



COREMA

CONGRESSO DE RECURSOS
ENERGÉTICOS E MEIO AMBIENTE

ANAIS DO CONGRESSO



ARTIGOS COMPLETOS

**I CONGRESSO DE RECURSOS ENERGÉTICOS E MEIO
AMBIENTE
(COREMA 2020)**

Amanda Santana Peiter
Ana Carolina de Santana Moura
Joyce Emanuelle Pinheiro Barbosa
Miryam Torres dos Santos Cunha

**I CONGRESSO DE RECURSOS ENERGÉTICOS E MEIO
AMBIENTE
(COREMA 2020)**



ANAIS

3 a 6 de novembro de 2020

Rio Largo – AL

Rio Largo -AL

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Even3 Publicações, PE, Brasil)

C749a Congresso de Recursos Energéticos e Meio Ambiente (1. : 2020:
Rio Largo, AL)
Anais [recurso eletrônico] / organizadores: Amanda Santana
Peiter ... [et al.]. – Rio Largo : Even3, 2020.

Modo de acesso: Internet.
ISBN: 978-65-5941-089-7

1. Energia. 2. Sustentabilidade. 3. Tecnologia . I. Moura, Ana
Carolina de Santana. II. Barbosa, Joyce Emanuelle Pinheiro. III.
Cunha, Miryam Torres dos Santos. IV. Título.

CDD 333.7
CDU 502

Coordenação do Evento

Amanda Santana Peiter

Ana Carolina de Santana Moura

Comissão Organizadora

Auderio Tiago Gomes Cavalcante

Davi Marx Almeida Gusmão

Emanuelle Estefany da Silva

João Vitor de Souza Cabral

Joelington Tadeu da Silva Filho

Joyce Emanuelle Pinheiro Barbosa

Mauricio Leodino de Barros

Marcela Nunes de Souza

Mariana Silva Dorta de Melo

Miryam Torres dos Santos Cunha

Natália Angelita Albuquerque de Melo

Rivaldo Matheus Nunes Pereira

Vitória Ricardo da Rocha

Yanael Lima de Medeiros

Entidades Promotoras/Coparticipantes

Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA

Programa Especial de Capacitação Discente - PEC.CECA

APRESENTAÇÃO

O Congresso de Recursos Energéticos e Meio Ambiente (COREMA) foi um evento idealizado por alunos e professores do Programa Especial de Capacitação Discente do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (PEC.CECA) que teve por objetivo proporcionar uma maior integração e interação dos cursos lá existentes, fornecendo um ambiente de troca de informação e de saberes.

O COREMA 2020 contou com minicursos e palestras com a temática de Recursos Energéticos e Meio Ambientes, promovendo assim uma ampla gama de interesse a pesquisadores e profissionais dessas áreas.

Além disso, o COREMA contou com submissões e apresentações de trabalhos em 19 subáreas de pesquisa.

Tratando-se de um evento com diversas temáticas o público alvo foi abrangente, sua grande maioria foi de profissionais, pesquisadores, centros de pesquisa, empresas e universidades que possuem laços estreitados com a temática do evento.

A primeira edição foi promovida pelo Programa Especial de Capacitação Discente (PEC) do Centro de Ciências Agrárias, em conjunto com Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Sendo coordenado pela Profa. Dra Amanda Santana Peiter.

A comissão organizadora agradece a todos os participantes que submeteram seus trabalhos, aos Professores avaliadores e aos que contribuíram para que o evento acontecesse.

SUMÁRIO

AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE	9
AVALIAÇÃO DE EXTRATOS BOTÂNICOS NA MORTALIDADE DE <i>COCCIDOPHILUS CITRICOLA</i> (BRÈTHES, 1905) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)	10
AVALIAÇÃO DOS POTENCIAIS ENERGÉTICOS DOS DEJETOS DA BOVINOCULTURA E DA SUINOCULTURA NAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DE ALAGOAS	17
ESTUDO DA CONSERVAÇÃO NA NASCENTE DO RIO DA ESTIVA, MARECHAL DEODORO, AL	27
MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	35
PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC): MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA	43
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO BRASIL: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	54
TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS EM ZONAS PERIURBANAS POR MEIO DE FOSSAS DE BANANEIRAS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL.....	64
ENERGIA E INOVAÇÃO.....	74
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA OBTENÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CAMA DE AVIÁRIO UTILIZANDO BIODIGESTOR EM BATELADA.....	75
ANÁLISE DAS PERDAS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DEVIDO AOS EFEITOS TÉRMICOS	85
ANÁLISE E MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA DE ORIGEM VEGETAL EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL.....	97
ASPECTOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE NABO FORRAGEIRO (<i>Raphanus sativus</i> L.) E ÓLEO DE DENDÊ (<i>Elaeis guineensis</i>)	108
ASPECTOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PINHÃO MANSO (<i>Jatropha curcas</i> L)	114
MODELAGEM ATMOSFÉRICA DE MESOESCALA PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA PARA A CIDADE DE MACEIÓ/AL	119

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE FORNO SOLAR TIPO CAIXA E ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR INTERNA.....	128
DIMENSIONAMENTO DE UM BIORREATOR A PARTIR DE ESTERCO DE AVES E O CÁLCULO DO PAYBACK	139
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL POR ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE DOS TRIBUNAIS DE JUSTIÇA DA REGIÃO NORDESTE, BRASIL	148
ESTIMATIVA PRELIMINAR DOS POTENCIAIS ENERGÉTICOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E BIOENERGÉTICOS DE MONOCULTURAS E EFLUENTES DO MUNICÍPIO DE TRAIPU-AL UTILIZANDO A FERRAMENTA LANDGEM	157
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA DE BIODIGESTOR CHINÊS COMO POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA: ESTADO DA ARTE	168
ESTUDO E ANÁLISE DAS ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR ÓLEO RESIDUAL E DE SEUS PARÂMETROS NO PROCESSO.....	178
INTERAÇÃO TORRE-FUNDAÇÃO DE AEROGERADORES <i>ONSHORE</i> E <i>OFFSHORE</i> : UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	187
MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE PÁS DE AEROGERADORES: UMA VISÃO GERAL.....	198
POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO COCO-DA-BAÍÁ NAS MICRORREGIÕES DE ALAGOAS	208
POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DE ALAGOAS UTILIZANDO OS MODELOS COMPUTACIONAIS	216
PROGNÓSTICOS DE VENTO VIA WRF PARA FINS DE APROVEITAMENTO EÓLICO NA REGIÃO AGRESTE DE ALAGOAS.....	220
QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL TEÓRICO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NA CTR DO AGRESTE - CRAÍBAS, AL	227
SEMENTES FLORESTAIS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOENERGIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	238
GESTÃO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS	248
USO DE LODO DE ESGOTO COMO MÉTODO ALTERNATIVO PARA ADUBAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	249

AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE



**AVALIAÇÃO DE EXTRATOS BOTÂNICOS NA MORTALIDADE DE
COCCIDOPHILUS CITRICOLA (BRÈTHES, 1905) (COLEOPTERA:
COCCINELLIDAE)**

**ERIKA ELIAS DA SILVA¹, PRISCYLLA COSTA DANTAS², RILBSON
HENRIQUE SILVA DOS SANTOS³, ROMÁRIO GUIMARÃES VERÇOSA DE
ARAÚJO³, ADRIANA GUIMARÃES DUARTE⁴**

¹Graduanda em Engenharia Florestal, Maceió, erikaaliaas@gmail.com

² Doutora em Entomologia, Maceió, priscylla_dantas@yahoo.com.br

³ Graduação em Engenharia Agrônômica, Maceió, rilbson.santos@ceca.ufal.br,
romariorgva@hotmail.com

⁵ Doutora em Ciências, Maceió, adrianagduarte@hotmail.com

Resumo

Na região do Nordeste semiárido, a produção de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) tem crescido consideravelmente. A cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae) é a praga que atinge a produtividade da palma, e dentre os inimigos naturais dessa espécie encontra-se a joaninha *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae). O uso indevido de inseticidas sintéticos para controle da praga pode ocasionar desequilíbrio biológico e danos ao meio ambiente. Por isso, o trabalho objetivou verificar a toxicidade de extratos botânicos comumente utilizados para controle da cochonilha sobre o predador *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae). Extratos aquosos de flor de seda, araticum, pinha e barbatimão foram pulverizados sobre adultos de *C. citricola* e foram realizadas avaliações diárias durante trinta dias para verificar índice de mortalidade. O extrato de semente de pinha ocasionou 55,5% de mortalidade em adultos de *C. citricola*; extrato de flor de seda 32,2%; barbatimão 30,5% e araticum 22,2%. Dessa forma, a mortalidade de 55,5% ocasionada pelo extrato de pinha, torna esse extrato não indicado para controle da cochonilha *D. echinocacti* em locais com ocorrência de *C. citricola*.

Palavras-chave: palma forrageira, extratos botânicos, pragas.

1. Introdução

A produção de palma forrageira (*Nopalea Cochenillifera*) no Nordeste semiárido tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Tal fato ocorre em virtude das suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais que lhe confere ampla capacidade de adaptação (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em condições adversas, pode resistir à seca devido ao seu elevado potencial de fitomassa nas condições do semiárido e por isso, sendo tratada como importante fonte de alimento para a pecuária. A cochonilha de escama *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833) (Hemiptera: Diaspididae), inseto pertencente à ordem Hemiptera, que ataca e afeta a produtividade da palma, muitas vezes ocasionando sua morte (FABRICANTE; FEITOSA, 2011), se destaca como importante praga agrônômica no Estado de Alagoas, principalmente na região da bacia leiteira, onde localizam-se os maiores cultivos de palma miúda.

O ataque da cochonilha de escama é traduzido pela agressividade e pela explosão populacional desse inseto, sugam a planta para alimentar-se diretamente pelo cladódio através do orifício, onde os micro-organismos penetram causando apodrecimento, queda e elevados danos, debilitando-a até a morte (FIGUEIREDO, 2018), assumindo caráter de praga severa. As perdas de produção alcançam até 100%, praticamente inviabilizando as pecuárias bovina, caprina e ovina, com sérios prejuízos para o agronegócio pecuário (SANTOS et al., 2006).

Os inimigos naturais exercem papel fundamental no controle biológico de *D. echinocacti*, sendo que qualquer distúrbio no ambiente, que possa afetar as populações desses insetos, pode influenciar na dinâmica populacional da praga. Entre os inimigos naturais da cochonilha de escama, comumente encontrados em cultivos de palma muída, estão os insetos da família Coccinellidae, e no Brasil, o predador mais importante de *D. echinocacti* é a joaninha

Coccidophilus citricola (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae) (FABRICANTE; FEITOSA, 2011).

Os métodos comumente usados para o controle de cochonilhas são baseados no uso de produtos químicos que, além de causarem inúmeros efeitos adversos a organismos não-alvo, também selecionam populações de insetos resistentes aos inseticidas, o que por sua vez, torna o método ineficiente em várias situações (MANNION; MORSE, 2012).

Os extratos de plantas têm sido estudados há décadas como uma alternativa ao uso de inseticidas sintéticos, visto que utilização de agrotóxicos causa diversas desvantagens em seu uso contínuo, tais como desequilíbrio biológico, surgimento de doenças e resistência em patógenos, pragas e plantas invasoras (KOBAYASHI; AMARAL, 2018). Quando comparados aos produtos sintéticos, os extratos botânicos possuem grande potencial inseticida, sendo considerado de boa eficiência e oferecendo uma ampla variedade de vantagens, uma vez que são seguros para os seres humanos e meio ambiente por serem derivados de recursos renováveis e menos tóxicos de rápida degradação (SANTOS et al., 2013).

Entretanto, ainda há inúmeras limitações para incremento dos extratos vegetais em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), como por exemplo, a decorrente escassez de estudos na literatura científica relacionado à espécie não-alvo e sua baixa persistência (LENARDIS et al., 2011; ZOUBIRI; BAALIOUAMER, 2011; RAMPELOTTI-FERREIRA et al., 2017).

Dentre as inúmeras famílias botânicas conhecidas por produzirem substâncias tóxicas a insetos pode-se citar Annonaceae, Apocynaceae e Fabaceae, pois são inúmeros os estudos com vistas a avaliar o potencial inseticida de plantas dessas famílias botânicas (KRINSKI; MASSAROLI; MACHADO, 2014; MELO et al., 2001).

Considerando a grande importância que a palma *N. cochenillifera* representa para o estado de Alagoas, sua significativa contribuição na sustentabilidade da pecuária regional, o presente trabalho visa verificar a toxicidade de extratos botânicos sobre o inimigo natural *C. citricola*, pela sua importância no controle da praga *D. echinocacti*.

2. Objetivo

Verificar a toxicidade de extratos aquosos de provenientes de plantas das famílias Annonaceae, Apocynaceae e Fabaceae sobre o predador *Coccidophilus citricola* (Brèthes, 1905) (Coleoptera: Coccinellidae).

3. Material e Métodos

As espécies da cochonilha *D. echinocacti* e do inimigo natural *C. citricola* foram coletados em plantações de palma no município de Atalaia (42 km de Maceió) e Jacaré dos homens (198 km de Maceió). Foram coletadas as espécies vegetais *Nopalea cochenillifera* (raquetes infestadas), *Annona squamosa* L. (Pinha - sementes), *Annona crassiflora* Mart. (Araticum - folhas), *Calotropis procera* Aiton W. T (Flor de seda - folhas), *Stryphnodendron adstringens* Mart. (Barbatimão - casca). Após coletadas, as raquetes infestadas por *D. echinocacti* foram devidamente acondicionadas e levadas para o Laboratório de Ecologia e Comportamento de Artrópodes (LECOM – UFAL), com o intuito de manter uma criação uniforme da cochonilha de escama e da joaninha (Figura 1).



Fig. 1: Criação de manutenção acondicionada no Lecom.

Para obtenção dos extratos utilizados, o material coletado foi acondicionado em estufa a 50° C, por um período de 72 horas, para desidratação das folhas e ramos. Posteriormente o material seco foi triturado e pesado, com medição de rendimento de extratos após concentração a vácuo. Os extratos brutos das plantas foram transferidos para tubos plásticos de 100 mL. Para conseguir obter o extrato aquoso, as concentrações adquiridas foram maceradas em 100 mL de água destiladas, por cinco minutos, até obtenção do extrato bruto. Após a obtenção do extrato bruto foi realizada a filtragem e o extrato aquoso foi obtido, sendo esse armazenado em geladeira após a filtragem. A metodologia utilizada nesse projeto foi proposta por Brunherotto et al. (2010) (Figura 2).



Fig. 2 : A) Material vegetal seco triturado e acondicionado. B) Extrato aquoso pronto

Os extratos aquosos utilizados nos ensaios de toxicidade foram aplicados por meio de pulverização, com auxílio de pulverizador manual simples, nas concentrações 1%, 10% e 15%.

Para avaliação da mortalidade, foram utilizados insetos adultos (24h de emergência), onde uma alíquota de 1mL de cada extrato vegetal e de água (tratamento controle) foi pulverizado diretamente sobre os indivíduos. Após isso, os insetos foram transferidos para potes de plástico transparentes de 250mL, com tampa contendo pequeno furos para permitir a ventilação no interior do recipiente. Dentro dos potes, os adultos foram alimentados com porções de palma-forrageira (3 cm de largura x 3 cm de comprimento) infestadas por *D. echinocacti* (Figura 3).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e cada tratamento foi constituído por seis repetições, cada uma delas contendo dez adultos da joaninha *C. citricola*. Foram realizadas avaliações diárias durante trinta dias. A mortalidade dos adultos foi determinada por meio de observações diárias de mortalidade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de comparação entre médias (Tukey). Para tal, foi utilizado o programa estatístico Assistat 7.7 a 5 % de significância.



Fig. 3 : Recipientes plásticos contendo *C. citricola* tratadas com extratos e porções de palma forrageira infestadas por *D. echinocacti* oferecidas como alimento.

4. Resultados e Discussão

Verificou-se, com base nos resultados obtidos, que o extrato aquoso de semente de pinha ocasionou significativa mortalidade (55,5%) dos adultos de *C. citricola*. Os extratos de flor de seda, barbatimão e araticum obtiveram uma mortalidade de 32,2%;

30,5% e 22,2% respectivamente. Todos os extratos diferiram estatisticamente do tratamento controle, onde obteve mortalidade de 8,33% (Figura 4).

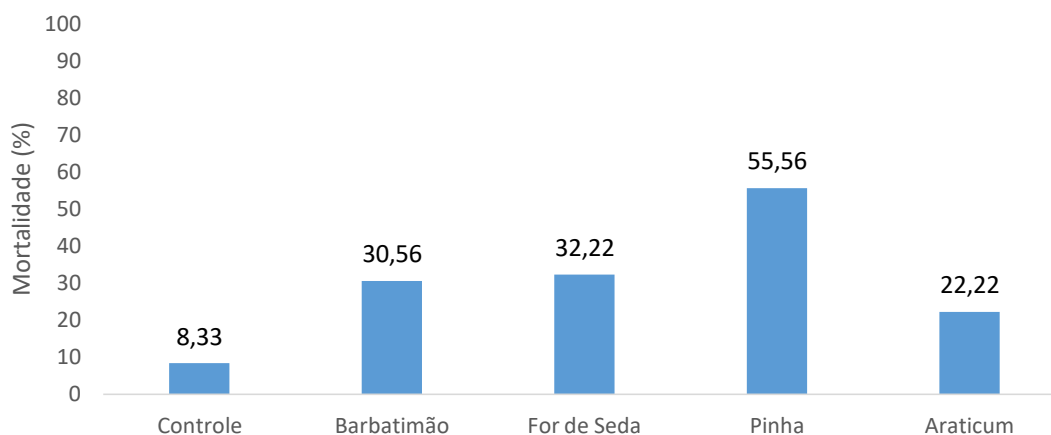


Fig. 4 : Mortalidade de *C. citricola* submetida a extratos aquosos.

O resultado obtido no presente trabalho demonstrou que nenhum dos extratos aquosos utilizados pode ser considerado seletivo ao inimigo natural *C. citricola*. Resultado semelhante foi obtido por Santos (2010) quando se utilizou o óleo emulsionável da semente de nim, que causou a mortalidade em 54% da mesma espécie de joaninha. Isso pode estar relacionado ao alto teor de azadirachtina contido nos frutos dessa planta.

Produtos à base de partes da planta *A. squamosa* são comprovadamente tóxicos para diversas espécies de insetos, incluindo alguns benéficos. Isso pode ser explicado pelos estudos fitoquímicos que demonstraram que possivelmente a bioatividade ocorria devido à presença de flavonoides. (DANIEL et al., 2011). Esses estudos têm identificado uma série de produtos naturais em espécies de Annonaceae, com destaque para as acetogeninas, até então isoladas de um pequeno número de gêneros (*Annona*, *Asimina*, *Xilopia*, *Goniothalamus* e *Uvaria*).

Apesar do alto índice de mortalidade da praga *D. echinocati* obtida neste trabalho, esse resultado não pode ser considerado positivo, uma vez que de acordo com Costa et al. (2004), os inseticidas botânicos ideais para uso em programas de manejo integrado de pragas devem ser tóxicos para as pragas e não para os inimigos naturais. Com isso, a mortalidade de 55,5% ocasionada pelo extrato de pinha, torna esse extrato ineficiente e não indicado para controle da cochonilha *D. echinocati* em locais com ocorrência de *C. citricola*.

5. Conclusão

Conclui-se que os extratos aquosos utilizados, semente de pinha, flor de seda, barbatimão e araticum, ocasionam mortalidade em indivíduos adultos da *C. citricola*, tornando-se ineficaz seu uso para controle da *D. echinocati*.

6. Agradecimentos

À Fapeal (Fundação de Amparo à Pesquisa de Alagoas) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro.

7. Referências

- BRUNHEROTTO, Rogério; VENDRAMIM, José D.; ORIANI, Maria A. de G. Efeito de genótipos de tomateiro e de extratos aquosos de folhas de *Melia azedarach* e de sementes de *Azadirachta indica* sobre *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*, v. 39, n. 5, p. 784-791, 2010.
- COSTA, Emerson Luís Nunes; SILVA, RFP da; FIUZA, Lidia Mariana. Efeitos, aplicações e limitações de extratos de plantas inseticidas. *Acta Biologica Leopoldensia*, v. 26, n. 2, p. 173-185, 2004.
- DANIEL, B. et al. Comparison of mosquito larvicidal activity of *Annona squamosa* leaves growing in different eco-zones in Tanzania. *Int J Pharma Bio Sci*, v. 2, n. 4, p. 567-72, 2011.
- FABRICANTE, J. R.; FEITOSA, S. S. Palma Forrageira. Grupo Cultivar de publicações Ltda. Artigo técnico, 2011.
- FIGUEIREDO, Wennia Rafaelly Souza et al. Resistência de palma forrageira: in vitro e ex vitro á cochonilha de escama *Diaspis echinocati* (Hemiptera: Diaspididae)(Bouché, 1833). 2018.
- KOBAYASHI, Bruna Fukumoto; AMARAL, Daniel Rufino. Efeito de extratos vegetais de plantas do Cerrado para controle de pinta-preta em tomateiro. *Summa Phytopathologica*, v. 44, n. 2, p. 189-192, 2018.
- KRINSKI, Diones; MASSAROLI, Angélica; MACHADO, Marilza. Potencial inseticida de plantas da família Annonaceae. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. spe1, p. 225-242, 2014.
- LENARDIS, A. E. et al. Arthropod communities related to different mixtures of oil (*Glycine max* L. Merr.) and essential oil (*Artemisia annua* L.) crops. *Industrial Crops and Products*, v. 34, n. 2, p. 1340-1347, 2011.
- MANNION, A. M.; MORSE, Stephen. Biotechnology in agriculture: agronomic and environmental considerations and reflections based on 15 years of GM crops. *Progress in Physical Geography*, v. 36, n. 6, p. 747-763, 2012.
- M MELO, M. et al. Estudo fitoquímico da *Calotropis procera* Ait., sua utilização na alimentação de caprinos: efeitos clínicos e bioquímicos séricos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 2, n. 1, 2005.
- RAMPELOTTI-FERREIRA, Fátima Terezinha et al. Selectivity of plant extracts for *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym.: Trichogrammatidae). *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 138, p. 78-82, 2017.
- SANTOS, D. C. et al. Manejo e utilização de Palma Forrageira (*Opuntia* e *Napolea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48p. Boletim Técnico, v. 30.

DOS SANTOS, Paula Leite et al. Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. Enciclopédia Biosfera, v. 53, n. 17, p. 2562-76, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E., 2013. Fisiologia vegetal. Porto Alegre.

TORRES, J. B.; OLIVEIRA, M. D.; LIMA, M. S. Cochonilhas farinhentas: potenciais problemas para o algodão brasileiro. Recife: Universidade Federal de Pernambuco (Informativo REDALGO, 005), 2011.

ZOUBIRI, Safia; BAALIOUAMER, Aoumeur. Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. Food Chemistry, v. 129, n. 1, p. 179-182, 2011.

AVALIAÇÃO DOS POTENCIAIS ENERGÉTICOS DOS DEJETOS DA BOVINOCULTURA E DA SUINOCULTURA NAS MICRORREGIÕES DO ESTADO DE ALAGOAS

Pietra Maria Alcântara Pereira¹; Flávia Fernanda Santos Gomes²; Mariana de Barros Dlumou³ e Karina Ribeiro Salomon⁴

¹Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, pietra-al@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, ffernanda_gomes@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, mdlumou@gmail.com

⁴Professora Doutora - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, krs@ctec.ufal.br

Resumo

A criação de rebanhos bovinos e suínos é responsável pela geração de um resíduo líquido com grande potencial poluidor. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo estimar o potencial energético dos efluentes líquidos da suinocultura e bovinocultura no estado de Alagoas com base no número de cabeças dos rebanhos nas 13 microrregiões do estado. Levando em conta os dados avaliados, é possível concluir que a utilização dessa biomassa para a geração de energia é uma boa alternativa para destinação dos dejetos, que é uma grande problemática vivenciada pelos criadores de rebanhos bovinos e suínos, diminui os impactos provocados pelos gases do efeito estufa, gera energia renovável, diversifica a matriz energética local, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, demonstrando ser uma alternativa viável para aplicação em pequenas e médias propriedades rurais.

Palavras-chave: Energia renovável, Dejetos animais, Biogás.

1. Introdução

Na matriz energética mundial é predominante o uso de fontes energéticas não renováveis, em especial o uso de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral, que na combustão emitem Gases do Efeito Estufa (GEE). Estima-se que 3000 diferentes compostos oriundos de intervenção antrópica já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos. Esta mistura complexa de poluentes causa preocupação devido ao impacto que pode causar à saúde e ao ambiente. Por isso, o tema do uso dos combustíveis fósseis vem sendo discutido com grande preocupação

pela sociedade atual (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011; VENTURA FILHO, 2019).

A demanda mundial em busca da autossuficiência em geração de energia é crescente. Esta autossuficiência está diretamente relacionada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis. Tem-se procurado denominar essas fontes alternativas como energias renováveis, delimitando o conceito como aquelas com ciclos de renovação natural que se origina da energia solar como fonte primária, se regenerando de forma cíclica e em escala reduzida, se comparado às fontes convencionais de energia. Pode-se citar a energia eólica, solar e a biomassa (PACHECO, 2006).

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), ferramenta essencial para o planejamento do setor energético do país, observa-se que, para o ano de 2030, seguindo a evolução da matriz energética do Brasil, há projeções de uma expansão na sua variedade, com elevação e manutenção da participação das fontes renováveis - atualmente em torno de 45%, com grande contribuição das hidrelétricas (ANEEL, 2008), ao passo que no mundo esse valor é de aproximadamente 14%.

A biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica passível de ser transformada em energia, seja ela de origem agrícola, vegetal ou proveniente de rejeitos industriais ou urbanos (ANEEL, 2008). Ela está entre as fontes renováveis com maiores possibilidades, em termos de natureza, origem, tecnologia de conversão e produtos energéticos (MME, 2007). Destacando-se como um dos principais produtores agrícolas do mundo, tendo como consequência a grande geração de resíduos, o Brasil dispõe - na produção da biomassa - de um grande potencial energético.

A crise no setor hídrico e energético demonstra a necessidade de investir em tecnologias economicamente viáveis que unam o tratamento de águas residuais e a geração de energia. Nesse contexto, a geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuir a dependência das hidrelétricas, diversificando a matriz energética do país, além de auxiliar a correta destinação dos resíduos agrícolas (ANEEL, 2008). Diante disso, a adoção de biodigestores rurais contribui para o aproveitamento do resíduo agrícola com pouco ou nenhum valor comercial (PAES; BRUGGIANES; DE CASTRO SOARES, 2018), como é o caso dos dejetos provenientes das atividades de bovinocultura e suinocultura.

Na figura 1, ao analisar a evolução do rebanho bovino no estado de Alagoas, constata-se um avanço nos números, o que pode ser justificado pelo grande destaque do país como detentor de um dos maiores rebanhos bovinos no cenário mundial. Esta relevância se deve a fatores como a extensão territorial, condições climáticas favoráveis e aperfeiçoamento do manejo das pastagens.

Já ao comparar os dados do rebanho suíno para o mesmo período, observa-se grande diferença em termos de ordem de grandeza e um crescimento moderado, fatos que podem estar associados a alguns fatores, como: cultura de grande potencial poluidor, escassez de mão de obra qualificada, manejo mais árduo, necessidade de maior investimento, falta de incentivos governamentais.

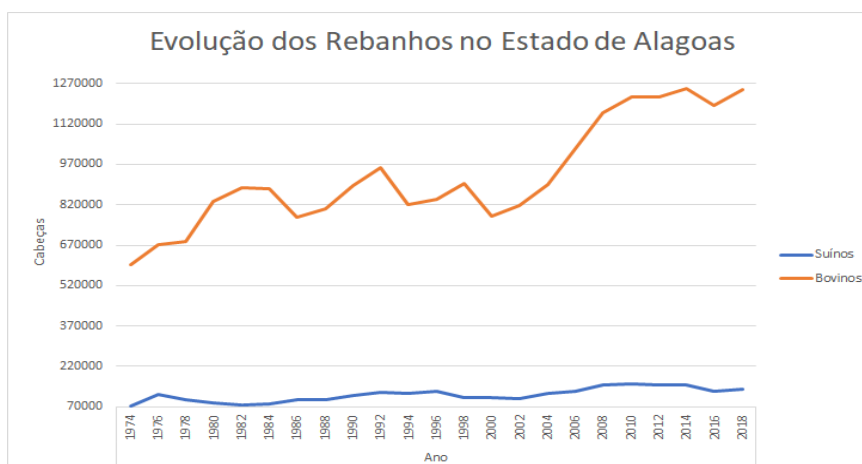


Fig. 1: Produção do coco-da-baía entre os anos de 1748 e 2018 em Alagoas. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

O uso da biomassa animal diminui a capacidade poluidora das suas fezes, auxilia no controle das emissões de gases do efeito estufa, destina corretamente os dejetos animais, diminui a quantidade de esterqueiras e, principalmente, proporciona uma geração de energia de baixo impacto, fornecendo aos produtores uma opção energética de alto rendimento, que pode custear outros gastos de energia elétrica necessários na propriedade rural (COLATTO; LANGER, 2011).

2. Objetivos

Avaliar o potencial energético dos efluentes líquidos da suinocultura e bovinocultura no estado de Alagoas de acordo com o número de cabeças dos rebanhos nas 13 microrregiões do estado, sendo uma alternativa para destinação dos dejetos e uma opção para compor a matriz energética.

3. Materiais e Métodos

3.1 Dados

Os dados dos números de cabeças no ano de 2018 em cada microrregião do estado de Alagoas foram obtidos com auxílio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). As quantidades referentes aos rebanhos bovino e suíno constam na Tabela 1. Por meio das figuras 2 e 3, é possível visualizar estes dados espacialmente.

Tab. 1: Números de cabeças por microrregião alagoana para cada tipo de rebanho

Microrregião Alagoana	Tipo de rebanho (cabeças)	
	Bovino	Suíno
Alagoana do Sertão do São Francisco	26.755	2.025
Arapiraca	150.477	28.845
Batalha	104.334	24.191
Litoral Norte Alagoano	31.000	1.935
Maceió	25.085	1.422
Mata Alagoana	199.782	9.490
Palmeira dos Índios	194.300	15.730
Penedo	64.400	4.800
Santana do Ipanema	122.574	13.877
São Miguel dos Campos	60.543	5.175
Serrana do Sertão Alagoano	67.640	4.955
Serrana dos Quilombos	159.629	14.700
Traipu	41.600	6.925
TOTAL	1.248.119	134.070

Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

REBANHO BOVINO NO ANO DE 2018 EM CADA MICRORREGIÃO DO ESTADO DE ALAGOAS

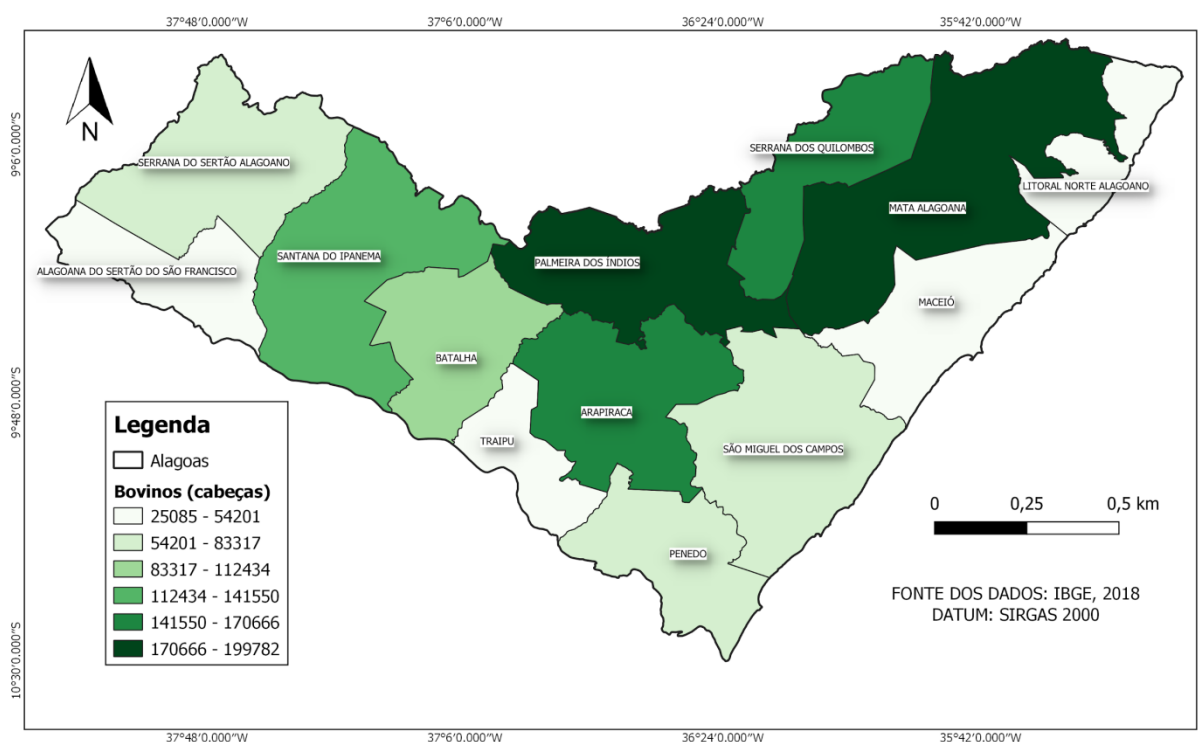


Fig. 2: Distribuição do rebanho bovino nas microrregiões alagoanas em 2018. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

REBANHO DE SUÍNOS NO ANO DE 2018 EM CADA MICRORREGIÃO DO ESTADO DE ALAGOAS

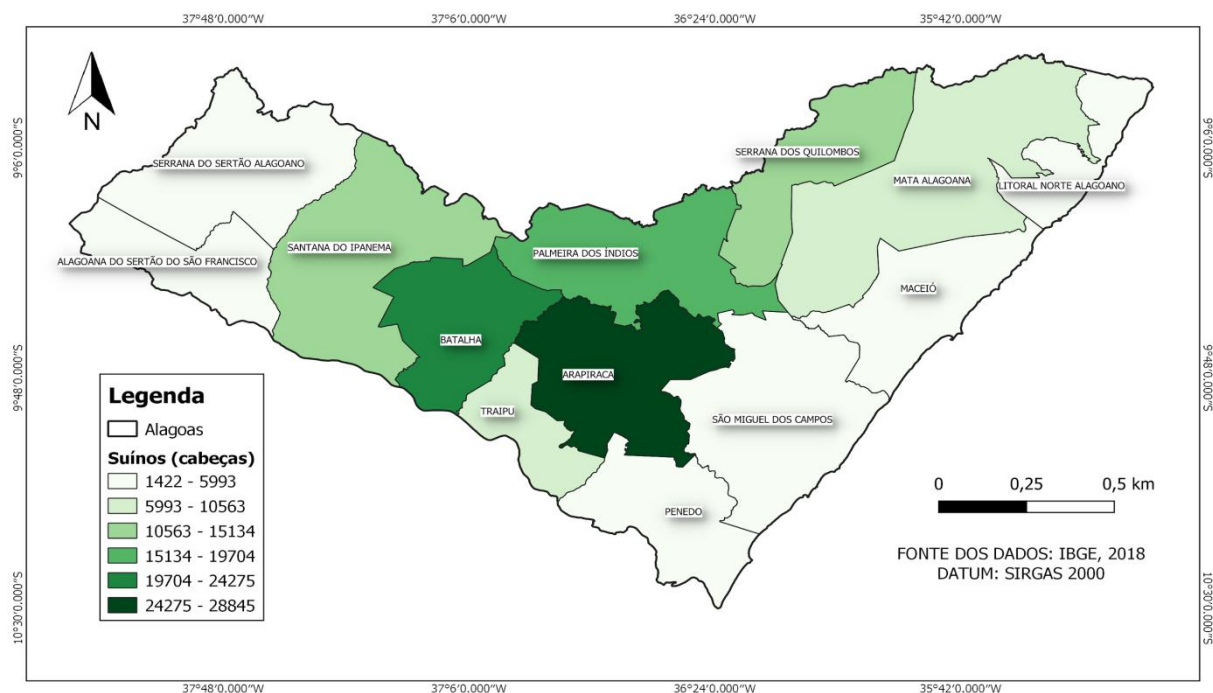


Fig. 3: Distribuição do rebanho suíno nas microrregiões alagoanas em 2018. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

3.2. Estimativa de Energia

Para efetuar a estimativa do potencial de energia disponível a partir dos efluentes da suinocultura e bovinocultura, foi adotada a metodologia de cálculo do Atlas de Bioenergia de Alagoas.

Inicialmente, para adquirir os valores de geração anual de metano (em m^3) oriundo da decomposição do esterco gerado pelos animais, é utilizada a quantidade de esterco gerado (kg/dia da unidade), da produção de biogás (kg/kg de esterco), da porcentagem de metano existente no biogás e do volume específico do metano, por meio da Equação 1.

Onde:

Et: Esterco total [kg de esterco total/dia (na unidade geradora)];

Pb: Produção de biogás [kg de biogás/kg de esterco];

Conc. CH₄: Concentração de metano no biogás [%]

VE-1: Volume específico do metano em kgCH₄/m³CH₄ (0,670 kgCH₄/m³CH₄)

$$\text{Metano (m}^3\text{)} = 365 \text{ (dias)} \times \text{cabeças} \times \text{esterco (kg)} \times \text{metano (\%)} \times 0,670 \left(\frac{\text{kgCH}_4}{\text{m}^3\text{CH}_4} \right) \quad (\text{eq. 1})$$

Os valores de conversão energética teóricos foram adotados segundo o Atlas para os dois tipos de rebanho conforme a Tabela 2.

Tab. 2: Valores de conversão energética teóricos adotados para Equação 1.

Origem do Material	Kg de esterco/dia da unidade geradora	Kg de biogás/kg de esterco	Porcentagem de metano
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovino	10	0,037	60%

Fonte: Adaptado de Atlas de Bioenergia de Alagoas (2014)..

Em seguida, o volume de metano obtido na Equação 1 é convertido em potência (MW/ano) com os valores de referência do Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano (35,53 MJ/m³), e adotando pela metodologia uma eficiência do Motor de Combustão Interna de 30%. Considera-se a conversão de 1 MWh = 3600 MJ e que o sistema opera em 95% das horas anuais, ou seja, 8322 horas de operação/ano, como mostra a Equação 2.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[metano (m^3) * PCI \left(\frac{MJ}{m^3} \right) * 0,3]}{3600 * 8322} \quad (eq. 2)$$

Com auxílio do software QGIS 3.14.1 - Pi e com as malhas digitais do IBGE, foram elaborados mapas do potencial de acordo com a microrregião alagoana.

