenharia, desenvolver as habilidades construtivas é fundamental para o desempenho da profissão.

Referências

CRESESB. **Energia Eólica Princípios e Tecnologias**. [S.l.]: CEP-PEL–CRESESB, 2008.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: Evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 07–16, 2011.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MORELLI, F. d. S. **Panorama geral da energia eólica no Brasil**. 2012. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

RESENDE, F. d. O. **Evolução tecnológica dos sistemas de conversão de energia eólica para ligação à rede**. Edições Universitárias Lusófonas, 2011.

TIEPOLO, G. *et al.* **Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil**. In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE. [S.l.:s.n.], 2012.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>

Energia oceânica: dispositivos e impactos

*Camila Santos Oliveira
Luciano Sergio Hocevar*

Introdução

Neste Capítulo trataremos dos dispositivos para geração de energia elétrica através dos oceanos e seus respectivos impactos.

O Brasil, dotado de dimensões continentais e de consequente variabilidade natural e diversidade de biomas, acaba detendo uma quantidade razoável de possíveis fontes de geração de energia elétrica, como carvão, petróleo, sol, vento, rios e mares. Contudo, a análise da matriz energética nacional, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2018 (EPE, 2018), evidencia a participação da hidroeletricidade, com 60 % do total de energia elétrica produzida no país, enquanto a geração eólica não passa de 8% e a solar de 2% (ANEEL, 2018). Essa é a descrição de uma matriz energética dependente.

Matriz energética é o conjunto de recursos de fontes de energia disponíveis em determinado local. Certos locais têm várias fontes de energia disponíveis, por exemplo, a Alemanha gera, da sua energia elétrica, 45% por energia solar, 36% por energia eólica, 9% por biomassa e 5% por usinas hidrelétricas (UPS, 2019). Quando se fala de uma matriz como esta, chamamos de “matriz energética diversificada”, ao passo em que as matrizes compostas de poucas fontes de energia, são designadas “dependentes”.

Quedas constantes no fornecimento de energia, apagões de maior duração, elevações sazonais nos preços do kWh e a possibilidade de extinção dos recursos, são algumas das consequências de se manter uma matriz energética dependente. Investir em energia

limpa – que não emite gases poluentes em sua conversão – e renováveis – que se refazem por si, e se tornam novamente disponíveis para exploração em um tempo relativamente curto – é prevenir os contratempos e prejuízos causados pela dependência energética de poucas fontes; é também diminuir os impactos negativos causados pelas formas geração tradicional, como a emissão de gases estufa na combustão de derivados do petróleo, e a destruição de grandes áreas de floresta para implantação de usinas hidrelétricas de grande porte.

Um aspecto interessante do potencial nacional no que tange às fontes de geração, é o tamanho do litoral: 8 mil quilômetros que, segundo Silva (2018) tem geração factível de 87 GW. Além de diversificar a matriz, a geração oceânica o faria por meio de uma geração limpa e renovável.

Este capítulo descreve algumas das possíveis formas de geração de energia elétrica para o aproveitamento dos recursos energéticos presentes nos oceanos e impactos esperados.

Resultados e discussão

Quando se tratam dos Oceanos, existem três aspectos básicos que podem ser utilizados para geração de energia elétrica: energia cinética de ondas, correntes e marés; gradiente térmico; e, gradiente de salinidade (TOLMASQUIM, 2016).

Inicialmente tratar-se-á de uma conversão de energia cinética: a das ondas. Os dispositivos que fazem essa conversão podem receber dois tipos de classificação: (1) quanto à distância da costa e (2) quanto ao tipo de dispositivo. Quando considerado o aspecto (1), os dispositivos de geração oceânica através de ondas podem ser: *Onshore*, também chamados de *shoreline* – dispositivos costeiros, cuja maior parte da usina fica em terra; *Near-shore* – dispositivos

que ficam próximos da costa, até 20m e assente no fundo do mar e, *Offshore* – dispositivos afastados da costa, cerca de 50m e com dispositivos flutuantes (CRUZ E SARMENTO, 2004). Alguns autores consideram os dispositivos *NearShore* como sendo *OffShore* por não terem nenhuma parte do seu dispositivo de geração conectado à terra, contudo, as classificações que os separam justificam isso por conta das diferenças de construção entre os dispositivos que são necessárias por conta da profundidade. Nas profundidades maiores os efeitos de dissipação de energia, como os relacionados ao atrito da onda com o fundo do mar, e à rebentação de ondas, são menores. Estes só se manifestaram para profundidades inferiores a 80m e 10m, respectivamente. Isso implica na necessidade de uma construção mais robusta, e conseqüentemente mais cara, para os dispositivos *offshore*, uma vez que eles terão de suportar um regime de ondas maior.

Pelo tipo do dispositivo têm-se: CAO – coluna de água oscilante (*OWC – Oscillating Water Column*); Corpos flutuantes – podendo ser: absorção pontual (*Point Absorbers*) ou progressivos (*Surging Devices*); e, Galgamento (*Overtopping Devices*). Os dispositivos do tipo CAO são descritos por Cruz e Sarmiento (2004, p.16) da seguinte forma: “estruturas ocas parcialmente submersas, que se encontram abertas para o mar, abaixo da superfície livre da água”, dentro das quais o processo de geração ocorre com a pressurização do ar e a sua despressurização conforme o movimento das ondas. Para que ocorra o aproveitamento do fluxo do fluido nos dois sentidos, é utilizada uma turbina que possui a propriedade de manter o sentido de rotação independentemente do sentido do escoamento, chamada auto-retificadora. A tecnologia é aplicada, geralmente, a dispositivos *onshore*.

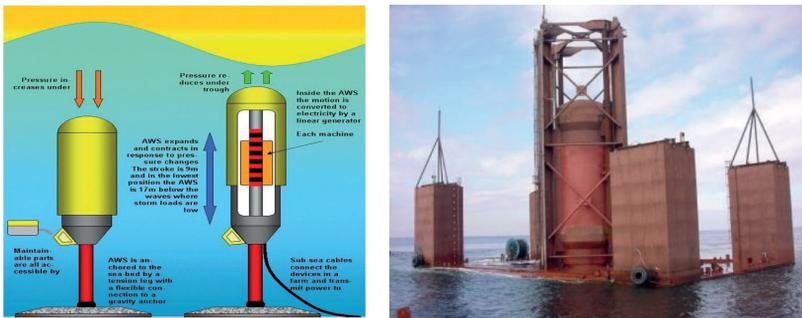
Figura 1. CAO: esquema do mecanismo de funcionamento do dispositivo.