4. Resultados e Discussão

O potencial bioenergético do rebanho bovino nas microrregiões alagoanas encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: Potencial bioenergético do rebanho bovino em MW/ano.

Microrregião Alagoana	Potencial (MW/ano) do Rebanho Bovino
Mata Alagoana	3,86
Palmeira dos Índios	3,75
Serrana dos Quilombos	3,08
Arapiraca	2,91
Santana do Ipanema	2,37
Batalha	2,02
Serrana do Sertão Alagoano	1,31
Penedo	1,24
São Miguel dos Campos	1,17
Traipu	0,80
Litoral Norte Alagoano	0,60
Alagoana do Sertão do São Francisco	0,52
Maceió	0,48
TOTAL	24,11

Fonte: autoras (2020).

Analogamente, o potencial do rebanho suíno encontra-se na Tabela 4. Devido à discrepância entre o número de cabeças de bovinos e de suínos, e consequentemente à quantidade de esterco gerado e de metano disponível, pode-se observar uma grande diferença no potencial energético dos rebanhos, onde o oriundo da bovinocultura é aproximadamente 22 vezes maior que o da suinocultura.

Tabela 4: Potencial bioenergético do rebanho suíno em MW/ano.

Microrregião Alagoana	Potencial (MW/ano) do Rebanho Suíno
Arapiraca	0,23
Batalha	0,19
Palmeira dos Índios	0,13
Serrana dos Quilombos	0,12
Santana do Ipanema	0,11
Mata Alagoana	0,08
Traipu	0,06
Penedo	0,04
Serrana do Sertão Alagoano	0,04
São Miguel dos Campos	0,04
Litoral Norte Alagoano	0,02
Alagoana do Sertão do São Francisco	0,02
Maceió	0,01
TOTAL	1,09

Fonte: autoras (2020).

Como apontado nas figuras 4 e 5, as microrregiões com menores potenciais para ambos os rebanhos são Alagoana do Sertão do São Francisco, Litoral Norte Alagoano e Maceió. Estas duas últimas detêm uma maior taxa de urbanização quando comparadas com regiões mais adentro do estado, sendo os setores industrial, de serviços e de turismo de mais destaque. A microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco apresenta um clima semiárido, caracterizado por escassez de chuvas e longos períodos de estiagem, fatores que prejudicam a produtividade da agropecuária, demasiadamente dependente de fatores climáticos.

Já as microrregiões da Mata Alagoana e de Palmeira dos Índios apresentam relativamente grandes valores para os rebanhos, fator que corrobora com os maiores números de cabeças encontrados nas mesmas regiões. É válido ressaltar que o espaço rural tem a economia majoritariamente relacionada à agricultura e pecuária, apesar de atualmente atrair outros tipos de atividades e interesses econômicos

POTENCIAL ENERGÉTICO DO EFLUENTE GERADO PELO REBANHO BOVINO NO ANO DE 2018 EM CADA MICRORREGIÃO DO ESTADO DE ALAGOAS

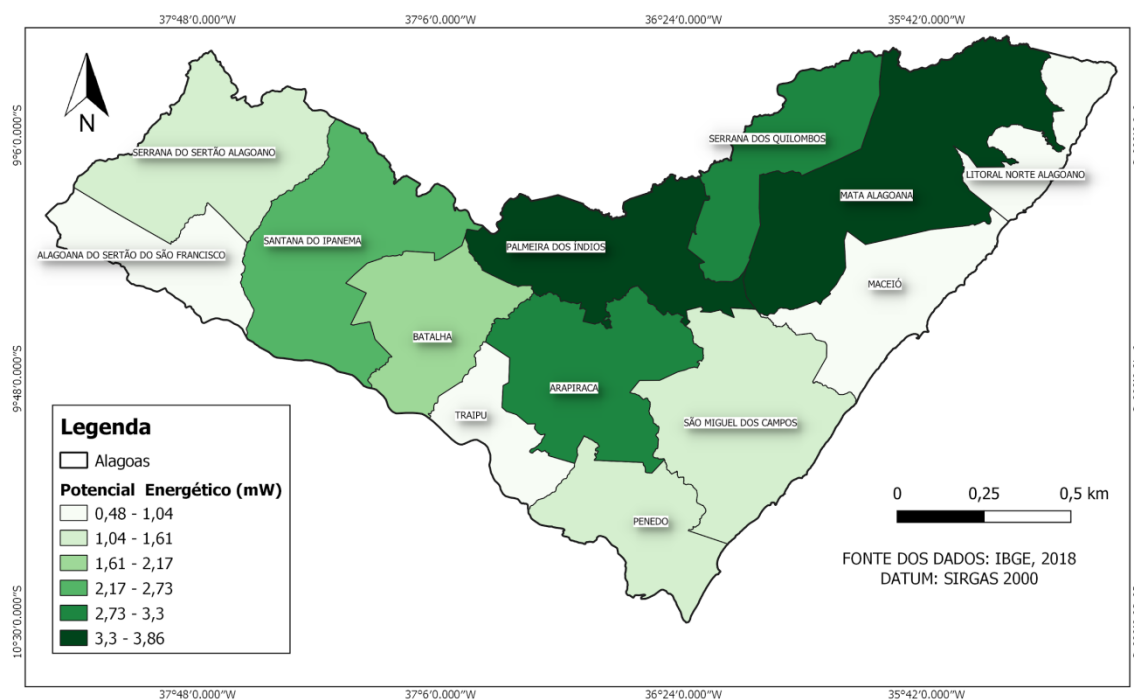


Fig. 4: Potencial energético do efluente gerado pelo rebanho bovino em 2018 por microrregião alagoana. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

POTENCIAL ENERGÉTICO DO EFLUENTE GERADO PELO REBANHO SUÍNO NO ANO DE 2018 EM CADA MICRORREGIÃO DO ESTADO DE ALAGOAS

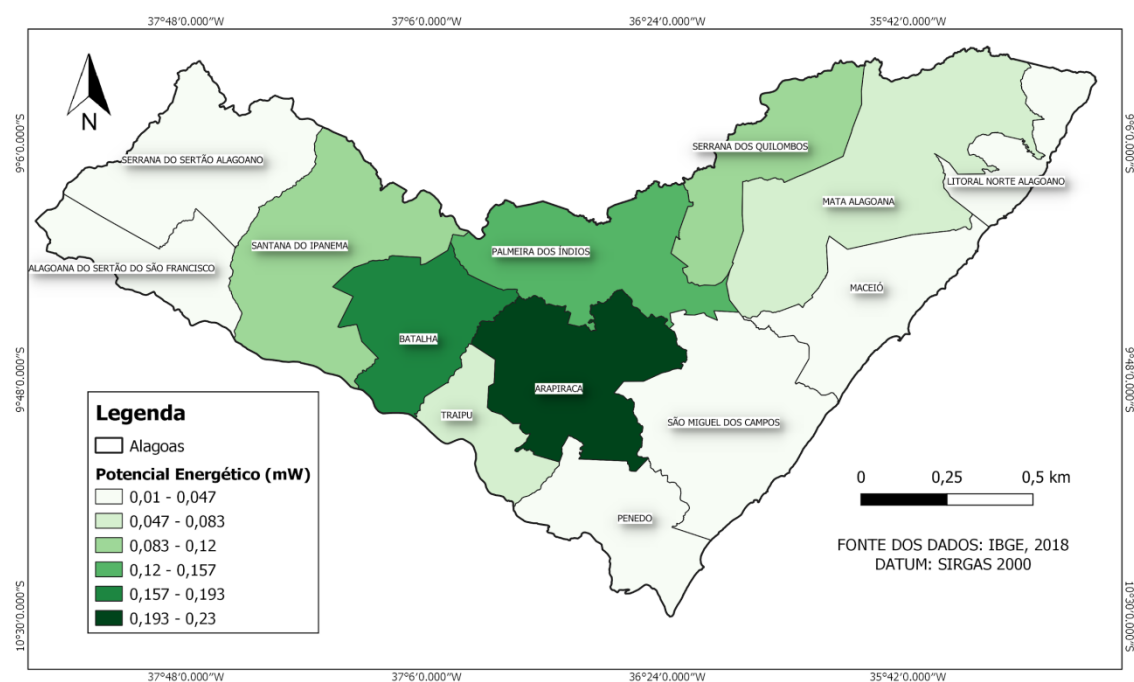


Fig. 5: Potencial energético do efluente gerado pelo rebanho suíno em 2018 por microrregião alagoana. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

Segundo o Atlas da Bioenergia de Alagoas, no ano de 2015 o potencial energético total de Alagoas para os efluentes líquidos da bovinocultura era de 24,5 MW/ano e da suinocultura de 1,25 MW/ano, enquanto que com base nos dados do ano de 2018, disponibilizados pelo IBGE, esse potencial reduziu para 24,11 MW/ano e 1,09 MW/ano respectivamente, representando uma redução percentual de aproximadamente 1,62% (bovinos) e de 12,8% (suínos).

5. Conclusão e Considerações Finais

Desfavoravelmente, ressalta-se que não é possível padronizar a produção diária devido a venda e abate dos animais, fazendo com que a quantidade de dejetos produzidos disponíveis para geração de biogás oscile.

Em contrapartida, considerando o uso da biomassa animal como uma opção para a problemática do seu grande potencial poluidor, a redução de custos operacionais, a melhoria do abastecimento energético, e contando com mais incentivos e recursos, apesar de ser uma iniciativa ainda restrita, trata-se de uma alternativa bastante benéfica para pequenas e médias propriedades rurais. Além de diminuir os impactos provocados pelos gases do efeito estufa, gera energia renovável, contribui para a conservação do meio ambiente e diversifica a matriz energética local.

Vale salientar que, apesar de o potencial energético total de Alagoas para os efluentes líquidos da bovinocultura e da suinocultura que fora apresentado no Atlas da Bioenergia de Alagoas de 2015 ser maior do que fora identificado pelo presente estudo, para ano de 2018, é esperado um aumento da criação de bovinos e suínos no Estado de Alagoas. Este aumento deve acompanhar o crescimento populacional, que requer cada dia mais uma demanda maior de alimentos. Dessa forma, com o aumento dos rebanhos bovinos e suínos também aumentará a problemática associada ao efluente gerado e proporcionará um maior potencial energético a ser aproveitado.

6. Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Centro de Tecnologia (CTEC/UFAL), ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFAL (CAEAMB/UFAL), e à professora Karina Salomon pela orientação e incentivo.

7. Referências

SALOMON, K. R. et al. **Atlas de Bioenergia de Alagoas**. Maceió, AL: EDUFAL, 2014. 79 p. ISBN: 978-85-7177-835-1.

GUARIEIRO, Lilian LN; VASCONCELLOS, Pérola C.; SOLCI, Maria Cristina. **Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão**. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

VENTURA FILHO, Altino. **O Brasil no Contexto Energético Mundial**. São Paulo: NAIPPE, USP, 2009

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Conjuntura e Planejamento, v. 149, p. 4-11, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional-Relatório Síntese**, 2019. Ano Base, 2018.

BRASIL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2020.

PAES, Juliana Lobo; BRUGGIANESI, Giancarlo; DE CASTRO SOARES, Caroline Stephanie Gomes. **Potencialidade do biogás gerado pela combinação de dejetos bovino e suíno**, 2018.

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. **Biodigestor-resíduo sólido pecuário para produção de energia**. Unoesc & Ciência-ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

BRASIL, MME. **Plano Nacional de Energia 2030 - Eficiência Energética**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

PEREIRA, M. S.; GODOY, T. P.; GODOY, L. P.; BUENO, W. P.; WEGNER, R. S. **Cálculo do Potencial Energético com Dejetos de Bovinos e Suínos do Departamento de Zootecnia da UFSM**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia De Produção: Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção Fortaleza (CE), de 13 a 16 de outubro de 2015, pp. 1-15.

ESTUDO DA CONSERVAÇÃO NA NASCENTE DO RIO DA ESTIVA, MARECHAL DEODORO, AL

Nátally Sarmento Jacomelli ¹ e Adelmo Lima Bastos ²

¹Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, nsarmgestora@gmail.com

² Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, adelmobastos@gmail.com

Resumo

O consumo de água e dos recursos que a natureza nos oferta, crescem constantemente e para que esse consumo continue é necessário que alguns cuidados sejam adotados. O contato entre o homem e o meio ambiente hoje encontra-se desordenado, ultrapassando o tempo de regeneração dos recursos naturais. Nessa relação sempre há impactos, podendo ser positivo ou negativo. Diante dessa problemática, o objetivo do presente trabalho foi, diagnosticar o estado de conservação da nascente do rio da estiva, no município de Marechal Deodoro em Alagoas. Este trabalho teve embasamento em revisão de literatura, visitas in situ, fotografias da região estudada e utilização do GPS para demarcação de coordenadas geográficas. Através de visita ao local, notou-se que existem algumas degradações, como a deterioração da mata ciliar, outro ponto importante dessa área é a proximidade de uma usina a nascente. Desta forma, conclui-se que são necessários alguns cuidados para que não ocorra poluição ao longo do corpo hídrico, principalmente das nascentes, assim como a preservação da mata nativa.

Palavras-chave: Nascente, Degradações Ambientais, Recursos Naturais.

1. Introdução

O uso de recursos hídricos é qualquer ação de atividade antrópica que altere as condições naturais, seja de águas superficiais ou subterrâneas. As águas subterrâneas no Brasil possuem dificuldades em seu controle, pela vasta dimensão de continentes.

Meneguzzo e Chaicouski (2010) aponta a diferença entre preservação como sendo aquela que não tem interferência humana no local, e conservação sendo a relação do homem para com a natureza, fazendo-se necessário pensar no uso dos recursos para que não ocorra o consumo desenfreado.

O rio em questão, é o principal manancial para abastecimento do município em Marechal Deodoro em Alagoas, distribuindo água para 51.364 pessoas segundo dados do IBGE. O tratamento utilizado para abastecimento de água é o convencional, que passa por etapas como desinfecção, correção de pH, fluoretação, e enfim, a distribuição. Já as águas dos poços e nascentes seguem tratamento simples, ou seja, desinfecção.

A qualidade da água para o consumo humano em Marechal Deodoro, atender a resolução CONAMA nº 357 do Ministério do Meio Ambiente, os responsáveis para este cumprimento são o SAAE (Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto) e a Secretaria de Meio Ambiente do local em questão. A missão do SAAE é, contribuir para a melhoria na qualidade de vida, saúde e meio ambiente, através do saneamento básico.

Esse serviço faz não somente as etapas de tratamento de água, mas também da sua conservação. Ele realiza trabalhos como o reflorestamento as margens do rio, em parceria com a secretaria de meio ambiente, afim de melhorar sua qualidade como também contribuir com o entorno das nascentes, permitindo melhorias naturais significativas.

2. Fundamentação

2.1 Recursos naturais

De acordo com Cruz (2017), os recursos naturais podem ser classificados como renováveis, sendo aqueles que podem se renovar/regenerar de forma espontânea pelo meio que o cerca, ou seja, a natureza, sendo alguns desses recursos além da água, a energia do sol e o ar. Além dessa classificação, tem outra que fica na transição entre renovável e não renovável, sendo o recurso potencialmente renovável no qual exige cuidados, como por exemplo o solo. E por último, o recurso não renovável que é aquele no qual não se regenera naturalmente após utilizados, como o petróleo e minério.

Segundo Venturi (2006), os recursos naturais são:

“[...] Qualquer elemento ou aspecto da natureza que esteja em demanda, seja passível de uso ou esteja sendo usado direta ou indiretamente pelo homem como forma de satisfação de suas necessidades físicas e culturais, em determinado tempo e espaço.”

Cruz (2017) revela que o recurso natural está diretamente ligado aos seres humanos, se este recurso enfrentar algum problema todos sentem, podendo ser de imediato ou a longo prazo. A mesma autora revela que, os recursos renováveis necessita de tempo para se regenerar na natureza e são limitados, porém se esse tempo de restabelecimento não se cumprir podem acabar se esgotando e prejudicando não somente o momento em que isso acontecer mas também as futuras gerações, por isso é necessário racionalização.

Um fator relacionado ao uso do solo inadequado é a expansão urbana que está crescendo e onde às ruas não são pavimentadas, quando chove, ocorre o escoamento superficial levando através da enxurrada sedimentos para os córregos e rios.

2.2 Cobertura vegetal em Alagoas

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, MMA, “O Brasil é formado por seis biomas de características distintas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.” Dois destes se encontram no estado Alagoano, sendo o bioma caatinga, que se caracteriza por ser resistente as secas, e o bioma mata atlântica, sendo formado por floresta nativa e ecossistemas como as áreas de manguezais e de restinga.

No bioma caatinga, além de ser resistente aos períodos de estiagem das regiões, ele possui uma diversidade de fauna e flora enorme. O grande problema que ele enfrenta é o desmatamento acelerado, chegando a mais de 40% em suas áreas. Em 2009, criou-se o Monumento Natural do Rio São Francisco, sendo uma unidade de conservação federal por integrar os estados de Alagoas, Bahia e Sergipe, a área desse monumento é de aproximadamente 27 mil hectares.

Ainda de acordo com o MMA, a mata atlântica é composta por formações florestais nativas e ecossistemas associados. Hoje, com as ações humanas, a área original dessa mata é menor que antigamente, com aproximadamente 29% da cobertura original. É um bioma muito rico em diversidade vegetal com aproximadamente 20 mil,

sendo 35% dessa parte localizada no Brasil, assim como também em diversidade animal.

2.3 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico consiste em etapas no qual não se identifica ao certo o seu início ou fim devidamente marcado. No oceano a evaporação ocorre através do vapor d'água, onde esse vapor se condensa através de nuvens sendo elas formadas por gotas de água que se resfriam, passando para a etapa de precipitação, que é quando uma pequena parte é levada pelo escoamento superficial para os rios e córregos, para a transpiração das plantas e para as águas subterrâneas, que se infiltrando no solo.

Telles (2013) relata que a água salgada disponível no planeta constitui 97,5% sendo encontrada nos oceanos e lagos, já a disponibilidade da água doce corresponde por apenas 2,5% sendo a sua maior parte encontrada nas calotas polares e geleiras, dentre este valor, é fragmentado em duas situações, uma parte com cerca de 2,0%, é inacessível atualmente pela tecnologia e o que resta disso, está contido em águas subterrâneas.

O mesmo autor, Telles (2013) define a distribuição da água da seguinte maneira, mais ou menos 69% do uso da água é destinado para a irrigação e para a dessedentação de animais, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, contendo também um elevado desperdício. Já 21% se encontram nas indústrias, o problema dela é que a água é jogada de modo inadequado, sem passar por nenhum tipo de tratamento, o que acaba poluindo o corpo hídrico quando despejado. E os 10% que restam estão presentes no abastecimento humano, o problema nele é o lançamento de esgotos sem o devido tratamento ou até mesmo havendo tratamento porém não o adequado.

Telles e Góis (2013) defendem que, o abastecimento humano adequado para toda a população é um grande desafio e a meta para os países em desenvolvimento, por se tratar de um serviço indispensável porém que ainda enfrenta tantos obstáculos para alcançar a universalização.

Já no uso industrial nos países desenvolvidos são de 59%, nos países subdesenvolvidos são 8% e na visão do uso em escala mundial, cerca de 22%. Aproximadamente 70% da água mundial é destinada para o uso agrícola, porém esse uso deve ser separado da agricultura irrigada e da dessedentação de animais. A agricultura irrigada realizada através do sistema de irrigação, é um mecanismo no qual ajuda a melhorar o desenvolvimento da planta fornecendo a quantidade de água suficiente e no momento adequado.

3. Metodologia

Os estudos sobre recursos hídricos utilizados nesse trabalho foram baseados em revisões de literatura através de livros, sites e artigos científicos, assim como aprofundar o conhecimento sobre as degradações que estão sujeitas a ocorrer em um corpo hídrico.

Foi realizada visita técnica a área da nascente no dia 16 de Outubro de 2018, utilizando o GPS GRAMIN etrex 30 para demarcação do ponto, apontando a localização exata de S 09.69111°, W 035.92906° e com uma elevação de 7 metros. (Figura 1). Nessa visita, notou-se problemas como a proximidade do corpo hídrico com a área da usina local, o bombeamento de água para irrigação da plantação de cana-de-açúcar e outros fatores que influenciam no desempenho da qualidade do curso d'água.

Essa nascente compõe o rio da Estiva, sendo este rio o principal manancial que abastece o município de Marechal Deodoro, no Estado Alagoano. A nascente estudada

nesse trabalho está localizada no bairro da Tuquandura, ficando distante do centro urbano e próxima a uma usina local.

No dia 13 de Novembro de 2018, foi realizada outra visita ao local, identificando mais algumas degradações existentes na área. Notou-se a presença da vegetação do bioma predominante em volta da nascente, tendo também uma área de reflorestamento, construída pela usina local.



Figura 1: Área de estudo localizada no mapa

Fonte: Google Earth

O sistema de abastecimento de água e esgoto (SAAE) é o responsável pela distribuição de água em Marechal Deodoro, através desse serviço foi possível obter dados sobre a vazão na nascente do ponto estudado do rio da Estiva, assim como as degradações existentes no local, a interferência da usina com a área da nascente, como também sobre o acordo entre os órgãos responsáveis do meio ambiente e da própria usina para minimização dos impactos causados pela mesma.

4. Resultados

O local da nascente se encontra próximo a usina, que capta água através de bombas para irrigar a plantação de cana-de-açúcar. A grande problemática não está somente no bombeamento da água da nascente, como também na proximidade da plantação de cana-de-açúcar ao corpo hídrico. A figura 2 mostra o ponto em que foi realizado o trabalho.

A prefeitura e a secretaria de meio ambiente do município, obtiveram conhecimento do bombeamento que anteriormente era irregular e passou a tentar um acordo com os responsáveis da usina, obtendo êxito seguido do acordo dessa retirada de água ocorrer somente a noite, e não durante o dia como era feito irregularmente.



Figura 2: Nascente estudada
Fonte: Os autores

Já a plantação da cana-de-açúcar requer cuidados, sendo utilizados produtos químicos e pela cultura ser próxima a nascente, é propício o contato desses defensivos agrícolas com o curso d'água através da chuva. Esse problema degrada tanto a qualidade da água, como também os animais aquáticos e o solo. A figura 3 apresenta o cenário da plantação próxima ao local da nascente.



Figura 3: Área de cana-de-açúcar próximo a nascente
Fonte: Os autores

A área próxima ao corpo hídrico é predominantemente mata atlântica, bioma local, no qual a usina em questão construiu uma Área de Preservação Florestal como medida de minimização dos seus impactos causados naquele local. Através do plantio de

mata ciliar, o rio é protegido de impactos diretos, funcionando como um filtro. Essa mata funciona também como corredor ecológico e propagação de vegetação.

A área estudada recebe um tipo de degradação sendo esta, a captação de água através do bombeamento de uma determinada usina, para que isso ocorra os trabalhadores isolam a área para essa retirada. Na figura 4 nota-se que é construído um tipo de barreira para que a água fique armazenada, nessa área isolada não ocorreu presença de peixes, porém no ponto pós barragem notou a presença deles. Nessa mesma figura notou-se também a presença da folhagem que cai da mata ciliar, diferente da água corrente que o rio leva essas folhas, na área da barragem por estar contida e a água parada, essas folhas ficam presas no local.

O bombeamento ocorre no período noturno, conforme acordo entre os órgãos responsáveis e a retirada dessa água é realizada através de um isolamento.



Figura 4: Área de captação de água para uso na usina
Fonte: Os autores

A retirada da água através do bombeamento para irrigar a plantação de cana-de-açúcar impacta em um grande problema, para minimizar essa degradação foi realizado um acordo entre os órgãos competentes do município, para que o uso da bomba ocorra somente no período da noite.

Como mencionado anteriormente, a usina construiu uma área na qual preserva a mata florestal, delimitada através de estacas sendo situada da seguinte maneira, a nascente passa em meio a vegetação ciliar, nessa área de floresta foram plantadas espécies do bioma mata atlântica, algumas identificadas facilmente como o Pau-Brasil e Pau ferro. No lado da estrada, estão identificadas algumas espécies, sendo além dessas, outras como: laranjeira, ingazeiro e monguba.

De acordo com a figura 5, nota-se que a localização da área é basicamente de plantação de cana-de-açúcar, vegetação, corpo hídrico, mata florestal, estrada e plantação de cana-de-açúcar novamente. Para transitar de uma estrada para outra, há uma ponte no qual a nascente passa embaixo.



Figura 5: Compreendendo o local
Fonte: Os autores

Na figura acima, percebe-se que para minimizar os impactos que podem ser causados pela proximidade da área de plantio com o corpo hídrico, foi feita uma área de vegetação afim de filtrar ao máximo fatores que podem atingir a nascente, sendo uma ação compensatória para seus impactos.

5. Conclusão

Este trabalho aborda o diagnóstico da conservação de uma nascente, localizado no município de Marechal Deodoro, ela é de suma importância para a população local devido ao seu valor para abastecimento de água da cidade. Portanto, são necessários alguns cuidados para que não ocorra poluição ao longo do corpo hídrico, assim como a preservação da mata nativa.

Como meio de recomendações para não degradar ainda mais a área e também a ambientes como este, faz-se necessário aumentar a fiscalização nas áreas de preservação assim como também com os recursos hídricos, atentos a extração irregular de areia também, tendo em vista um dos grandes problemas que isto ocasiona, como baixar o nível do rio.

Outro fator de grande importância é não desmatar essas áreas, pois elas também são protegidas por lei e através dessa retirada de mata o corpo hídrico fica vulnerável as ações antrópicas. O desmatamento hoje é um dos maiores problemas que o meio ambiente enfrenta e como tal, suas consequências são espantosas, como a perda da biodiversidade, problemas como a erosão e aquecimento global.

As sugestões que podem ser dadas para a conservação desse meio hídrico é que, através de educação ambiental com a população, principalmente aquela que tem contato direto com o ponto em questão, aprendam a respeitar o tempo de regeneração natural do ambiente, assim como a conviver em harmonia com o que o meio oferta.

O reflorestamento da área é outra solução ao nosso alcance, para que a poluição não ocorra com tanta facilidade, assim como o uso adequado do solo, podendo ser realizado através de ensinamentos de técnicas e manejos em áreas como esta.

Para que o rio da Estiva esteja protegido, é necessário realizar essas técnicas de conservação em todo o corpo hídrico, ou seja, em sua bacia de contribuição como um todo, pois é através da conservação, utilizando o que for possível dentro dos critérios da sustentabilidade, que ocorrerá um melhoramento geral no rio.

6. Referências

CRUZ, CAMILA O.; **Recursos Naturais.** Disponível em:<<https://www.infoescola.com/ecologia/recursos-naturais/>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2018.

IBGE. Marechal Deodoro. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/marechal-deodoro/panorama>> Acesso em: 13 de Novembro de 2018.

MENEGUZZO, I. S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de Geografia, Londrina, v.19, n.1, p.181-185, 2010.

MMA. **Mata Atlântica.** Disponível em: http://www.mma.gov.br/biomas/mataatl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento. Acesso em: 04 de outubro de 2018

TELLES, D. A.; GÓIS, J. S.; **Ciclo ambiental da água:** da chuva à gestão. In: TELLES (Organizador/Coordenador.), GÓIS (Colaborador). São Paulo: Blucher, 1º. Ed. 2013.

VENTURI, L.A.B. Recurso natural: a construção de um conceito. GEOUSP – Espaço e tempo, São Paulo, nº20, p.9-17, 2006.

MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

**Crislaine Costa Calazans¹, Valdinete Vieira Nunes², José Augusto de Santana
Júnior³, Suelange Oliveira Cruz⁴, Fabiana Oliveira da Silva⁵**

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI,
Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE -
cris.calazans@yahoo.com.br

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI,
Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - val.ufs@gmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI,
Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - augsto.junior@gmail.com

⁴Universidade Federal de Sergipe – UFS – Nossa Senhora da Glória/SE -
suelange26@gmail.com

⁵Universidade Federal de Sergipe – UFS – Nossa Senhora da Glória/SE
fabianaosilva@academico.ufs.br

⁵ INCT-IN-TREE

Resumo

A polinização mediada por abelhas é um serviço ecossistêmico fundamental para a manutenção da biodiversidade e recuperação de ambientes degradados. A polinização contribui para a variabilidade genética da maior parte das espécies vegetais, além de prover diversos benefícios para a população. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo reunir evidências sobre o papel das abelhas na recuperação de áreas degradadas com base em metadados com base em publicações científicas. Foi realizada uma revisão de artigos científicos a partir de publicações nas bases científicas Scopus e Web of Science utilizando o software R. Foram prospectados artigos distribuídos em 17 revistas, totalizando 19 documentos com média de 5,7 publicações por ano e sete citações por documento. Um total 66 autores e 64 co-autores, sendo dois documentos de autoria única e em média de 3,5 co-autorias. Foram referenciados 1.335 artigos. Os Estados Unidos possuíram o maior número de citações (80), seguido do Brasil com 25 artigos citados e Alemanha (10). Entretanto, o Brasil se destaca como principal país de origem dos autores.

Palavras-chave: Bibliometrix, Biodiversidade, Polinizadores.

1. Introdução

Em todo o mundo diversos ecossistemas vêm sendo alterados por ação do homem. A diminuição da biodiversidade é causada por fatores como a perda,

fragmentação e isolamento de habitats, devido a conversão de ambientes naturais em áreas agrícolas e urbanas (MAY et al., 2019).

A modificação continua da paisagem resulta em degradação ambiental, sendo este um fenômeno recorrente globalmente e cuja intensidade depende principalmente da intensificação da agricultura convencional (SANTOS; RIBEIRO, 2009). Neste contexto, é crescente a demanda pela recuperação de ambientes degradados diante das mudanças ambientais inevitáveis. No entanto, o avanço no interesse de preservação ambiental é despertado a partir da crescente conscientização da finitude dos recursos naturais.

Para obter sucesso na recuperação de áreas degradadas, faz-se necessário utilizar princípios ecológicos e silviculturais por meio de métodos eficazes que melhorem e notem os modelos de recuperação (LÖF et al., 2019). Dentre alguns métodos está a implantação de Agrofloresta ou SAF (Sistema Agroflorestal), o que se baseia em técnicas de uso da terra que resgata a forma ancestral de cultivo, ou seja, combina o cultivo de espécies lenhosas, como frutíferas ou madeireiras, com cultivos agrícolas e/ou animais. Essa combinação pode ser realizada simultaneamente ou em sequências temporais, sendo de fácil manejo, viável para áreas com tamanhos diversos, além de muitos benefícios ecológicos e econômicos (VISWANATH; LUBINA, 2018).

Esse sistema interliga fauna e flora para recuperação de áreas degradadas, já que os serviços ecossistêmicos dependem de relações ecológicas mediadas por animais dispersores de sementes e polinizadores (RITCHIE et al., 2020). Aproximadamente 90% das angiospermas dependem de agentes polinizadores para fecundação e formação dos frutos (OLLERTON et al., 2011). Os insetos polinizadores desempenham um papel fundamental tanto na preservação e recuperação do ambiente quanto na economia mundial.

Por ser considerado como um capital natural de valor incalculável, a polinização mostra-se como um importante mecanismo ecológico frente aos enormes serviços ambientais que prestam. Esses serviços ambientais são a base para a sobrevivência dos organismos no planeta e fundamentais para o bem-estar humano. Frente aos seus benefícios, consiste em um estoque de materiais e informações que estão disponíveis aos seres humano (SIMPSON, 2012).

Um dos serviços ecossistêmicos fundamentais ao desenvolvimento de diversas espécies cultivadas, a polinização contribui efetivamente para a reprodução de plantas superiores (DEL-CLARO; TOREZAN-SILINGARDI, 2012), bem como para a manutenção de ecossistemas, conservando grande parte das redes de interações entre animais e plantas. A polinização é um dos mais conhecidos por assegurar a variabilidade genética da maior parte das espécies vegetais, além de prover diversos benefícios para a população (BREEZE et al., 2011).

Com os avanços da agricultura, o desflorestamento, o desenvolvimento urbano e demais atividades antrópicas, a biodiversidade está ameaçada. As populações de polinizadores naturais também diminuem, por não encontrar mais recursos suficientes para alimentar-se e nidificar-se. A presença desses polinizadores indica qualidade

ambiental, e para tanto há de se atentar à preservação das abelhas, as quais vêm sofrendo impactos que podem levar ao seu desaparecimento (BARBOSA et al., 2017).

A seleção mediada por polinizadores foi mais forte do que a seleção por outros fatores bióticos. A interação entre polinizadores e plantas é, geralmente, considerada mutualística, isto é, proporciona benefícios tanto para o polinizador quanto para a planta, aumentando o valor adaptativo de ambos (CARUSO et al., 2019). Neste sentido, a morfologia floral e a oferta de recursos determinam as chamadas síndromes de polinização. Assim, diversos visitantes florais e polinizadores potenciais podem ser atraídos ou excluídos de acordo com a morfologia floral (MACHADO; LOPES, 2004).

As abelhas merecem destaque como agentes polinizadores bióticos, pois dependem dos recursos florais para sua sobrevivência, tendo, desta forma, estabelecido relações estreitas com as angiospermas ao longo de sua evolução (RECH et al., 2014). Elas voam de flor em flor com os grãos de pólen (gameta masculino) aderidos ao corpo, sendo depositados no estigma (gameta feminino) da próxima flor (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012). A maior eficiência das abelhas como polinizadores se dá, tanto pelo seu número na natureza, quanto por sua melhor adaptação às complexas estruturas florais como, por exemplo, peças bucais e corpos adaptados.

A polinização atua na manutenção do equilíbrio ambiental, e as abelhas são responsáveis por cerca de 73% da polinização cruzada na maioria dos ecossistemas, desempenhando um serviço de valor inestimável, constituindo uma importante adaptação evolutiva das plantas que mantém a diversidade genética, aumentando o vigor das espécies e determinando a formação de frutos e sementes (BACAXIXI et al., 2011; KERR et al., 2001). Consequentemente, desempenham função importante na preservação das espécies (SOUZA et al., 2007).

No Brasil, são conhecidas 1800 espécies, incluindo espécies nativas e exóticas como a abelha africanizada (*Apis mellifera* L.) que atualmente encontra-se distribuída em todo o território brasileiro, com predominância no bioma Caatinga (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012, HRNCIR et al., 2019).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo reunir evidências sobre o papel das abelhas na recuperação de áreas degradadas com base em metadados com base em publicações científicas.

2. Material e métodos

Foi realizada uma revisão de artigos científicos sobre a importância das abelhas na recuperação de áreas degradadas a partir de publicações nas bases científicas *Scopus* e *Web of Science*. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020 com os seguintes termos: “bee” AND “degraded areas” AND (“recovery” OR “restoration” OR “conservation”) que foram prospectadas no título e resumo. Os dados bibliográficos foram importados no formato Bitex para realização de análises bibliométricas tais como,

citações, colaboração científica e análise de artigos por ano. As análises estatísticas e os gráficos foram gerados com o auxílio do pacote Bibliometrix no software R (R CORE TEAM, 2020).

3. Resultados e discussão

Foram encontrados 19 documentos distribuídos em 17 revistas. Com uma publicação média de 5,7 publicações por ano. Média de sete citações por documento. Um total 66 autores e 64 co-autores, sendo dois documentos de autoria única e em média de 3,5 autores. Foram referenciados 1.335 artigos. As principais fontes de publicação foram Journal of Insect Conservation e a Revista Árvore (Fig. 1), as mesmas destacam-se por possuir os maiores fatores de impacto (H-index) entre as revistas com trabalhos publicados na área. As principais palavras-chave encontradas foram: “*abundance*” com 20%, seguida de “*conservation*” (15%), “*bees*”, “*diversity*” e “*landscape*” com 10% e representando 7% cada, “*apidae*”, “*apoidea*”, “*foraging ranges*”, “*biodiversity*” e “*functional diversity*”.

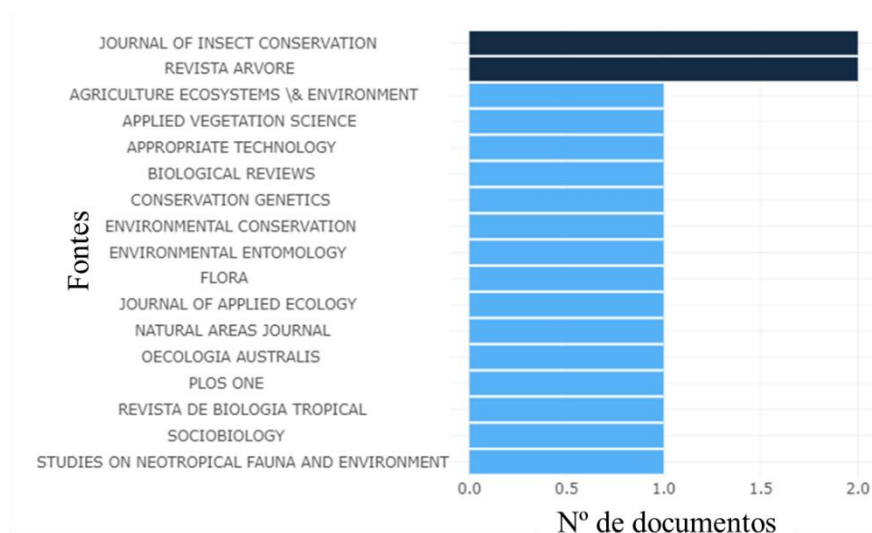


Fig. 1: Fontes mais relevantes.

Fonte: R Core Team (2020).

Os Estados Unidos lideram com país com maior número de citações (80), seguido do Brasil com 25 artigos citados e Alemanha (10). Entretanto, o Brasil se destaca como principal país de origem dos autores, seguido dos Estados Unidos. As instituições mais relevantes Universidade São Paulo e Universidade de Harvard.

Em relação à média de citações de artigos por ano, os primeiros registros datam de 1995, ano em que foram citados cerca de três artigos, com novas citações documentadas somente a partir de 2009. As citações se mantiveram nos 10 anos seguintes com destaque para os anos, 2015 e 2019. As referências citadas obtiveram números relevantes a partir de 2002, com média de 70 referências citadas em 2009 e 80 em 2014. Em 2018 cerca de 55 foram citados (Fig. 2).

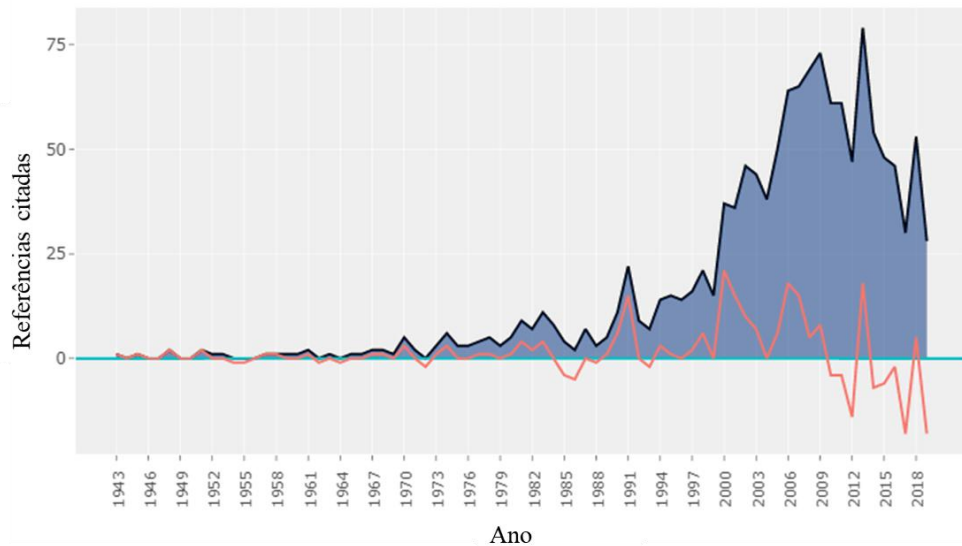


Fig. 2: Evolução anual das referências citadas nas publicações.

Fonte: R Core Team (2020).

Em contrapartida, o trabalho mais citado foi publicado em 1995 e foi base para outros trabalhos a partir de sua publicação. Devido ao aumento do interesse por estudos voltados para o entendimento dos serviços ecossistêmicos atrelados a degradação de ambientes em decorrência das ações humanas e das relações climáticas, artigos publicados a partir de 2010 voltaram a ser citados no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema.

Com base na revisão bibliográfica verificou-se que os ecossistemas naturais possuem estreita relação com os insetos polinizadores. Os serviços de polinização projetados diminuirão à medida que a área ocupada por vegetação natural diminuiu (CHATTERJEE et al., 2020). A *Apis melífera* é um inseto social de fácil manejo e muito citado por ser gerido desde a antiguidade, inicialmente para a produção de mel e, posteriormente, para serviços de polinização às culturas; é o polinizador gerenciado mais importante em agroecossistemas em todo o mundo (ELIZALDE et al., 2020).

O documento mais citado (Fig. 3) relata aspectos sobre a dependência dos remanescentes florestais aos serviços prestados pelos insetos (PANZER et al., 1995). Seguido dos estudos envolvendo a diversidade de polinizadores e as mudanças na paisagem (MOGREN et al., 2016).

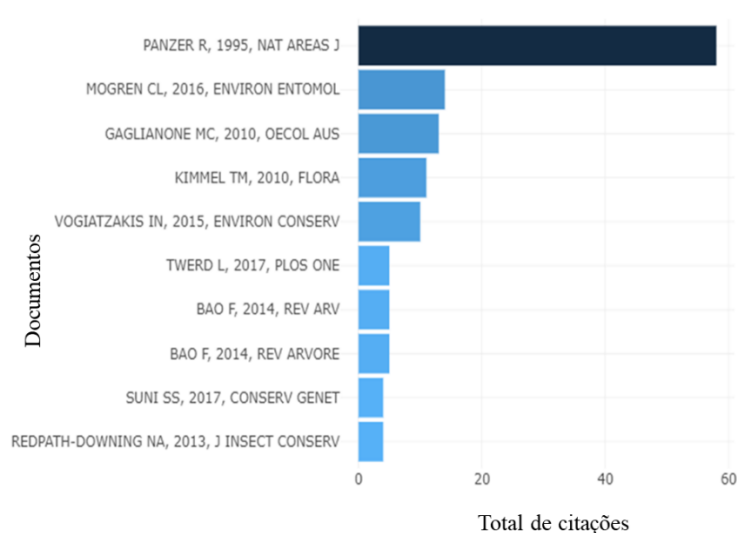


Fig. 3: Documentos mais citados.

Fonte: R Core Team (2020).

Os manuscritos estudados ajudam a esclarecer a dinâmica dos serviços prestados pelos insetos polinizadores, com destaque para as abelhas. Autores notam a necessidade de uma abordagem conservacionista na gestão dos serviços, bem como o uso potencial de insetos sociais para ajudar a restaurar habitats degradados por atividades humanas. Além disso, destacam-se pela necessidade de avaliar esses serviços de forma integrada, pois algumas espécies de insetos sociais estão entre as espécies invasoras e pragas nativas mais problemáticas (ELIZALDE et al., 2020).

Foi possível constatar que existe relação entre os efeitos do transporte de grãos de pólen fixados no corpo das abelhas e a criação de grupos funcionais de plantas. Ao identificar características como: hábito, classe sucessional, origem geográfica e modo de polinização foi possível comparar a frequência, diversidade e interação da estrutura entre habitats. De forma geral, a abundância e diversidade das comunidades de abelhas e a frequência e diversidade das espécies de plantas interagem em plantios de restauração (MONTROYA-PFEIFFER et al., 2020).

4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos, encontramos indícios e argumentos contundentes acerca dos inúmeros benefícios das abelhas no processo de recuperação de áreas degradadas. Apesar da lacuna de conhecimento verificada neste estudo, observou-se um grande empenho por parte dos periódicos para a ampliação e divulgação de pesquisas que investigam o papel das abelhas no avanço de tecnologias conservação e preservação de serviços ecossistêmicos. Importante aspecto constatado foi o fato do Brasil se destacar com o maior número de autores versando sobre o assunto nos manuscritos. Os

artigos citados são importantes fontes de pesquisa para trabalhos com foco conservacionista na gestão dos serviços ecossistêmicos e podem ajudar no desenvolvimento de novas pesquisas e na recuperação de áreas degradadas.

Ao realizar o planejamento de restauração de áreas degradadas deve-se avaliar a existência de polinizadores e os processos funcionais envolvidos para orientar decisões.

5. Referências

Bacaxixi, P. et al., 2011. A Importância Da Apicultura No Brasil. Revista Científica Eletrônica De Agronomia, p. 5.

Barbosa, D.B., et al., 2017. As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v. 3, n. 4, p. 694–703.

Breeze, T.D., et al., 2011. Pollination services in the UK: How important are honeybees? Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 142, n. 3–4, p. 137–143.

Caruso, C.M., et al., 2019. A meta-analysis of the agents of selection on floral traits. Evolution, v. 73, n. 1, p. 4–14.

Chatterjee, A., et al., 2020. Predicted thresholds for natural vegetation cover to safeguard pollinator services in agricultural landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 290, p. 106785, 1 mar.

Couto, R.H.N.; Couto, L.A., 2002. Apicultura: manejo e produtos. 2a ed. Jaboticabal: Funep.

Del-claro, K.; Torezan-Silingardi, H.M., 2012. Ecologia das interações plantas-animais: Uma abordagem ecológico-evolutiva. Rio de Janeiro: Technical Books Editora.

Elizalde, L. et al., 2020. The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. Biological Reviews, v. 95, n. 5, p. 1418–1441.

Hrncir, M. et al., 2019. Stingless bees and their adaptations to extreme environments. Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology, v. 205, n. 3, p. 415–426.

Imperatriz-Fonseca, V.L., et al., 2012. Polinizadores no Brasil: Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais. São Paulo: Editora Universidade São Paulo.

Kerr, W.E., et al., 2001. Aspectos pouco mencionados da. Biodiversidade, pesquisa e desenvolvimento na Amazônia, p. 20–41.

Löf, M., et al., 2019. Restoring forests: regeneration and ecosystem function for the future. *New Forests*, v. 50, n. 2, p. 139–151.

Machado, I.C.; Lopes, A.V., 2004. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, v. 94, n. 3, p. 365–376, 2004.

May, F., et al., 2019. The geometry of habitat fragmentation: Effects of species distribution patterns on extinction risk due to habitat conversion. *Ecology and Evolution*, v. 9, n. 5, p. 2775–2790, 2019.

Mogren, C.L., et al., 2016. The Effects of Crop Intensification on the Diversity of Native Pollinator Communities. *Environmental Entomology*, v. 45, n. 4, p. 865–872, 1 ago. 2016.

Montoya-Pfeiffer, P.M., et al., 2020. Bee pollinator functional responses and functional effects in restored tropical forests. *Ecological Applications*, v. 30, n. 3, p. 1–14.

Ollerton, J., et al., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, v. 120, n. 3, p. 321–326.

Panzer, R., et al., 1995. Prevalence of remnant dependence among the prairie and savanna inhabiting insects of the Chicago Region. *Natural Areas Journal*.

R Core Team., 2020. R: A Language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation on Statistical Computing.

Rech, A.R., et al., 2014. *Biologia da Polinização*. 1a ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural.

Ritchie, A.D., et al., 2020. Pollination of a bee-dependent forb in restored prairie: no evidence of pollen limitation in landscapes dominated by row crop agriculture. *Restoration Ecology*, v. 28, n. 4, p. 919–926.

Santos, C.S. dos; Ribeiro, A.S., 2009. Apicultura Uma Alternativa Na Busca Do Apiculture an Alternative in Search of Sustainable. *Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 4, n. 3, p. 1–6.

Simpson, R.D., 2012. *ECOSYSTEM SERVICES: What are the Public Policy Implications?* Montana: Property and Environment Research Center.

Souza, L.D., et al., 2007. As Abelhas Como Agentes Polinizadores (The Bees Agents Pollinizer's). *Redvet*, v. VII, n. 3, p. 1–7.

Viswanath, S.; Lubina, P.A., 2018. Traditional agroforestry systems. *Agroforestry: Anecdotal to Modern Science*, v. II, n. 1, p. 91–119.

PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC): MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

**Valdinete Vieira Nunes¹, Crislaine Costa Calazans², Izabel de Jesus Candido³,
Sara Lorena de Pádua Souza⁴, Renata Silva-Mann⁵**

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, val_nunes@academico.ufs.br

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, cris.calazans@yahoo.com.br

³Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, isabeldejesus6@gmail.com

⁴Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, sarapadua1999@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, renatamann@academico.ufs.br

Resumo

Plantas alimentícias não convencionais (PANC) são vegetais comestíveis que apresentam na sua composição vitaminas essenciais, fibras, antioxidantes e sais minerais e que ainda não foram inseridos na alimentação cotidiana da maioria da população. Desta forma, objetivou-se realizar uma análise sistemática da produção científica relacionada às PANC. Este estudo foi baseado na análise de artigos sobre PANC e indexados nas bases científicas Web of Science e Scopus. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020, utilizando os termos “plantas alimentícias não convencionais”, “unconventional food plant” e “non-conventional food plant”. Foram analisadas as variáveis: número de publicações por ano, países, principais periódicos, área temática, instituições, rede de co-citação e de colaboração. Verificou-se 82 publicações relacionadas as PANC que tiveram início no ano de 2004 e a partir do ano de 2016 apresentaram um aumento gradativo, chegando a taxa de crescimento anual percentual de 20,59. A origem geográfica dessas publicações foi o Brasil (79%); Argentina com 4%; Bangladesh e Índia com 3%; Indonésia, Itália, Malásia, Portugal e Estados Unidos (1%). Um terço de todos os artigos foram publicados em 10 periódicos que possuem fator de impacto (H-index) variando de 0 a 2. As áreas temáticas foram etnobotânica, biodiversidade, vegetais não convencionais, macronutrientes, agricultura urbana e atividade antioxidante. A maior parte das pesquisas foram desenvolvidas por sete universidades públicas brasileiras. Existem três autores com maior impacto (H-index) e citação e seis redes de colaboração.

Palavras-chave: Biodiversidade, Segurança Alimentar, Bibliometrix

1. Introdução

As plantas sempre fizeram parte da vida humana e estima-se que no mundo foram identificadas aproximadamente 390 mil espécies e dessa grande diversidade apenas cerca de mil são utilizadas na alimentação humana (RBG 2016; FAO, 2019). Entre as inúmeras espécies tem-se as plantas alimentícias não convencionais (PANC) que possuem uma ou mais partes comestíveis (folhas, raízes, flores ou caules) porém,

geralmente não são incluídas na alimentação cotidiana da população (KINUPP, 2009; KINUPP, 2014; SARTORI et al., 2020).

As PANC podem ser espécies nativas, exóticas, ou naturalizadas e normalmente têm crescimento espontâneo, são adaptáveis a diversos ambientes, com isso elas podem ser encontradas facilmente em calçadas, hortas abandonadas, quintais ou até mesmo em cultivos de outras culturas, motivo pelo qual essas espécies são conhecidas como plantas daninhas ou mato por grande parte da população (KELEN, 2015; SARTORI et al., 2020).

As PANC podem ser inseridas no cotidiano aumentando a variedade de plantas na alimentação, pois estas exercem o papel de alimentos funcionais, apresentando na sua composição vitaminas essenciais, fibras, antioxidantes e sais minerais, nutrientes necessários para o bom funcionamento do organismo (LIBERATO et al., 2019; SARTORI, 2020). Além do fator nutricional, o aumento na gama de possibilidades de alimentos com a inclusão de novas espécies, que apresentam novos sabores, texturas e cores, pode gerar no ser humano um sentimento de curiosidade e de maior autonomia na nutrição de seu organismo.

O potencial nutricional das PANC é reconhecido, a exemplo, espécies de inhame (*Dioscorea* spp.) indicadas para o fortalecimento do sistema imunológico. Ou ainda a ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) que contém altos teores de proteínas, sendo uma alternativa de alimento para as pessoas que possuem uma dieta com restrição de carne animal. Major gomes (*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.) rico em ácidos clorogênicos, aminoácidos, nucleosídeos, flavonas O- glicosiladas e ácidos orgânicos (TOLOUEI et al., 2019), língua-de-vaca (*Rumex obtusifolius* L.) fonte de compostos fenólicos e com atividade antioxidante (FEDURAEV et al., 2019), costela de adão (*Monstera deliciosa* Liebm.) que possui compostos fenólicos, atividade antioxidante e vitamina C (BARROS et al., 2018).

Além de todo o potencial para uso na alimentação, PANC requerem um cultivo simples, possuem alta variabilidade genética, adaptação a diferentes ambientes e são espécies altamente resilientes (KINUPP e LORENZI, 2014). Com o correto manejo, podem ser mantidas em equilíbrio com outras espécies presentes no local; cultivadas em áreas consideradas improdutivas; e ajudar na cobertura do solo evitando a erosão. Essas características são relevantes porque possibilitam a produção de alimentos sem a necessidade de desmatamento de áreas florestais e de insumos agrícolas, logo por um baixo custo e com menor perturbação dos ecossistemas naturais (CHOMENKO, 2016; NARCISO, 2017; TERRA e VIEIRA, 2019).

O cultivo e a utilização de PANC para a alimentação humana pode ser uma excelente estratégia e contribuir com a soberania, segurança alimentar e nutricional da população humana, por meio de uma produção sustentável e favorável à manutenção da biodiversidade (BARRETO, 2015). No entanto, nota-se falta de informação e desconfiança de grande parte da população quanto ao consumo de PANC, o que pode ser aos poucos/gradativamente solucionado/desmistificado com o início de campanhas educacionais para o público em geral difundindo o conceito e vantagens do uso de PANC, políticas públicas e aumento no número de estudos sobre essas espécies e seus coprodutos. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma análise sistemática da produção científica relacionada às plantas alimentícias não convencionais.

2. Material e Métodos

Este estudo foi baseado em uma pesquisa e análise sistemática de artigos relacionadas às PANC e indexados nas bases científicas *Web of Science* e *Scopus*. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020, foram considerados artigos científicos que contém um dos termos “*plantas alimentícias não convencionais*”, “*unconventional food plant*” e “*non-conventional food plant*”.

Não foi delimitado um recorte temporal, desta forma, foram consideradas todas as publicações relacionadas às PANC indexadas nas bases.

Documentos duplicados foram removidos e aqueles restantes foram revisados por título e resumo visando eliminar documentos que não se enquadravam no objetivo de pesquisa. Os dados referentes as publicações científicas foram exportados no formato BiTex e as informações extraídas e analisadas com o auxílio do pacote Bibliometrix do *software R* (ARIA; CUCCURULLO, 2017). As variáveis analisadas foram: número de publicações por ano, países, principais periódicos, área temática, instituições, rede de cocitação e de colaboradores.

3. Resultados e discussão

Foram identificados 111 artigos relacionados às PANC indexados nas bases *Web of Science* (11) e *Scopus* (100). Após o tratamento dos dados e remoção de documentos duplicados restaram 82 artigos para a análise.

Os artigos foram publicados no período de 2004 a 2020, este campo de pesquisa é recente e apresenta uma taxa de crescimento anual percentual de 20,59. De forma geral, verifica-se menor frequência de publicações no período de 2004 até 2015. A partir do ano de 2016 verifica-se um aumento contínuo a cada ano chegando a 22 publicações em 2019. A expectativa é que esse número continue aumentando, visto que em setembro de 2020 foram registradas 20 publicações (Fig. 1).

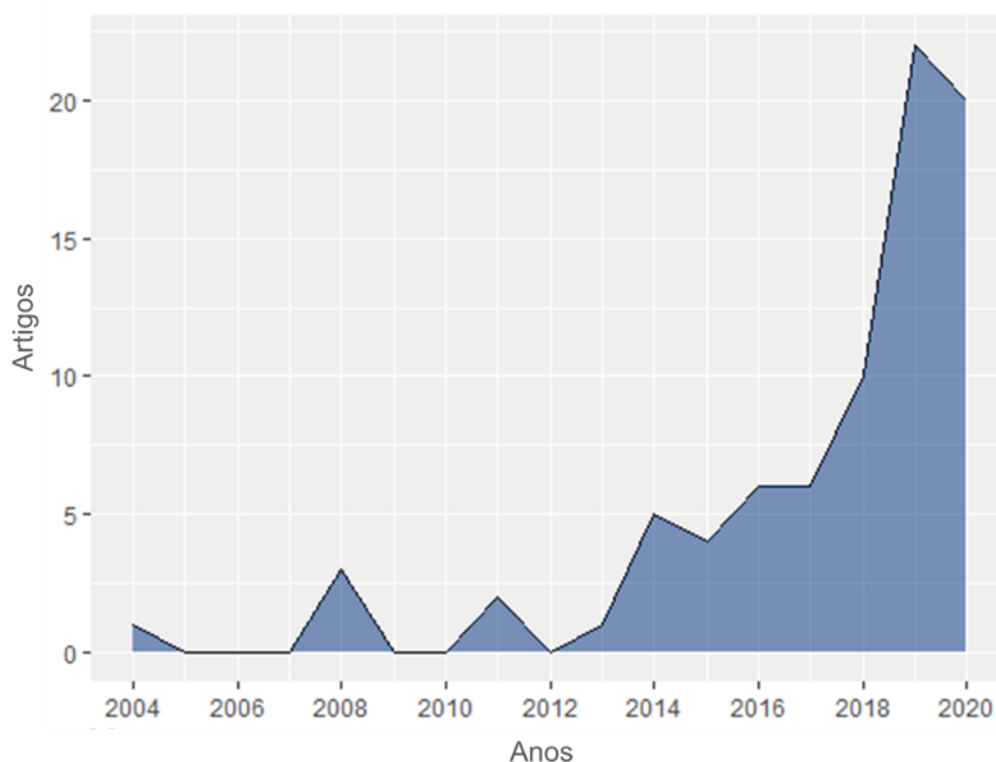


Fig. 1: Produção científica anual de artigos relacionados a plantas alimentícias não convencionais (PANC) indexadas nas bases *Web of Science* e *Scopus*.

As publicações relacionadas a PANC tem como origem geográfica, com base nas afiliações de todos os autores, nove países. O Brasil é responsável pelo maior número de publicações (79%) e também citações. Os outros países são Argentina com 4%; Bangladesh e Índia com 3%; Indonésia, Itália, Malásia, Portugal e Estados Unidos, cada um responsável por 1% das publicações (Fig. 2).



Fig. 2: Origem geográfica de publicações relacionadas a plantas alimentícias não convencionais (PANC), diferentes tons de azul indicam diferentes taxas de produtividade: azul escuro = alta produtividade; cinza = nenhum artigo.

No Brasil, existe um número grande PANC a exemplo, amaranto (*Amaranthus* spp), caruru, anredera (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis), azedinha (*Rumex acetosa* L.), beldroega (*Portulaca oleracea* L.), bertalha (*Basella alba* L.), capuchinha (*Tropaeolum majus* L.), cará-do-ar (*Dioscorea bulbifera* L.), fisalis (*Physalis* spp), jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen), major gomes (*Talinum paniculatum* (Jack)), mangarito (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott), maxixe-do-reino (*Cyclanthera pedata* (L.) Schrad), muricato (*Solanum muricatum* Ait.), ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.), peixinho (*Stachys lanata* L.), serralha (*Sonchus oleraceus* L.) e taioba (*Xanthosoma taioba* E.G.Gonç.).

Um terço de todos os artigos foram publicados em 10 periódicos que possuem fator de impacto (H-index) variando de 0 a 1: Food Science and Technology (1) , Iheringia - Série Botânica (2), American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture (2), Ciência e Tecnologia de Alimentos (2), Horticultura Brasileira (2), International Food Research Journal (2), Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine (2), Journal of Ethnopharmacology (2), Revista Ceres (0), Rodriguésia (0).

Na Figura 3 é possível verificar a dinâmica de crescimento por ano dos principais periódicos com publicações relacionadas às PANC. Nos anos de 2008 e 2011, os periódicos com maior fator de impacto (H-index), Ciência e Tecnologia de Alimentos e American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture apresentaram os

maiores crescimentos. Porém, nos últimos anos, especificamente 2019 e 2020 o maior crescimento foi para Food Science and Thecnology, Waste and Biomass Valorization, Rodriguésia e o Journal of Ethnopharmacology. A dinâmica de crescimento dos periódicos pode contribuir para compreender a evolução das principais categorias temáticas dos artigos ao longo dos anos, visto que cada periódico possui um escopo.

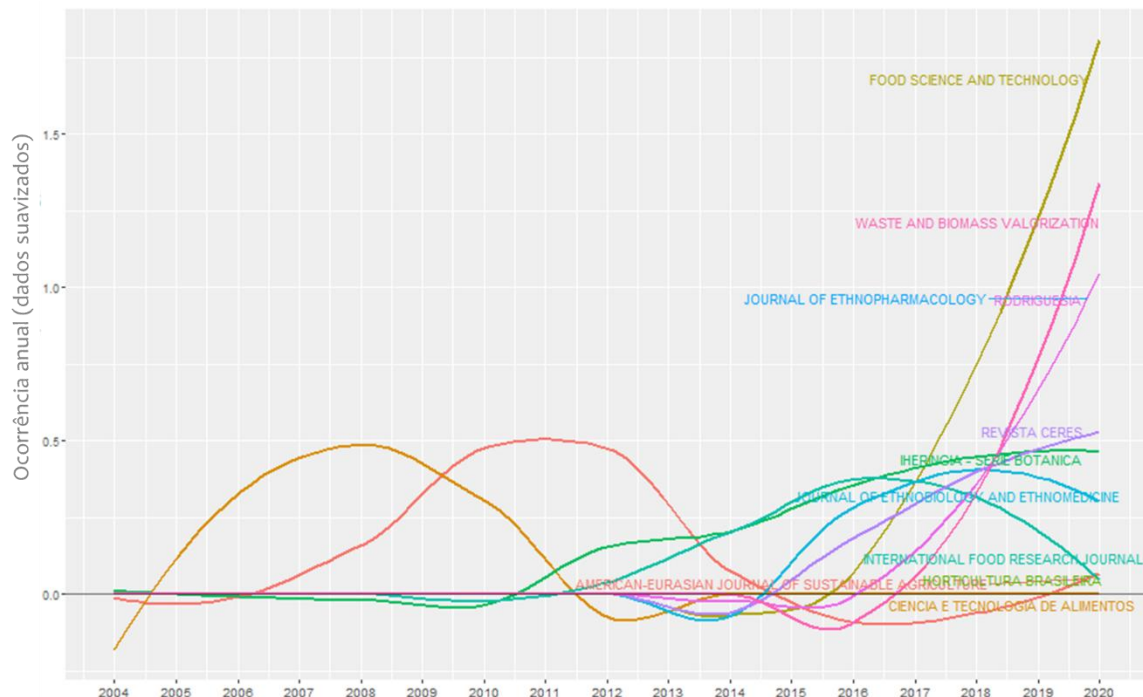


Fig. 3: Dinâmica de crescimento por ano dos principais periódicos com publicações relacionadas a plantas alimentícias não convencionais (PANC).

Principais áreas temáticas das publicações relacionadas às PANC podem ser visualizadas na Figura 4. O mapeamento temático permite a visualização de quatro diferentes tipologias de temas e explora o campo palavras-chave do autor. A centralidade está relacionada com a importância do tema em todo o campo de pesquisa e a densidade mede a força interna da rede e identifica o grau de desenvolvimento de um tema (ARIA; CUCCURULLO, 2017). O tamanho do cluster é dado pelo número de ocorrências das palavras-chave que ele contém e, portanto, pelo número de artigos vinculados e o rótulo do cluster é à palavra-chave predominante (FUSCO; MARSILIO; GUGLIELMETTI, 2020).

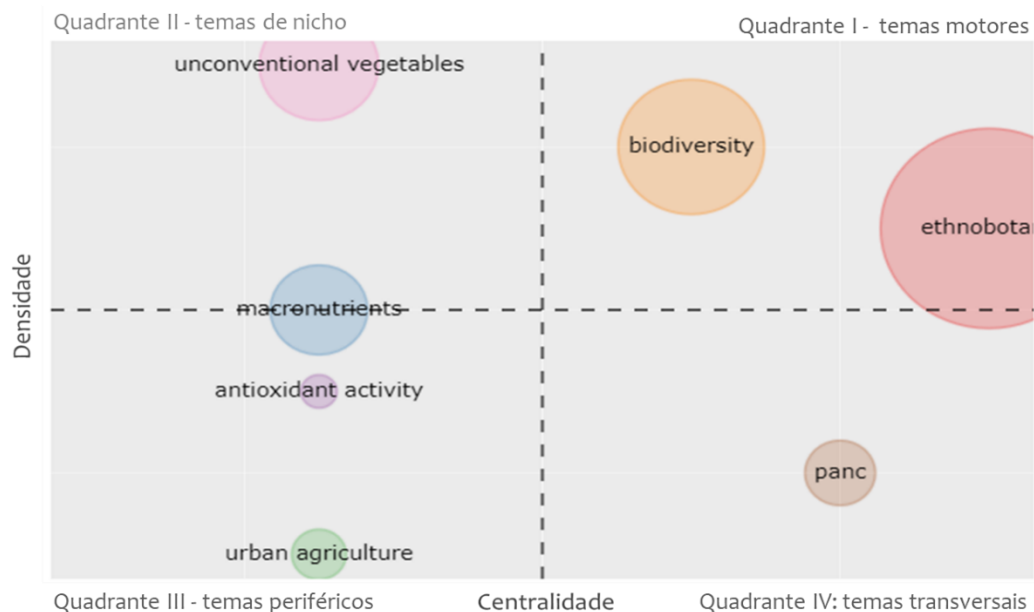


Fig. 4: Principais categorias temáticas presente em publicações relacionadas a plantas alimentícias não convencionais (PANC).

O quadrante um mostra os temas motores, são temas bem desenvolvidos e fundamentais para a estruturação do campo de investigação, caracterizados por elevada centralidade e elevada densidade (ARIA; CUCCURULLO, 2017; DELLA CORTE et al., 2019). Dentre os temas motores mais desenvolvidos na literatura, tem-se etnobotânica e biodiversidade. O cluster etnobotânica envolve termos como a agrobiodiversidade, conservação, comunidades rurais e conhecimento local. Enquanto o agrupamento biodiversidade está relacionado a PANC e seus compostos bioativos.

No segundo quadrante estão os temas de nicho, que são temas bem desenvolvidos e muito especializados, mas marginais no campo geral. Possuem alta densidade, mas de importância limitada apenas para o campo, ou seja, com baixa centralidade (DELLA CORTE et al., 2019). Neste quadrante, é possível encontrar o tema vegetais não convencionais e macronutrientes, visto que, na maioria dos casos, a unidade de análise é constituída por PANC, o cluster vegetais não convencionais contém termos como nutriente e análise química de alimentos. O tema macronutriente está estreitamente ligado a suplemento alimentar e potencial de produção.

Os temas periféricos (terceiro quadrante), compreende temas emergentes e em declínio, caracterizados por baixa densidade (subdesenvolvido) e centralidade (marginal) (COBO et al., 2015; DELLA CORTE et al., 2019). Nesta pesquisa, os temas agricultura urbana e atividade antioxidante estão emergindo e se relacionam novamente com a alimentação, tendo como termos: agricultura urbana, soberania alimentar e agroecologia no cluster agricultura; e frutos comestíveis e compostos fenólicos no cluster antioxidante.

No quarto quadrante estão os temas transversais, gerais e básicos que são temas com elevada centralidade e baixa densidade, importantes para o campo da coprodução, mas ainda pouco desenvolvidos (FUSCO; MARSILIO; GUGLIELMETTI, 2020). Eles se referem principalmente a temas que contemplam uma ou mais linhas de pesquisa. Nesse quadrante, verifica-se o tema PANC, que está relacionada a alimentação funcional e espécies nativas.

Destacam-se sete instituições com o maior número de pesquisas desenvolvidas relacionadas a PANC, todas universidades públicas brasileiras. A Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e Universidade Federal da Paraíba (UFPB), cada uma é

responsável por 13,41% das publicações. A Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) apresentam percentual igual de desenvolvimento de publicações sobre PANC, correspondendo a 10,97% cada, e a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) responsável por 9,76% das publicações.

Com relação aos autores das publicações, na Figura 4A verifica-se os principais autores citados ao longo do tempo e na Figura 4B a rede de colaboradores.

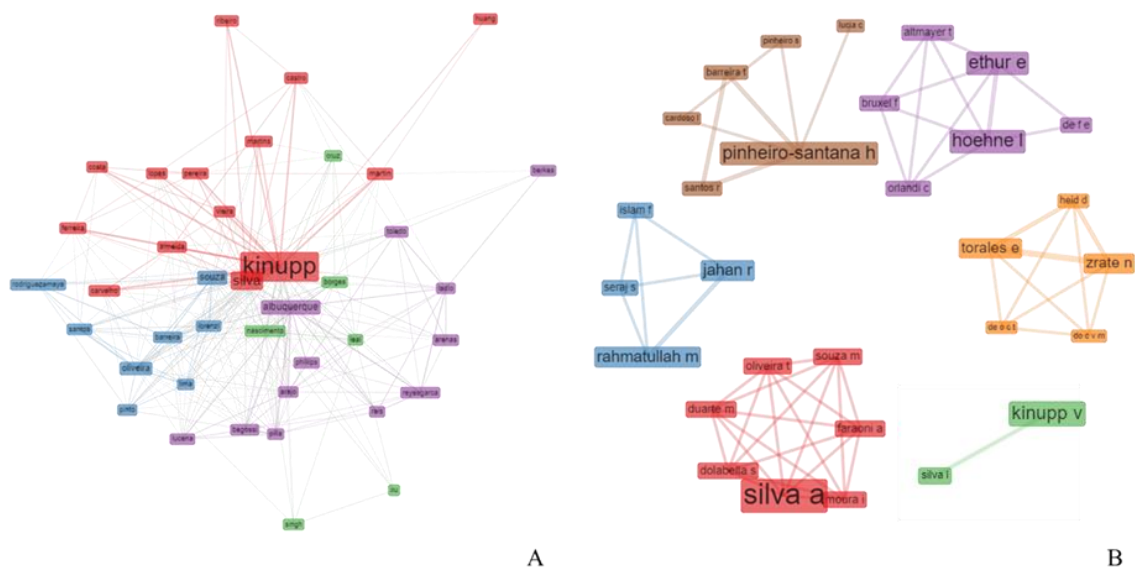


Fig. 5: Rede de co-citação (A) e de colaboração (B) entre os principais autores de publicações relacionadas com plantas alimentícias não convencionais (PANC).

O autor com maior número de citações em artigos sobre PANC é Kinupp, com um total de 69 citações, seguido por Silva (34), Albuquerque (22), Lorenzi (17) e Rahmatullah (17). Os autores Kinupp e Rahmatullah estão entre os mais citados e também entre os autores que produziram publicações com maior impacto (H-index), juntamente com o autor Jahan.

Avaliando a rede de colaboração, apenas 33 autores pareceram ter colaborado com o mesmo grupo de pesquisa mais de uma vez, e eles estão agrupados em seis clusters (Fig. 5B).

Os clusters são caracterizados por diferenças na formação disciplinar e profissional dos autores, afiliação geográfica e foco de pesquisa do trabalho dos co-autores. O cluster vermelho formado por sete autores é uma rede acadêmica formada por pesquisadores brasileiros e que tem como afiliação a Universidade Federal de Sergipe, com foco de pesquisa em etnobotânica, valorização de PANC, análises químicas e estudos com PANC como o bredo e a língua-de-vaca (MOURA et al., 2020a, 2020b).

O cluster azul formado por quatro autores que têm como afiliações a University of Development Alternative e Jahangirnagar University, em Bangladesh. Esses autores desenvolvem pesquisas voltadas para PANC, plantas medicinais e medicina tradicional (AZAM et al., 2014; RAHMATULLAH et al., 2011).

Pesquisadores com afiliação nas Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal de Juiz de Fora, Universidade Federal do Amapá e Universidade Estadual do Norte Fluminense formam o cluster de cor marrom e tem com o foco dos seus trabalhos

temas como a etnobotânica, agroecologia e soberania alimentar (BARREIRA et al., 2015, 2019; PAULA FILHO et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2019).

O cluster de coloração roxa tem como foco trabalhos voltados para o potencial de PANC nativas do Brasil, seja no desenvolvimento de produtos para a alimentação ou para uso medicinal; e os pesquisadores têm como afiliação a Universidade do Vale do Taquari e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (DA SILVA et al., 2019; FOLHARINI et al., 2019).

Pesquisadores majoritariamente com afiliação em universidades públicas e que desenvolve estudos voltados para o manejo e produção de PANC (HEID et al., 2015; MORENO et al., 2017) formam o cluster laranja. O cluster verde que reúne pesquisas voltadas para os compostos bioativo, macronutrientes e micronutrientes presente em PANC (KINUPP; DE BARROS, 2008; MAR et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2016) e tem seus principais pesquisadores com afiliações na Universidade Federal do Amazonas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Escola Agrotécnica Federal de Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal Rural de Pernambuco.

A produção científica relacionada a PANC vem crescendo e evoluindo para diferentes áreas temáticas. Inicialmente os estudos eram principalmente sobre o uso dessas espécies por comunidades tradicionais e famílias rurais e suas características nutricionais. Em estudos mais recentes tem-se analisando também o potencial biotecnológico dessas espécies.

4. Conclusão

O método bibliométrico adotado neste estudo foi útil para investigar e fornecer um panorama das publicações relacionadas às PANC e os resultados contribuem para identificar caminhos para pesquisas futuras.

Os artigos foram publicados no período de 2004 a 2020 e o Brasil é o país com maior número de trabalhos publicados. As publicações estão concentradas principalmente em dez periódicos. O interesse acadêmico sobre PANC cresceu ao longo dos anos e o mapeamento temático contribuiu para identificar os temas mais consolidados que são biodiversidade e etnobotânica e os emergentes que estão relacionados ao potencial antioxidante e a agricultura urbana.

5. Agradecimento

Este trabalho foi apoiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), pela Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) - Brasil, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES - Código Financeiro 001) e Financiadora de Estudos e Projetos - Brasil (FINEP).

6. Referências

Aria, M.; Cuccurullo, C. 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11, n. 4, p. 959-975.

Azam, F. M. S. et al. 2014. Are famine food plants also ethnomedicinal plants? An ethnomedicinal appraisal of famine food plants of two districts of Bangladesh. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2014.

Barreira, T. F. et al. 2015. Diversidade e equitabilidade de Plantas Alimentícias Não Convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 17, n. 4, p. 964-974.

Barreira, T. F. et al. 2019. Chemical characterization and bioactive compounds of an unconventional vegetable - *Erechtites valerianifolia* (Wolf) DC. Food Science and Technology, v. 39, n. 3, p. 546–551, 2019.

Barros, T.; Galego, L.; Pires-Cabral, P. 2018. *Monstera deliciosa* fruit: physicochemical characterization and potential for distillate production. Journal of Food Measurement and Characterization, 12, n. 4, p. 2874-2882.

Barreto, T.F., et al., 2015. Diversidade e equitabilidade de plantas alimentícias não convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, Revista Brasileira Plantas Medicinais, 17, 964-974.

Chomenko, L.; Bencke, G.A, 2016. Nosso pampa desconhecido, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Cobo, M.J. et al. 2015. 25 years at Knowledge-Based Systems: A bibliometric analysis. Knowledge-Based Systems, 80, p. 3-13.

Da Silva, L. De F. F. et al. 2019. Evaluation of antitumor and cytotoxic activity in vitro of latex *Vasconcellea quercifolia* A. St.-Hil. (Caricaceae). South African Journal of Botany, 127, 308-312.

De Oliveira, H. A. B. et al. 2019. Nutritional value of non-conventional vegetables prepared by family farmers in rural communities. Ciencia Rural, 49, 8, 1-10.

Della Corte, V. et al. 2019. Sustainable tourism in the open innovation realm: A bibliometric analysis. Sustainability (Switzerland), 11, 21, 1-18.

FAO. 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, J. Bélanger & D. Pilling (eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 572 pp.

Feduraev, P. et al. 2019. Variation in phenolic compounds content and antioxidant activity of different plant organs from *Rumex crispus* L. and *Rumex obtusifolius* L. at different growth stages. Antioxidants, 8, 7.

Folharini, Z. F. et al. 2019. Nutritional characterization of *vasconcellea quercifolia* A.St-hil.: Potential for the development of functional food. Food Science and Technology, 39, 432-438.

Fusco, F.; Marsilio, M.; Guglielmetti, C. 2020. Co-production in health policy and management: A comprehensive bibliometric review. BMC Health Services Research, 20, 1, 1-16.

Heid, D. M. et al. 2015. Produtividade agroeconômica de mandioquinha-salsa em resposta à adição de cama-de-frango no solo. Semina:Ciencias Agrarias, 36, 3, 1835-1850.

Kinupp, V. F.; De Barros, I. B. I. 2008. Protein and mineral contents of native species, potential vegetables, and fruits. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, 28, 4, 846-857.

Kelen, M. E. B., et al., 2015. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) hortaliças espontâneas e nativas, Porto Alegre.

Kinupp, V. F.; Lorenzi, H. 2014. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda., 745 p.

Kinupp, V. F. 2014. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação e receitas ilustradas. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 56-710.

Kinupp, V.F., 2009. Anais da 61ª Reunião Anual da SBPC - Manaus, AM, 1- 4.

Liberato, P.S., et al., 2019. Plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais, Environmental Smoke, 2.