Fonte: Columbia University (2020).

Cruz e Sarmento (2004, p. 23) descrevem dois dispositivos do tipo 'Corpos Flutuantes': o *Archimedes Wave Swing* e o Pelamis. O *Archimedes Wave Swing* (Oscilação de Onda de Arquimedes) é composto por dois cilindros ocios colocados um sobre o outro, com ar pressurizado entre eles. O superior flutua e o inferior é ligado por cabos ao fundo do mar. Ao passo em que as ondas oscilam, movem o cilindro superior que conectado a um gerador, produz energia elétrica. Já o Pelamis é um sistema alongado disposto no sentido de propagação da onda, com uma estrutura articulada semi-submersa composta de vários módulos cilíndricos unidos por juntas flexíveis. Quando as ondas oscilam, os módulos oscilam e acionam geradores elétricos.

Figura 2. *Archimedes Wave Swing*: esquema do mecanismo de funcionamento e foto do dispositivo.



Fonte: AWS Ocean Energy (2020).

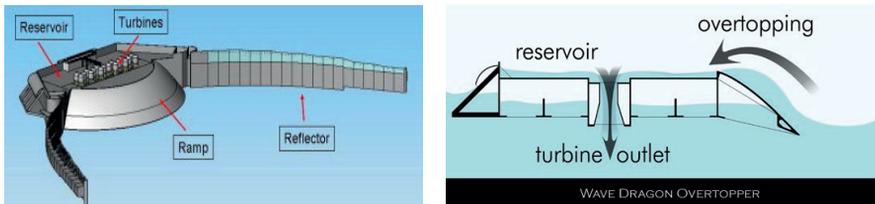
Figura 3. Pelamis: esquema do mecanismo de funcionamento e foto do dispositivo.



Fonte: The European Marine Energy Central - EMEC (2020).

Do tipo galgamento, o *Wave Dragon* consiste em dois refletores que focam as ondas incidentes para uma rampa, depois da qual há um reservatório. Este é um dispositivo em que a água das ondas usa a rampa para alcançar um reservatório e, em seguida, uma série de turbinas de baixa queda, gerando assim, energia elétrica.

Figura 4. *Wave Dragon*: esquema do mecanismo de funcionamento do dispositivo.



Fonte: Global Greenhouse Warming (2020).

Figura 5. *Wave Dragon*: foto do protótipo funcionando em Nissum, Dinamarca.



Fonte: Wave Dragon Enterprises (2009).

Além do movimento da energia cinética de ondas, também é exequível a conversão da energia cinética das marés em energia elétrica. Existem dois tipos de geração maremotriz: de efeito simples, somente na vazante; de efeito duplo, tanto na enchente quanto na vazante. Uma usina maremotriz se assemelha imensamente a uma usina hidrelétrica, em uma barragem são instaladas turbinas e comportas por onde a água verte. Na geração de efeito simples as comportas ficam abertas durante a enchente e as turbinas funcionam durante a vazante, na de efeito duplo, tanto a cheia quanto o esvaziamento do reservatório ocorrem pelas turbinas, que se utilizam da turbina auto retificadora do tipo *Wells* para garantir a continuidade da geração nas duas direções do fluxo.

Figura 6. Maremotriz: foto de usina operante em La Rance, França.



Fontes: *Connaissance des Energie* (2015).

Figura 7. Maremotriz: esquema de funcionamento.

Fontes: GNN (2015).

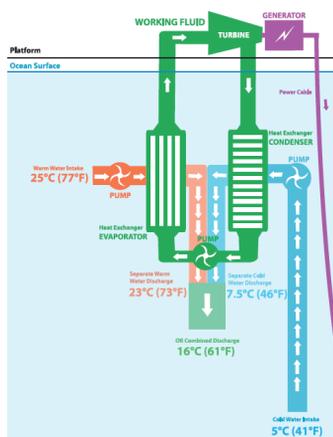
Também é possível a geração através de correntes marítimas e correntes de marés. Um gerador através de correntes muito se assemelha a um aerogerador, todavia submerso, que, por esta condição, pode aproveitar o maior potencial de geração da água, que é 850 vezes mais densa que o ar. O aumento na densidade implica em um maior número de rotações por minuto e em, conseqüentemente, uma maior geração (TESTER *et al*, 2012).

Além das conversões de energia cinética, existem estudos nas áreas das gradações de salinidade e temperatura para aproveitá-las para a geração de energia elétrica. No campo do gradiente de salinidade, é proposto um aproveitamento da diferença de salinidade entre o mar e um estuário para gerar energia elétrica. Em dois tanques, cada um com água advinda de uma das fontes supracitadas, uma das paredes é substituída por uma membrana semipermeável, conectando-os. O fluido flui naturalmente de um tanque para outro para equilibrar a quantidade de sal, em um processo chamado Osmose. O tanque inicialmente mais salino, que recebe o fluido oriundo na membrana, tem um aumento de pressão da água, esta, canalizada e utilizada para mover uma turbina

conectada a um gerador. Esse método de geração se baseia no modelo ORP - Osmose Retardada por Pressão (STATKRAFT, 2013).

Para a utilização do gradiente térmico, pensou-se o método, ainda apenas teórico OTEC - *Ocean Thermal Energy Conversion*. Em águas tropicais, a diferença de temperatura entre camadas de água de diferentes profundidades é bastante expressiva, Tester *et al* (2012) mostram que existe uma diferença de (20-25)°C entre a temperatura da água na superfície e aquela à centenas de metros abaixo, o que imprime uma viabilidade teórica do funcionamento do mecanismo, uma vez que este teoricamente ocorrerá com uma discrepância de 20°C entre as temperaturas. O funcionamento do mecanismo pode ser descrito da seguinte forma: a água da superfície, mais quente, pode ser usada para aquecer um reservatório contendo fluido com ponto de ebulição mais baixo que a água, como amônia que, aquecido, moveria uma turbina ligada a um gerador para a produção de energia. Em seguida, entraria em outro reservatório, exposto a águas bombeadas de profundidades maiores, portanto mais frias, que atuaria como condensador, fazendo com o fluido voltar ao estado líquido para reiniciar o ciclo (NOAA).