Mar, J. M. et al. 2020. Encapsulation of Amazonian Blueberry juices: Evaluation of bioactive compounds and stability. Lwt, 124, , 109152.

Moreno, L. B. et al. 2017. Influence of plant density and hilling on yield and profitability of arrowroot1. Pesquisa Agropecuária Tropical, 47, 4, 465-471.

Moura, I. O. et al. 2020. Chemical Characterization, Antioxidant Activity and Cytotoxicity of the Unconventional Food Plants: Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Leaf, Major Gomes (*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.) and Caruru (*Amaranthus deflexus* L.). Waste and Biomass Valorization, n. 0123456789.

Narciso, G., et al., 2017. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) na gastronomia: a capeba (*Pothomorphe Umbellata*) como base para elaboração de pratos. Revista Pensar Gastronomia, 3, 1-25.

Paula Filho, G. X. et al. 2018. Chemical composition, carotenoids, vitamins and minerals in wild mustard collected in native areas. Horticultura Brasileira, 36, 1, 59-65.

Rahmatullah, M. et al. 2011. Correlation between non-conventional plants consumed during food scarcity and their folk medicinal usages: A case study in two villages of Kurigram district, Bangladesh. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 5, 2, 240-246.

RBG Kew. 2016. Relatório do estado das plantas do mundo - 2016. Royal Botanic Gardens, Kew.

Sartori, V.C., et al., 2020. Plantas alimentícias não convencionais – PANC: resgatando a soberania alimentar e nutricional, Educs, e-book, 1-188.

Teixeira, L. S. et al. Efficiency of Amazonian tubers flours in modulating gut microbiota of male rats. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 38,1-6.

Tolouei, S. E. L. et al. 2019. Ethnopharmacological approaches to *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. - Exploring cardiorenal effects from the Brazilian Cerrado. Journal of Ethnopharmacology, 238 , 111873.

Terra, S.B.; Vieira, C.T.R., 2019. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs): levantamento em zonas urbanas de Santana do Livramento, RS, Ambiência Guarapuava (PR), 15, 112 - 130.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO BRASIL: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

**Valdinete Vieira Nunes¹, Crislaine Costa Calazans², Sara Lorena de Pádua Souza³,
Izabel de Jesus Candido⁴, Renata Silva-Mann⁵**

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, val_nunes@academico.ufs.br

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, cris.calazans@yahoo.com.br

³Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, sarapadua1999@hotmail.com

⁴Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, isabeldejesus6@gmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, renatamann@academico.ufs.br

Resumo

Diferentes ações antrópicas podem modificar as paisagens, reduzindo a resiliência das áreas alteradas, e em alguns casos existe a necessidade de intervenções para facilitar e acelerar a recuperação das funções do ecossistema. Para a Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) podem ser adotadas ações como o adensamento, enriquecimento ou plantio completo de espécies em áreas que não possuem mais o componente arbóreo. Desta forma, objetivou-se realizar uma análise bibliométrica da produção científica relacionada a RAD no Brasil. Foram prospectados artigos indexados nas bases Web of Science e Scopus. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020, utilizando os termos: “forest restoration” AND “Brazil” OR “recovery of degraded areas” AND “Brazil”, prospectadas em título, resumo e/ou palavras-chave de artigos indexados nas bases até a data da pesquisa. Foram analisadas as variáveis: principais periódicos, fator de impacto, área temática e rede de colaboradores. Verificou-se 331 publicações relacionadas a RAD que ocorreram no período de 1995 a 2020, com taxa de crescimento anual de 16,54%. Esses artigos foram desenvolvidos por 1038 autores com uma média de 3,14 autores por documento e um terço de todos os artigos foram publicados em sete periódicos. Estas pesquisas foram desenvolvidas por autores que tem como afiliação instituições públicas brasileiras e verificou-se poucas colaborações com pesquisadores estrangeiros. O interesse acadêmico sobre recuperação de áreas degradadas cresceu ao longo dos anos e o mapeamento temático contribuiu para identificar 14 áreas temáticas.

Palavras-chave: Ecossistemas florestais, Restauração Florestal, Bibliometrix.

1. Introdução

O aumento da população mundial e das suas necessidades de consumo, acarretou na exploração insustentável dos recursos naturais, que associado as mudanças climáticas, a acidificação dos oceanos e outros impactos ambientais, resulta na desestruturação dos ecossistemas e extinção de espécies. Considerando os ecossistemas e espécies florestais, o desmatamento e, a consequente redução e fragmentação do

habitat são apontados como principais ameaças à biodiversidade (ALMEIDA; GOMES; QUEIROZ et al., 2011).

Em função das diferentes causas da degradação, para algumas áreas não é possível ocorrer à sucessão ecológica, que é o processo natural de recuperação de uma área (regeneração natural) sendo necessária então a adoção de intervenções conservacionistas para reestabelecer os processos ecológicos que ocorriam antes nessas áreas e foram interrompidos pela ação de degradação, uma dessas intervenções se dá pela recuperação de áreas degradadas (RAD).

Pelo decreto nº 97.632 de 1989, o conceito de degradação pode ser classificado como consequência de danos ambientais, perdendo assim características necessárias ao ciclo natural do ecossistema, danificando-o (BRASIL, 1989). De acordo com o artigo 225 da Constituição Federal, é dever do Estado assegurar preservação de fauna, flora e ecossistemas, garantir a diversidade genética e estabelecer campos do território a serem protegidos (BRASIL, 1988).

Fatores como a ausência de planejamento de uso do solo, desmatamento indiscriminado, mesmo em áreas de preservação permanente (APPs), exploração agrícola em terras com adequação restrita ou não adequação e a alta vulnerabilidade ambiental, monocultura, aração e gradagem em encosta, aproveitamento de fogueiras, falta ou excesso de fertilizantes e aplicações corretivas, e sobrepastoreio são as principais causas de áreas degradadas (DE ANDRADE; DE FREITAS, 2015; MELO et al., 2019).

A recuperação de uma área degradada consiste na retomada de processos ecológicos que ocorriam e foram interrompidos pela a ação de degradação. Para isso, existe a necessidade da elaboração do Plano de Recuperação de Areas Degradadas (PRAD), documento que contém entre outros, o diagnóstico da área e as estratégias a serem adotadas para a recuperação. Para a RAD podem ser adotadas algumas ações, como o adensamento, que se trata do preenchimento de áreas pela inserção de espécies em espaços vazios que não foram preenchidos naturalmente. Pode ser realizado o enriquecimento da área, aumentando o número de espécies presentes, contribuindo para a diversidade florística. Ou ainda, ocorrer o plantio completo de espécies em áreas que foram completamente degradadas; e para as quais não existe mais o componente arbóreo (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES et al., 2015).

Ao longo dos anos, avanços em práticas de recuperação de florestas foram obtidos, porém os altos custos técnicos para implantação e manutenção dificultam o processo. Boa parte das ações de RAD, devido a imposição legal, é realizada pelas mesmas empresas responsáveis pela degradação (BARBOSA, 2003; KAGEYAMA, 2003). A partir de 2012, construções com área de até 50 hectares passaram a necessitar do Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para seu funcionamento (BRASIL, 2012), esta é uma medida legal instituída visando reduzir o número de áreas degradadas no país.

Ressalta-se que a preservação de áreas florestais garante a fixação do carbono presente na atmosfera, reduzindo os gases de efeito estufa, gera o equilíbrio ecológico entre fauna, flora e solo, além de assegurar a diversidade genética entre as espécies nativas, com a ajuda dos polinizadores (BARBOSA, 2006). Desta forma, o presente estudo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica relacionada a recuperação de áreas degradadas no Brasil.

2. Material e Métodos

A prospecção científica foi realizada em setembro de 2020 nas bases *Web of Science* e *Scopus*. O termo de busca utilizado foi: “*forest restoration*” AND “*Brazil*” OR “*recovery of degraded areas*” AND “*Brazil*”, prospectadas em título, resumo e/ou palavras-chave de artigos científicos publicados e indexadas nas bases até a data da pesquisa.

Artigos duplicados foram removidos e aqueles restantes foram revisados por título e resumo visando eliminar os que não se enquadram no objetivo de pesquisa. Os dados referentes às publicações científicas foram exportados no formato BibTex e as informações extraídas e analisadas com o auxílio do pacote Bibliometrix do *software* R (ARIA; CUCCURULLO, 2017). As variáveis analisadas foram: principais periódicos, área temática e rede de colaboradores.

3. Resultados e discussão

A busca por artigos relacionados a recuperação de áreas degradadas (RAD) retornou a 420 artigos indexados nas bases científicas *Web of Science* (150) e *Scopus* (270). Após o tratamento dos dados e remoção de documentos duplicados restaram 331 artigos para a análise.

Os artigos foram publicados no período de 1995 a 2020, com uma taxa de crescimento anual de 16,54%. Esses artigos foram desenvolvidos por 1.038 autores com uma média de 3,14 autores por documento.

Um terço de todos os artigos foram publicados em sete periódicos, com o número de artigos publicados variando de 33 a 11 documentos, Revista Árvore (33), *Forest Ecology and Management* (23), *Ciência Florestal* (14), *Restoration Ecology* (14), *Land Use and Policy* (12), *Scientia Forestalis* (13) e *Forests* (11). Na Fig. 1 é possível verificar a dinâmica de crescimento por ano dos principais periódicos com publicações relacionadas a RAD.

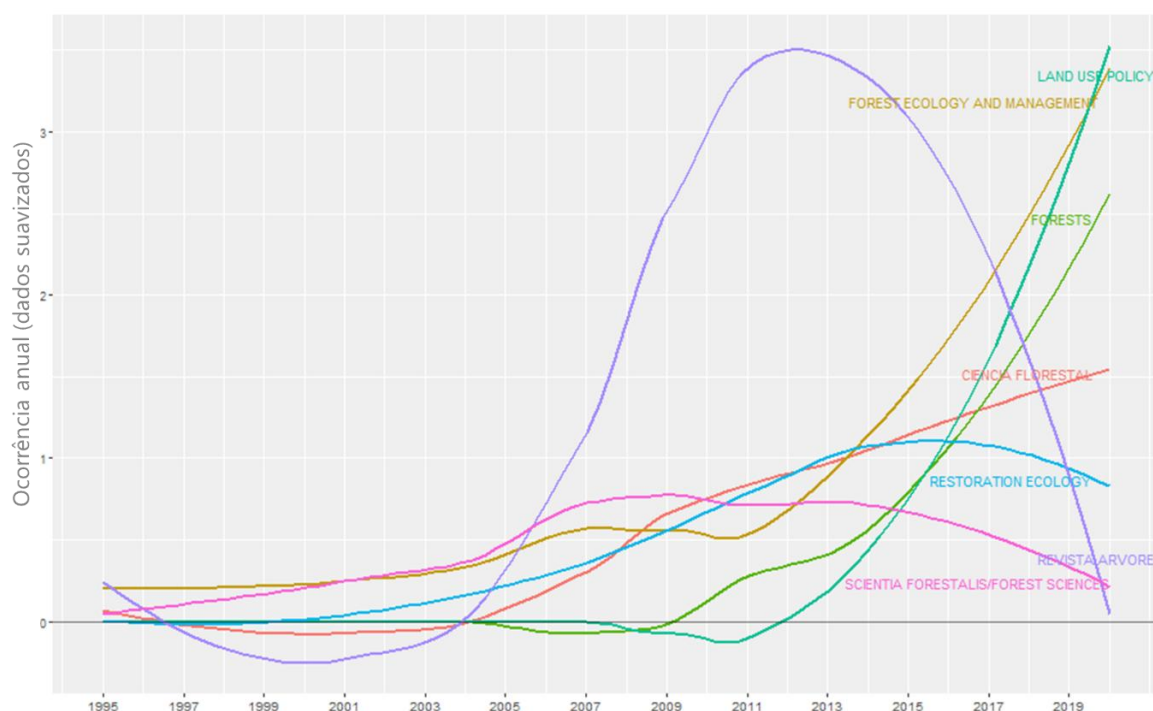


Fig. 1: Dinâmica de crescimento por ano dos principais periódicos com publicações relacionadas a recuperação de áreas degradadas no Brasil.

A Revista Árvore, periódico com maior número de publicações, manteve maior crescimento no período de 2006 a 2016. E a partir de 2017 os periódicos *Forest Ecology and Management* e *Land Use Policy* e *Forests* passaram a ser os periódicos com maior crescimento, que vem sendo mantido até os últimos anos.

Com relação aos periódicos com maior fator de impacto, considerando o *H-index*, tem-se *Forest Ecology and Management* (*H-index* = 13), seguido dos periódicos *Restoration Ecology* (10) e Revista Árvore (9) (Fig. 2).

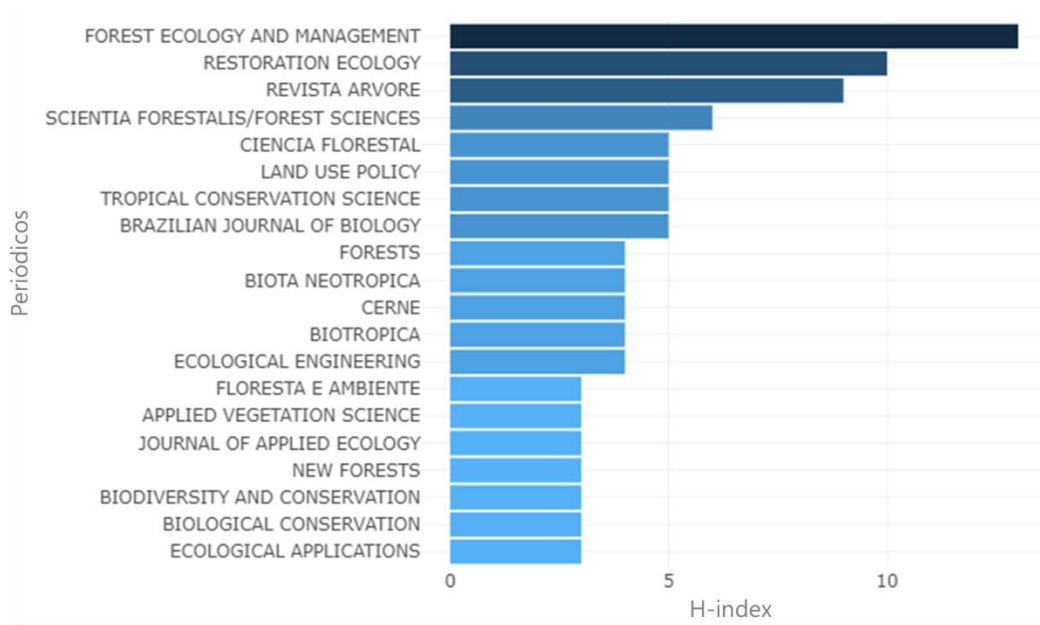


Fig. 2: Fator de impacto (*H-index*) dos principais periódicos com publicações relacionadas a recuperação de áreas degradadas no Brasil.

O *H-index* é um índice bibliométrico que considera em sua estrutura aspectos relativos ao impacto científico (citação) e à produtividade (número de artigos produzidos) do pesquisador (HIRSCH, 2005). A combinação da produtividade com o impacto científico configura uma característica relevante para esse índice e o leva a ser considerado um indicador eficaz por conjugar produção e impacto científico. Índices como o *H-index*, são importantes para avaliar a produção científica em diferentes áreas, instituições e países e para mapear a ciência; e para subsidiar as tomadas de decisões em políticas científicas dos países (SILVA; ALMEIDA; GRÁCIO, 2018).

Quanto as áreas temáticas de publicações relacionadas a RAD, foram identificados 14 *clusters* (Fig. 3).

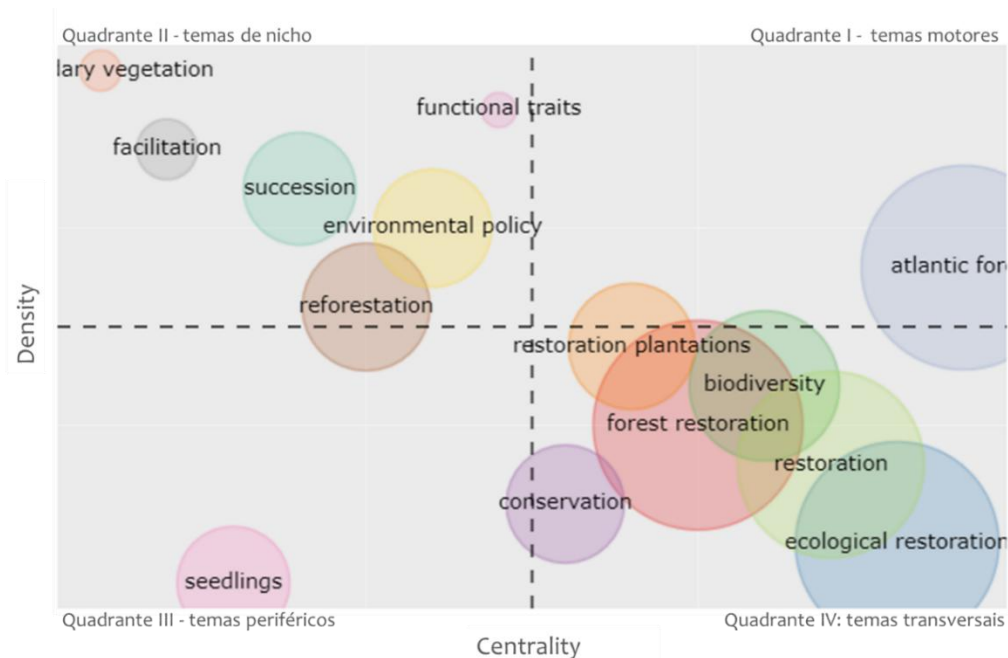


Fig. 3: Principais áreas temáticas presentes em publicações relacionadas a recuperação de áreas degradadas.

A análise das diferentes áreas temáticas é importante para compreender os temas consolidados e aqueles emergentes, nessa análise, a centralidade relaciona-se com a importância do tema em todo o campo de pesquisa, enquanto que a densidade identifica o grau de desenvolvimento de um tema. Nessa análise os *clusters* visualizados são formados por palavras-chaves dos autores e aquela com maior predominância nomeia cada *cluster* (ARIA; CUCCURULLO, 2017; FUSCO; MARSILIO; GUGLIELMETTI, 2020).

Os temas motores são aqueles inseridos no quadrante I, são temas com elevada densidade e centralidade. Desta forma, no campo de conhecimento tem-se como tema importante e fundamental a Mata Atlântica. Este *cluster* engloba temas como restauração ecológica, restauração de florestas tropicais, restauração da mata ciliar, regeneração florestal e sucessão ecológica.

No quadrante II, tem-se os temas de nicho que possuem alta densidade, mas de importância limitada apenas para o campo, ou seja, com baixa centralidade. Nesse quadrante estão seis *clusters*: i) vegetação secundária - floresta em pousio, degradação de pastagem, agricultura familiar; ii) tratamentos funcionais - práticas para a recuperação, composição florística e limitação de dispersão; iii) facilitação - plântulas, competição por nutrientes, estabelecimento; iv) sucessão - área degradada, dispersão, ciclagem de nutrientes, espécies pioneiras e densidade; v) políticas ambientais - pagamento por serviços ecossistêmicos, política de água e pequeno proprietário; vi) reflorestamento - floresta tropical, ecossistema, gramíneas, pecuária. Assim, esses temas são bem desenvolvidos e muito especializados, mas marginais no campo geral de RAD (DELLA CORTE et al., 2019).

Para o quadrante II no qual estão localizados os temas periféricos, verificou-se a formação de apenas um *cluster*, intitulado plântulas e que engloba temas como biomassa, fotossíntese, crescimento, espécies florestais nativas e silvicultura.

Os temas transversais, gerais e básicos (quadrante IV) possuem elevada centralidade e baixa densidade, logo, são importantes para o campo de conhecimento, mas são pouco desenvolvidos (FUSCO; MARSILIO; GUGLIELMETTI, 2020). Nesse

quadrante, tem-se seis clusters, i) plantações de restauração – genética da conservação, viveiros florestais, produção de mudas, dispersão de sementes, monitoramento da restauração, reintrodução de espécies e reflorestamento de alta diversidade; ii) biodiversidade – serviços ecossistêmicos, ecologia da paisagem, modelagem, perda de habitats, restauração de paisagem florestal e sistemas de informação geográfica; iii) restauração florestal – Amazônia, indicadores biológicos, chuva de semetnes, banco de sementes, mata atlântica e espécies nativas; iv) restauração – mata ciliar, floresta secundária, sequestro de carbono e fragmentação; v) conservação - uso do solo, agricultura, fenologia, dendrocronologia, espécies ameaçadas e tomando uma decisão; e vi) restauração ecológica – regeneração natural, monitoramento, restauração em larga escala, indicadores ecológicos, nucleação e conservação da biodiversidade.

Para a rede de colaboração, apenas 35 autores pareceram ter colaborado com o mesmo grupo de pesquisa mais de uma vez, e eles estão agrupados em três *clusters* (Fig. 4). Diferentes *clusters* são formados em função de especificidades de cada autor, como a formação disciplinar e profissional, afiliação e foco de pesquisa do trabalho.

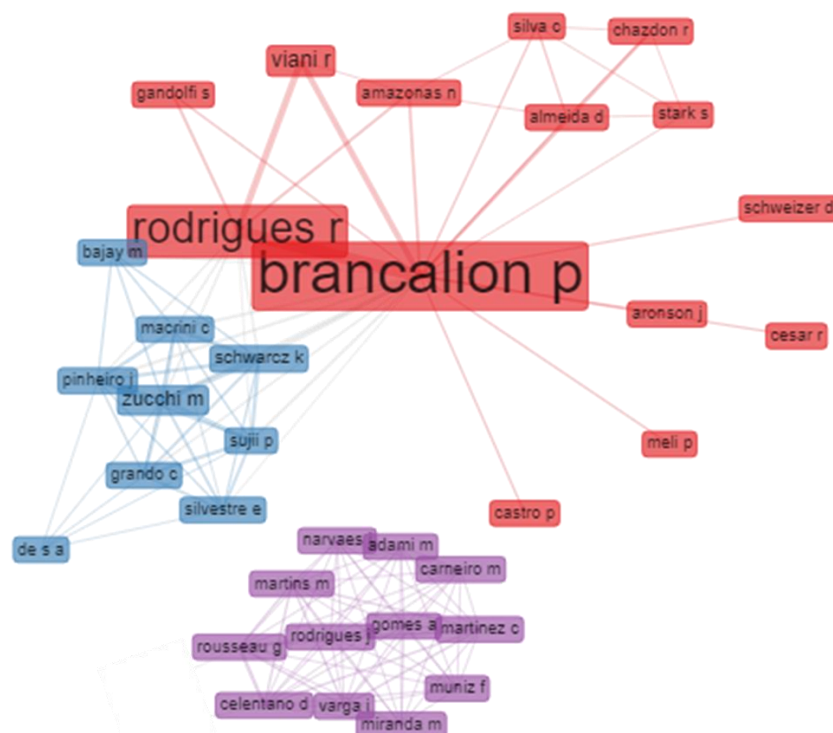


Fig. 4: Rede de colaboração entre os principais autores de publicações relacionadas com a recuperação de áreas degradadas no Brasil.

O *cluster* vermelho formado por 14 autores trata-se de uma rede acadêmica formada por pesquisadores brasileiros e que tem como afiliação instituições públicas do Brasil localizadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás. E afiliações em instituições de outros países, como Estados Unidos, Austrália, Reino Unido e Espanha.

A rede de pesquisadores do *cluster* vermelho desenvolve pesquisas relacionadas com a restauração de florestas tropicais, restauração ecológica, corredores ecológicos, restauração da paisagem, restauração em grande escala, indicadores ecológicos, avaliação socioeconômica, ecologia da paisagem, modelagem de erosão do solo, gestão

da restauração florestal de bacias, serviços de ecossistêmicos, política ambiental, avaliação do sucesso da restauração florestal, silvicultura tropical e biomassa acima do solo (VIANI et al., 2017; BRANCALION et al., 2018; ROTHER et al., 2018; VIANA et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019).

Pesquisadores afiliados Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) e Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), compõem o *cluster* azul.

É possível verificar uma interação entre a rede de colaboradores do *cluster* azul com os pesquisadores do *cluster* vermelho. Contudo, estes autores foram agrupados separadamente porque ainda que estudem sobre RAD, pesquisadores inseridos no *cluster* azul realizam estudos principalmente na Mata Atlântica e que envolvem a produção de mudas em viveiros florestais e restauração florestal, com enfoque principal na genética da conservação. Portanto, utilizam ferramentas moleculares para estudar as áreas que foram restauradas e assim avaliar parâmetros genéticos como a diversidade genética da população, tamanho efetivo da população, taxa de cruzamento e consanguinidade (SUJII et al., 2017; SILVESTRE et al., 2018; ZUCCHI et al., 2018; CORDEIRO et al., 2019).

A rede de colaboradores que forma o *cluster* roxo vem desenvolvendo pesquisas com enfoque na região Amazônica e, principalmente, relacionadas ao desmatamento ilegal de áreas florestais (CELENTANO et al., 2018); recomendações para o estabelecimento de políticas visando a proteção das florestas secundárias e restauração florestal (CELENTANO et al., 2017); e sequestro de carbono e ciclagem de nutrientes em solos degradados (CELENTANO et al., 2020).

A produção científica relacionada a RAD no Brasil evoluiu para a formação de diferentes tipologias de áreas temáticas. Inicialmente os estudos eram principalmente relacionados a importância da RAD, os motivos pelos quais havia a necessidade dessa intervenção nos ecossistemas, estudos sobre espécies florestais visando a utilização destas nas ações de RAD, as estratégias a serem adotadas, a composição florística dos remanescentes florestais, dispersores e polinizadores das principais espécies utilizadas. E em estudos mais recentes tem-se a inserção de novos temas como os serviços ambientais, pagamento por estes serviços, avaliações do sucesso nas áreas que foram recuperadas considerando também aspectos genéticos da população, bem como o uso de tecnologias, a exemplo do sistema de informações geográficas e sensoriamento remoto no monitoramento dessas áreas.

4. Conclusão

Os artigos relacionados a recuperação de áreas degradadas no Brasil foram publicados no período de 1995 a 2020 e estão concentrados, principalmente, em sete periódicos. Estas pesquisas foram desenvolvidas por autores que tem como afiliação majoritariamente instituições públicas brasileiras, podendo ocorrer colaboração com pesquisadores estrangeiros. O interesse acadêmico sobre recuperação de áreas degradadas cresceu ao longo dos anos possivelmente devido a legislação nacional, como a Lei nº 9.985/2020 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), Lei Federal nº 11.428/ 2006 (Lei da Mata Atlântica), Lei Federal nº 11.428/ 2006 (utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica), Instrução normativa nº 4/ 2011 (Plano de Recuperação de Área Degradada ou alterada), Lei Federal nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal).

O mapeamento temático contribuiu para identificar 14 áreas temáticas (restauração ecológica, restauração de florestas tropicais, restauração da mata ciliar, regeneração florestal, sucessão ecológica, vegetação secundária, tratamentos funcionais, facilitação, sucessão, políticas ambientais, reflorestamento, biomassa, fotossíntese, crescimento, espécies florestais nativas, silvicultura, plantações de restauração, biodiversidade, restauração florestal, restauração e conservação) que vem sendo estudadas e estão relacionadas a recuperação de áreas degradadas no Brasil.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), pela Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) - Brasil, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES - Código Financeiro 001) e Financiadora de Estudos e Projetos - Brasil (FINEP).

6. Referências

Almeida, D. R. A. et al. (2019). Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 79, n. April, p. 192–198.

Almeida, F. S.; Gomes, D. S.; Queiroz, J. M. de. (2011). Estratégias para a conservação da diversidade biológica em florestas fragmentadas. *Ambiência*, 7, 2, 367 – 382.

Andrade, A. G. de; Freitas, P. L. de (2015). Prevention of advancing degradation and recovery of degraded lands. Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E).

Aria, M.; Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975.

Brancalion, P. H. S. et al. (2018). Maximizing biodiversity conservation and carbon stocking in restored tropical forests. *Conservation Letters*, v. 11, n. 4, p. 1–9, 2018.

Barbosa, L. M., 2003. Inovação na geração e aplicação do conhecimento sobre a biodiversidade para o desenvolvimento sustentado em São Paulo, In: Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Anais... São Paulo, 13-20.

Barbosa, L. M., 2006. Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista, Instituto de Botânica, São Paulo.

Brancalion, P. H. S.; Gandolfi, S.; Rodrigues, R. R. (2015). Restauração Florestal. São Paulo: Oficina de textos, 431p. 2015. 2015.

Brasil, 1989. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências, Brasília- DF.

Brasil, 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências, Brasília-DF.

Celentano, D. et al. 2017. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. *Land Use Policy*, 68, 692-698.

Celentano, D. et al. 2018. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. *Estudos Avançados*, 32, 92.

Celentano, D. et al. 2020. Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil. *Agroforestry Systems*, 94, 1781–1792.

Cordeiro, E. M. G. et al. (2019). Diversity, genetic structure, and population genomics of the tropical tree *Centrolobium tomentosum* in remnant and restored Atlantic forests. *Conservation Genetics*, v. 20, n. 5, p. 1073–1085.

Fusco, F.; Marsilio, M.; Guglielmetti, C. Co-production in health policy and management: A comprehensive bibliometric review. *BMC Health Services Research*, v. 20, n. 1, p. 1–16, 2020.

Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, 46, 16569–16572.

Kageyama, P. Y., 2003. Reflexos e potenciais da resolução SMA-21 de 21/11/2001 na conservação da biodiversidade específica e genética, 7-12.

Melo, R. F., et al., 2019. Agricultura familiar dependente das chuvas no semiárido: uso e manejo do solo, 395-444.

Paula, J L; Henrique, A L S., 2015. Juventude e ensino médio integrado: por um diálogo possível entre a educação ambiental e a educação profissional, *HOLOS*, Natal-RN, 31, 89-106.

Rother, D. C. et al. (2018). How Legal-Oriented Restoration Programs Enhance Landscape Connectivity? Insights From the Brazilian Atlantic Forest. *Tropical Conservation Science*, 11.

Silva, D. D. E.; Felizmino, F. T. A.; Oliveira, M. G., 2015. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de tavares-PB, *HOLOS*, Natal-RN, 31, 148-165.

Silva, D. D.; Almeida, C. C. de; Grácio, M. C. C. (2018). Associação do Fator de Impacto e do

Índice h para a avaliação de periódicos científicos: uma aplicação no campo da Ciência da Informação. *Em Questão*, 24, 132.

Silvestre, E. D. A. et al. (2018). Mating System and Effective Population Size of the Overexploited Neotropical Tree (*Myroxylon peruiferum* L.f.) and Their Impact on Seedling Production. *Journal of Heredity*, 109, 3, 264–271.

Sujii, P. S. et al. (2017). Recovery of genetic diversity levels of a Neotropical tree in Atlantic Forest restoration plantations. *Biological Conservation*, 211, 110–116.

Suzano, 2020. História. Disponível em: <<https://www.suzano.com.br/a-suzano/historia/>>. Acesso em: 02 out. 2020.

Viana, J. P. G. et al. (2019). Genomic diversity is similar between Atlantic Forest restorations and natural remnants for the native tree *Casearia sylvestris* Sw. *PLoS ONE*, 13, 3, 1–14.

Viani, R. A. G. et al. (2017). Protocol for monitoring tropical forest restoration: Perspectives from the Atlantic Forest restoration pact in Brazil. *Tropical Conservation Science*, 10.

Zucchi, M. I. et al. (2018). Genetic diversity of reintroduced tree populations in restoration plantations of the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration Ecology*, 26, 4, 694–701.

TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS EM ZONAS PERIURBANAS POR MEIO DE FOSSAS DE BANANEIRAS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL

Ana Manoela de Castro Santos¹ e Felipe Costa Albuquerque²

¹Bacharelada em Engenharia Civil/UNEF, Feira de Santana,
engmanoelacastro@gmail.com

² Bacharel em Engenharia Civil/UEFS, Feira de Santana, fcalbuquerque@zoho.com

Resumo

Este estudo buscou apresentar o conceito de Saneamento Ecológico, dando destaque para uma nova alternativa em ascensão no tratamento de águas negras, a Fossa de Bananeiras, também denominada como Tanque de Evapotranspiração. Foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de explicitar as vantagens ecológicas, econômicas e construtivas da mesma, buscando explicar porque esta seria a opção mais viável para o tratamento de águas negras em Zonas Periurbanas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos e Saneamento; Reuso de Água e Efluentes; Saneamento Ecológico;

1. Introdução

A escassez dos recursos hídricos é uma preocupação mundial crescente, por isso vem se desenvolvendo pesquisas relacionadas a busca por novas tecnologias para o tratamento de águas que possibilite o reuso das mesmas, visando amenizar os impactos gerados. Entretanto, ainda que necessário, o tratamento de águas para reuso ainda é pouco aceito por parte da população, sendo Rosenquist (2005).

Ainda que o Saneamento seja um direito assegurado por Lei desde 2007, o Instituto Trata Brasil em 2018 afirmou que apenas 45% do esgoto gerado no Brasil passa por tratamento, ou seja, os outros 55% são despejados na natureza, o mesmo estudo aponta ainda que apenas 32,8% dos domicílios rurais possuem distribuição de água, enquanto na área urbana os números chegam a 93,5%.

Dentro dessa problemática surgiu uma alternativa sustentável e econômica sendo proposta sua implantação para o tratamento de águas negras nas zonas periurbanas e rurais, o Saneamento Ecológico. Segundo Cohim e Cohim (2007) essa vertente do saneamento se baseia na separação das correntes de resíduos domésticos em um ciclo das águas e um ciclo de nutrientes e energia.

Esse estudo irá destacar como solução para o tratamento de águas negras a Fossa de Bananeiras, também conhecida como BET, Tanques de Evapotranspiração ou Canteiro Bio-séptico. Em 1999 o Ecocentro IPEC desenvolveu essa técnica, que foi adaptada ao longo dos anos até que obteve sua concepção final, sendo definida como “sistema fechado onde resíduos humanos são transformados em nutrientes para plantas e a água sai por meio da evaporação”, portanto, um sistema limpo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Saneamento Ecológico

O Saneamento Básico é uma atividade relacionado ao controle de distribuição dos recursos básicos, por exemplo, o tratamento e a distribuição de água e esgoto sanitário, visando o bem estar físico e social da população. Desde 2007, devido a legislação que entrou em vigência nesse ano, espera-se a participação de empresas privadas no setor de saneamento, que em 2014 chegou a atingir cerca de 10% do setor. A expectativa da ABCON (Associação das Concessionárias Privadas de Água e Esgoto) era de que a iniciativa privada atingisse aproximadamente 30% do setor quando o marco regulatório completasse 10 anos, em 2017, entretanto até 2018 essa meta não tinha sido atingida.

Segundo dados da OMS em 2007 cerca de 28 mil pessoas morrem por ano devido a doenças diarreicas transmitidas em água contaminada, como por exemplo a Hepatite A, a cólera, a leptospirose e a febre tifoide. Além disso, de acordo com o IBGE (2013) 88% das mortes por diarreia no mundo são causadas pelo saneamento inadequado, dentro dessa realidade mais de 2 mil municípios brasileiros possuem altas taxas de mortalidade infantil, chegando-se a ter 74% da população vivendo sem água ou tratamento de esgoto.

O PNAD (2002) apontou que “apenas 5,45% dos domicílios ligados à rede coletora de esgotos, 4,47% utilizando fossa séptica ligada à rede coletora e 28,78% fossa séptica não ligada a rede coletora como solução para o tratamento dos dejetos, sendo que os demais domicílios (61,27%) depositam os dejetos em fossas rudimentares, lançando em cursos d’água ou diretamente no solo a céu aberto”.

Tradicionalmente o tratamento de esgoto consiste na remoção de poluentes, sendo que seu método pode variar dependendo das características físico-químicas e biológicas que o material apresenta. O uso das águas residuárias é praticado em diversas regiões do mundo, isso porque além da escassez de água há o contínuo crescimento da população.

2.2 Fossa de Bananeiras ou Bacias de Evapotranspiração (BET)

Dentro do Saneamento Básico, existe a vertente denominada de “Saneamento Ecológico”, que é o conjunto de investimentos em políticas sociais que visa resolver problemas de infraestrutura por meios sustentáveis. Essa vertente tem como principal objetivo resolver problemas de infraestrutura por meios sustentáveis, essa alternativa mostra-se viável, pois além de promover controle ambiental, é uma solução mais rápida e econômica.

Devido as vantagens que apresenta vem sendo apresentadas uma série de soluções testadas e implantadas, dentre as quais será destacado o uso de BETs, para o tratamento de efluentes gerados. A BET também chamada de Tanque de Evapotranspiração, e aqui doravante denominada de Fossa de Bananeiras, é uma técnica amplamente difundida no mundo todo por permacultores, isso porque apresenta uma alternativa sustentável e econômica para o tratamento domiciliar de águas negras em zonas rurais.

Basicamente a Fossa de Bananeiras é um tanque impermeabilizado preenchido com diferentes camadas de substrato, é um sistema fechado que recebe resíduos humanos e nessa fossa passam por processos naturais de degradação microbiana, assim, tratando a água envolvida no processo. Além do plantio de bananeiras é possível utilizar

outras culturas, porém a bananeira ganha destaque por ser uma espécie vegetal com crescimento acelerado e por apresentar uma alta demanda por água.

Um pré-requisito para o uso da Fossa de Bananeiras é a separação da água servida na casa, pois o uso de águas negras e cinza, em paralelo, não é recomendado nesse sistema, devido aos prejuízos que a água cinza trás no funcionamento do mesmo, aumentando excessivamente o acúmulo de lodo, além de exigir aumento considerável da área utilizada para o sistema.

3. Metodologia

O trabalho foi realizado em duas etapas, inicialmente sendo realizada uma fundamentação teórica com a finalidade de aprofundar conhecimentos na área de Saneamento Básico, com enfoque no Saneamento Ecológico, e definindo BETs, para isso fez-se uso de recursos tais como: livros, artigos, monografias e sites atinentes ao tema.

Posteriormente, foi realizada a análise de resultados obtidos em outros estudos por meio da elaboração de planilhas de custos de implantação a partir de um Projeto Executivo do Sistema de Esgotamento Sanitário selecionado para a elaboração desse trabalho, com o intuito de comparar custos relativos a implantação em ambos sistemas.

4. Resultados e discussões

Os custos influenciam de forma direta a seleção do sistema de esgotamento sanitário adotado, sendo escolhido o mais apropriado para as condições físicas e socioeconômicas. Os sistemas individuais de esgotamento apresentam vantagens técnicas e econômicas, porém é importante a análise do espaço disponível (HARADA, 1997).

Dentre as vantagens apresentadas para o uso e implantação das Fossas de Bananeiras é a questão econômica da mesma, que pode ser vista através do comparativo entre as tabelas 1 e 2 expressas abaixo:

Tab. 1: Planilha de resumo dos orçamentos de serviços e materiais para implantação do sistema de esgotamento sanitário da comunidade de Baixo (Fonte: Costa, 2010)

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO TRADICIONAL			
ITEM	1ª ETAPA		TOTAL
	SERVIÇO	MATERIAL	
CANTEIRO DE OBRA	R\$ 22.910,24		R\$ 22.910,24
REDE COLETORA	R\$ 112.767,80	R\$ 32.967,02	R\$ 145.734,82
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA/CAIXA DE AREIA	R\$ 53.706,83	R\$ 44.988,09	R\$ 98.694,92
LINHA DE RECALQUE	R\$ 31.907,51	R\$ 39.571,28	R\$ 71.478,79
TRATAMENTO/EMISARIO	R\$ 393.578,87	R\$ 1.217,68	R\$ 394.796,55
SISTEMA ELÉTRICO	R\$ 8.700,00	R\$ 38.350,15	R\$ 47.050,15
SUB TOTAIS	R\$ 623.571,25	R\$ 157.094,22	R\$ 780.665,47

Tab. 2 - Planilha de resumo dos orçamentos dos serviços e materiais para implantação do sistema de Fossa de Bananeiras como alternativa ao saneamento convencional

IMPLANTAÇÃO DA FOSSA DE BANANEIRAS (FAMILIA 4 INTEGRANTES)			
ITEM	SERVIÇO	MATERIAL	TOTAL
Escavação (8m³)	R\$ 116,00	R\$ -	R\$ 116,00
Paredes e fundo de ferrocimento (24m²)	R\$ 100,00	R\$ 154,72	R\$ 254,72
1ª camada:Tijolos inteiros/quebrados (0,8m³)	R\$ -	R\$ -	R\$ -
2ª camada: brita (0,8m³)	R\$ -	R\$ 760,00	R\$ 760,00
3ª camada: areia (0,8m³)	R\$ -	R\$ 860,00	R\$ 860,00
4ª camada: solo (2,0m³),,,01	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Cobertura: palhas	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Plantio de bananeiras	R\$ -	R\$ -	R\$ -
SUB TOTAIS	R\$ 216,00	R\$ 1.774,72	R\$ 1.990,72

As tabelas orçamentárias expressas acima representam a vantagem econômica das Fossas de Bananeiras em detrimento do Saneamento Convencional, isso se dá devido, além da possibilidade do próprio usuário de construir sua própria Fossa, aos materiais empregados na construção desse sistema são reutilizados ou com preço de mercado acessível.

Através da análise dos custos da implantação apresentados acima, pode-se notar que o Saneamento por meio de Fossas de Bananeiras atinge, aproximadamente, 0,25% do custo estimado para a implantação do Saneamento Convencional, podendo oscilar positivamente ou negativamente a depender das condições ou problemáticas que possam surgir.

Além da vantagem econômica apresentada, pode-se destacar a vantagem ecológica do sistema por meio da Fossa de Bananeiras, isso porque apresenta um “sistema fechado (sem infiltração no solo) de evapotranspiração, utilizando plantas no processo” (TIMMERMANN, 2003).

Por “sistema fechado” conclui-se que toda água envolvida no processo pertence a um ciclo, que segue a logística apresentada na figura 1.



Fig. 1: Fluxograma da água na Fossa de Bananeira
FONTE: Próprio autor

Assim sendo, além de apresentar um custo de $\frac{1}{4}$ em detrimento do Saneamento Convencional, apresenta características ecológicas não presentes no Saneamento Convencional que são de extrema valia para o contexto em que está inserido esse estudo, as zonas periurbanas e rurais.

5. Considerações finais

Há paralelo ao crescimento da população do Brasil o crescimento do Saneamento Básico, no entanto o ainda há uma disparidade entre eles que implica na ocorrência de doenças provocadas pela falta de tratamento de esgoto em diversas regiões. Devido a essa dificuldade do Saneamento convencional acompanhar o crescimento da população foram surgindo alternativas como o Saneamento Ecológico, em destaque para as BET's, aqui chamadas de Fossas de Bananeiras, que além de apresentarem custo reduzido tem fácil instalação e manuseio, o que as torna alternativas extremamente atraentes para uso em zonas urbanas, periurbanas e, até, nas zonas rurais.

Sua implantação embora pareça problemática devido a exigência de vastos espaço e dificuldade de aceitação o sistema pelo contratante, é bastante vantajosa para o usuário que pode construir seu próprio sistema para unidade unifamiliar, com materiais recicláveis ou de fácil acesso/compra, o que torna o custo de implantação desse sistema bastante atraente em detrimento ao Saneamento Convencional.

Percebe-se então a necessidade de estudos futuros sobre as experiências da implantação e o processo de desenvolvimento dessa prática, além de possíveis

alternativas para um melhor aproveitamento de materiais e de materiais alternativos para a implantação desse sistema.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Prof.^a Bianca Figueiredo por todo incentivo e dedicação para o andamento dessa pesquisa.

7. Referências

ABCON. Panorama da participação privado no saneamento – Brasil 2017. Disponível em: < https://abconsindcon.com.br/wp-content/uploads/2018/01/panorama_2017.pdf>. Acessado em: 07 de janeiro de 2019.

ACESSORIA DE COMUNICAÇÃO. Panorama do Saneamento Rural no Brasil. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acessado em: 07 de janeiro de 2019.

ANDREAZZI, Marco Antônio Ratzsch. **Velhos indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde**. Revisão Bibliográfica, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ).

BARBOSA, Bruno Corrêa ... [et al.]. **Tópicos em Sustentabilidade & Conservação**. Juiz de Fora, MG: Edição dos autores, 2017.

BCOHIM, Eduardo, COHIM, Fernanda. Reúso de água cinza: a percepção do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 02-07 de setembro de 2007, Belo Horizonte-MG. Anais.... Belo Horizonte-MG: ABES, 2007. II-166.

CARVALHO, Benjamín de Araújo. **Ecologia aplicada ao saneamento ambiental**. Rio de Janeiro, ABES, 1980.

COHIM, Fernanda, COHIM, Eduardo. Do saneamento tradicional ao saneamento ecológico: A necessidade de construir uma dimensão sócio-cultural. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: SEGURANÇA ALIMENTAR E HÍDRICA PARA A AMÉRICA LATINA, 2007, Fortaleza-CE.

Copacabana em Foco. **A história do tratamento de esgoto no Rio de Janeiro.** DISPONÍVEL EM < <https://ama2345decopacabana.wordpress.com/planejamento-urbano/a-historia-do-esgotamento-de-esgoto-no-rio-de-janeiro/>> Acessado em 23 de outubro de 2018.

COSTA, Daniel. Avaliação de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário em comunidades de pequeno porte. Monografia apresentada ao Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana no curso de Engenharia Civil. 2010.

DECRETO-LEI N° 719, de 31 de julho de 1969.

DONOVAN, Kathryn. UNICEF e OMS lançam relatório sobre diarreia, a segunda maior causa de mortalidade infantil. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/pt/media_16165.htm>. Acessado em: 07 de janeiro de 2019.

DOS SANTOS, Daniel C; **Saneamento para Gestão Integrada das águas urbanas.** Ed. n° 01. São Paulo, SP. Editora Elsevier, 2016.

Ecoeficientes. **Arquitetura sustentável em uma Residência em Sp.** Disponível em < <http://www.ecoeficientes.com.br/arquitetura-sustentavel-residencia-casa/>> Acessado em 21 de outubro de 2018.

Ecoeficientes. **Saneamento Ecológico Vs Convencional.** Disponível em < <http://www.ecoeficientes.com.br/saneamento-ecologico-vs-convencional-3/>> Acessado em 21 de outubro de 2018.

Ecoeficientes. **BET como tratar o esgoto de forma ecológica.** DISPONÍVEL EM < <http://www.ecoeficientes.com.br/bet-como-tratar-o-esgoto-de-forma-ecologica/>> Acessado em 02 de novembro de 2018.

ESREY, Steven A., ANDERSSON, Ingvar. **Saneamento Ecológico: Fechando o ciclo.** Revista de Agricultura Urbana n° 3 – Saneamento Ecológico.

FERREIRA, Simone Assis ... [et al.]. **Impacto do ICMS Ecológico nos Investimentos em Saneamento e Gestão Ambiental – Análise dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS, iSSN-e 2316-9834, vol. 4, nº 2, 2015.

GOMES, P. M. e HARADA, A L. As questões ambientais, técnica e implicação social da locação das unidades operacionais de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu, PR, 727-735, out., 1997. Programa & Resumos. Rio de Janeiro, ABES, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997. CD-ROM.

LEAL, J. T. C. P. **Círculo de Bananeiras**. EMATER-MG. 1. Disponível em: <<https://goo.gl/c7s7GS>> Acesso em 03 de novembro de 2018.

LEAL, J. T. C. P. **Fossa Tanque de Evapotranspiração: TEVAP**. Disponível em <<https://goo.gl/Kvkema>> Acesso em 03 de novembro de 2018.

LEI Nº 11.445, de janeiro de 2007.

Manual de Saneamento: Orientações Técnicas. 3. ed. rev. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde 2007. 409 p. Disponível em: <<https://goo.gl/i17u3L>> Acessado em 02 de novembro de 2018.

Ministério da Saúde - Fundação Nacional da Saúde FUNASA. Disponível em: <<https://goo.gl/TY2yeQ>> Acessado em 02 de novembro de 2018.

Moises, M.; Kligerman, D. C.; Cohen, S. C.; Monteiro, S. C. F. 2010. **A Política Federal de Saneamento Básico e as Iniciativas de participação, mobilização, controle social, educação em saúde e ambiental nos programas governamentais de saneamento**. Ciência e Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 15, n. 5, p. 2581-2591.

NANCARROW, B. E., KAERCHER, J., PO, M. Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse. 2004

Nexo Jornal. **A crescente atuação de empresas privadas na gestão de água e esgoto**. DISPONÍVEL EM < <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2018/03/24/A-crescente->

atua%C3%A7%C3%A3o-de-empresas-privadas-na-gest%C3%A3o-de-%C3%A1gua-e-esgoto> Acessado em 02 de novembro de 2018.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Dicionário de Saneamento Ambiental**. Ed nº 01. São Paulo, SP. Editora Oficina de Textos, ano 2013.

OLIVEIRA, Gilberto Malafaia. LEAL, Jane Terezinha da C. P. **Soluções Sustentáveis para residências rurais: Fossa de evapotranspiração e círculo de bananeiras**. 2017.

PEREIRA, A. H. **Fossa Ecológica ou Tanque de Evapotranspiração**. Emater-MG. Folder.

PHILIPPI JR., Arlindo. **Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Ed nº 02, São Paulo, SP. Editora Manole, ano 2017.

PNAD 2012. Síntese de Indicadores 2012. Disponível em < https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2012/default_sintese.shtm>. Acessado em: 07 de janeiro de 2019.

ROLIM CAMPOS, Paulo Eduardo. O sistema de saneamento ecológico evapotranspirante um legado permacultural ao saneamento básico, 2013.

Ruiz da Silva. **Conventional Treatment of Sanitary Sewage and Dry Toilet**. Disponível em < <http://www.unaerp.br/documentos/1454-127-402-1-sm/file>> Acessado em 20 de outubro de 2018.

Sabesp. **Tratamento de esgotos**. DISPONÍVEL EM < <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>. > acessado em 27 de outubro de 2018.

TAKAYANAGUI, Angela Maria M. **Consciência Ecológica e os Resíduos de Serviço de Saúde**. Rev. Latino-am. Enfermagem – ribeirão Preto – v. 1 – n. 2.

Trata Brasil. **Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 28 mil pessoas morrem por ano no Brasil de doenças provocadas por água contaminada**. Disponível em < <http://www.tratabrasil.org.br/segundo-a-organizacao-mundial-da-saude-oms-28-mil-pessoas-morrem-por-ano-no-brasil-de-doencas-provocadas-por-agua-contaminada>> Acessado em 20 de outubro de 2018.

Trata Brasil. **Situação Saneamento no Brasil.** DISPONÍVEL EM <
http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil> acessado em 27 de outubro de
2018.

VELASCO, Clara. Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto que coleta
na natureza, diz estudo. Disponível em:
<[https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-
do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml](https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml)>. Acessado em 07 de janeiro de
2019.

ENERGIA E INOVAÇÃO



ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA OBTENÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CAMA DE AVIÁRIO UTILIZANDO BIODIGESTOR EM BATELADA

Thailys Campos Magalhães¹, Miryam Torres dos Santos Cunha², Ana Carolina de Santana Moura³, Marcela Nunes de Souza⁴, Tertuliano Ferreira Moreno⁵

¹Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba, thailys_magalhaes@hotmail.com

²Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió, miryamts Cunha@gmail.com

³Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió, anacarolinasantana.eng@gmail.com

⁴Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió, marcellans48@gmail.com

⁵Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió, tertuliano.f.m@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos intensificou-se a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a produção de energia limpas e sustentáveis. Isto se deve ao fato do aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE) que está alterando as características físico-químicas da atmosfera, devido ao uso intensivo de combustíveis fósseis. Com isso, o aperfeiçoamento de metodologias de produção de combustíveis renováveis destaca-se como sendo uma das maiores fontes energéticas disponíveis em áreas rurais. Utilizando biodigestores no processo de digestão anaeróbia, obtém-se o biogás como produto de interesse, é amplamente utilizado como biocombustível devido a sua alta inflamabilidade. Neste estudo objetivou-se analisar a viabilidade econômica e a economia de energia elétrica no uso da cama de aviário de capim Napier e Maravalha como matéria-prima para a obtenção de biogás. Determinando a quantidade de energia elétrica produzida em dois ciclos de produção, além do consumo médio total de energia elétrica por lote. O processo de biodigestão aeróbia possui um viés ambientalmente sustentável e econômico energeticamente, sendo um processo que minimiza os impactos ambientais negativos gerados pela atividade de avicultura de corte.

Palavras-chave: Biodigestor anaeróbio, Biogás, Resíduos orgânicos.

1. Introdução

Desde o século passado, o mundo é dependente de combustíveis fósseis, que não são uma fonte renovável de energia, uma fonte de recursos limitados no meio ambiente e gera grandes problemas ambientais. Sendo utilizados em grande escala e influenciados por crises políticas e econômicas.

Nos anos 70, ocorreu uma busca por fontes alternativas de energia, no Brasil e no mundo, devido à crise do petróleo na época. Diante disso, no meio rural, uma das alternativas encontradas foi a utilização de dejetos de animais como fonte de energia, a partir da digestão da matéria orgânica, utilizando biodigestores. A biodigestão

anaeróbia, além de contribuir com o tratamento de resíduos, produz biofertilizante com concentrações homogêneas de nutrientes e gera biogás para a geração de energia (DE BONA et al., 2017).

A criação de fontes de suprimento de energia descentralizadas é fundamental para o desenvolvimento sustentável, uma das vantagens da utilização do biogás é a redução da necessidade de importação de energia, além da possibilidade de utilizar a energia no local onde o gás é produzido, a energia excedente pode, ser vendida à rede elétrica local.

A intensa produção da avicultura de corte gera uma enorme quantidade de resíduos (cama de frangos), que se forem bem manejados, podem ser uma fonte de renda para o meio rural, para isso é necessária adoção de sistema de tratamento de resíduos com a inclusão da geração de biogás, evitando possíveis contaminações ao ambiente, reduziria o custo de produção avícola. Por tanto, é imprescindível que tenha a adoção de um sistema de tratamento como a biodigestão anaeróbia, visto que com a utilização de equipamentos motogeradores é possível transformar a energia química em elétrica.

No Brasil, em 2015, foram produzidos 13,14 milhões de toneladas de carne de cargo com origem na produção de 6,5 bilhões de cabeças de pintos de corte no período (ABPA, 2016; AVISITE, 2016). A principal demanda energética em aviários é nos meses mais frios do ano e no início dos lotes, com o biogás produzido a partir da cama de frango (Figura 1), será possível utilizá-lo para o aquecimento dos pintinhos, geração de energia elétrica, aquecimento de água, fogões e moagem de grãos se servirão de alimentos para os frangos, propiciando um ótimo manejo ambiental para a propriedade (DE BONA et al., 2017).

Fig. 1: Cama de frangos.



Fonte: PALHARES, 2004.

Dessa forma, por meio da implantação de um biodigestor, será possível reaproveitar os dejetos que posteriormente serão transformados em recursos renováveis e necessários para o desenvolvimento social.

O presente trabalho exhibe como objetivo principal avaliar a viabilidade econômica e economia de energia elétrica da obtenção de biogás através da cama de capim Napier e Maravalha.

2. Revisão de literatura

Segundo Oliver et al., (2008), o biogás é uma energia renovável, proveniente da biomassa, produzido a partir da conversão da biomassa através da decomposição em meio anaeróbio da matéria orgânica por bactérias. Esse processo acontece naturalmente nos ecossistemas, podendo ser adaptado para o uso industrial.

Dentre as diversas aplicações como uso para aquecimento, queima do biogás em turbinas, microturbinas e em motores do ciclo Otto e Diesel, quando adaptados, está a geração de energia elétrica. Através da conversão química do biogás em energia mecânica, utilizando um processo controlado de combustão, essa energia mecânica ativa um gerador produzindo energia elétrica. O biogás é uma alternativa ao gás natural em diversos aspectos, como a cogeração de energia, matéria prima, produção de biometano e síntese de produtos químicos.

De acordo com Deubleinb & Steintnnhauser (2008), o biogás é uma mistura gasosa composta de cerca de 60% de metano (CH₄), 35% de dióxido de carbono (CO₂) e 5% de outros compostos, tais como: hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO), oxigênio (O₂), ácido sulfídrico (H₂S), amônia (NH₃) e nitrogênio (N₂). Sua composição depende das condições de fabricação do gás, técnicas de fermentação, tipo de biodigestor e pelos substratos utilizados a sua composição pode ser alterada.

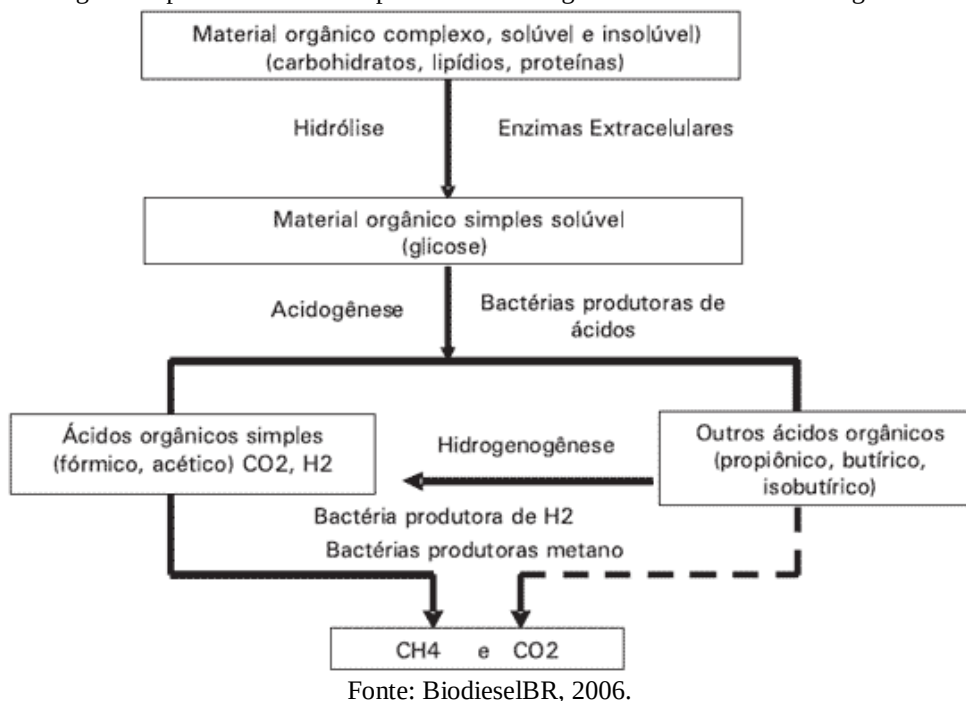
2.1 Biodigestão

O processo de formação do biogás envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica gerando o gás metano, resíduo líquido rico em minerais e produtos inorgânicos. A Equação 1 apresenta a representação da digestão anaeróbia e a formação de seus produtos (KELLEHER et al., 2002).



A digestão anaeróbia é um processo de fermentação simples, um processo biológico que se divide em várias etapas, sob a ação de microrganismos que agem de forma simbiótica (KELLEHER et al., 2002). As quatro fases do processo anaeróbico a nível bacteriano são a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, onde a geração do biogás ocorre na última etapa. Os estágios de decomposição devem estar perfeitamente coordenados entre si para que todo o processo seja realizado adequadamente. A Figura 2 representa as quatro fases dos processos bioquímicos envolvidos na formação do biogás.

Fig. 2: Etapas metabólicas do processo de biodigestão anaeróbica em biodigestor.



O estágio inicial é a hidrólise, onde os compostos orgânicos mais complexos, como lipídeos, proteínas e carboidratos, são decompostos em substâncias mais simples, como ácidos graxos, aminoácidos e açúcares, nesta etapa atuam as bactérias hidrolíticas, cujas enzimas liberadas decompõem o material por meio de reações bioquímicas.

O segundo estágio da decomposição é a fase acidogênica ou acidogênese e se dá por meio de bactérias acidogênicas, os compostos intermediários formados na etapa anterior são decompostos em ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono.

Na acetogênese ocorre o processo de formação de ácido acético, os compostos são convertidos por bactérias acetogênicas e no último estágio ocorre a metanogênese, onde as arqueas metanogênicas estritamente anaeróbias convertem principalmente o ácido acético, o dióxido de carbono e hidrogênio em metano.

Esse processo resulta na produção de biogás e biofertilizante, sendo este último um fertilizante natural rico em nitrogênio, fósforo e potássio (BALMANT, 2009).

A conversão da cama de frango em gás irá depender do tipo de ração, nível de reutilização da cama, tipo de substrato da cama, estação do ano, densidade de alojamento das aves e característica excretas das aves.

2.2 Biodigestor em batelada

Segundo Nogueira (1986), o biodigestor é uma câmara totalmente fechada, onde é direcionado o fluxo da biomassa, de modo que não ocorra a entrada de oxigênio, pois o processo da digestão é de forma anaeróbica. Diante disso, temos que um biodigestor é formado basicamente de um recipiente impermeabilizado com lona apropriada para armazenar a biomassa, onde o processo ocorre de forma rotativa, uma distribuição uniforme de substrato e bactérias gera mais eficiência ao processo. Desta forma, a matéria orgânica entra por uma lateral onde ocorre a fermentação anaeróbica.

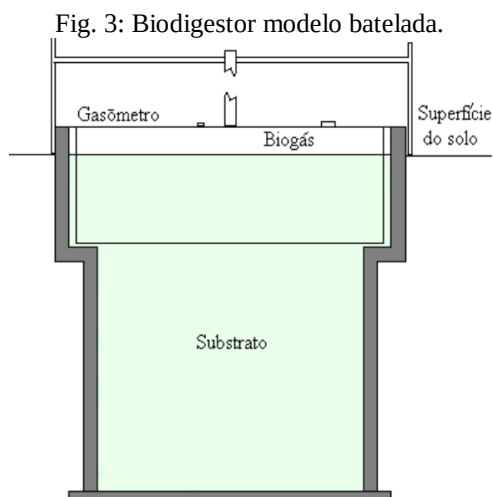
Para dimensionar o biodigestor é primordial escolher qual biodigestor será usado, devendo ser levado em consideração a realidade do local onde será instalado. Existem vários tipos de biodigestores utilizados para a produção do biogás, conforme os

tipos de resíduos obtidos no meio rural, podendo ser operados com cargas contínuas ou batelada (CALZA et al., 2015).

Segundo Xavier & Júnior (2010), os biodigestores operados em batelada são de construção mais simples comparado aos outros, na fermentação em batelada, enche-se completamente o biodigestor com substrato, fechando-o hermeticamente na sequência, o substrato permanece no tanque até o fim do tempo de retenção, não havendo retirada nem adição de substrato, no fim do tempo previsto o reservatório é esvaziado e enchido novamente com substrato fresco. O seu desempenho é ideal para consumo baixo de biogás.

Para avaliar a viabilidade da implantação de um sistema de biogás alimentado com cama de frango deve-se analisar os parâmetros de manutenção do conteúdo de matéria orgânica e a eficiência da conversão da biomassa em biogás do substrato, ao longo do período de armazenamento. (DE BONA et al., 2017).

Na Figura 3 é possível visualizar o biodigestor modelo batelada que será utilizado para o dimensionamento da cama de frangos. A escolha deste biodigestor se deu pela sazonalidade do sistema de produção, realizando assim a melhor digestão anaeróbia da cama de aviário. O resíduo é produzido em intervalos de tempo, em média a cada 60 dias, ou seja, a disponibilidade não é contínua devido ao modo de produção e considerando suas características físico-químicas e tamanho das partículas. Para obter biogás de forma contínua, o armazenamento do resíduo pode ser uma solução eficiente.



Fonte: ORTOLANI et al, 1986.

Os biodigestores em batelada constituem-se de um corpo cilíndrico, um gasômetro flutuante e uma estrutura para guia do gasômetro. A localização do biodigestor deve ser feita de forma a facilitar a distribuição do biogás pelos galpões, reduzindo os custos com transporte e armazenamento do gás.

3. Metodologia

Neste trabalho foram utilizadas as Tabelas 1 e 2, extraídas de Palhares (2004), para realizar um estudo do percentual de economia de energia elétrica da produção de biogás por meio da cama de capim Napier e Maravalha (NM), e da redução percentual do custo de produção das aves neste tipo de cama.

Tab. 1: Estimativa da produção de biogás a partir de três tipos de cama de frangos, e equivalente GLP (1000 aves).

Ciclo	Cama	Produção de Biogás (m³/kg)	Produção de Cama (kg)	Produção de Biogás (m³)	GLP – Botijões (13 kg)
1°	N	0,2496	1420	354	11,8
	NM	0,2092	1420	297	9,9
	M	0,1712	1420	243	8,1
	Média	0,2100	1420	300	9,9
2°	N	0,2710	1197	324	10,8
	NM	0,2462	1197	295	9,8
	M	0,2299	1197	275	9,2
	Média	0,2490	1197	298	9,9

N – cama de capim Napier, NM – cama de capim Napier e maravalha, M – cama de maravalha.

Fonte: PALHARES, 2004.

Na Tabela 1 observa-se o potencial de produção de biogás em GLP e m³, nessa estimativa analisaremos apenas o valor em m³ da cama NM. A eficiência de transformação de biogás em energia elétrica é dada pela Equação 2, sendo ela a razão entre a energia produzida pela equivalência de 1 m³ de biogás (COLDEBELLA et al, 2006).

$$\text{Eficiência (\%)} = (\text{energia produzida kWh/m}^3 / 6,5 \text{ kWh/m}^3) * 100 \quad (\text{eq.2})$$

A Tabela 2 apresenta o consumo de energia elétrica total por fase de criação, sendo elas o pré-inicial, inicial, engorda e final, além do consumo médio diário por fase de criação e o consumo total por lote.

Tab. 2: Consumo de energia elétrica total por fase de criação; consumo médio diário por fase de criação e consumo total por lote estudado, valores em KWh.

Fase	Lote 1	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Lote 8	Lote 9	Média
Consumo Total por fase de criação (kWh)									
Pré-Inicial	66,7	86,8	41,3	41,1	43,3	35,0	73,5	39,5	53,4
Inicial	596,5	307,8	535,8	727,1	701,9	660,2	390,0	288,8	526,0
Engorda	881,3	739,8	1121,9	1934,4	2108,7	1984,3	940,3	1471,5	1397,8
Final	744,2	222,5	494,5	702,0	1621,1	497,6	548,2	531,8	670,2
Consumo médio diário por fase de criação, kWh/dia									
Pré-inicial	9,5	12,4	5,9	65,9	6,2	5,0	10,5	5,6	7,6
Inicial	35,1	18,1	31,5	42,8	41,3	38,8	22,9	17,0	30,9
Engorda	49,0	41,1	62,3	107,5	117,2	110,2	52,2	81,8	77,7
Final	74,4	44,5	98,9	140,4	202,6	165,9	78,3	106,4	113,9
Consumo total por lote (kWh)									
	2288,7	1357,0	2193,5	3404,6	4475,0	3177,0	1952,0	2331,6	2743,8
Consumo médio por ave, kWh/ave									
	0,13	0,1	0,15	0,21	0,29	0,22	0,12	0,16	0,18
Consumo médio por kg de frango produzido (PV), kWh/kg de frango									
	0,06	0,04	0,06	0,09	0,11	0,10	0,05	0,07	0,07

Duração média de cada fase de criação (dias): pré-inicial:7; inicial: 17; engorda: 18; final: 3 a 10.

Fonte: PALHARES, 2004.

O conhecimento do consumo energético da criação de extrema importância para o planejamento adequado do sistema de tratamento e sua autossuficiência, contribuindo também com a redução do consumo de energia externa.

4. Resultados e Discussões

Para analisar a viabilidade da cama NM foi necessário determinar anteriormente a quantidade de kWh de energia produzida nos dois ciclos, considerando uma eficiência de 34% ($1 \text{ m}^3 = 2,21 \text{ kWh}$). Deste modo, temos que no 1º ciclo ocorreu uma produção de 297 m³ de biogás, o equivalente a 656,37 kWh de energia elétrica produzida. Já no 2º ciclo a produção de biogás foi de 295 m³, ou seja, 651,95 kWh de energia elétrica.

Considerando uma eficiência de 100 % no 1º e no 2º ciclo, a produção de energia elétrica seria, respectivamente, de 1930,5 kWh e 1917,5 kWh.

Da Tabela 2 verifica-se que o consumo médio total por lote, ou seja, a quantidade necessária para o seu funcionamento é de 2743,8kWh. Utilizando os valores obtidos com a eficiência de 34% verifica-se que a produção de biogás na cama NM supriria apenas 24% da demanda total.

Podemos entender payback como o tempo necessário para que se obtenha o retorno do que foi investido em um projeto, dessa forma, caracterizando o tempo para que o custo de instalação se pague e então comece a dar lucro. Para determinar o payback faz-se necessário somar todos os custos para ser possível analisar o custo total do projeto. Conforme a Tabela 3, no projeto dessa planta de produção de biogás foi necessário um investimento de R\$ 65.000,00.

Tab. 3: Valor total do investimento.

Descrição	Valor (R\$)
Biodigestor	30.000,00
Terraplanagem/escavações	5.000,00
Casa de Máquinas	13.000,00
Conjunto Limpeza do Biogás	4.00,00
Reservatório de biogás	12.000,00
Tubulações de conexão	5.000,00
Total	65.000,00

Fonte: AUTOR, 2019.

O reajuste das tarifas de energia feito pelo Ministério de Minas e Energia estima, no pior cenário, uma taxa de 7% em 2018, esse valor será o utilizado para o cálculo da inflação da tarifa energética do projeto. O valor da tarifa de energia segundo a Equatorial Energia a tarifa para classe rural é de R\$ 0,5509 para cada kWh consumido.

O tempo de retorno do investimento foi calculado baseando-se na seguinte fórmula:

$$TRI = \frac{\ln\left[-\left(\frac{k}{j-k}\right)\right]}{\ln(1+j)} \quad (\text{eq.3})$$

Em que,

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100} \quad (\text{eq.4})$$

$$A = CI \left(FRC + \frac{OM}{100} \right) \quad (\text{eq.5})$$

E, o fator de recuperação de capital (FRC) é dado por:

$$FRC = \frac{j(1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \quad (\text{eq.6})$$

Onde,

j = Taxa de juros;

n = Anos para amortização do investimento;

CI = Custo de investimento da planta de produção de biogás (R\$);

OM = Gastos com organização e manutenção da planta (R\$);

A = Gasto anual com energia elétrica adquirida da rede (R\$/ano);

TRI = Tempo de retorno em anos;

Nesta estimativa de viabilidade utilizou-se um período de 5 e 10 anos de amortização. Os gastos de manutenção e organização da planta por ano foram equivalentes a 2% do investimento, ou seja, R\$ 1300,00. A Tabela 4 mostra o tempo de retorno obtido pela Equação 3, após substituir os devidos valores nas Equações 4, 5 e 6.

Tab. 4: Tempo de retorno com relação ao período de amortização.

Período de Amortização	A (R\$/ano)	CI (R\$)	OM (R\$)	K	j	TRI (em anos)
5 anos	865533,1	65.000,00	1300	0,315894	0,07	3,702499
10 anos	855675	65.000,00	1300	0,164231	0,07	8,21073

Fonte: AUTOR, 2019.

Outro cálculo importante para avaliação econômica da produção de biogás utilizando cama de frango é a taxa de retorno sobre o investimento, também chamada de rentabilidade. Verificando a proporção entre a economia obtida anualmente pelo sistema e o investimento feito calculamos a rentabilidade, como pode ser visto na equação (5).

$$Rentabilidade = \frac{\text{Economia (R$/ano)}}{\text{Custo do Investimento}} \quad (\text{eq.7})$$

Para determinar a economia gerada nesse projeto foi utilizado o valor obtido na produção de energia elétrica no primeiro ciclo na cama NM, com uma eficiência de 100%. A tabela 5 mostra a economia obtida nos primeiros 5 anos.

Tab. 5: Desempenho da geração de biogás por meio de cama de aviário nos primeiros 5 anos.

Ano	Geração (kWh)	Projeção Preço (kWh)	Economia
1° ano	23487,75	0,5509	12939,401
2° ano	23487,75	0,58946	13845,160
3° ano	23487,75	0,63073	14814,321
4° ano	23487,75	0,67488	15851,323
5° ano	23487,75	0,72212	16960,916

Fonte: AUTOR, 2019.

A rentabilidade da planta foi calculada pela Equação 7, tomando como base o primeiro ano de geração, onde houve uma economia de R\$ 12939,401. Deste modo, a rentabilidade do sistema será de:

$$Rentabilidade = \frac{12939,4}{65000} = 0,199 \cong 20\%$$

A rentabilidade da planta de biogás utilizando como base o primeiro ano de geração foi de 20%, onde se mostra viável a implantação do sistema.

5. Considerações Finais

Após o estudo e dimensionamento do biodigestor com base em dois ciclos da cama NM, foi comprovado a viabilidade técnica e energética para a propriedades rural em questão, na produção do biogás, onde a rentabilidade da planta de biogás foi de 20%.

Outros ganhos poderão ser verificados na instalação de biodigestores. A redução do impacto ambiental face ao tratamento do dejetos, evitando multas aplicadas pelo órgão competente. A possibilidade de aumento da granja, a qual seria limitada se o dejetos não for tratado é outro ganho, pois ocorreriam os ganhos da economia de escala. Isto faria que a produção de dejetos aumentasse e consequentemente a de biogás, levando a maior utilização do sistema gerador de energia.

A utilização do biofertilizante em atividades agrícolas dentro da propriedade também representa ganhos alternativos, e a não utilização gera a alternativa da venda.

6. Agradecimentos

À Universidade Federal de Alagoas.

7. Referências

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual**. 2016. Disponível em:

<http://abpabr.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em 2 de julho de 2019.

AVISITE. **Pintos de corte: menos de 500 milhões de cabeças em setembro.** Disponível em: <<https://www.avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos>>. Acesso em 2 de julho de 2019.

BALMANT, W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica.** Dissertação (Mestrado em Processos Térmicos e Químicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BIODIESELBR. **Etapas metabólicas do processo de biodigestão anaeróbica em biodigestor.** 2006, Disponível: <<https://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biodigestor>>. Acesso em: 3 de julho de 2019.

CALZA, L. F. et al. **Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás.** *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.35, n.6, nov./dez. 2015.

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas.

DE BONA, E. A. M. et al. **Cama de frango como substrato para a produção de biogás após diferentes períodos de estocagem.** In: V SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS. 2017, Foz do Iguaçu.

DEUBLEINB, D., STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources,** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008 368p.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T.F.; SUTTON, D.; LEAHY, M.J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review Bioresource Technology.** v.83, p. 27-36, 2002.

NOGUEIRA, Luiz A. Horta. **Biodigestão: a alternativa energética.** São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVER, A. de P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão.** Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

ORTOLANI, A. F. et al. **Bateria de mini-biodigestores: estudo, projeto, construção e desempenho.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. Anais... Botucatu: FCAV/UNESP, 1986, p. 229-239.

PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção de biogás.** Embrapa, Suínos e Aves. Circular técnica, 41. Dezembro de 2004.

XAVIER, C. A. N; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo.** *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, mar./abr. 2010.

ANÁLISE DAS PERDAS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DEVIDO AOS EFEITOS TÉRMICOS

**Ikaro Teles Bezerra dos Santos Barreto ¹, Tamara Conceição Vieira Santos ²,
Auderio Tiago Gomes Cavalcante ³, Cícero Rita da Silva ⁴**

¹Universidade Federal de Alagoas, Maceió, ikaro_tbsb@hotmail.com

² Universidade Federal de Alagoas, Maceió, tamaracvsantos@gmail.com

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, alderiotiago@gmail.com

⁴Universidade Federal de Alagoas, Maceió, cicerofisico@gmail.com

Resumo

Diante dos avanços e oportunidades de inserção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR) nas residências dos brasileiros, simulações tanto a respeito do comportamento do sistema como da quantidade de energia entregue à rede se fazem necessárias. Apresenta-se neste trabalho a relação entre a temperatura e a produção de eletricidade, sob as condições climatológicas incidentes no gerador, demonstrando como os efeitos da temperatura e da radiação solar influenciam sobre a tensão e a corrente elétrica de um sistema de produção de energia fotovoltaica, e a importância desta análise para que se obtenha a maximização do seu potencial energético utilizando um sistema fotovoltaico mais eficiente. Os resultados deste estudo serão produzidos na cidade de Rio Largo/AL com a utilização de módulos fotovoltaicos monocristalino e multicristalino cujos dados coletados serão analisados, comparados e expostos para contribuir no desenvolvimento dessa tecnologia gerando energia limpa tanto na região metropolitana de Maceió como adjacências.

Palavras-chave: Energia Solar, Temperatura, Irradiação Solar.

1. Introdução

O setor da Energia Solar Fotovoltaica tem apresentado um crescimento excelente no Brasil, alcançando 3.762,8 MW de potência instalada, de acordo com dados de pesquisas da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) apresentadas no dia 14 de novembro de 2019. Este mesmo estudo mostra o estado de Alagoas na vigésima primeira posição do ranking estadual, apresentando 10,3 MW de potência instalada.

A importância da energia solar no cenário global atual é imensurável, quando se trata de uma energia limpa, infinita e que não causa danos ao meio ambiente podendo ser instalada em lugares remotos onde não existe nenhum tipo de energia, dependendo apenas da luz do sol (BRITO, 1999).