Figura 8. OTEC: esquema do mecanismo de funcionamento do dispositivo.



Fonte: NOAA (2019).

Apesar de ditas renováveis e limpas, a implantação de toda e qualquer usina causa um impacto. O dicionário Michaelis define “impacto” como “efeito que, por sua força, impede ou arreta mudanças; choque emocional, abalo, comoção, perturbação”. Diversos fatores provocam mudanças sociais, abalos econômicos, perturbações ambientais - múltiplas variáveis culminam em diferentes impactos, contudo, positivos ou negativos, os impactos, ou as consequências de uma dada interferência sempre estão presentes.

Na economia os impactos são bem expressivos em maiores construções, como as de usinas maremotrizes. Os trabalhadores se deslocam para o local da obra, demandando espaço para tráfego em rodovias, hospitais, escolas – uma vez que muitos levam a família – residências e serviços. Isso gera uma sobrecarga na estrutura do local. Em compensação, ao consumirem produtos e serviços em quantidade exacerbadamente maior que a que seria consumida antes da obra, eles fazem com que os negócios prosperem e, inclusive, surjam outros negócios destinados a atender às necessidades dessas pessoas. Isso faz com que as receitas aumentem e a cidade se desenvolva. Esse fenômeno é o que chamamos de Inflação Populacional. Durante o período da obra há um aumento de riqueza no local, contudo, finda a construção, muitas pessoas ficam desempregadas e muitas vão embora, o que faz com que os negócios que existiam para atendê-los, venham à falência (TOLMASQUIM, 2016).

Outro lado do impacto econômico pode ser analisado quando o assunto é o turismo local. Cidades de grande beleza natural que são sustentadas pelo fluxo de pessoas que as visitam, sofreriam um prejuízo muito grande com a construção de uma estrutura costeira, ou até mesmo próxima à costa, que causasse impacto visual. Alguns dispositivos também prejudicam a navegação, o que afeta o turismo, mas também afeta a pesca. Vilas de pescadores são comuns no li-

toral e sofreriam muito economicamente com a implantação de uma usina oceânica (TOLMASQUIM, 2016).

No âmbito social, o diálogo com as comunidades dos locais em que haverá a implantação é uma usina é um ponto crucial no sucesso do projeto. Enquanto *stakeholders*, eles podem até mesmo influenciar um embargo da obra. Daí a importância de mitigar impactos como a influência na cultura local, perturbação do modo de vida da população, as consequências sociais da inflação e da deflação populacional, como a sobrecarga na estrutura de serviços da cidade e o aumento da violência, respectivamente; a perda de patrimônio natural, arqueológico e arquitetônico por conta de inundações etc (TOLMASQUIM, 2016).

Quando se toca no assunto “impacto” o primeiro viés de que se se lembra é o ambiental. Os impactos ambientais em sua maioria são negativos e dependem do tipo de dispositivo a ser implantado. Assim como nos dois pontos considerados anteriormente – econômico e social – quanto maior a usina, mais impactos vão ocorrer. Em construções *onshore*, há supressão vegetal, interferência na fauna e na flora, erosão e assoreamento, por exemplo. Em alocações marítimas, têm-se influência na fauna e na flora aquáticas, alterações na qualidade da água e em usinas que usam a tecnologia ORP, supracitada, há aumento na salinidade da água ao redor da usina, o que pode causar até mesmo extinção de algumas espécies (TOLMASQUIM, 2016). Abaixo se pode ver uma tabela que contém os impactos de cada categoria de dispositivo de geração oceânica em cada um dos três vieses que foram analisados neste texto. Os dispositivos estão, em sua maioria, agrupados por distância da costa uma vez que os impactos são semelhantes entre estes.

Tabela 1. Impactos da geração oceânica por área de impacto e por tipo de geração.

Tipo de Geração	Impactos Econômicos	Impactos Sociais	Impactos Ambientais
Maremotriz	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de receitas locais - Dinamização da economia - Geração de empregos - Afeta o turismo - Afeta navegação e pesca 	<ul style="list-style-type: none"> - Perturbação no modo de vida da população - Impacto visual - Inflação populacional e suas consequências. - Patrimônio (natural, cultural, histórico, paleontológico, Arqueológico e paisagístico) 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência na fauna e na flora aquáticas - Interferência na fauna e na flora terrestres - Alteração do uso do solo - Alteração na qualidade da água - Afeta o ecossistema dos estuários - Erosão e assoreamento
OnShore	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de empregos - Incremento de receitas locais - Dinamização da economia - Afeta o turismo 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto visual - Inflação populacional e suas consequências 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência na fauna e na flora terrestres - Alteração do uso do solo
OffShore e Correntes	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de empregos - Afeta o turismo - Afeta navegação e pesca 	<ul style="list-style-type: none"> - Navegação e Pesca 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência na fauna e na flora marinhas
Gradiente Térmico	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de receitas locais - Geração de empregos 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto visual 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência na fauna aquática - Alteração do uso do solo - Alteração na qualidade da água - Emissão de gases
Gradiente de Salinidade	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de receitas locais - Geração de empregos 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto visual 	<ul style="list-style-type: none"> - Interferência na fauna e na flora - Alteração do uso do solo - Alteração na qualidade da água

Fonte: Autoral (2020).

Considerações finais

A geração oceânica, por ser renovável e limpa, é digna de estudo, e uma alternativa interessante às formas de geração tradicionais, como a utilização de combustíveis fósseis. Contudo, enquanto tecnologia ainda em desenvolvimento, os custos para implantação são altos e o desempenho dos dispositivos precisa ser aprimorado para tornar a adoção de uma dessas formas alternativas de geração economicamente viável.

Também, as usinas perdem em eficiência quando comparadas às formas de geração tradicionais, inclusive as que funcionam com o mesmo princípio, por exemplo: as usinas maremotrizes e as hidroelétricas geram a partir de turbinas instaladas em barragens, o que implica em um custo similar na construção da estrutura, contudo, a tecnologia das turbinas de uma maremotriz – auto retificadoras – é muito mais cara e não tão eficiente quanto a das hidroelétricas. Apesar disso, é a mais eficiente no quesito quantitativo de produção dentre as oceânicas.