Associa-se a produção de energia elétrica a partir de geradores fotovoltaicos ao conteúdo termoenergético do sol. Mas isso não é verdade, já que, de acordo com o tema do trabalho, altas temperaturas têm impacto direto na tensão dos módulos, acarretando na redução da potência. Além disso, existem outras variáveis que contribuem bem mais para a quantidade e a qualidade da energia a ser gerada do que a temperatura do local em que o sistema é instalado.

Um módulo fotovoltaico, ao ser exposto à irradiação solar, recebe calor por ondas

eletromagnéticas causando o aumento de sua temperatura. Esse aumento de temperatura diminui a tensão das células fotovoltaicas, consequentemente rebaixando a potência de saída de todo o sistema fotovoltaico (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

A ideia do presente trabalho tem como meta abrir um leque exploratório quanto às perdas que ocorrem durante a conversão de Energia Solar em Energia Elétrica, relacionando essas perdas principalmente aos efeitos da temperatura na eficiência da célula, pois em locais com climas extremos, como o deserto, onde a temperatura e o rendimento do módulo variam devido à maior espectro de irradiação e condições do ambiente. Relacionando também as perdas elétricas comuns a este tipo de geração de energia envolvendo o efeito fotovoltaico e a transmissão da energia gerada, e dessa forma, desmistificar muitas dúvidas presentes no dia a dia de pessoas, normalmente leigas, que ouvem falar sobre a Energia Solar Fotovoltaica. Tendo ciência de que as perdas abordadas podem prejudicar na eficiência dos módulos e deste modo, reduzir os benefícios da geração e, alguns casos, até inviabilizar a instalação do sistema de geração de energia por meio desta fonte.

2. Objetivo

O principal objetivo deste estudo é entender melhor o funcionamento das placas fotovoltaicas e estudar seu desempenho sob esses efeitos, fazer também uma discussão sobre os ganhos ou perdas de energia solar gerada pelo sistema solar fotovoltaicos devido aos efeitos térmicos simplesmente analisando a variação de potência no ponto de máxima potência, comprovando uma melhor eficiência e uma maior produção de energia elétrica renovável.

3. Metodologia

Na elaboração e na idealização da fundamentação teórica deste artigo foi realizado um levantamento, na literatura, das propriedades térmicas e elétricas das placas fotovoltaicas, modelos matemáticos a partir dos quais foram obtidas as curvas características da operação desses painéis de acordo com os níveis de irradiação solar e temperatura.

O ensaio será realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizado na cidade de Rio Largo, há cerca de 14 km do campus principal da Universidade localizado em Maceió.

As coordenadas geográficas de latitude e longitude do local de instalação das placas fotovoltaicas são respectivamente, 9°27'57.3"Sul e 35°49'43.2" Oeste. O sistema de Energia Solar Fotovoltaica conta com 20 placas solares com uma potência de 330 W cada, totalizando uma potência instalada de 6,6 kWp.

Os módulos fotovoltaicos instalados são de silício policristalino, da marca Canadian, tipo MAXPOWER CS6U – 330P, com potência máxima de 330 W, eficiência das células é de 18,8% e a do módulo 16,97%. As dimensões do mesmo são 1,96 m de comprimento, 0,992 m de largura e 0,04 m de altura. As Condições de Teste Padrão (STC) são para irradiação de 1.000 W/ m² e temperatura da célula de 25° C.



Fig. 1 - Sistema fotovoltaico montado em solo no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, situado na cidade de Rio Largo

4. Revisão Bibliográfica

O efeito fotovoltaico das placas solares surge quando o elemento condutor, comumente o silício, é exposto à luz, com isso, alguns elétrons do material da célula ficam mais energizados pois absorvem fótons. Através da junção é gerada uma corrente de saturação que com o seu fluxo origina a diferença de potencial, conforme mencionado por Machado e Miranda (2015).

A irradiação, que é proveniente da energia do sol, chega a terra em ondas eletromagnéticas as quais podem ser quantificadas através do seu comprimento de onda e de sua frequência. Quanto maior for sua frequência, maior será a energia transmitida do sol para a superfície terrestre, ou seja, maior será a sua irradiação, que é uma grandeza estabelecida para quantificar a radiação solar dada em W/m^2 , significando potência por metro quadrado, assim como mencionado por Villalva (2012).

O conceito de irradiação solar definido por Pinho e Galdino (2014) é a energia incidente por unidade de superfície de um dado plano, obtida pela integração da irradiância durante um intervalo de tempo, normalmente uma hora ou um dia, que se simplificarmos é apenas a densidade de potência por unidade de área.

A medida da irradiância em W/m^2 é muito importante para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Medindo-a com um sensor e armazenando-se os valores obtidos ao longo de um dia é possível calcular a quantidade de energia recebida do sol por uma determinada área naquele dia.

O principal fator para a produção de energia fotovoltaica é a radiação solar, porém há alguns fatores que influenciam seu funcionamento de forma que maximizem sua produção ou diminuam sua capacidade de produzir, como exposto na Fig. 2 a seguir,

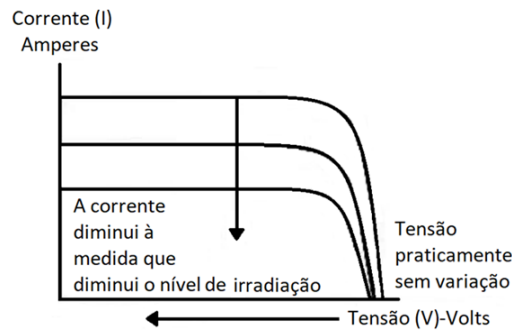


Fig. 2 – Relação da Tensão e Corrente com a Irradiação obtido no Guia Prático De Energia Solar Fotovoltaica

A disponibilidade de radiação solar é determinada tanto por condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar, etc.) quanto dependente da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) (ANEEL, 2008).

Um desses fatores que deve ser compreendido para que se possa obter um sistema mais eficiente é o ângulo azimutal. Este dará a posição correta das placas fotovoltaicas de acordo com a posição do sol, tendo como melhor posição do sol, onde se tem maior incidência dos raios solares, um ângulo azimutal $00^{\circ} 00'$ (zero graus) ou meio-dia solar (CRESESB, 2012).

Outro fator muito importante a ser compreendido é a insolação, uma grandeza estabelecida para quantificar a energia solar de determinada área dado certo tempo, sua unidade de medida é representada em $\text{kWh/m}^2.\text{dia}$, que significa energia por metro quadrado. Segundo a CRESESB (2012), a insolação diária na região de Rio Largo varia de $3,96 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ a $6,19 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$, tendo a média anual de $5,2 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$.

Na Fig. 3 são expostos os valores da Irradiação Solar média mensal na cidade de Rio Largo, segundo o CRESESB, utilizando como coordenadas do local, $9,501^{\circ}$ Sul e $35,849^{\circ}$ Oeste, latitude e longitude respectivamente. Além disso, a partir da mesma, é possível ver que o mês com menor índice de Irradiação é Junho, o qual é o mês de início do inverno. Nota-se

também que em Novembro, mês que antecede o começo do verão, há o maior valor da propriedade.

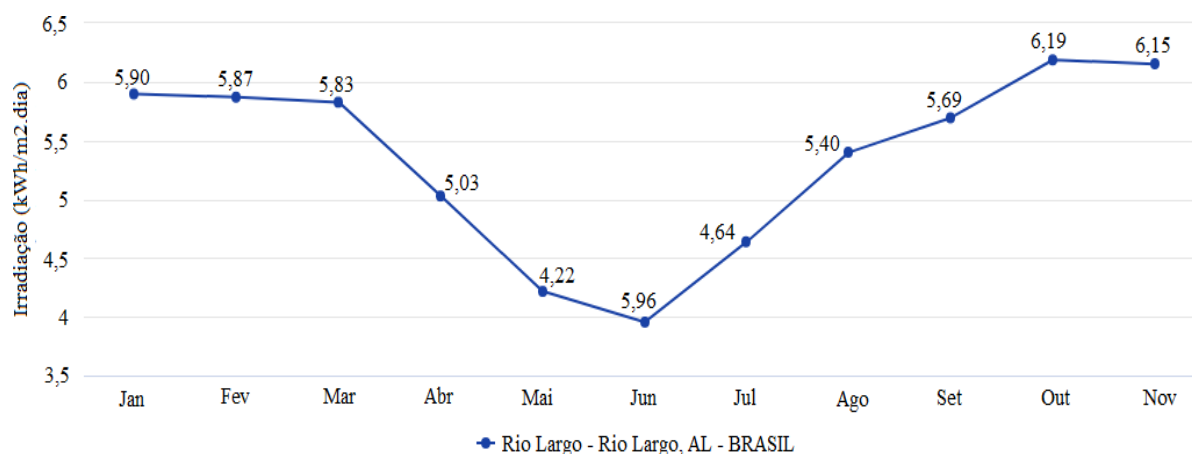


Fig. 3 - Taxa anual de irradiação na região de Rio Largo segundo dados do CRESESB

Comparando o potencial, conclui-se que a cidade de Rio Largo e adjacências apresentam uma taxa de insolação cuja média anual é maior que a maior taxa de insolação de alguns países desenvolvidos, como é o caso da Alemanha, que têm como referência das variações anuais entre 2,5 e 3,4 kWh.

Para captar energia os painéis fotovoltaicos deverão estar instalados com inclinação em relação ao plano horizontal, conforme a latitude da instalação. Como Rio Largo está na latitude 09° (GEOGRAFOS, 2019), o ângulo de inclinação do painel poderá ser de 14°.

Sabendo que pequenas variações de ângulo não afetam significativamente o rendimento dos painéis, assim, sua instalação varia conforme sua inclinação em relação ao plano horizontal num ângulo que altera conforme a latitude da instalação (PINHO, 2014).

A radiação solar tem influência direta sobre a corrente elétrica gerada por um módulo fotovoltaico, de forma que, quanto maior for a irradiação, maior será a corrente gerada (LABREN, 2017). Entretanto, a temperatura não altera a geração da corrente elétrica, mas influencia os valores de tensão gerada por uma célula solar, conforme Pinho (2014).

Concordante com a (eq.1), a corrente de curto circuito de uma célula e de um módulo, representada por I_{SC} , pode ser relacionada à irradiância incidente (PINHO, 2014).

$$I_{SC} = I_{scstc} \times \frac{G}{1000} \quad (\text{eq.1})$$

Sendo a corrente de curto circuito do módulo, I_{SC} , dada em Ampère (A), para a irradiância G incidente sobre o módulo, apresentada em W/m^2 , e a uma temperatura de 25° C. Sabendo também que $I_{sc, stc}$ (A) é a corrente de curto circuito do módulo nas condições padrão da célula (STC), sendo estas, determinadas pelos fabricantes dos módulos, sendo 1000 (W/m^2) o valor da irradiação nas STC.

A temperatura de uma célula produz uma variação na tensão, conforme a (eq.2).

$$V_{OC} = V_{0oc} + \beta(T_c - T_{oc}) \quad (\text{eq.2})$$

Pelos termos apresentados na (eq.2), admite-se que V_{OC} é tensão a uma dada temperatura da célula, V_{0oc} é a tensão de circuito aberto, ou seja, quando há um

impedimento da energia disseminada a partir de um fio condutor. Têm-se também que β é o coeficiente de temperatura dado em K^{-1} , e as temperaturas da célula e ambiente da célula dadas por $T_c(^{\circ}C)$ e T_{oc} , respectivamente.

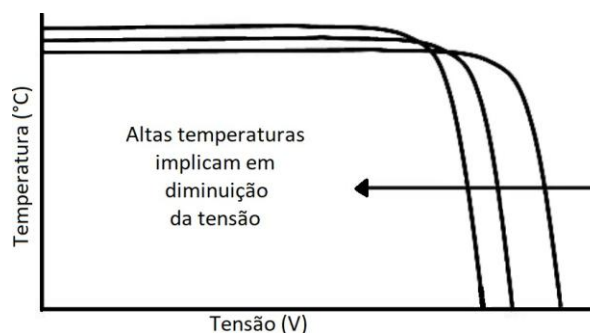


Fig. 4 – Gráfico Curvas da relação Tensão e Temperatura obtido no Guia Prático De Energia Solar Fotovoltaica

Com o aumento da irradiação, aumenta também a temperatura da célula e, consequentemente, esta tende a reduzir a eficiência do módulo. Isso ocorre porque a tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que a corrente sofre uma elevação muito pequena (PALZ, 1995).

Para temperaturas elevadas os módulos fotovoltaicos apresentam tensões menores, enquanto em temperaturas mais baixas apresentam tensões maiores, de modo que as potências serão maiores. Uma vez que a potência é o produto da corrente pela tensão, conforme a (eq.3).

$$P = V \times I \quad (\text{eq.3})$$

Onde P é a letra que representa a potência, V a tensão e I a corrente. Ao longo da pesquisa, expôs-se o impacto da variação da temperatura e da irradiação, na tensão, na corrente e por consequência na potência.

5. Resultados e Discussões

Conforme exposto anteriormente, os módulos instalados no Centro de Ciências Agrárias apresentam variações de tensão a partir da temperatura, no entanto, a corrente pouco varia. Deste modo, à medida que a temperatura cresce, a tensão diminui. Por consequência disso, quanto menor a temperatura, maior a potência de geração, e mais eficiente se torna o sistema.

A partir da Tab. 1, nesse mesmo trecho é possível evidenciar que o impacto da temperatura é direto na tensão do módulo, já que na corrente possui um aumento de apenas 0,1 A nos mesmos intervalos de 20 $^{\circ}C$, enquanto a tensão sofre um decréscimo a uma taxa de variação em torno de 3 V.

Tab. 1 – Exposição de valores de tensão e corrente de acordo com a temperatura e a variação da potência

Corrente [A]	Tensão [V]	Temperatura [°C]	Potência [W]	ΔP [W]
9,6	28	65	268,8	25,7 ($45^{\circ} \leq T \leq 65^{\circ}$) 25,1 ($25^{\circ} \leq T \leq 45^{\circ}$) 24,5 ($5^{\circ} \leq T \leq 25^{\circ}$)
9,5	31	45	294,5	
9,4	34	25	319,6	
9,3	37	5	344,1	

Além disso, fica explícito que a maior potência é alcançada na menor temperatura, e é observada também uma taxa de decréscimo na Potência (ΔP) a partir do aumento da temperatura, sendo que a cada 20 °C diminuídos a taxa ΔP diminui cerca de 0,6 W do seu valor anterior, fazendo com que a potência cresça e alcance seus valores máximos e mínimos nos extremos da temperatura. A representação gráfica desta avaliação é mostrada na Fig. 5, indicada abaixo.

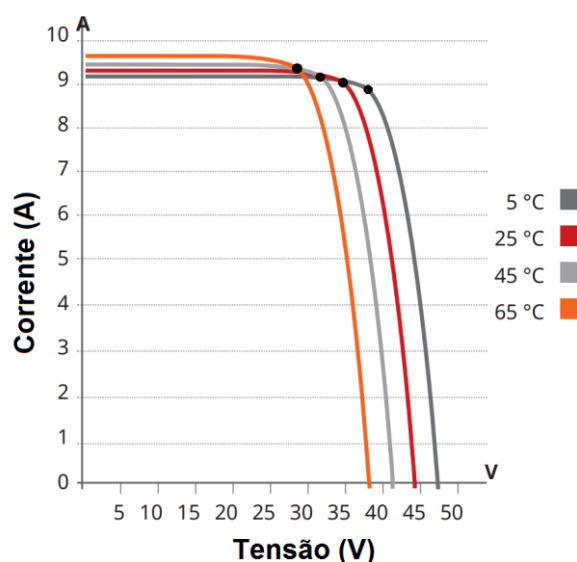


Fig. 5 - Influência da variação de temperatura na curva I – V de uma célula fotovoltaica de silício policristalino (espectro AM 1,5 para irradiação de 1000 W/ m²) a partir das definições do *datasheet* dos módulos instalados

Analisando o gráfico de corrente versus tensão, apresentado na Fig. 5, e comparando-o a variação de temperatura e irradiação, constata-se a influência destes fenômenos na maximização da potência de uma placa solar fotovoltaica. Sabendo que a radiação age diretamente na corrente e a temperatura tem grande influência sobre a tensão fornecida, observa-se através do gráfico acima que, para radiações maiores serão obtidas correntes mais altas, e para radiações menores, correntes mais baixas. No caso das tensões, em altas temperaturas as tensões são menores quando comparadas as tensões fornecidas em baixas temperaturas.

Observando os valores do gráfico da Fig. 5, que irradiação solar constante de 1000 W/m² onde há variação apenas da temperatura, pode-se observar os pontos de máxima potência tendo como maior potência elétrica o experimento com temperatura mais baixa cujo valor é de 5 °C, e menor valor da potência elétrica, calculada a partir da (eq.3), ocorre na temperatura de 65 °C. Esses resultados são devidos às tensões mais altas para temperaturas menores e tensões mais baixas para temperatura maiores, tais oscilações da tensão elétrica influenciam diretamente na potência fornecida pelo módulo. Entretanto, a corrente fornecida pelo módulo quase não se altera com a variação da

temperatura.

Conforme mostrado por outro gráfico, apresentado na Fig. 6, nota-se a variação de potência relacionada a temperatura, onde ocorre um decréscimo de forma quase que linear.

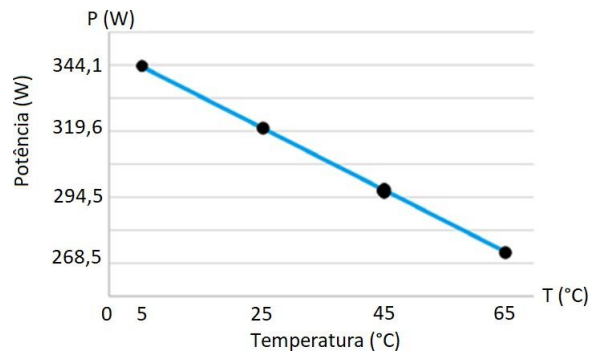


Fig. 6 – Gráfico Potência (W) x Temperatura (°C) baseado nas informações e valores da Tab. 1

Tab. 2 – Exposição dos valores de tensão e corrente de acordo com as Irradiações e a variação da potência dos módulos

Corrente [A]	Tensão [V]	Irradiação [W/m ²]	Potência [W]	ΔP [W]
9,8	36	1000	352,8	
7,8	37	800	288,6	64,2 (800 W/m ² ≤ G ≤ 1000 W/m ²)
5,8	38	600	220,4	68,2 (600 W/m ² ≤ G ≤ 800 W/m ²)
3,8	39	400	148,2	72,2 (400 W/m ² ≤ G ≤ 600 W/m ²)

Analizando a Fig. 6 onde há variação apenas de temperatura, observa-se que o ponto de máxima potência não varia tanto de uma temperatura para outra, ou seja, existe uma influência da temperatura sobre a potência máxima, mesmo que pequena, mas esta, se torna pouco relevante quando comparada a importância da radiação sobre a corrente. Foi exposto que a potência está diretamente relacionada com a corrente e a tensão elétrica conforme (eq.3), dessa forma pode verificar maior variação da potência nos pontos de máxima potência causada pela radiação na geração da corrente quando comparada com o efeito da temperatura. E na Fig. (5) há demonstração da curva que relaciona a tensão e a temperatura.

Portanto, o valor que limitará a potência, relacionando com a irradiação será o da corrente, dado que quanto maior a irradiação, maior a corrente, variando cerca de 200 W/ m² e 2 A, respectivamente. Isso implica em uma taxa de variação da potência de cerca de 5,9% no intervalo entre 600 e 1000 W/ m², e de aproximadamente 5,5% entre 400 W/ m² e 800 W/ m².

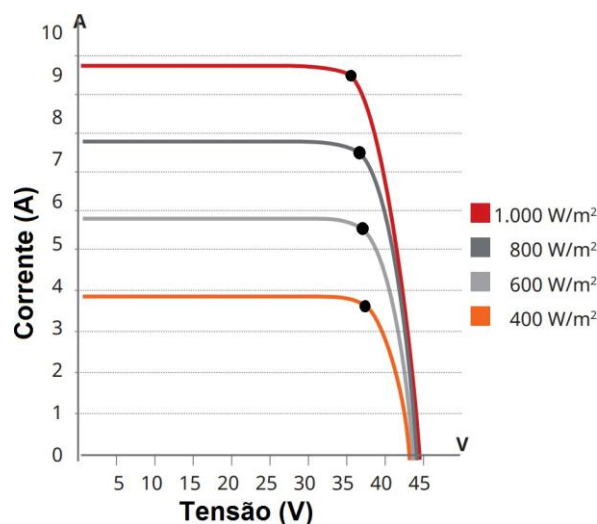


Fig. 7- Influência da variação da irradiação na curva I – V de uma célula fotovoltaica de silício policristalino na temperatura ambiente de 25 °C a partir das definições do *datasheet* do módulo instalados.

Analisando o gráfico de corrente versus tensão, apresentado na Fig. 5, e comparando a variação de temperatura e irradiação, constata-se a influência destes fenômenos na maximização da potência de uma placa solar fotovoltaica. Sabendo que a radiação age diretamente na corrente e a temperatura tem grande influência sobre a tensão fornecida, observa-se através do gráfico acima que, para radiações maiores serão obtidas correntes mais altas, e para radiações menores, correntes mais baixas. No caso das tensões, em altas temperaturas as tensões são menores quando comparadas as tensões fornecidas em baixas temperaturas.

Observando os valores do gráfico da Fig. 5, que irradiação solar constante de 1000 W/m² onde há variação apenas da temperatura, pode-se observar os pontos de máxima potência tendo como maior potência elétrica o experimento com temperatura mais baixa cujo valor é de 5 °C, e menor valor da potência elétrica, calculada a partir da (eq.3), ocorre na temperatura de 65 °C. Esses resultados são devidos às tensões mais altas para temperaturas menores e tensões mais baixas para temperatura maiores, tais oscilações da tensão elétrica influenciam diretamente na potência fornecida pelo módulo. Entretanto, a corrente fornecida pelo módulo quase não se altera com a variação da temperatura. Conforme mostrado por outro gráfico, apresentado na Fig. 6, nota-se a variação de potência relacionada a temperatura, onde ocorre um decréscimo de forma quase que linear.

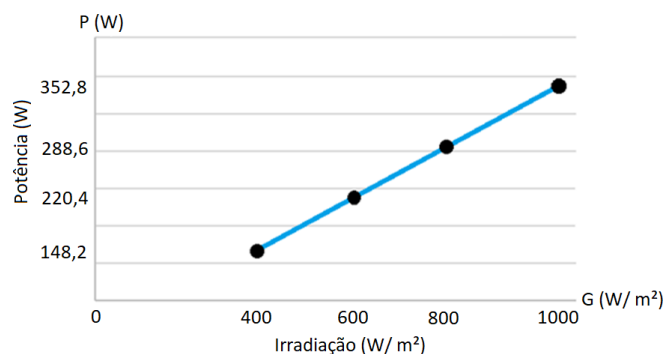


Figura 8 – Potência (W) x Irradiação (W/ m²)

Os pontos de máxima potência ou a potência no ponto de máxima potência (P_{pmp}) são encontrados através de um seguidor onde ele analisa a tensão em função da corrente rastreando esses pontos máximos, utilizando os dados para o aumento substancial no rendimento do sistema. O P_{pmp} pode ser encontrado pela (eq.4).

$$P_{PMP} = P_{FV} \times \left(\frac{G}{G_0} \right) [1 - \gamma_{PMP}(T_C - T_{OC})] \quad (\text{eq.4})$$

A representação se dá com P_{PMP} sendo a potência do arranjo na condição padrão, G a irradiância na condição de medida, G_0 a irradiância de referência com o valor de 1000 W/m^2 , além de T_C sendo a temperatura do módulo na condição de medida, T_{OC} a temperatura de referência do módulo, no caso 25°C e por fim γ_{PMP} , que é o coeficiente de variação da potência no ponto de máxima potência com a temperatura.

Um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas dependentes basicamente da irradiância e da temperatura nos módulos. Com a Energia Gerada pelo sistema expressa através da (eq.5).

$$EG = P_{PMP} * HSP * N \quad (\text{eq.5})$$

Onde EG é usado para representar a Energia Gerada, P_{PMP} é a potência no ponto de máxima potência, HSP o número de Horas de Sol Pleno e N é a perda do sistema.

A energia gerada será realizada em intervalos horários, para a Região de Rio Largo que tem o HSP igual a 5 horas. Nas condições padrões da célula temos 25°C como a temperatura ambiente e levando isso para as análises expressas pelos os módulos instalados no Centro de Ciências Agrárias, tomamos essa temperatura como referência adotando-a como 100% para energia gerada. Com isso para o cálculo da energia gerada, tem-se uma variação para as temperaturas 45°C e 65°C que são de 92,13% e 85,04%, respectivamente. Conforme pode ser visto na Tab. 3.

Em análise verificou-se que como o aumento da temperatura é parcialmente linear, suas variações também sofreram alterações quase lineares. A temperatura de 5°C não foi incluída pois para a região estabelecida isso significaria pouca irradiação em sua área e isso afetaria as condições indicadas para a geração.

Tab. 3 - Exposição dos valores da Energia Gerada de acordo com a variação da temperatura em radiação de 1000 W/m^2

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Potência (W)	Energia Gerada (kWh/dia)	Percentual (%)
25	319,6	1,27	100
45	294,5	1,17	92,13
65	268,8	1,08	85,04

Para as irradiações o cálculo é feito quando a mesma padronizada de 1000 W/m^2 é recebida naquele local. A mesma pode variar de maneira significativa em curtos intervalos de tempo, especialmente em dias de nuvens.

Como analisado, a produção de energia de acordo com a irradiação diminui também de maneira aproximadamente linear, tendo uma progressão aritmética a variação de energia produzida para cada irradiação.

Tab. 4 - Exposição dos valores de Energia gerada de acordo com as Irradiações e a variação da potência dos módulos

Irradiação [W/m ²]	Potência (W)	Energia Gerada (kWh/dia)	Percentual (%)
1000	352,8	4	100
800	288,6	3,2	80
600	220,4	2,4	60
400	148,2	1,6	40

6. Conclusões

Por fim, esse trabalho apresenta uma discussão interessante sobre a produção de energia solar fotovoltaica na presença dos efeitos elétricos e térmicos. Observa-se que para obter uma maior produção de energia a partir das células fotovoltaicas é necessária maior taxa de insolação, pois produz uma corrente maior. Por outro lado, foi mostrado que em temperaturas relativamente baixas é garantido maiores valores de tensão nos terminais dos módulos. Controlando adequadamente os efeitos da irradiação e da temperatura dos módulos fotovoltaicos para obter uma potência satisfatória no ponto de máxima potência, dessa forma gerando uma maior quantidade de energia elétrica.

Contudo, há uma carência cada vez maior de meios de monitoramento da forma como se comportam os módulos fotovoltaicos. Já que ao entender-se o quanto os diferentes fatores e as condições de luz são importantes para se extrair a máxima potência de um painel ou de um sistema de energia solar fotovoltaica e como obter uma maior eficiência no mesmo.

Referências

- AMORMINO JÚNIOR, Maurício; ABDALA, Paulo Jayme Pereira (Org.). **Energia Solar e Eólica 2**. 2019. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/01/E-book-Energia-Solar-e-Eolica-2.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- ANEEL. **Energia Solar**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso: 03 jun. de 2019.
- CANADIAN SOLAR INC. **Datasheet Módulo Max Power CS6U: Ficha técnica do módulo fotovoltaico**. 2016. Disponível em: <<https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto34226IdArquivo4451.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- CARTA SOLAR. **Insolação diária, Média anual**. Pleno Sol. Disponível em: <<https://plenosol.com/2010/09/20/290/carta-solar-insolacao-diaria-media-anual2/>>. Acesso: 13 nov. de 2019.
- GEÓGRAFOS. **Coordenadas Geográficas de Rio Largo**. Disponível em: <www.geografos.com.br/cidades-alagoas/rio-largo.php>. Acesso: em 08 de nov. 2019.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S.. **Photovoltaic Solar Energy: A Briefly Review**. Revista Virtual de Química, [s.l.], v. 7, n. 1, p.6-6, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150008>>. Acesso: em 08 de nov. 2019.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, CEPZ- CRESESB. Rio de Janeiro, 2014

SÃO PAULO. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica Absolar. Agência Nacional de Energia Elétrica Aneel. **Infográfico ABSOLAR**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SOLARTERRA SOLUÇÕES EM ENERGIA ALTERNATIVA. **Energia Solar Fotovoltaica: Guia Prático**. São Paulo, 2016. 35 p. Disponível em: <<http://solarterra.com.br/wp-content/uploads/2016/03/GUIA-PRATICO-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA-SOLARTERRA.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2012.

ANÁLISE E MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA DE ORIGEM VEGETAL EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

Diogo Alex Santos de Andrade ¹ e Ana Manoela de Castro Santos ²

¹Engenheiro Civil/UFRB, Feira de Santana, diogo@mscengenharia.com

² Pós-graduanda em Gestão de Resíduos Sólidos/UNYLEYA, pós-graduanda em Engenharia Geotécnica/PROMINAS, Engenheira Civil/UNEF e Técnica em Edificações/SENAI, Feira de Santana, eng.manoelacastro@gmail.com

Resumo

O crescente aumento do consumo de energia mundial, na maioria das vezes, ocorre em virtude da evolução das áreas tecnológicas e econômicas demandando, assim, investimentos em pesquisas sobre o aproveitamento de novas fontes de energia e suas aplicações. Preferencialmente, estas novas soluções energéticas precisam possuir boas características de eficiência e serem sustentáveis. Em 2018, a capacidade instalada e outorgada o país é de 167.260MW, sendo a fonte biomassa em geral representada por 8% dessa potência. Sendo assim, devido à necessidade em desenvolver novos recursos tecnológicos, que visam substituir o uso de combustíveis fósseis, criando uma nova eficiência energética através de demandas sustentáveis em que a natureza nos disponibiliza, neste caso a biomassa. Este trabalho mapeou e analisou o potencial de geração de energia elétrica, e o potencial excedente, caso houvesse, a partir das principais culturas bioenergéticas e seus resíduos de diferentes regiões brasileiras. O panorama foi montado a partir de três culturas distintas: cana-de-açúcar, capim elefante e coco da baía. A partir delas foram feitas pesquisas qualitativas de caráter exploratório-descritivo, que possibilitou, também por meio dos dados fornecidos pela Pesquisa Agrícola Municipal de 2017 e o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, foram elaborados mapas temáticos com o software QGIS Desktop 3.4.2, os quais demonstram os estados brasileiros que possuem potenciais energéticos das culturas citadas acima e o quanto estas podem enriquecer a matriz energética brasileira, contribuindo para o melhoramento energético do país, diminuindo impactos socioeconômicos, como a dependência energética existente no país, o qual recorre a importação de energia termoeletrônica de países vizinhos, e também a conservação do ecossistema.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Biomassa.

1. Introdução

A América Latina possui um potencial em constante crescimento na produção de biomassa, o destaque principal vem da enorme geração de resíduos por parte dos países que a compõe. Atualmente, a maioria dos países estão promovendo ações que visam a exploração de fontes renováveis de energia com o intuito de reduzir a dependência do uso do petróleo e seus derivados. Assim sendo, o Brasil se apresenta como um representante com opções de resíduos diversificados, que vai desde resíduos gerados pelo setor agrícola até os da construções civil como, por exemplo, a madeira, sendo mais comumente utilizada para formas de peças estruturais e até mesmo, como elemento estrutural em residências, praças, prédios e etc (CORTEZ et al, 2009).

Dentro deste contexto, o Brasil passa por uma das suas maiores crises hídricas, principalmente, devido à falta de chuva nos principais reservatórios que alimentam as Usinas Hidrelétricas, situação que já perdura a anos. Como consequência direta desse fato, o racionamento de água e luz são problemas reais, deflagrados, e são diretamente relacionados com o fato de que cerca de 65% da energia elétrica consumida no país é oriunda das usinas hidrelétricas e por conta disso, é comum a necessidade de recorrer a energia gerada pelas termoeletricas, além de agredir o meio ambiente (Balanço Energético Nacional – BEM, 2018).

O Brasil, por sua vez, não dispõe da quantidade abundante de carvão mineral e gás natural, que são fontes primárias para geração de energia termoeletrica, para atender à necessidade nacional, tendo que recorrer as importações. Outro fator que agrava a crise hídrica é a falta de administração das águas fornecidas pelas concessionárias do país, sendo que cerca de 40% da água tratada escoa ou se perde por furos nas instalações precárias. Portanto, sendo o Brasil um país predominantemente agropecuario e com vasta extensão territorial e litorânea, o mesmo apresenta um cenário ideal para implantação de uma tecnologia limpa e sustentável ao meio ambiente, que no caso estudado, é o uso da biomassa. (CARMO e HASAN, 2015, BARUM, 2009)

A biomassa é considerada uma fonte promissora de energia na qual pode ser obtida nos três estados da matéria: gasoso (biogás), líquido (etanol, metanol e biodiesel) e sólido (resíduos agropecuarios, industriais, vegetais não lenhosos ou lenhosos). As características e disponibilidade regional da biomassa são definidas como um conjunto de indicadores para sustentabilidade, em especial com foco no meio ambiente e aplicação de critérios socioeconômicos. A definição de biomassa, considerando-se o aspecto energético, é todo recurso renovável cuja origem é matéria orgânica, seja ela animal ou vegetal, que pode ser processado tecnologicamente para produção de energia mecânica, elétrica ou térmica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; 2008).

A geração de energia através da utilização de biomassa possibilita uma variedade de aspectos que induzem a análises interessantes. Este tipo de geração é geralmente feito em pequena escala (usinas de até 100 MW), possibilitando uma geração localizada, descentralizando todo o processo de geração, permitindo que uma comunidade mais carente possa gerar sua energia obtendo um conjunto de vantagens. Além disso, o uso da biomassa tem gerado novas oportunidades de trabalho em países onde já foram implementadas as políticas federais, estaduais e regionais para o setor. (BARUM, 2009).

A participação da biomassa nas regiões brasileiras para geração de energia elétrica está muito restrita ao bagaço de cana (cerca de 40%, informação retirada do BEN 2018), subproduto da indústria da cana-de-açúcar, e à cogeração no setor de papel e celulose, com o resíduo licor negro. Essa participação, entretanto, poderia ser maior com a inserção de novas opções de matérias sustentáveis com potencial energético, como por exemplo os óleos vegetais, da madeira reflorestada e dos resíduos agrícolas, do capim elefante e coco-da-baía, uma vez que a atual regulamentação do setor elétrico permite a livre iniciativa e a concorrência tanto na geração quanto na comercialização de energia. (DIAS, et.al, 2017)

Portanto, no presente trabalho será analisado o potencial de energia elétrica gerada pela biomassa, com ênfase em três culturas diferentes, a da cana-de-açúcar, por ser um produto de plantio bastante difundido no Brasil, a de coco-da-baía e o capim elefante. Serão construídos também mapas temáticos para mostrar as áreas com potencial de geração de energia elétrica através da bioenergia.

2. Revisão de Literatura

2.1 Crise energética no mundo

O consumo de energia está intimamente ligado a atividade econômica e desemprego de um país, o que a princípio parece ser uma boa notícia: havendo menor demanda, os preços irão cair. O preço do petróleo sofreu uma forte queda, provavelmente devido à retração do crédito que reduziu a especulação nesse setor. Segundo Lucon e Goldemberg (2009), houve uma mudança de categoria do petróleo para commodities – produtos negociados na bolsa de valores. As operações comerciais e financeiras aumentaram em volumes e sofisticação, os fornecedores de petróleo e gás natural são reduzidos e em contrapartida o número de intermediários cresceu vertiginosamente. Diferentemente do carvão onde seus recursos são abundantes e mais bem distribuídos, não há espaços para especulações.

Em 2006, 81% da energia utilizada no mundo eram originadas dos combustíveis fósseis, somente o petróleo foi responsável por cerca de 34%, levantando o questionamento do que aconteceria quando a economia de grandes países, como a China, voltasse ao normal e a demanda de energia voltasse a crescer. A resposta encontrada foi o surgimento de oportunidades para uma reorganização no sistema energético em bases mais sólidas e sustentáveis. A reorganização teria como base a eficiência, maior participação das fontes renováveis e descentralização da produção de energia (LUCON e GOLDEMBERG, 2009).

O modelo atual liderado pelos combustíveis fósseis está sob pressão devido aos problemas da produção das principais fontes energéticas consumidas pelos países, que é o petróleo e o gás, gerando incertezas na segurança energética. Apesar de ter um excesso de oferta no mundo, as produções estão concentradas em regiões que estão sofrendo conflitos geopolíticos e econômicos, localizadas do Médio Oriente e na Península Arábica e como se já não bastasse, há opressão de grupo terroristas, como o Estado Islâmico e a Al-Qaeda (SILVA e RODRIGUES, 2015).

O conceito de segurança energética nasceu no primeiro choque petrolífero em 1973 e está direcionado para prevenir rupturas de abastecimento nos países abastecedores, porém os problemas se tornaram multifacetados e esta definição genérica acabou se comprometendo. Basicamente, o conceito que prevalece hoje ainda enfatiza a segurança do abastecimento de petróleo e gás, alguns autores dizem que a segurança energética é a capacidade de aceder aos recursos que são necessários para o crescimento contínuo do poder nacional, não podendo haver interrupção no fornecimento de energia a uma nação, devendo-se incentivar a diversificação das fontes energéticas, a fim de evitar a dependência com os países produtores e que sofrem crises geopolíticas, criar condições para a mudança energética atual favorecendo uma maior contribuição das energias renováveis: hídrica, biomassa, eólica, solar e etc.

As energias renováveis não devem ser consideradas como métodos alternativos na matriz energética mundial e como já dito, além da emissão reduzida de poluentes e da descentralização da geração de energia, reduzem a vulnerabilidades energéticas que um país possui com o outro, sendo uma solução para a dependência energética. Vários países já investem pesado em tecnologias para desenvolvimento de novas fontes energéticas para reduzir essa dependência e trazer um uso mais eficiente a suas nações. O Brasil há anos é considerado uma potência mundial em energias renováveis graças ao seu parque hidrelétrico, biodiesel e ao bioetanol. No que se refere à produção de eletricidade através de fontes “novas” renováveis, como a biomassa, são consideradas

ainda caras, em função do preço obtido pela energia dos leilões promovidos pelo governo federal.

2.2 Contexto atual da geração de energia elétrica no Brasil

O sistema elétrico brasileiro se define por uma gestão integrada de usinas e sendo o Brasil um país com dimensões continentais, algumas bacias hidrográficas estão sob regimes pluviométricos diferentes. Essa integralização de gestão permite as usinas fornecerem uma maior disponibilidade de energia através desse sistema cooperativo, onde as regiões que faltam água são amparadas pelas regiões que costumam ter um excesso de água durante o ano. Uma estratégia que evita vertimentos desnecessários, em que as usinas quanto mais interligadas mais energia fornecem. Contudo, para um melhor proveito desse sistema interligado, era necessário que o sistema de transmissão acompanhasse o crescimento da capacidade instalada e os investimentos crescessem (TOMALSQUIM, 2000).

Apesar do crescimento das usinas termelétricas na última década, as usinas hidrelétricas continuam a serem essenciais, representando cerca 70% da capacidade instalada e cerca de 85% de oferta real de energia. Os reservatórios possuem um ciclo anual, no qual 70% das reservas aproveitadas estão localizados no Sudeste – Centro – Oeste, nos meses de novembro-dezembro começam a encher e a partir de abril começam a esvaziar. Entretanto, como as vazões dos rios e chuvas são variáveis, é necessário completar a operação de geração de energia e recorrendo ao uso das usinas térmicas, elas suprem menos que 30% do consumo (VIEIRA et al., 2015).

A região Nordeste é uma área do país bastante afetada com a seca, os níveis dos reservatórios da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) trabalham em regime de alerta, e já houve situação crítica na crise do apagão. Só não houve racionamento por conta do Sistema Interligado Nacional (SIN) que forneceu energia a região. Esta vulnerabilidade intensifica a necessidade de exploração em novas fontes energéticas. A Bahia é destaque em energia renovável, há várias pesquisas nas energias eólica, solar e biomassa. Pereira e Figueiredo (2009) estimam um potencial baiano de geração elétrica baseado em biomassa na ordem de 800 MW (conversão via combustão) e de 1300 MW (conversão via gaseificação). A previsão é que nas próximas décadas as energias renováveis atendam uma demanda significativa estadual e nacional.

2.3 Principais fontes disponíveis para geração de energia elétrica no Brasil

A principal fonte de energia do Brasil são as hidrelétricas, devido a abundância de bacias hidrográficas, atende a maioria dos municípios, cerca de 92%, porém sofre com a escassez de chuvas, os baixos níveis dos reservatórios, além de afetar o ecossistema (TUNDISI et al., 2006a).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2018), as fontes renováveis seguiram com ampla participação na matriz energética brasileira. Em junho representaram cerca de 81,9% da capacidade instalada de geração de energia elétrica e 87,8% da produção total verificada no País. Em relação ao ano anterior no mesmo período, junho, as fontes cresceram cerca de 7.401 MW, sendo 3.450 MW de geração hidráulica, 2.219 MW de eólica, 1.365 MW de fonte solar e a biomassa com 524 MW.

Ainda, seguindo o MME (2018), no período de um ano a geração por intermédio de hidrelétrica cresceu 3,5%, atingindo um total de capacidade instalada de 102.228

MW. A fonte eólica cresceu 20,7% e a biomassa obteve uma elevação de 3,7%, somando ao todo 14.657 MW. A capacidade instalada do total das usinas que utilizam petróleo e carvão foi reduzida em 2,8% e 0,4% respectivamente. Em comparação com as fontes térmicas, a biomassa alcançou 9,1% de participação na capacidade instalada de geração, chegando ao crescimento dos 3,7%. A fonte segue em constante crescimento e já se contabilizam cerca de 561 usinas, dos mais diferentes tipos de classe de combustíveis de biomassa, alguns dos mais comuns são: carvão vegetal, resíduos de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, licor negro, biogás, capim elefante e óleo de palmiste. A Figura 1 demonstra a matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil descrita acima.

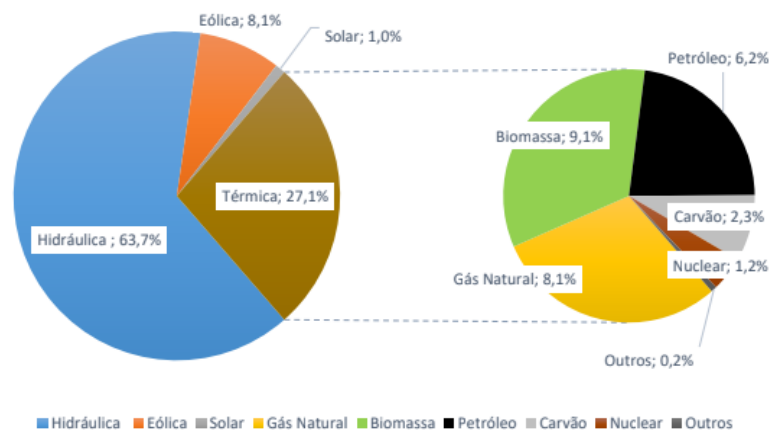


Fig. 1: Matriz da capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada

2.3 Biomassa

A Biomassa é a massa total de organismos vivos numa área, constituindo uma reserva de energia importante, pelo fato de ser formada basicamente por hidratos de carbono. Do ponto de vista energético, com fim voltado ao setor elétrico, a biomassa é um recurso renovável proveniente dos mais diversos tipos de matéria orgânica existente hoje, podem ser de origem vegetal ou animal. Uma das principais vantagens da biomassa que apesar de possuir uma eficiência menor do que as outras fontes, seu aproveitamento pode ser feito diretamente por meio de combustão em fornos e caldeiras.

Segundo Santos e Torres (2017) a biomassa é uma alternativa renovável viável para diversificar as matrizes energéticas dos países, em substituição dos combustíveis fósseis (petróleo e carvão), na produção de bioeletricidade via usinas termelétricas (UTE). A biomassa, como já foi dito, é uma fonte renovável muito promissora no Brasil, a mais tradicional (ex: lenha e cana) já é bastante utilizada, enquanto as biomassas mais modernas, voltadas para fins energéticos têm um amplo potencial de implantação, é o caso de culturas como o capim elefante, coco-da-baía.

Com base em pesquisas da International Energy Agency (2012), o Brasil representa 80% da geração de energia das Américas Central e Sul. O ex-ministro de Minas e Energia do Brasil, Tolmasquim (2016), afirma que em 2014 a bioeletricidade gerada pela lenha, bagaço de cana e lixo totalizou cerca de 44,7 TWh de energia, uma equivalência de mais ou menos 8% da geração elétrica total do país, vale ressaltar que entre os três materiais utilizados, o bagaço de cana gerou 32,3 TWh.

As regiões do Sudeste e Centro-Oeste, atualmente, abrigam a maioria das UTE movidas a biomassa, as matérias orgânicas que alimentam as usinas são provenientes de resíduos florestais, agrícolas (cana-de-açúcar, arroz e etc), cultivos exclusivamente com fins energéticos (ex: capim elefante, eucalipto) e resíduos sólidos urbanos, os RSU. Portanto, o Brasil possui diversos tipos de biomassa para serem utilizadas na geração de energia e, portanto, diversificar a matriz elétrica nacional, reduzindo a dependência de importação energética frente a outros países. Em contrapartida, a biomassa é a fonte energética que se apresenta com uma complexidade um pouco maior no atual ambiente para se definirem contratações regulares em leilões, pois o uso mais amplo dela está relacionado ao incentivo do uso do solo, da produção agrícola, legislações voltadas aos resíduos. No Congresso Nacional há projetos de lei para instituir uma Política Nacional de Geração de Energia Elétrica a partir da biomassa, que caso sejam aprovados, será um incentivo a mais para bioeletricidade (SANTOS, 2015).

Diante disso, a biomassa se insere nas energias renováveis e se destaca com a amplitude de possibilidades de exploração e utilização. As biomassas podem ser rotuladas como em “biomassas tradicionais” e “biomassas modernas”. As modernas compreendem os biocombustíveis, derivados da cana-de-açúcar, da madeira, e de outras fontes, desde que haja métodos eficazes, tecnológicos e sustentáveis. As biomassas rotuladas como tradicionais geralmente são as utilizadas no âmbito residencial, aquecimento de alimentos, ambientes, na maioria das vezes em comunidades isoladas e/ou carentes (VICHÍ e MANSOR, 2009).

A biomassa quando utilizada para fins energéticos, é classificada em três classes: florestal, agrícola e rejeitos urbanos. No presente trabalho será dado ênfase a classe agrícola, onde estão incluídas as culturas agroenergéticas, resíduos e subprodutos dessas atividades agrícolas, agroindustriais e produção animal. As diversas fontes oleaginosas são pesquisadas com veemência como fontes de energia renovável, pois possibilita uma geração de energia descentralizada, além de dar um forte apoio à agricultura familiar, quando se utilizam oleaginosas específicas para o seu uso final.

2.3.1 Cultura da cana-de-açúcar

A ideia de aproveitamento da cana-de-açúcar como planta energética surgiu na década de 70 nos Estados Unidos, devido à crise do petróleo. O bagaço da cana passou a ter um papel essencial no processo de produção de açúcar como fonte de energia a vapor, substituindo a lenha convencional. Posteriormente, o mesmo passou também a ser utilizado para gerar energia elétrica do próprio processo e como evolução, passou a ser direcionado a rede pública como fonte de energia do tipo biomassa (ALEXANDER, 1985; BALBO & PADOVANI NETO, 1987; CAMPOS, 1987).

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo, pioneiramente passou a produzir combustível líquido renovável a partir da sacarose, o etanol, que atualmente figura com uma certa importância na matriz energética brasileira. A cana por ser bastante cultivada no país oferece oportunidade para o Brasil aumentar ainda mais o poderio de competição em matéria de energia renovável de biomassa, não só com benefícios a sociedade brasileira, mas também com um alto valor energético (SANTOS et al., 2012).

Com base no Banco de Informações de Geração (BIG, 2019) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o bagaço de cana-de-açúcar possui uma capacidade instalada de 11.352.247 kW, cerca de 6,63% da matriz energética do país. No total de 563 usinas que utilizam a biomassa no Brasil como fonte de energia e das

424 usinas agroindustriais, 407 produzem energia elétrica através do bagaço de cana-de-açúcar. Em construção são cerca de 4 para uma potência outorgada, prevista, de 178.250 kW e empreendimentos não iniciados há 18 novas usinas em fase de planejamento, nas quais 8 são do bagaço da cana.

2.3.2 Cultura do capim elefante

No Brasil existem muitos tipos de capim chamados de capim elefante e somente na última década que começou a chamar a atenção da sociedade para o seu valor energético. A Embrapa por exemplo tem intensificado as pesquisas na área. O capim elefante gera em torno de 40 a 45 toneladas de biomassa seca e tem uma larga vantagem em relação a produtividade em comparação com outras culturas, como por exemplo, uma mesma área plantada de eucalipto, outra fonte de biomassa, renderia entre 10 a 15 toneladas de massa seca. Essa vantagem só é possível devido a possibilidade de mais uma colheita ao ano do capim (MAZARELLA, 2007; IPT, 2007).

O processo de transformação do capim elefante em energia não é muito complicado, após o processo de colheita, estocagem, serão cortados em pequenos pedaços e queimado em uma caldeira, onde serão transformados em energia térmica que aquecerá a água gerando vapor sob pressão, na qual movimentará turbinas acopladas a geradores elétricos. Quando são compactados na forma de briquetes, que são tubos em forma de cilindro compacto, podem ser transformados em carvão vegetal através da pirólise, um dos processos de conversão que será explicado nos próximos tópicos, juntamente com os processos de gaseificação e hidrólise. O poder calorífico com 15% de umidade chega a 4200 kcal/kg devido alto teor de fibras (MAZARELLA, 2007).

No Brasil não existem ainda dados suficientes da produção anual de capim elefante, tornando os dados imprecisos. Por conta disso, a análise de viabilidade econômica e energética do capim elefante segue em fase de pesquisa. A expectativa em relação a biomassa com a cultura do capim elefante é alta, é de suma importância enfatizar o fato que a cultura não resiste a um período prolongado de seca, ou seja, é necessário que haja chuvas. A secagem do capim elefante, como já dito, é algo que jamais pode ser desconsiderado, devido ao fato dele ser composto de 80% de água, o que se amontoar, corre risco de apodrecimento. Apesar desses contratempos, já existem pequenos produtores que utilizam o capim elefante na queima para produção de tijolos ao invés do carvão vegetal e a indústria siderúrgica não descarta a possibilidade de substituição do carvão mineral, pelo vegetal (EMBRAPA, 2008).

2.3.3 Cultura do coco-da-baía

O consumo de água de coco tem impulsionado o plantio em todo o país, favorecendo o Brasil a subir no ranking dos maiores produtores de coco do mundo. Segundo os dados da Organização da Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o Brasil é o quarto maior produtor de coco verde do mundo. Por ano, o país chega a produzir cerca de 2 bilhões de unidades. Em 1990, ocupava a décima posição entre os produtores, hoje em dia com a quarta posição, só fica atrás de Índia, Filipinas e da Indonésia, maior produtora do mundo. Considerar somente a venda da água de coco, o Brasil é líder mundial e movimenta valores acima dos R\$ 450 milhões com esse negócio (FAO, 2011).

Segundo Silveira (2008), a casca corresponde a 80% do coco e com o aumento do consumo da água vendida e consumida, na maioria das vezes, no próprio fruto, acarreta problemas de transporte, armazenamento e acúmulo de resíduo sólido urbano. Esses rejeitos geram um volume absurdo de material que atualmente são jogados em lixões a céu aberto, praias, terrenos baldios, possui uma difícil decomposição, podendo levar de oito a quinze anos para se decompor, sem contar que produz gás metano em condições anaeróbicas, gás grande agravador do efeito estufa (SEBRAE, 2015).

Por meio da produção de briquetes, uma espécie de biocombustível sólido feito a partir da compactação de resíduos, a casca de coco é utilizada para produzir energia, constituindo um uso sustentável de biomassa. Os briquetes podem ser utilizados como fonte energética em diversos processos produtivos dos mais variados tipos de indústrias, além de serem usados para alimentar fornos de pizzarias e padarias. A substituição de lenha por briquetes de coco é uma alternativa sustentável, trazendo ainda uma vantagem que é a combustão mais rápida e estabilidade de temperatura, diferentemente da lenha. O briquete ainda detém de um poder calorífico muito alto, com umidade baixa e pouca geração de cinzas. (NACBRIQUETES, 2019; COSTA E MORAES, 2011).

Sendo assim e em virtude das suas propriedades físicas e químicas, o coco residual pode ser queimando diretamente em fornalhas ou aproveitado como carvão vegetal. Nogueira et al. (2000), traz em sua pesquisa, que o poder calorífico superior (PCS) do coco residual é de aproximadamente 5447,38 kcal/kg (base seca). A cultivo do coco para fins energético é de caráter exploratório, não há dados suficientes para quantificar as vantagens e desvantagens dessa prática, o que se sabe é que o poder calorífico do coco é extremamente alto em relação a algumas culturas já familiarizadas nos produtores.

2.4 Processos de conversão de energia e poder calorífico

Toda a energia contida na biomassa é classificada como Bioenergia, sendo ela uma energia de baixa entropia proveniente de processos embrionários de fotossíntese e quimiossíntese, dilatada e acumulada ao longo de cadeias ecológicas (SCARLAT et al., 2013). A biomassa é convertida em energia através de processos termoquímicos, biológicos, mecânicos e físicos. Como exemplos de processos termoquímico têm-se a gaseificação, combustão direta e pirólise, serão estes que serão abordados neste tópico. A Figura 2 a seguir, traz um diagrama esquemático de todos processos de conversão, já difundidos, de biomassa.

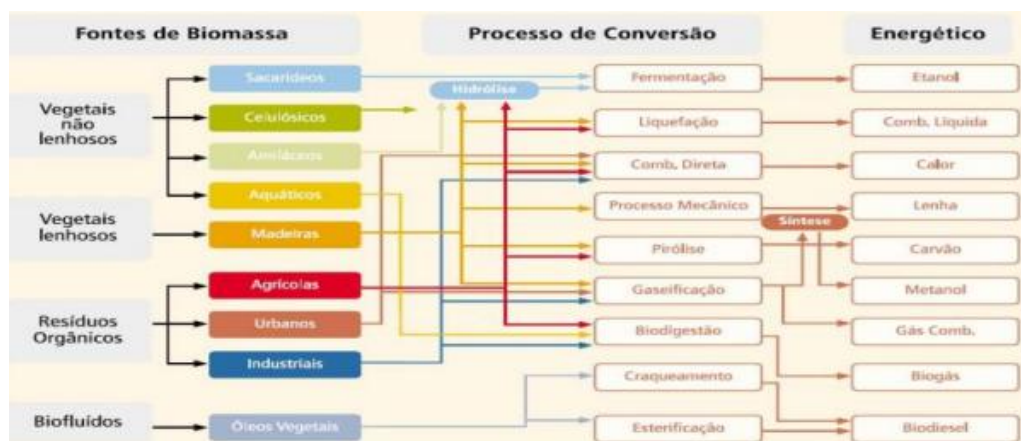


Fig. 2: Processos de conversão biomassa (FONTE: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2008)

A energia do PCS pode ser quantificada por alguns métodos, sendo um deles, o da bomba calorimétrica, no qual se insere quantidades de biomassa dentro da bomba, com o intuito de relacionar o PCS com a quantidade de ligações químicas. A energia do PCI é calculada referente ao resultado do PCS, considerando o teor de umidade presente no combustível (TANABE, 2017). A ASTM (2007) estabeleceu que o poder calorífico faz referência ao calor produzido na combustão quantidade unitária, expresso em joules por quilograma ou em calorias por grama. Além disso, a ASTM (2007) define o PCS como o calor gerado pela combustão de um combustível em quantidade unitária, seja este sólido ou líquido, quando queimado a volume constante em uma bomba calorimétrica, de modo que toda a água proveniente da combustão esteja líquida. E o PCI é definido como, segundo a ASTM (2007), o calor produzido pela combustão quando queimado a pressão constante de 0,1 Mpa (1 atm), com a condição que toda a água formada durante a queima, esteja na forma de vapor.

Sendo assim, o PCS leva em conta a energia que liberam ou perdem as partículas de vapor de água ao passar para a forma líquida, geralmente ocorre quando a combustão termina e a excitação das partículas diminui, ou seja, diferentemente do PCI, que assume que a água formada pela combustão permanece em estado de vapor, o que implica que o PCS sempre é maior do que o PCI (JENKINS; EBELING, 1985; HUGOT, 1986). Segundo Hugot (1986), o PCI na prática dá uma medida próxima ao calor utilizável e o PCS uma medida de calor disponível ou potencial do combustível.

3. Conclusão

Diante do que foi exposto, este trabalho reuniu informações sobre a utilização de biomassa para a geração de energia elétrica no Brasil de uma forma bastante ampla e profunda. O estudo foi apresentado ao leitor com uma estrutura lógica, passando por uma motivação, caracterização da biomassa, de modo geral, e dos três tipos de culturas de biomassa distintas para o uso energético, todas escolhidas pelo autor. Além disso, foi apresentado tecnologias de conversão e práticas usuais de geração de energia elétrica a partir dos insumos citados, a fim de servir de motivação para aprofundamentos e descobertas de pesquisas, como por exemplo, um orçamento de implantação de uma usina termelétrica em grande e pequena escala, tendo em vista suas possíveis rotas de conversão.

Este trabalho teve como objetivo mapear e analisar o potencial de geração de energia elétrica e o potencial excedente, caso houvesse, a partir das culturas bioenergéticas da cana-de-açúcar, capim elefante e coco da baía. A utilização de energias renováveis reduz a dependência energética que ainda existe no Brasil, ajuda a garantir uma melhor vida útil dos reservatórios das usinas hidrelétricas, aumenta a diversificação da matriz energética, garantindo o suprimento de energia, sem contar os impactos positivos que geram no ecossistema.

Apesar da biomassa ter sido a primeira fonte energética utilizada pela humanidade, a sua aplicação é muito pequena ainda. No Brasil é de aproximadamente 8% da matriz energética, mas em constante desenvolvimento. A biomassa ainda é atrelada a fontes difundidas como o bagaço de cana e o licor negro, o qual, não foi abordado na pesquisa. A regulamentação permite a inserção de novas biomassas na matriz energética, por isso a abordagem em duas culturas inovadoras, capim elefante e

coco da baía, a fim de ampliar o leque de opções disponíveis no Brasil, uma país rico territorialmente e com climas favoráveis a práticas agroindustriais.

As análises no estado da Bahia são animadoras, pois, com os resultados aqui analisados da cultura do coco da baía, poderia disponibilizar cerca de 59,52 GWh ao estado. Isso desconsiderando a Termelétrica de Sykué que utiliza o capim elefante como matéria prima. É importante frisar os principais benefícios do uso de biomassa como fonte de geração de energia elétrica: ser uma fonte renovável com menor emissão de gases, geração de empregos locais, seria de extrema importância um incentivo do governo estadual e federal para que isso ocorra. Em síntese, é preciso que haja um ponto de vista socioambiental.

Sugestão para trabalhos é mensurar com precisão a capacidade de suprimento energético do estado da Bahia com o uso o coco da baía, Ensaios laboratoriais do poder calorífico do coco da baía ou capim elefante, potencial e orçamento de implantação de um sistema de conversão energética, no caso uma mini UTE para pequenas regiões.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem às suas famílias e amigos por todo apoio e suporte ao longo do percurso, em especial a MSC Engenharia por todo conhecimento adquirido.

5. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb>. Acesso em: 02 dez. 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D1193-06 (2007): Standard Specification for Reagent Water. West Conshohocken, 2007. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D5468-02 (2007): Standard test method for gross calorific and ash value of waste materials. West Conshohocken, 2007. 8p

BARUM, A. O.; “ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO INTENSIVA DE BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA”, Sociedade em Debate, Pelotas, 5(3): 91-100, novembro/1999.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2018 (Brasil). Ano base 2017, Ministério de Minas e Energia, Brasília – DF. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acesso: 09/02/2019, 15:58.

ARAGÃO, W.M.; TUPINAMBA, E.A.; ANGELO, P.C. da S.; RIBEIRO, F.E. Seleção de cultivares de coqueiro para diferentes ecossistemas do Brasil In: QUEIROZ M.A.; GOEDERT C.O.; RAMOS, S.R.R. Recursos Genéticos e Melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro. Brasília: Embrapa -SPI, p.1-24, 2010.

BANCO DE INFORMAÇÃO DE GERAÇÃO - ANEEL, Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>, atualizado em: 12/01/2019.

BEN - Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, EPE, pp. 62, 2015.

CASAGRANDE, R., MANGABEIRA, F. J., “A crise no setor elétrico brasileiro”, Boletim, Conjuntura Brasil - Ano 01 de maio de 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana de Açúcar, v.4 – Safra 2017/2018 – N.4 – Quarto levantamento | Abril 2018. Publicação: 24/04/2018 | 09:00. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2327-cana-de-acucar-tem-queda-de-3-6-e-fecha-safra-2017-18-em-633-26-milhoes-de-t>.

EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em www.embrapa.br. Acesso em: janeiro de 2019.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil>>. Acesso em 13 jan. 2019.

HUGOT, E. Handbook of Cane Sugar Engineering. 3rd .ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1986. 1186p.

IEA. Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels. Information Paper in support to the G8 Plan of Action, 2007a.

_____. Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. Key Insights from IEA Indicator Analysis In support of the G8 Plan of action. Paris: International energy agency, 2007b.

ASPECTOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE NABO FORRAGEIRO (*Raphanus sativus* L.) E ÓLEO DE DENDÊ (*Elaeis guineensis*)

Thiago Ferro de Oliveira¹; Natália Angelita Albuquerque de Melo²; Amanda Santana Peiter³

¹ Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, thiagoferrobr@gmail.com

² Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo,
natalia_angelita@hotmail.com

³ Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, amandaspeiter@gmail.com

Resumo

Devido ao altos índices de emissão de CO₂, se torna cada vez mais inerente a necessidade de se explorar outras fontes de energias não fósseis, limpas e renováveis com o menor impacto ambiental possível. O biodiesel vem com o intuito de suprir a necessidade do diesel derivado do petróleo seja em porcentagem ou de forma completa, sendo assim traz a tona o estudo das matérias primas que melhor possam compor este biocombustível. O nabo forrageiro, é uma oleaginosa de bastante versatilidade, altos índices de produção de óleo por hectare, porém pouco estudada na literatura com finalidade energética, já a palma temos processos de cultivo, extração e conversão energética bem difundidos, com mercado sólido, onde a produção já foi estimulada pelo governo federal. Os processos industriais normais utilizados na produção de óleo consistem em extração por prensagem contínua ou hidráulica e ainda extração de óleos por solventes. Para que as amostras estejam aptas à extração, necessita-se: retirada da polpa, fragmentação do endocarpo, secagem e ajuste dos equipamentos de extração Tendo em vista que estas oleaginosas passam por um processo de extração e este é determinante para a quantidade e qualidade do óleo a ser retirada das sementes em questão, o presente trabalho vem com o intuito de revisar possíveis extrações para estas duas oleaginosas.

Palavras-chave: Extração, Óleo de nabo forrageiro, Óleo de dendê.

1. Introdução

Devido a procura por alternativas cada vez mais ecologicamente corretas, a atenuação das reservas disponíveis no mundo por combustíveis fósseis e o valor crescente do petróleo, deu início ao aproveitamento dos óleos vegetais na produção de combustíveis alternativos. (COSTA NETO et al., 2005).

No Brasil, a principal matéria prima para a produção de óleo é a soja, responsável por mais de 70% do biodiesel produzido no país (Brasil, 2009). Nesse sentido, há uma busca por novas oleaginosas que produzam óleos não comestíveis, para a produção de biodiesel dentro das normas internacionais de qualidade. Culturas pouco conhecidas mas não trabalhadas para a produção de óleo, como o nabo-forrageiro e outra que vêm tendo grande ascensão, como a palmeira-de-dendê, desponta como

alternativa interessante para a produção de biodiesel (Wang et al., 2000; Roscoe et al., 2007).

O nabo-forrageiro é uma planta de ciclo anual que possui uma elevada concentração de óleo e proteína, no qual representa as matérias-primas alternativas para compor a matriz de produção de óleo para biodiesel. (SOUZA et al., 2009).

A palma, popularmente chamada de dendê, teve a produção de óleo superior a 50 milhões de toneladas no ano de 2012, em aproximadamente 15 milhões de hectares plantados, conseguindo ultrapassar o maior produtor mundial, o óleo de soja, titulando a oleaginosa palma como a principal fonte mundial de óleo vegetal. Ramalho Filho (2010) afirma que tal produção ainda pode aumentar baseando-se no zoneamento agroecológico proposto.

Devido ao grande destaque que a palma tem conseguido, dentre os óleos vegetais que são destinados à produção de biodiesel o dendê se sobressai, no qual tem grande importância e contribuição direta para o mercado que tem objetivo na produção em larga escala de biocombustíveis. Além disso, a dendeicultura contribui para fixar o dióxido de carbono e reduzir as emissões dos gases do efeito estufa, através da inserção dessa oleaginosa no solo que tem a capacidade de restaurar as áreas já danificadas ou em processo pela atividade pecuária. (CASTRO JUNIOR, 2012).

O presente trabalho vem com intuito de revisar os aspectos gerais na extração do óleo de palma e nabo forrageiro a partir de uma revisão bibliográfica.

2. Materiais e Métodos/Revisão bibliográfica

A extração de óleos vegetais pode ser realizada através de diferentes processos como prensagem mecânica e extração por solvente. Antes da extração é necessário o preparo da amostra. Estas operações dependem do tipo e da qualidade da matéria-prima.

A extração por solvente é uma operação de transferência de massa amplamente utilizada na indústria de alimentos para retirar o óleo de sementes oleaginosas. Estas sementes, após serem preparadas em flocos, são colocadas em um ambiente adequado junto com o solvente de forma a ocorrer transferência do óleo da fase sólida para a fase líquida. Essa operação ocorre seguindo o mecanismo difusional: ocorre o contato do solvente com a superfície do floco; difusão do solvente na superfície do floco até o contato com o óleo; mistura do óleo e o solvente, formando a miscela; drenagem da miscela para um ponto distante do floco.

O objetivo da extração é que a maior parte de óleo seja extraída com um menor gasto de energia. Além da extração por solvente, existe a extração mecânica, que ocorre a partir da aplicação de uma pressão na amostra e a posterior liberação do óleo.

Os parâmetros principais para otimização do processo de prensagem mecânica são: temperatura de pré-tratamentos e o teor de umidade dos grãos (PIGHINELLI, 2007). As condições de operação são definidas pelo material oleaginoso e apenas podem ser definidos empiricamente.

A extração mecânica acontece com o uso da prensa com pressão e tempo determinados. Após a extração o teor de óleo extraído é determinado pela diferença de peso entre a massa inicial e final da torta obtida.

Sawada (2012) define a extração por solvente como um fenômeno de transporte de massa de uma fase para outro, com o propósito de separar um ou mais componentes, a partir de afinidade do que se deseja extrair com o composto químico utilizado. Após terem seu tamanho reduzido, as sementes/e ou polpas oleaginosas são colocadas em contato com o solvente, de maneira que ocorra a transferência do óleo da fase sólida para a fase líquida. Com essa mistura, o óleo se dissolve no solvente formando uma "miscela" que é separada do resíduo. A miscela é então destilada, separando-se o solvente do óleo. Dentre os diversos métodos para extração por solvente, normalmente é utilizado a metodologia de Soxhlet (PINTO, 2010).

A quantidade de óleo extraída em relação à amostra é determinada a partir da divisão entre a massa total de óleo extraída e massa da amostra no processo.

A usina de extração de óleo de dendê tem um grande aproveitamento. As fibras podem ser queimadas em caldeiras, das amêndoas se extrai o óleo de palmiste (utilizado em cosméticos), cujas cascas podem servir de combustível para caldeiras. Os cachos vazios e a água servida voltam para o campo, servindo como adubo complementar. Na extração de óleo de dendê, não há necessidade de utilização de solvente, somente água quente, vapor e elevada pressão, por meio de prensagem.

De acordo com HENKS(2015), O processo de produção do óleo dendê (palma) Figura 1, passa pelas seguintes fases: recepção e pesagem; esterilização; debulhamento; digestão; prensagem; clarificação e secagem; armazenagem e expedição e tratamento dos efluentes. Já a extração do óleo de palmiste, tem início após a prensagem para a extração do óleo de palma, seguindo as seguintes fases: desfibrilação; palmisteria, armazenagem e expedição e tratamento dos efluentes.

Esterilização: tem como finalidade inativar enzimas que provocam acidez e facilitar o desprendimento dos frutos do cacho. Debulha: separação dos frutos do cacho. Digestão: quebra estrutura das células da polpa, para liberação do óleo. Prensagem: a massa saída do digestor é submetida à prensagem, separando o óleo e uma mistura de fibras e sementes. Separação: a torta passa pelo desfibrador, que por ventilação separa as fibras das sementes.

Fonte: Tulio Dias Brito

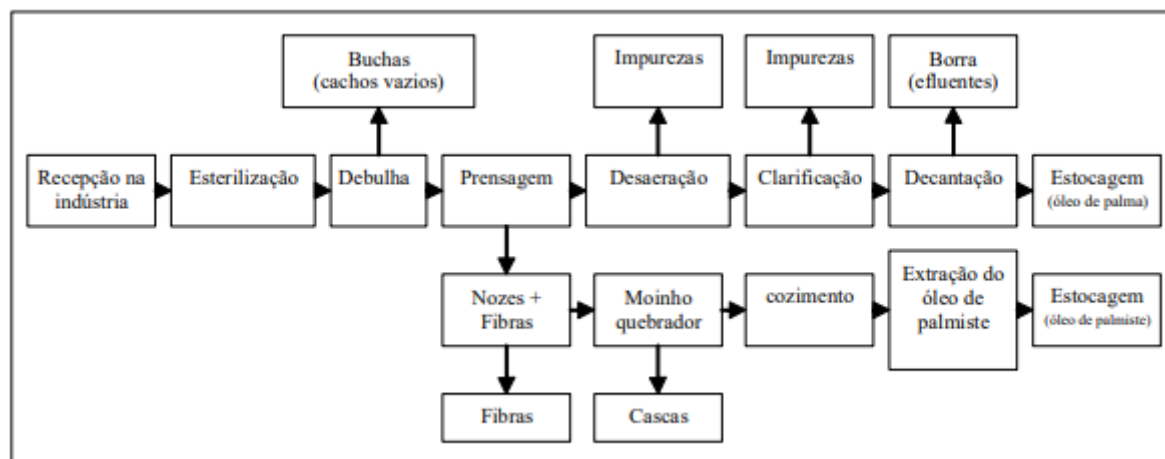


Figura 1: Processo industrial de extração de óleo de palma

Segundo JUNIOR et al.,(2015) a extração do óleo de nabo forrageiro por processo de solvente, em 300 minutos de extração com n-hexano foi obtido 14% de óleo, já com CO₂ supercrítico obteve-se 7,73% ao final de 300 minutos de extração na condição de 40 °C e 200 bar, com a pressão sendo a variável de maior impacto nos experimentos, onde a pressão de 200 bar se mostrou a mais viável.

Para SOUZA et al.,(2009) realizando a extração através de prensa do tipo expeller, o nabo forrageiro mesmo não possuindo casca externa, obteve 36,85% de rendimento, este considerado baixo se comparado com o pinhão manso e crambe.

Segundo SILVA et al.,(2016) dentre os solventes o acetato de etila destaca-se com melhor rendimento e por além de solvente poder atuar como reagente. A extração em agitador orbital proporcionou melhor desempenho, quando comparada ao método convencional, em menor tempo e utilizando menor quantidade de solvente. As variáveis de operação proporcionaram efeito positivo e significativo no rendimento, sendo possível obter 32% de óleo em 4 horas de extração, temperatura de 60 °C.

4. Conclusão

Tendo-se em vista um aumento do custo devido a prensagem do material, o nabo forrageiro tem-se como processo de extração mais efetivo o uso de acetato de etila em agitador orbital, esta oleaginosa carece de informações tanto referentes a seu cultivo quanto em termos energéticos.

O óleo de palma tem dois diferentes métodos de extrações, industriais e manuais(artesanais), este último possui uma elevada acidez.

5. Referências

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, n.20, 2009. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 02 mar 2020.

BRITO, T. D. Competitividade e Sustentabilidade no Agronegócio: o Caso do Óleo de Palma. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 175p. Dissertação de Mestrado.

CASTRO JR, Augusto Gomes de. Biodiesel do Dendê: um estudo de viabilidade econômico-financeira no Estado do Pará 2012 141f. Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ/USP como requisito para obtenção do título de Mestre em Agroenergia. Disponível em: <www.bibliotecadigital.fgv.br>. Acesso em 06 mar 2020.

DE SA JR, G. P.; SANTOS, K. A.; TAVARES, F.; SACKSER, P. R.; SILVA, E. A.; BORBA, C.E.; "EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE NABO FORRAGEIRO (*Raphanus sativus* L.) EMPREGANDO DIÓXIDO DE CARBONO SUPERCRÍTICO", p. 828-833 . In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [=Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2015-151-32563-264060

HENKES, Jairo Afonso; LEBID, Taras. ÓLEO DE DENDÊ NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL:UM ESTUDO DE CASO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS ECONÔMICA, ECOLÓGICA E SOCIAL DA CULTURA DESTA OLEAGINOSA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL.. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 416-447, jun. 2015. ISSN 2238-8753. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2936/209>. Acesso em: 04 mar. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e12015416-447>.

PINTO, A. S. Avaliação do teor do óleo vegetal do pequi (*Caryocar brasiliense*) extraído por solvente e da estimativa da biomassa viva acima do solo no Parque Estadual do Lajeado – Palmas – Tocantins. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Tecnologias de Transformação, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2010.

RAMALHO FILHO, A. Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro-RJ, 2010.

ROSCOE, R.; RICHETTI, A.; MARANHO, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. Revista de Política Agrícola, v.16, p.48-59, 2007. Disponível em <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/446>>. Acesso em 02 mar.2020.

SAWADA, M. M. Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja: cinética de extração e índices de qualidade. 2012. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga – SP, 2012.

SILVA, C.; SILVA, S.B. “Avaliação de solventes e condições experimentais para extração do óleo de sementes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.)”. Revista ENGEVISTA., Rio de Janeiro, v. 18, n. 2 (2016). Disponível em <<http://periodicos.uff.br/engevista/article/view/9073/6546>>. acessos em 03 mar. 2020. ISSN: 2317-6717

SOUZA, Anderson Dias Vieira de et al . Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo-forrageiro e crambe. Pesq. agropec. bras., Brasília , v. 44, n. 10, p. 1328-1335, Oct. 2009 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009001000017&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000017>.

WANG, Y.P.; TANG, J.S.; CHU, C.Q.; TIAN, J. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses. Industrial Crops and Products, v.12, p.47-52, 2000. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669099000667?via%3Dihub>>. Acesso em 02 mar. 2020.

ASPECTOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)

Natália Angelita Albuquerque de Melo¹; Thiago Ferro de Oliveira²; Amanda Santana Peiter³

¹ Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, natalia_angelita@hotmail.com

² Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo,
thiagoferrobr@gmail.com

³ Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, amandaspeiter@gmail.com

Resumo

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta de ampla adaptação edafoclimática, produtora de grãos ricos em óleo e com bom potencial produtivo, que também tem despertado o interesse devido à qualidade do óleo de seus grãos para a produção de biodiesel. Esta oleaginosa é vista como um grande potencial energético por possuir uma grande volume de óleo nas sementes. O óleo extraído da sua semente é direcionado para o setor industrial de combustíveis, que pode ser utilizado na produção de biodiesel e para outros fins bioenergético. Os processos industriais normais utilizados na produção de óleo consistem em extração por prensagem contínua ou hidráulica e ainda extração de óleos por solventes. Para que as amostras estejam aptas à extração, necessita-se: retirada da polpa, fragmentação do endocarpo, secagem e ajuste dos equipamentos de extração. Depois de passar pelas etapas de preparo da amostra, ela segue para os processos de extração: a extração mecânica e a extração por solvente. O presente trabalho traz uma breve revisão sobre os aspectos gerais da extração do óleo vegetal.

Palavras-chave: Pinhão manso, Óleo, Extração.

1. Introdução

Devido a procura por alternativas cada vez mais ecologicamente corretas, a atenuação das reservas disponíveis no mundo de combustíveis fósseis e o valor crescente do petróleo, deu início ao aproveitamento dos óleos vegetais na produção de combustíveis alternativos. (COSTA NETO et al. 2005).

O Brasil possui grande variedade de oleaginosas com possibilidade de extração de óleos vegetais para a produção de biodiesel em larga escala. (NOGUEIRA; PIKMAN. 2002). Dessa forma, o Pinhão manso (*Jatropha curcas* L), é uma oleaginosa viável para a obtenção do biodiesel, com potencial produtivo superior a duas toneladas de óleo por hectare. Demora de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que pode se estender por 40 anos (CARNIELLI. 2003).

Segundo Ackon e Ertel (2005), o óleo de pinhão manso reduz as emissões de CO₂, não emite gases de efeito estufa e contém enxofre em valores inexpressivos (não

formando dióxido de enxofre que causa a chuva ácida), sendo assim, uma alternativa viável visto que satisfaz a atual demanda por caminhos que não prejudiquem o meio ambiente.