Algo similar ocorre com as usinas de geração osmótica, a empresa Statkraft descontinuou em 2013 a planta de testes por conta da constatação da inviabilidade econômica, não existindo até então membranas com a eficiência necessária transpor este obstáculo (STATKRAFT, 2013).

Em questão de impactos, a maremotriz destaca-se. Isso ocorre por conta das dimensões do empreendimento e das características específicas dos locais onde este tipo de geração pode ser implantada. O mesmo ocorre com a geração a partir de ondas na modalidade *Onshore*. Porém, existem usinas destas duas modalidades operando ou definitivamente ou em fase de testes, enquanto modalidades que não se destacam - como geração por gradiente de temperatura - não têm projetos fora do papel, o que torna a mensuração dos reais impactos imprecisa.

Para que o potencial energético dos litorais possa ser aproveitado, faz-se necessário o investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia com o fim de melhorar a eficiência dos equipamentos e dos processos de geração.

Referências

Alemanha. Ministério Federal das Relações Externas. 2019. **A transição energética alemã**. Disponível: www.energiewende-global.com/pt/?topic=erneuerbare-energien. Acesso em: 21.03.19.

AWS Ocean Energy. **Archimedes Wave Swing**. Disponível em: <https://teamwork.nl/front-page/twt/portfolio/aws-2/>. Acesso em: 05 jun 2020.

Columbia University. **LIMPET: Land Installed Marine Powered Energy Transformer**. 2010. Disponível em: <https://blogs.ei.columbia.edu/2010/05/19/limpet-land-installed-marine-powered-energy-transformer/>. Acesso em: 06 jun 2020.

Connaisance des Energie. **Énergie marémotrice** 2015. Disponível: www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-maromotrice. Acesso em: 06 jun 2020.

CRUZ, J.; SARMENTO, A. **Energia de ondas**. Alfragide: instituto do ambiente, 2004.

EMEC: European Marine Energy Central. **Pelamis Wave Power**. Disponível em: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>. Acesso em: 06 jun 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. 2018. **Balanco energético nacional 2018**: ano base: 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

Global Greenhouse Warming. **Wave Dragon**. Disponível em: <http://www.global-greenhouse-warming.com/wave-dragon.html>. Acesso em: 06 jun 2020.

GGN. **A exploração da energia das marés com turbinas flutuantes**. 2015. Disponível em: <https://jornalgggn.com.br/energia/a-exploracao-da-energia-das-mares-com-turbinas-flutuantes/>. Acesso em: 06 jun 2020.

MICHAELIS. **Impacto**. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/impacto/>. Acesso em: 19 mar 2019.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration: office ocean & coastal resource management. **Ocean thermal energy conversion (otec): tecnology**. Disponível em: <https://www.coast.noaa.gov/czm/media/technicalfactsheet.pdf>. Acesso em 30 abr. 2019.

NETO, Pedro. Saavedra, Osvaldo. Camelo, Nelson. Ribeiro, Luiz. Ferreira, Rafael. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare: revista chilena de ingeniería**, Chile, vol.19, n.2, p.219, 2011.

OCE. **Technology**. Disponível: www.oceancurrent.energy/technology. Acesso em: 05 mai. 2019.

SILVA, Tauane. 2018. **Energia de ondas no Brasil**. Disponível em: <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7953>. Acesso em: 03 fev. 2019.

STATKRAFT. 2013. **Statkraft halts osmotic power investments**. Disponível: www.statkraft.com/media/news/news-archive/2013/statkraft-halts-osmotic-power-investments. Acesso em: 15 mar. 2019.

TESTER, Jefferson; DRAKE, Elisabeth; DRISCOLL, Michael; GOLAY, Michael; PETERS, Willian. **Sustainable Energy: Choosing Among Options**. 2 ed. – Estados Unidos da América: MIT PRESS, 2012.

TOLMASQUIM, M. **Energia renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

Wave Dragon Enterprises. **Prototype Testing in Denmark**. 2009. Disponível em: www.wavedragon.co.uk/2009/03/15/prototype-testing-in-denmark. Acesso em: 06 jun 2020.

Energia Oceânica: possibilidades

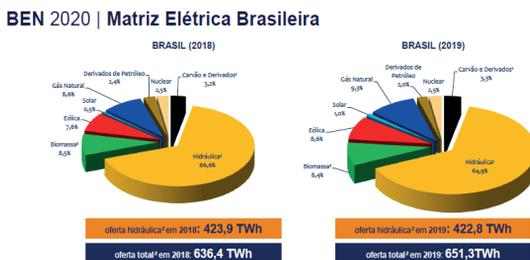
Camila Santos Oliveira
Luciano Sergio Hocevar

Introdução

Neste Capítulo analisaremos a possibilidade de geração de energia através dos oceanos – litoral soteropolitano.

A Matriz Elétrica Brasileira, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2020 (EPE, 2020), mostra o protagonismo das usinas hidrelétricas - UHE, com 64,9% do total da oferta interna de energia elétrica no país, enquanto outras fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica, tem participação de 7,6% e de 0,5%, respectivamente, como pode ser deduzido a partir da análise da Figura 1. No mesmo relatório não há dados relativos à geração de energia elétrica através dos oceanos, as tecnologias marítimas e hidrocinéticas (MHK), apesar da vastidão do litoral brasileiro, com 4,5 milhões de km² de área marítima e um litoral de 7,4 mil quilômetros de extensão (BRASIL, 2019).

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira.



¹ Inclui gás de coque, gás de alto forno, gás de acetate e alvejão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, tábua, biodiesel e outras fontes primárias.

Pode-se justificar a ênfase na geração hidrelétrica pela abundância de recursos hídricos no país e pelo domínio da tecnologia, além de ser um recurso renovável. Contudo, não é a única que preenche tais requisitos, pois sol, ventos e mares estão disponíveis em abundância e também são renováveis, apesar de pouco explorados. No que toca a segurança energética, quanto mais diversa a matriz, mais segura a oferta de energia e menor a vulnerabilidade em períodos de estiagem prolongada, como ocorre na geração hidrelétrica, com apagões ocasionais e aumento de custos, quando a geração precisa ser feita pelas termelétricas.

Em termos globais, segundo o pesquisador, Segen Estefen (2006), a capacidade de geração das tecnologias MHK é de cerca de 10 TW, o que equivale a metade de todo o consumo de eletricidade do planeta em 2017 (BRASIL, 2017). Mas restrições impostas pela preservação de rotas de navegação, regiões turísticas e de lazer, além das perdas no rendimento dos conversores, indicam que é aceitável um aproveitamento de 10% dessa capacidade. Isto é suficiente para gerar um acréscimo de 1 TW na matriz mundial, já previsto para as próximas décadas. Para efeito de comparação a UHE de Itaipu tem capacidade para gerar 14 GW.

O mesmo autor estima que a geração de eletricidade pelas ondas do mar se configura também como uma nova oportunidade para negócios no setor de energia, pois o aumento da demanda, impulsionado pelo crescimento da economia mundial, está inserido num cenário de preocupações com o aquecimento global e altos preços do petróleo. Ele estima que a consolidação da tecnologia de aproveitamento da energia das ondas se dê num prazo de 10 a 15 anos e que as tecnologias que se mostrarem comercialmente competitivas irão disputar cerca de 5 % do mercado mundial de energia elétrica e, além disso, deve-se considerar que, em médio prazo, com o declínio das reservas petrolíferas, a substituição parcial por energias limpas e

renováveis irá priorizar os recursos ambientais locais. Esta pode ser uma boa oportunidade para Salvador.

Este capítulo tem como objetivo propor alternativas de aproveitamento energético do litoral soteropolitano, assim como avaliar seus possíveis impactos.

Outro fator a ser considerado é que a massa d'água está em constante movimentação nos oceanos, uma energia natural e disponível, apesar de haver restrições técnicas e econômicas quanto ao aproveitamento do potencial das correntes marinhas.

Este capítulo é resultado de pesquisa sobre a eficiência de dispositivos de geração de energia elétrica através dos oceanos, livros sobre os impactos socioeconômico-ambientais de cada tipo de geração e diversas informações atualizadas sobre o tema, incluindo sites especializados, nacionais ou estrangeiros. Consideraram-se as condições ambientais e marítimas do litoral de Salvador, tanto da orla oceânica do Farol da Barra ao limite do município na direção do Farol de Itapuã, quanto a orla da Baía de Todos os Santos.

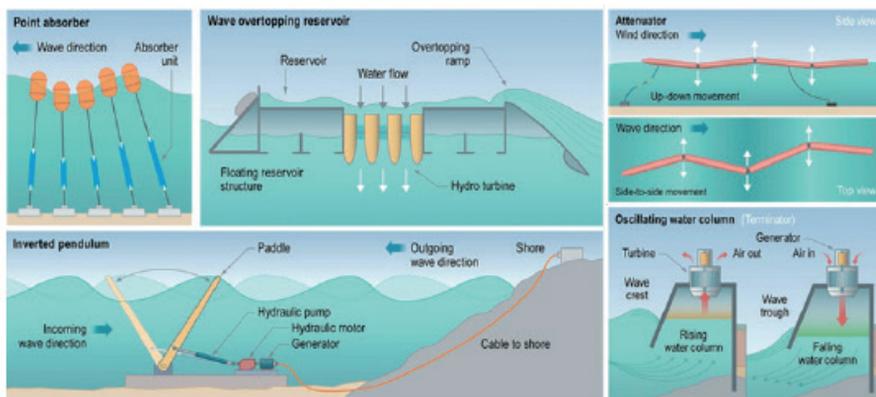
Resultados e discussão

A análise dos impactos da produção de energia a partir de tecnologias marítimas e hidrocinéticas (MHK) nos leva a destacar como seu principal ponto positivo o fato de ser uma fonte renovável, que não emite gases de efeito estufa e pode ser considerada, portanto, uma geração de energia limpa. Além do mais, é recurso abundante, considerando que os oceanos cobrem 70% da superfície terrestre e, especialmente no caso de Salvador, onde grande parte dos limites do território municipal é banhada ou pelo litoral oceânico ou pela Baía de Todos os Santos - BTS, com área de 1.223 km² (SOUZA, 2017), enquanto a extensão do litoral soteropolitano é de cerca de 130 km (SOUZA, 2014).

De forma geral, os empreendimentos com tecnologias MHK requerem estruturas simples e pequenas, que causam poucos impactos no meio ambiente e nas populações locais, sendo ideais para implantação no litoral de Salvador ou na área marítima da BTS.

A Figura 2 ilustra alguns conceitos para dispositivos de corrente de onda, maré, oceano e rio que foram considerados e/ou estão atualmente em estágio de desenvolvimento tecnológico. Uma lista mais abrangente de configurações de dispositivos MHK, projetos atuais e empresas de desenvolvimento é fornecida pelo Banco de dados do Departamento de Tecnologia Marinha e Hidrocinética de Energia dos EUA no site da OpenEI.

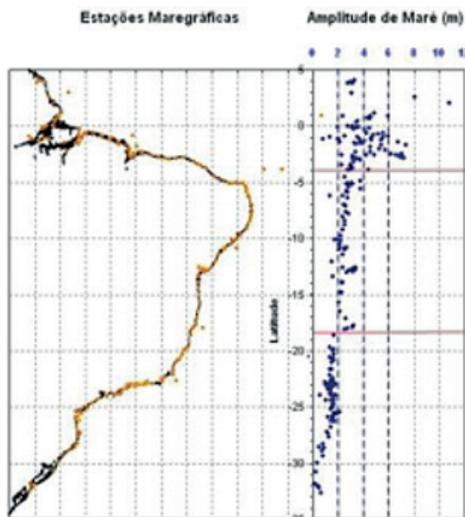
Figura 2. Exemplos de dispositivos de energia das ondas.



Fonte: OpenEI (2014).

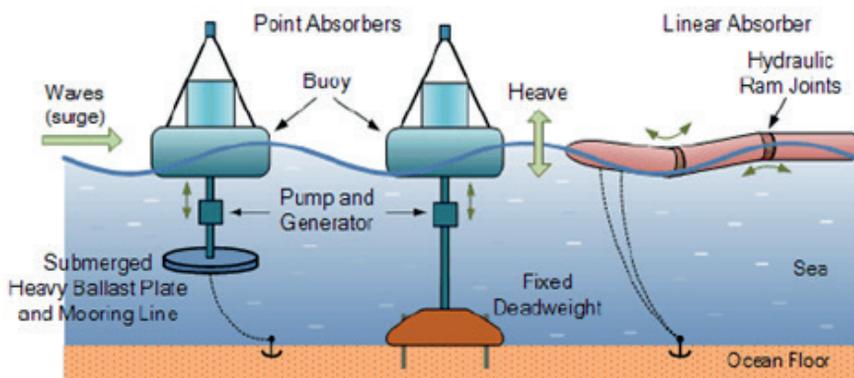
Considerando os exemplos da Figura 2 e a amplitude das marés do litoral de Salvador, ilustrados pela Figura 3, selecionamos aqueles que consideramos mais adequados às condições marítimas de Salvador, que são o Absorvedor e o Atenuador Linear, mostrados com mais detalhes na Figura 4 a seguir.

Figura 3 – Amplitude (em metros) de Maré do litoral de Salvador.



Fonte: Fleming (2012).

Figura 4 - Estruturas MHK do tipo Oscilante.

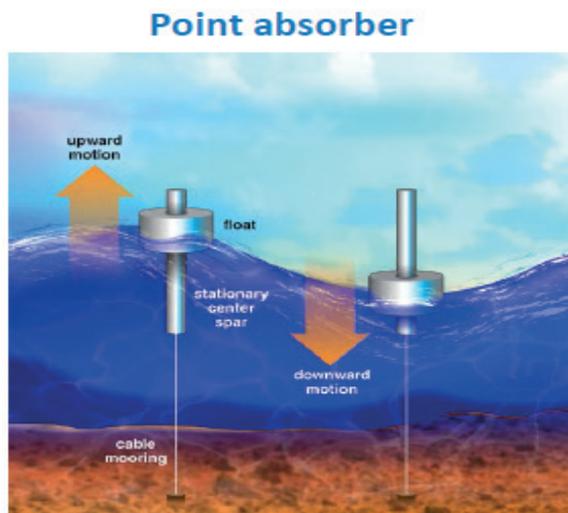


Fonte: Rothbarth (2017).

Os equipamentos oscilantes para a produção de energia a partir de tecnologias marítimas e hidrocinéticas (MHK) do tipo Absorvedores são estruturas flutuantes compostas por um conjunto de bóias que se

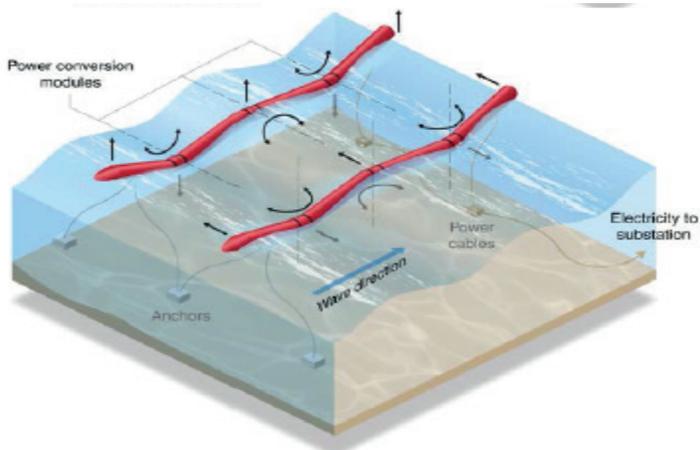
movimentam em ressonância com as ondas, oscilando verticalmente, de modo a acionar uma bomba que atua em conjunto com um gerador. Podem ser fixas no fundo do mar ou estacionárias, quando possuem um contrapeso para mantê-las estáveis e capazes de produzir energia após a passagem de cada onda, como mostra a Figura 4.

Figura 5 – Dispositivo MHK Oscilante do tipo Absorvedor.



Fonte: THRESHER (2014).

Já os equipamentos oscilantes de tecnologia MHK tipo Atenuadores Lineares são estruturas oscilantes horizontais que movimentam um sistema gerador de energia, em consonância com a oscilação mecânica da onda. É uma tecnologia na qual o dispositivo posiciona-se transversalmente ao movimento das ondas e consiste de um conjunto de seções cilíndricas semi-submersas unidas por juntas articuladas, que usa os movimentos do mar para gerar eletricidade. Assim, o movimento relativo entre as seções, provocado pelo movimento das ondas comprime e expande um fluido que move um gerador elétrico (ver Figura 6).

Figura 6 - Dispositivo MHK Oscilante do tipo Atenuador Linear.

Fonte: THRESHER (2014).

Como se pode ver pela Figura 6, que mostra o funcionamento dos Atenuadores Lineares, estes equipamentos podem operar tanto na superfície, quanto semi-submersos, sempre em posição perpendicular ao movimento das ondas. Esta tecnologia pode ser uma escolha muito apropriada para utilização no litoral soteropolitano, já que o movimento das águas também pode ser aproveitado abaixo da superfície, por meio da geração por correntes marítimas e correntes de marés. Teoricamente, de acordo com estudos do Plano Nacional de Energia 2030 para geração de energia elétrica de outras fontes (MME, 2007), é necessário apenas 1 km² de área para gerar 30 MW de energia elétrica. Esta área, se bem sinalizada e adequadamente localizada, teria mínimos impactos ambientais e sociais, e traria benefícios principalmente para as localidades insulares de Salvador, com comunidades tradicionais de economia baseada em atividades pesqueiras e marisqueiras.

A geração de 30MW equivale à de uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH, segundo classificação da ANEEL, que deve ter entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada. Ressalte-se que a Bahia

tem 10 PCHs instaladas com potência instalada menor do que 30 MW, segundo dados do Atlas Eólico da Bahia.

Tabela 1. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) em operação na Bahia.

	Usina	Geração (MW)
1	Sítio Grande	25
2	Pedra	20
3	Colino 2	16
4	Cachoeira Da Lixa	15
5	Colino 1	11
6	Alto Fêmeas	11
7	Presidente Goulart	8
8	12 Centrais Geradoras HE	5
9	Santa Cruz	4
10	Piloto	2

Fonte: Atlas eólico da Bahia (2013).

Também pode-se computar que a mesma geração obtida em 1 km² de área com os Atenuadores Lineares é maior do que algumas da Usinas Termoelétricas (UTE) em operação no estado, segundo dados da ANEEL (2019).

Tabela 2. Usinas Termelétricas em operação / Bahia (capacidade menor que 30 MW).

	Usina	Geração (MW)
1	Camaçari 1	20
2	Metalúrgica Caraíba	18
3	Bahiapulp	14
4	Veracel	13

Fonte: ANEEL.(2019).

Considerações finais

A geração de energia elétrica a partir dos oceanos, uma fonte renovável e limpa, é alternativa muito interessante em comparação às formas tradicionais de geração de energia, como as termelétricas e as hidrelétricas. Pode-se assim considerar tanto pelo aspecto da geração da energia, que não emite gases do efeito estufa ou outras formas de resíduos, quanto pelo aspecto de seus impactos sociais, ambientais e econômicos. Pode-se computar muito mais aspectos positivos em relação à sua interferência no ambiente e nas comunidades onde se pretende instalá-los.

Contudo, um ponto importante que deve-se levar em consideração é que as tecnologias marítimas e hidrocinéticas MHK ainda encontram-se na rampa ascendente de desenvolvimento tecnológico, o que pode significar uma relação direta com custos de implantação momentaneamente altos, mas com tendência a diminuir, e também com o desempenho e com a eficiência dos dispositivos, que precisam e serão aprimorados, para tornar a adoção dessa forma alternativa de geração de energia cada vez mais competitiva do ponto de vista econômico, frente às tecnologias já estabelecidas.

As características geográficas da localização do município de Salvador, com situação privilegiada de litoral tanto na face interna da Baía de Todos os Santos quanto na orla oceânica, propiciam e recomendam um aproveitamento deste potencial marítimo para a geração de energia elétrica por meio das tecnologias MHK. E considerando-se todos estes fatores, pode ficar bem nítida a escolha dos Atenuadores Lineares ou dos equipamentos oscilantes do tipo Absorvedores para ao aproveitamento deste potencial para a geração de energia elétrica.

As vantagens em termos de impactos ambientais baixos, pequena área necessária para a geração de energia e o ganho com im-

postos, além dos benefícios oferecidos às comunidades isoladas, especialmente as insulares, são enormes, já que não são necessários cabos de transmissão de longa distância, como ocorre atualmente, com usinas geradoras distantes dos locais de consumo e dos consumidores de energia elétrica.

Referências

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em : 30 de Outubro de 2019.

Atlas Eólico: Bahia. Governo do Estado da Bahia: SECTI; SEINFRA; CIMATEC / SENAI. Salvador, 2013. 96p., 7f. Dobradas : Il., Mapas; 33 X 46 Cm.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.defesa.gov.br/forcas-armadas/marinha-do-brasil>. Acesso em 12 de Outubro de 2019.

BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2020, Ano Base 2019**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: MME: EPE, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em 24 de Julho de 2020.

BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia. Energia no Mundo 2015-2016. **Matrizes Energéticas, Matrizes Elétricas e Indicadores**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+energia+no+mundo+-+matrizes+e+indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28pdf%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23a29a-5505323a1dd0ed0e7d02e956e2.srv155>. Acesso em 12 de Outubro de 2019.

BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030 / Geração de Energia Elétrica a Partir de Outras**

Fontes / Ministério de Minas e Energia; Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007. 12 V.: II. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em 24 de Julho de 2020.

ESTEFEN, S. 2006. **Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar**. Disponível em: <https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar>. Acesso em 24 de Julho de 2020.

FLEMING, F.P. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. 85 P. Dissertação (Mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

OpenEI (2014). “The Open Energy Information Website”. **OpenEI Partners with a broad range of international organizations to provide energy information and data**. Disponível em: http://en.openei.org/wiki/marine_and_hydrokinetic_technology_database. Acesso em 24 de Julho de 2020.

ROTHBARTH, S.G.B.G. **Estudo de Viabilidade da Instalação de Usina Marítima de Geração de Energia Elétrica no Litoral Norte de Santa Catarina**. 115f. Monografia Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville, 2017.

SOUZA, E.B de. **Planejamento e Gestão da Orla Marítima de Salvador – Bahia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal da Bahia - UFBA. Salvador – BA, 2017. 316 F. : II.

SOUZA, L.A. **O Urbanismo na Interface do Turismo: usos e apropriações especulativas do litoral da Bahia**. 2014. 442 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/15156/1/o%20urbanismo%20na%20interface%20do%20turismo%20-%20luiz%20antonio%20de%20souza.pdf>. Acesso em 11 de Outubro de 2019.

THRESHER, R. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. NREL – National Renewable Energy Laboratory. **Boem Offshore Renewable Energy Workshops: Ocean Wave Energy Technology**. Sacramento, California. 2014.

Sobre os autores

Anderson Dourado Sisnando

Possui graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual de Feira de Santana (2007), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (2011), Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (2014) e Pós-Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (2015-2017). Atualmente é Professor Adjunto A - Matemática da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB / CETENS, Coordenador da Área de Conhecimento Ciências Exatas e da Terra do CETENS/UFRB.

E-mail: anderson.dourado@ufrb.edu.br

Aroldo Félix de Azevedo Junior

Possui graduação em Engenharia Química (2009), Licenciatura em Matemática (2006), Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2009) e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2014). Foi professor da Universidade Federal Rural do Semi Árido. Atualmente é professor Adjunto III da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

E-mail: aroldofelix@ufrb.edu.br

Bárbara Gomes Pereira

Bacharel em Energia e Sustentabilidade (BES) pela UFRB. Estudante do curso de Engenharia de Energias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, campus de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (UFRB / CETENS).

E-mail: barbarapereira501@gmail.com

Camila Ribeiro de Oliveira Félix

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2007). Possui mestrado (2009) em Engenharia Química também pela Universidade Federal de Campina Grande

(2009). Concluiu o Doutorado em Engenharia Química (2016) pela Universidade Federal da Bahia tendo como linha de pesquisa a utilização de resíduos para o processamento e obtenção de energia. Professora do IFBA e coordenadora de curso do referido curso desde 2014. E-mail: camila_rib@yahoo.com.br

Camila Santos Oliveira

Estudante do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (BES) e do curso de Engenharia de Energias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).
E-mail: oliveira.s.camila@outlook.com

Carine Tondo Alves

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (2005), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2008), doutorado em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (2012), doutorado sanduíche na School of Chemical Engineering - University of Birmingham (2011) e pós-doutorado na School of Chemical Engineering - University of Birmingham (2013). Atualmente é professora participante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI) da Universidade Federal da Bahia, do Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (CIENAM) da UFBA, e professora adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). É coordenadora do curso de Engenharia de Energias da UFRB, presidente do NDE e membro da UFRB no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Energia e Ambiente.
E-mail: carine.alves@ufrb.edu.br

Carolina Costa Freitas Alcântara

Possui curso Técnico em Petróleo e Gás pelo Instituto Federal da Bahia - Simões Filho (2013). Possui Graduação em Química pela Universidade Federal da Bahia (2016). Foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) e Iniciação Tecnológica (FAPESB) na Universidade Federal da Bahia, nos períodos de 2011-2016. Trabalhou na área de pesquisa de síntese e caracterização de catalisadores aplicados a pirolise da biomassa.
E-mail: carolina.c_freitas@hotmail.com

Dominique Pereira Da Silva

Graduada no Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (BES) e atualmente cursando Engenharia de Energias na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB / CETENS. Tem interesse na área de energia renovável.

E-mail: domi.email.ps@gmail.com

Fábio André Lora

Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB - CETENS). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS (2006), mestre e doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais PPGEM da UFRGS. Realizou o programa sanduíche de doutorado com a RWTH-Aachen Alemanha. Possui experiência na área de Engenharia Mecânica e Metalúrgica, com ênfase em Processos de Fabricação e Materiais Metálicos.

E-mail: fabio.lora@ufrb.edu.br

Ítalo Ximenes Fraga

Estudante do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (BES) integrado e Engenharia de Energias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Tem interesse na área de energia renovável.

E-mail: italo.ximenes.fraga@hotmail.com

Jadiel dos Santos Pereira

Possui doutorado em Física pela Universidade Federal da Bahia (2018), mestrado em Física pela Universidade Federal da Bahia (2011) e Bacharelado em Física pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Atualmente é professor com dedicação exclusiva na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia com lotação no Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), onde tem atuado ministrando as disciplinas de física básica no Bacharelado Interdisciplinas em Energia e Sustentabilidade (BES) e disciplinas voltadas a área de energia fotovoltaica na terminalidade Engenharia de Energias. Nas atividades administrativas, tenho atuado como membro do núcleo docente estruturante (NDE), Membro de

colegiado e Membro do conselho diretor de Centro.

E-mail: jadielpereira@ufrb.edu.br

Jamerson Regis Lima

Estudante do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (BES) integrado e Engenharia de Energias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Tecnólogo em Logística na Universidade Salvador e Técnico em Gestão Comercial.

E-mail: jamelima.engene@gmail.com

Joyce Mara Brito Maia

Possui graduação em Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2018) e ensino médio Segundo grau pelo COLÉGIO INTELECTO (2013). Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica. E-mail: joycemarabrito28@gmail.com

Luciano Sergio Hocevar

Doutor em Engenharia Química. Graduado em Engenharia Química. Atua como docente de nível superior desde 1999. Professor Adjunto da UFRB no CETENS - Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade. Pesquisa sobre Energias Renováveis e Sustentabilidade. Ministra as disciplinas Energia, Desenvolvimento e Sustentabilidade; Geopolítica da Energia; Legislação Energética e Ambiental e também Planejamento Energético. Nas atividades administrativas atua como membro do Colegiado de Curso de Engenharia de Energias e Coordenador da Área de Energias.

E-mail: lucianohocevar@ufrb.edu.br

Luiz Eduardo Amorim dos Santos

Graduando em Engenharia de Energias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB-CETENS - (2020-Atual). Bacharel em Energias e Sustentabilidade pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB-CETENS - (2019). Orientando no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

E-mail: dudu.ezequiel@hotmail.com

Marizania Sena Pereira

Mestra pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Durante a graduação foi Bolsista e em seguida voluntária do Programa de Educação Tutorial (PET), pelo período de 2 anos, onde foram realizadas atividades que contemplam o Tripé Acadêmico (Pesquisa, Ensino e Extensão).

E-mail: msena.pet@gmail.com

Rafael Cordeiro Carvalho

Possui graduação em Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Graduando em Engenharia de Energias na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Representante discente do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia Júnior (CreaJr-BA).

E-mail: r.almeidas@outlook.com

Roney das Mercês Cerqueira

Possui graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (BES) pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2019). Estudante de Engenharia de Energias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, atuando principalmente nos seguintes temas: Rede Neural Artificial, Levemberg-Marquardt e Energia Solar.

E-mail: djmer6@hotmail.com

Thiago Araújo Simões

Ph.D. pela University of Leeds/UK, 2015. Fez mestrado (2011) e graduação (2007) pela UFPB, com intercâmbio acadêmico no INSA-Lyon/França, 2006 com ênfase em Engenharia Mecânica. Trabalhou na Renault Pesquisa e Desenvolvimento em Paris/França (2007) e na Gerdau Aços Longos em Recife/PE, 2009. Atua principalmente com pesquisas nos temas: Tribocorrosão, Biomateriais, Eletroquímica e Caracterização Microestrutural. É Professor Adjunto da UFRB-CETENS e membro permanente dos programas acadêmicos de Pós-Graduação PPCEM-UFPB e PPCIMM-UJESC.

E-mail: thiago.simoese@ufrb.edu.br

Este livro reúne capítulos sobre as possibilidades de geração de energia a partir de fontes renováveis como Biomassa, Solar Fotovoltaica, Eólica e Oceânica. O projeto, fruto do trabalho em equipe dos discentes e docentes do curso de Engenharia de Energias da UFRB, delinea áreas de interesse, desenha possíveis caminhos para pesquisas e mostra campos para atuação dos futuros profissionais, alinhados com o momento de transição energética que estamos atravessando.

ISBN: 978-65-88622-88-9