Foi comprovado através de análises, que o óleo de pinhão-manso tem 83,9% do poder calorífico do óleo diesel e com a substituição do diesel pelo óleo de pinhão-manso, o consumo poderá ser 16,1% maior. (Saturnino et al. 2006). E o seu processo de transesterificação não só foi satisfatório como também o biocombustível produzido se manteve dentro dos padrões da Agência Nacional do Petróleo (ANP) para uso tanto em substituição quanto em mistura ao óleo diesel. (Melo et al. 2006).

Visto que o óleo vegetal não é mais procurado apenas para consumo alimentar, mas também como um grande potencial no setor industrial. Desta maneira, o crescente interesse por este produto se dá pois sua planta pode ter todas as suas partes aproveitadas, é vista como um grande potencial energético, já que possui um grande volume de óleo nas sementes variando de 40 a 60 % e o pinhão-manso é um arbusto de ciclo perene com elevada produção anual de óleo.

O presente trabalho vem com intuito de revisar os aspectos gerais na extração do óleo de pinhão manso a partir de uma revisão bibliográfica.

2. Materiais e Métodos/Revisão bibliográfica

A extração de óleos vegetais pode ser realizada através de diferentes processos como prensagem mecânica e extração por solvente. Antes da extração é necessário o preparo da amostra. Estas operações dependem do tipo e da qualidade da matéria-prima.

A extração por solvente é uma operação de transferência de massa amplamente utilizada na indústria de alimentos para retirar o óleo de sementes oleaginosas. Estas sementes, após serem preparadas em flocos, são colocadas em um ambiente adequado junto com o solvente de forma a ocorrer transferência do óleo da fase sólida para a fase líquida. Essa operação ocorre seguindo o mecanismo difusional: ocorre o contato do solvente com a superfície do floco; difusão do solvente na superfície do floco até o contato com o óleo; mistura do óleo e o solvente, formando a miscela; drenagem da miscela para um ponto distante do floco.

O objetivo da extração é que a maior parte de óleo seja extraída com um menor gasto de energia. Além da extração por solvente, existe a extração mecânica, que ocorre a partir da aplicação de uma pressão na amostra e a posterior liberação do óleo. A preparação das sementes para extração é dividida nas etapas: Recepção; Limpeza; Secagem; Armazenamento; Laminação; Cozimento e Descascamento.

A extração de óleo não somente depende das técnicas utilizadas, tendo em vista a frutificação irregular do pinhão manso, necessita-se de avaliação das características de suas sementes proporcionando a finalidade adequada. A possibilidade de avaliação por coloração, visto que a diminuição do teor de água ocorre da coloração verde para a marrom, sendo os frutos de coloração marrom-amarelo e marrom com maior rendimento em massa seca das sementes e em conteúdo de óleo, ainda os frutos com coloração marrom-amarelo possibilitam bons rendimentos em óleo este com menor

índice de acidez, e em ainda matéria seca, já o tamanho e o volume das sementes não são parâmetros para quantidade de óleo nas sementes(SANTOS et al. 2012).

Os parâmetros principais para otimização do processo de prensagem mecânica são: temperatura de pré-tratamentos e o teor de umidade dos grãos (PIGHINELLI, 2007). As condições de operação são definidas pelo material oleaginoso e apenas podem ser definidos empiricamente.

A extração mecânica acontece com o uso da prensa com pressão e tempo determinados. Após a extração o teor de óleo extraído é determinado pela diferença de peso entre a massa inicial e final da torta obtida.

Segundo Zambrano et al(2015), quanto maior a quantidade de amêndoas, maior a quantidade de óleo e as extrações realizadas por prensa tendo 40% da sua amostra descascada possui maior teor de óleo extraído. A prensa tipo expeller obteve a partir de 3 kg de sementes 37,18% de óleo, se mostrando superior no aspecto de teor de óleo, já no índice de acidez, a prensa hidráulica com 0% de semente descascada se mostrou superior, tendo ainda menor quantidade de fósforo quando a extração ocorre sem aquecimento.

Sawada (2012) define a extração por solvente como um fenômeno de transporte de massa de uma fase para outro, com o propósito de separar um ou mais componentes, a partir de afinidade do que se deseja extrair com o composto químico utilizado. Após terem seu tamanho reduzido, as sementes/e ou polpas oleaginosas são colocadas em contato com o solvente, de maneira que ocorra a transferência do óleo da fase sólida para a fase líquida. Com essa mistura, o óleo se dissolve no solvente formando uma "mistela" que é separada do resíduo. A mistela é então destilada, separando-se o solvente do óleo. Dentre os diversos métodos para extração por solvente, normalmente é utilizado a metodologia de Soxhlet (PINTO, 2010).

Na extração por solvente, uma parte da amostra é utilizada inteira e uma outra parte triturada para aumentar a superfície de contato. Em seguida as amostras são pesadas e colocadas em envelopes confeccionados em papel filtro previamente pesados. A extração realizada pelo método soxhlet utilizando como solvente o metanol por um período de 3 h a 5h. No extrator, o metanol é aquecido até evaporar. O vapor de metanol passa por um condensador fazendo com que o metanol fique líquido novamente e seja depositado no recipiente com a amostra de pinhão manso. Quando o metanol atinge o nível da altura da amostra dentro do tubo de extração, a mistura metanol e óleo é liberada. Este processo é repetido até que seja atingido o tempo do experimento de 3h a 5h.

As amostras são levadas a estufa, para que a quantidade de solvente restante seja evaporada, não prejudicando o balanço de massa. A quantidade total de óleo extraída é medida a partir da diferença entre a massa da amostra inicial e a massa de amostra ao final do processo. A quantidade de óleo extraída em relação à amostra é determinada a partir da divisão entre a massa total de óleo extraída e massa da amostra no processo.

Em relação a extração por solventes, tem-se o metanol e o hexanol, este último que se mostrou mais eficiente, onde chega a extrair 36% de óleo em 3 horas, porém sendo menos viável por ter um custo mais elevado, já o metanol possui o custo baixo e conseguiu extrair 16% de óleo em 4 horas(Melhorança Filho. 2010).

Segundo ROSSETO et al(2012) , as extrações com solvente realizadas com hexano se mostram mais eficiente que com etanol, ainda o uso da etapa secagem se torna desnecessário e onde o teor de óleo permanece inalterado na extração somente acrescenta valor ao custo final do produto.

3. Conclusão

Dentre os métodos de extração, a extração mecânica com 40% de casca descascada por prensas tipo expeller, já no método de extração por solvente temos que o hexano se mostra mais produtivo e com menor custo de produção em extração durante 3 horas.

4. Referências

ACKOM, E. K., ERTEL, J. An alternative energy approach to combating desertification and promotion of sustainable development in drought regions. In: FORUM DER FORSCHUNG, 18, 2005, Eigenverlag. Anais... Eigenverlag: BTU Cottbus, 2005, p. 74-78.

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bul143>>. Acesso em: 28/11/2006

COSTA NETO, P. R. et al. Transesterificação de óleo comestível usado para a produção de biodiesel e uso em transportes. 2005. Disponível em:<<http://www.biodieselecooleo.com.br/biodiesel/estudos.htm>>. Acesso em: 20 set 2007.

NOGUEIRA, L. A. H.; PIKMAN, B., 2002. Biodiesel: Novas Perspectivas de Sustentabilidade. Agência Nacional do Petróleo, Conjuntura & Informação, N° 19, 1-4. Vedana, J.C.S., 2006. “Tudo sobre Pinhão Manso – *Jatropha curcas*”. Disponível online em <<http://www.pinhaomanso.com.br/>>

MELO, J. C. et al. Avaliação preliminar do potencial do pinhão-mansão para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1, 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ ABIPTI, 2006, v. 2, p. 198-203.)

SATURNINO, H. M. et al. Implantação de unidades de validação de tecnologia pinhão-mansão. Nova Porteirinha, 2006. 5 p. Projeto de Pesquisa, Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha, 2006.

SANTOS, Silmara B. dos et al . Acúmulo de matéria seca e óleo nas sementes de pinhão-mansão e qualidade do óleo extraído. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 16, n. 2, p. 209-215, fev. 2012 . Disponível em

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000200012&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 03 mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200012>.

Melhorança Filho, A. L., & José Iran Cardoso da Silva, M. R. R. P. (2010). Potencialidade energética em diferentes extratores e tempos de extração do óleo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em soxletter . *Bioscience Journal*, 26(2). Retrieved from <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7069>)

ROSSETO, R.E., et al. EFEITO DA SECAGEM NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS EM PLANTAS COM POTENCIAL ENERGÉTICO. *Acta Iguazu, Cascavel*, v.1,n.1, p. 69-77, 2012

PIGHINELLI, A. L. M. T. Extração mecânica de óleos de amendoim e de girassol para produção de biodiesel via catálise básica. 2007. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2007.

PINTO, A. S. Avaliação do teor do óleo vegetal do pequi (*Caryocar brasiliense*) extraído por solvente e da estimativa da biomassa viva acima do solo no Parque Estadual do Lajeado – Palmas – Tocantins. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Tecnologias de Transformação, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2010.

SAWADA, M. M. Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja: cinética de extração e índices de qualidade. 2012. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga – SP, 2012.

MODELAGEM ATMOSFÉRICA DE MESOESCALA PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA PARA A CIDADE DE MACEIÓ/AL

Kelvy Rosalvo Alencar Cardoso ¹, Rosiberto Salustiano da Silva Junior ², Luan Santos de Oliveira Silva ³ e Luana do Nascimento Vasconcelos⁴

¹ICAT/UFAL, Maceió, kelvy.cardoso@icat.ufal.br

²ICAT/UFAL, Maceió, rosiberto@icat.ufal.br

³ICAT/UFAL, Maceió, luan.silva@icat.ufal.br

⁴ICAT/UFAL, Maceió, luanavasconcelos376@gmail.com

Resumo

É notório o potencial do nordeste brasileiro para geração de energias renováveis. Seja solar, eólica ou biomassa, a utilização dessas fontes alternativas de energia são o futuro da eficiência energética, o alívio da degradação do meio ambiente e, o mais importante, a diminuição das mudanças climáticas. Este trabalho apresenta os dados observados do INPE (2017) e a comparação com os dados gerados pelo modelo atmosférico WRF com o cenário RCP 8.5. A área estudada é do estado de Alagoas, para a cidade de Maceió (mesorregião litorânea). Todos os dados do modelo gerado são para o presente ano de 2020. O estudo mostra a viabilidade para instalação de painéis fotovoltaicos de uso residencial, comercial e industrial. A variável estudada é a radiação global a nível do solo, para servir de base no desenvolvimento de projetos do uso de painéis fotovoltaicos e o melhor aproveitamento da energia solar.

Palavras-chave: *Eficiência Energética, Fontes Alternativas, Radiação Global.*

1. Introdução

A energia solar é a mais abundante, constante e sustentável que existe. Através da reação nuclear oriunda da fusão dos átomos de hidrogênio em hélio, a energia solar liberada viaja por todo o sistema solar. É esta energia que serve como fonte primária para o desenvolvimento da vida no nosso planeta, além da água.

A radiação global é variável para cada lugar da superfície terrestre. Enquanto o potencial de geração fotovoltaica é muito grande no nordeste brasileiro. Os avanços na área de captação, armazenamento e distribuição são notáveis e acessíveis. A estimativa da geração de energia solar é importante, tanto quanto a inclusão dos dados gerados por modelos numéricos/atmosféricos para uma análise mais ampla e aprofundada de todo potencial energético. A predição de dados dos modelos e a comparação com dados observados são úteis para a confirmação das regiões com alto potencial gerador fotovoltaico. O sistema elétrico nacional, ou regional, necessita de informações completas e amplas, para melhorar o balanço entre oferta e demanda energética para cada localidade. Portanto, quanto maior a previsibilidade de fontes alternativas de

energias, maior a adequação do sistema elétrico para o uso mais sustentável dos recursos energéticos.

O estado de Alagoas tem um potencial gerador de energia solar muito grande, mas praticamente não faz uso dessa fonte alternativa. O número de pessoas sem eletricidade é considerável, principalmente nas regiões menos desenvolvidas do estado. A região do semiárido alagoano, tem um índice de radiação solar muito alta, de forma contínua e constante.

Um estudo de viabilidade com a estimativa do potencial de geração de energia solar é um importante implemento para o sistema elétrico nacional (regional), pois a possibilidade de uma estimativa de produção, seja espacial ou temporal, pode ser útil para a instalação de novos painéis quanto para melhorar a utilização de painéis já instalados. O acesso a esses dados serve para facilitar que novos empreendimentos usem a energia solar como fonte energética, tanto quanto servem para que sejam criadas novas concessionárias microgeradoras em regiões com déficit de energia.

2. Dados e Metodologia

Todos os dados gerados foram obtidos com base na saída do modelo climático NCAR versão 1 (CESM1 – Community Earth System Model), que participa da 5ª fase do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Experiment), com suporte do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Esta base de dados possui toda as variáveis necessárias para inicialização e condição de borda das simulações e projeções do modelo atmosférico de mesoescala WRF (Weather Research and Forecasting). Os dados são interpolados em 26 níveis de pressão e são disponibilizados com intervalos de 6 horas. As variáveis têm seus valores corrigidos usando ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) com reanálise do Interim (ERA-Interim) no período entre os anos de 1981-2005, seguindo a metodologia proposta por Bruyere et al. (2014). Todos estes dados estão disponíveis para os anos de 2006 até 2100.

O modelo atmosférico WRF, é um modelo de mesoescala não hidrostático para previsão numérica de tempo (PNT) e clima. Ele simula fenômenos meteorológicos de microfísica da precipitação, radiações, camada limite atmosférica (CLA), parametrização de cúmulos, cobertura superficial, acoplado com a parte química que leva em consideração as reações, deposição seca e úmida, e dispersão por convecção, advecção e difusão. Para esse trabalho, o modelo foi rodado em dois domínios. Domínio 1 abrangendo toda a América do Sul e parte do Oceano Atlântico; O domínio 2 abrangendo parte do Nordeste Brasileiro, com resolução espacial de 20km.

Portanto, o objetivo foi utilizar a saída do modelo global do NCAR (CESM1_CMIP5) como inicialização e condição de borda para realizar simulações climáticas com o modelo WRF. Foram obtidos pelo modelo WRF, dados de cenários futuros (RCP's - Representative Concentration Pathways) que representam variações no aumento da poluição atmosférica, RCP8.5.

A base de dados observados faz parte da rede SONDA. A rede SONDA <<http://sonda.ccst.inpe.br/>> é um esforço coordenado pelo INPE que conta com a colaboração de vários institutos de pesquisa e universidades brasileiras. Em operação desde 2004, atualmente a rede dispõe de 17 estações de observação distribuídas estrategicamente para representar as diferentes características climáticas do Brasil. Doze dessas estações são operadas pelo INPE, enquanto instituições parceiras mantêm e operam as outras cinco.

Todos os sítios da rede SONDA empregam piranômetros para aquisição de dados de G e Gdif, sendo que algumas incluem pirheliômetro e rastreador solar para medição da Gn. As estações de coleta desta rede utilizam radiômetros “padrão secundário”, onde as estimativas de incertezas das medições da irradiação solar são aquelas constantes da ISO 9060 para instrumentos de padrão secundário. As cidades com estações da rede SONDA são Brasília/DF, Cachoeira Paulista/SP, Caicó/RN, Campo Grande/MS, Cuiabá/MT, Natal/RN, Ourinhos/SP, Palmas/TO, Petrolina/PE, Rolim de Moura/RO, São Luiz/MA e São Martinho da Serra/RS. Todas as estações da rede foram operadas pelo INPE e foram utilizadas para a validação dos dados em 2017 da radiação global entre os anos de 2005 e 2015, pelo Labren/INPE.

3. Resultados e Argumentações

Os resultados mais consistentes são advindos da parametrização do WRF no cenário RCP 8.5. Por esta razão, o cenário RCP 8.5 foi o escolhido e os dados gerados serviram para o presente estudo. Tomando como base os dados observados e validados pelo Labren/INPE (2017), foi possível elaborar alguns gráficos para a comparação e, assim, análise entre eles e os dados gerados pelo modelo.

Na figura 1, temos o mapa do Brasil com as médias diárias e anuais das irradiações solares para cada região. Fica muito evidente que a região nordeste possui maior média anual e diária dentre todas, com valores de 5,49 kW/m² dia e 2003 kW/m² ano. Já a região com as menores médias diárias e anuais é a região sul, com os valores de 4,53 kW/m² dia e 1654 kW/m² ano. As regiões centro-oeste e sudeste, têm praticamente os mesmos valores das suas médias diárias e anuais, com os valores de 5,07 kW/m² dia, 1849 kW/m² ano e 5,06 kW/m² dia, 1846 kW/m² ano, respectivamente.



Figura 1 – Distribuição da irradiação global horizontal por região. Fonte: Labren/INPE (2017)

Muito embora o Brasil inteiro tenha uma grande potencialidade para geração de energia solar, o nordeste é a melhor escolha para um aproveitamento e retorno maiores que as demais. Não apenas pelos altos valores dos dados observados, mas pela predominância diária de irradiação solar por longos períodos na região do semiárido.

Na figura 2, o gráfico apresenta a métrica utilizada para validar todas as médias mensais de cada uma das regiões. Mais uma vez, o nordeste apresenta o maior valor médio da radiação global observada, com 5483 W/m² mês. E a região sul tem o menor valor, com 4444 W/m² mês. Apesar da proximidade entre as regiões centro-oeste e sudeste, com médias mensais de 5082 W/m² e 4951 W/m², respectivamente, o centro-oeste apresenta valor ligeiramente maior do que o sudeste.

Anualmente, comprovou-se que existe uma tendência significativa de aumento da radiação global para todas as regiões estudadas, com exceção da região sul, onde o estudo mostrou um decréscimo da incidência de radiação solar, mas estatisticamente insignificante. O crescimento anual de todas as regiões está estimado de 10 a 20 W/m², menos para o sul.

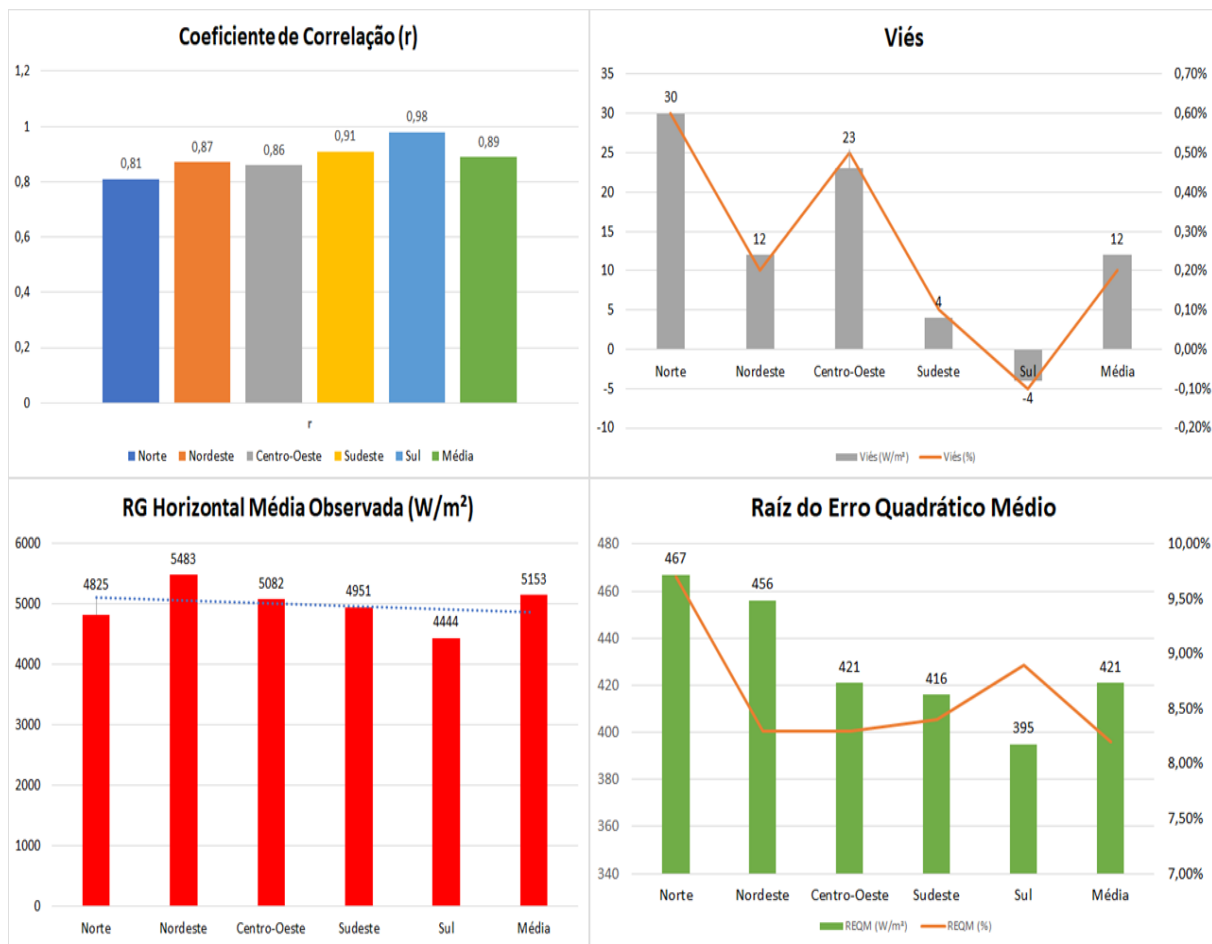


Figura 2 – Métrica para validar as médias mensais dos dados observados. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) - LABREN / CCST / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

Com uma simples análise de todo potencial fotovoltaico da região nordeste, pode-se entender que o uso da energia solar é importante para o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, além de ser economicamente viável e promissora. Todo este potencial solar do Brasil e todas as novas regras favorecem a geração distribuída.

Em abril de 2012, a ANEEL emitiu as resoluções n.482 e 481, contribuindo para o avanço dos programas de incentivo para pequenos geradores em todos os níveis da cadeia produtiva do setor elétrico.

A figura 3, mostra a comparação dos dados do INMET (2020) e os dados gerados pelo modelo para a cidade de Maceió. Nos 3 primeiros meses do ano, a radiação global em Maceió teve médias mensais de 3313 W/m²; 3484,25 W/m² e 3568,83 W/m², respectivamente. Logo, conclui-se que Maceió tem um grande potencial de geração de energia solar.

Essa energia seria muito útil na utilização de instituições públicas como a Universidade Federal de Alagoas, criando autonomia energética e gerando grande economia com os gastos anualmente. A estação automática do INMET na UFAL tinha, apenas, os dados da radiação global dos primeiros 3 meses do ano. Mesmo assim, é possível perceber que a linha de tendência está em leve ascensão.

O fator importante aqui é a estabilidade mensal da variável em Maceió, tanto dos dados observados quanto os projetados pelo WRF. Apesar da diferença entre os dados, é importante ressaltar que o cenário RCP 8.5 é o mais pessimista com relação à poluição atmosférica, o que reforça ainda mais a importância do uso de fontes alternativas de

energias renováveis para evitar esse crescimento desenfreado da poluição, diminuindo as mudanças climáticas e criando um ambiente muito mais sustentável.

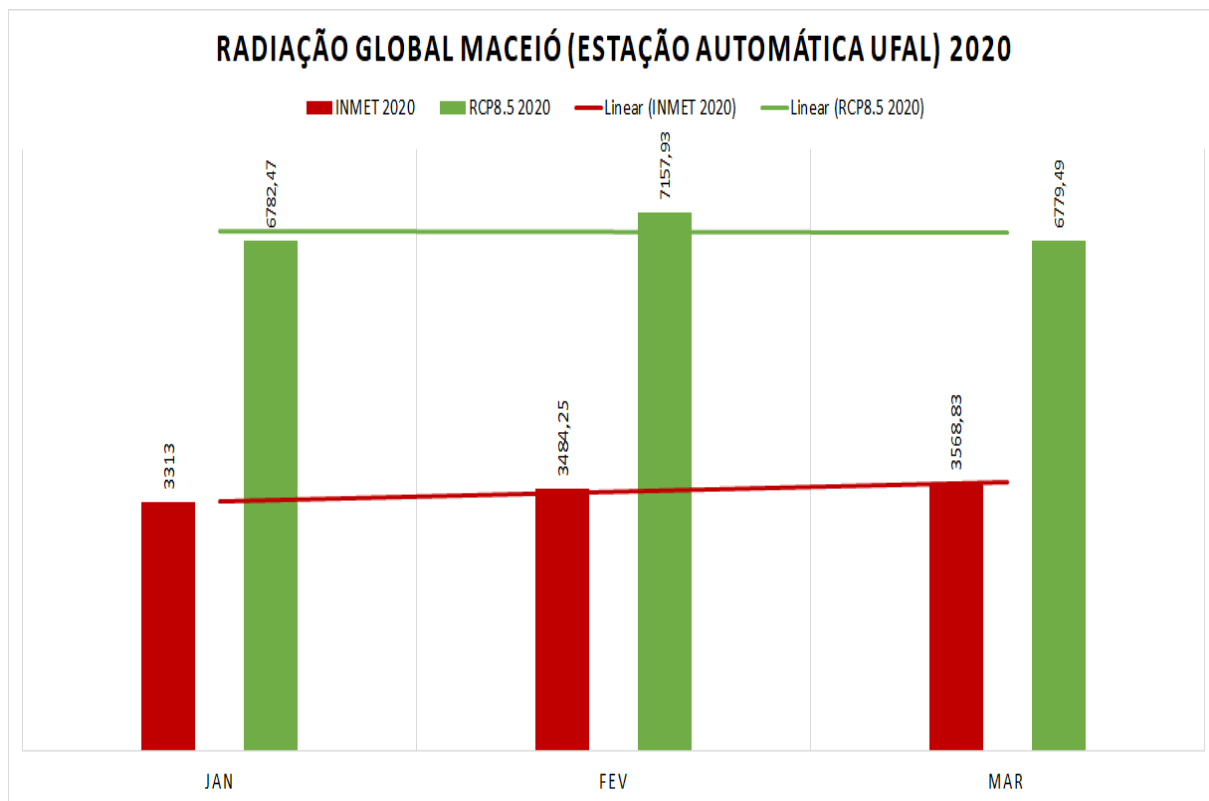


Figura 3 – Comparativo da radiação global horizontal observada, entre os dados da estação automática A303 do INMET e os dados gerados pela modelagem atmosférica de mesoescala WRF.

A figura 4 mostra os dados do modelo para todo o ano de 2020 e a comparação com os observados pelo INPE (2017). Fica evidente a proximidade entre os valores obtidos pela modelagem e os observados, reforçando que o cenário escolhido é o melhor para viabilizar os estudos do potencial fotovoltaico do Estado de Alagoas, tanto quanto para o nordeste brasileiro e as demais regiões do Brasil.

Tomando a cidade de Maceió como exemplo do estudo, a energia solar é abundante e precisa ser incentivada, seja por meio de iniciativas públicas ou privadas, o setor elétrico deve ser aprimorado e deve fazer uso deste tipo de energia. Criar oportunidades para geração de fontes alternativas é vital para a preservação da água dos reservatórios para fins mais nobres, para a diminuição da degradação das regiões que são inundadas, para diminuir os gastos na geração e distribuição de eletricidade, para otimizar o uso dos recursos naturais de maneira sustentável e, finalmente, para proporcionar o reequilíbrio do planeta diminuindo todas as mudanças climáticas que estão acontecendo e ainda poderão acontecer.

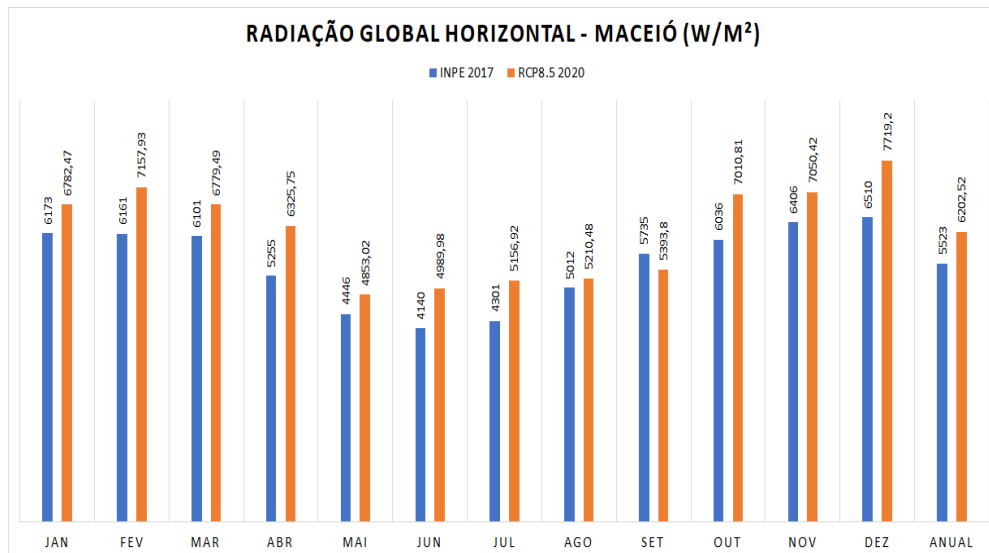


Figura 4 – Comparativo entre os dados observados pelo Labren/INPE (2017) e os dados gerados pela modelagem atmosférica no WRF com o cenário RCP 8.5, para o ano de 2020.

4. Conclusão

O presente trabalho busca mostrar o potencial gerador elétrico para o estado de Alagoas (e o nordeste), através da medição da radiação global da energia solar como fonte alternativa de energia renovável, de forma que fique clara a viabilidade para gerar energia segura e limpa, sem impactos ambientais e ecologicamente correta para uso residencial, comercial e industrial.

A metodologia usada é importante para validar os dados e dar respaldo às análises que até aqui foram apresentadas. Ou seja, o uso da modelagem atmosférica para estimar a medição da radiação solar ao nível do solo é muito viável para garantir uma projeção aceitável dos dados que são gerados pelo modelo. Uma série longa de dados (20 a 30 anos) seria uma excelente base para compor no futuro um estudo mais completo, e que sirva para elaborar um atlas solarimétrico do estado de Alagoas mais aprimorado, atualizado e tenha alta viabilidade estatística e prática, visto que o último atlas de energia solar do estado foi lançado em 2007 (há 13 anos).

A implementação de projetos geradores de energia, sejam quais forem, necessitam de estudos como este apresentado com intuito de determinar a economicidade, a possibilidade e viabilidade de execução do empreendimento físico propriamente dito, no caso, a instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica em determinada região.

No Brasil, as resoluções de números 481 e 482 da ANEEL, organiza as regras garantindo que o mercado energético solar atue de forma plena e organizada. Entretanto, a cadeia industrial de suprimentos de equipamentos de energia solar ainda é muito desprovida no país.

Investir em pesquisas, inovação e desenvolvimento é uma das maneiras mais eficientes para o avanço e a implementação do uso de painéis solares fotovoltaicos como uma forma sustentável de geração de energia elétrica.

Finalmente, é obvio que a energia solar enfrenta diversas dificuldades para o seu desenvolvimento e implementação. Apesar de todo o potencial brasileiro,

principalmente do nordeste, em gerar energia limpa e sustentável, esta dependência de vários fatores regulamentares de ordem política, pública e jurídica, faz com que seja muito mais do que necessário estudos como este.

5. Agradecimentos

O presente estudo contou com o incentivo e colaboração do LAMODEL (Laboratório de Modelagem Atmosférica e Instrumentação Meteorológica) do ICAT (Instituto de Ciências Atmosféricas) da UFAL (Universidade Federal de Alagoas), através do Professor Dr. Rosiberto Salustiano e todos os demais que fazem parte do LABMODEL.

6. Referências

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica; **Resolução normativa N° 481/12**; Acessado em setembro 2020.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica; **Resolução normativa N° 482/12**; Acessado em setembro 2020.

BEN - Balanço Energético Nacional - **Relatório Síntese ano base 2015**. 2016. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2016_Web.pdf > Acessado em setembro 2020.

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2013-2022**. Brasília: MME/EPE, 2013.

Bazilian, M. et al. **Re-considering the economics of photovoltaic power. Renewable Energy**. v. 53, p. 329-388, 2013.

CEBALLOS, J.C., M.J. BOTTINO, J.M. de SOUZA. **A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. J. of Geophys. Research**, v. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

DRUDE, L., PEREIRA JR., L. C., RÜTHER, R. Photovoltaics (PV) and electric vehicle-to-grid (V2G) strategies for peak demand reduction in urban areas in Brazil in a smart grid environment. **Renewable Energy**, v. 68, p.443-451, 2014.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf> > Acessado em agosto 2020.

IBGE. **Banco de Dados Séries Estatísticas & Séries Históricas**, 2017. Disponível em <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/listatema.aspx?op=1&no=1>> Acessado em agosto 2020.

PORTAL DO SOL. **Simulador solar: ENERGIA FOTOVOLTAICA**. 2017. Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>> Acessado em agosto 2020.

VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. S. L.: Editora UFV. 2013. 448 p.

WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. (WMO-No. 8).

YAMASOE, M. A., CORRÊA, M. P. **Processos radiativos na atmosfera: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 142p.

ZAHLER, C., BERGER, M., LOUW, J. Industrial Solar Fresnel collectors powering the largest solar cooling system in the Middle East for a football stadium. In: **SOLAR PACES 2011 – CONCENTRATING SOLAR POWER AND CHEMICAL SYSTEMS, 2011**. Proceedings..., Granada, 2011.

ZILLES, R. **Geração distribuída e sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2011, <http://www.cogen.com.br/workshop/2011/Geracao_Distribuida_Sist_Fotovoltaicos_29032011.pdf> Acessado em Setembro 2020.

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE FORNO SOLAR TIPO CAIXA E ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR INTERNA

**Mayara Correia Tenorio ¹, Natália Maria Chagas da Silva ², Mávylla Sandreya
Correia Tenorio ³, Vitória Ricardo da Rocha ⁴, Ermesson Alexandre Santos
Martins ⁵**

¹ Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, mayara.tenorio@ceca.ufal.br

² Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, natalia.silva@ceca.ufal.br

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, mavyla.tenorio@ctec.ufal.br

⁴ Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, vitoriaricardo98@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, kadumartins_@hotmail.com

Resumo

Com o aumento populacional mundial, busca-se formas de diminuir impactos ambientais e na saúde humana, causados pelo uso de fontes e energia poluentes. Uma das formas adotadas é a utilização da energia solar. Essa fonte de energia propicia o funcionamento do forno solar que é utilizado na cocção de alimentos. No presente artigo é apresentado um protótipo de um forno solar tipo caixa, no qual, foi analisada sua eficiência quanto transferência de calor, em seu interior. A transferência de calor analisada foi a ocorrente entre a água e a superfície do forno. Foi explorado no experimento que o material para a fabricação do forno solar é de extrema importância para a melhorar eficiência do mesmo. Também foi comprovado o funcionamento da lei de Fourier, pois quanto maior foi a diferença de temperatura entre a água e a superfície do forno solar, maior foi a taxa de calor transferido obtida. Os valores obtidos a partir do protótipo foram satisfatórios quando comparados a outros protótipos construídos artesanalmente.

Palavras-chave: Energia Solar, Forno Solar, Transferência de Calor

1. Introdução

Fontes de energia, como a lenha e o carvão, foram as primeiras utilizadas pela humanidade para geração de energia e cocção de alimentos, apresentando um papel fundamental no desenvolvimento tecnológico da sociedade até o final da Primeira Revolução Industrial, meados da metade século XIX. O início da Segunda Revolução Industrial - que durou entre 1850 e 1945 -, e o desenvolvimento da tecnologia culminaram na exploração de novas fontes de energia proveniente de combustíveis fósseis. Nesta época, o carvão e a lenha eram amplamente utilizados, alinhados ao início da produção de petróleo em escala industrial, em 1859, pelo Coronel Drake no estado americano da Pensilvânia.

As fontes não-renováveis de energia ganharam cada vez mais destaque e ainda representam uma parcela importante no mundo. Isto pode ser mostrado nos dados mais atuais (ano de 2018) da Agência Internacional de Energia (IEA), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) brasileira: o petróleo e seus derivados correspondem a 31,9% da matriz energética mundial; o carvão, por sua vez, representa 27,1% deste total.

Com o mundo altamente industrializado, houve um rápido aumento na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e, consequentemente, da poluição atmosférica decorrente principalmente da utilização de combustíveis fósseis. O principal gás é o dióxido de carbono (CO_2), seguido por metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorometano (CF_4), perfluoroetano (C_2F_6) e hexafluorido de enxofre (SF_6).

A emissão de gases é quantificada a partir do dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Segundo o Painel Nacional de Indicadores Ambientais (2012), CO_2e é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa, baseada no potencial de aquecimento global de cada um, de acordo com a decisão 17 da oitava Conferência das Partes (COP-8).

De acordo com o Global Carbon Project (2018), entre os anos de 1880 e 2016, houve um aumento de 41,3 vezes na emissão de CO_2 . Além do mais, o National Centers for Environmental (2020) indica que, em 2019, o aumento médio da temperatura (combinando oceanos e terra), em relação a uma média de 140 anos, foi de 0,95 °C. O mundo está em alerta quanto a necessidade do combate à poluição atmosférica, e da busca por fontes de energia alternativas que sejam renováveis, mitigando o cenário de poluição atual. Com base na Empresa de Pesquisa Energética (2017), no Brasil, a taxa de estimativa de emissão para 100 anos dos principais GEE (CO_2 , CH_4 e N_2O) é de $2,537 \times 10^9$ toneladas de CO_2e a partir do consumo de $20,225 \times 10^6$ toneladas de lenha e de carvão vegetal no setor de cocção, utilizando 2016 como ano base. Enquanto, com o gás de cozinha, o GLP (gás liquefeito de petróleo), o consumo estimado é de $10,758 \times 10^6$ metros cúbicos, resultando em $6,24 \times 10^7$ toneladas de CO_2e emitidos para o mesmo fim. De acordo com os dados apresentados, é possível constatar o grande destaque existente na utilização das fontes mais poluentes de energia para a produção dos alimentos. Na busca do desenvolvimento de projetos voltados à utilização de energia limpa e renovável, a energia solar vem ganhando destaque nos últimos anos. Esta, configura-se como uma fonte de energia abundante e inesgotável, uma vez que é proveniente de fenômenos naturais e possibilita a captação e conversão em outras formas de energia. Estudos têm relatado a importância e viabilidade na utilização de muitos equipamentos, dentre estes, o fogão solar para cocção de alimentos, que é amplamente utilizado em países como China, Índia, Peru, entre outros. No Brasil, o principal emprego dos fogões solares, apesar de pouco difundido, é na zona rural das regiões áridas e semiáridas. Nesses locais a extração e utilização de lenha e carvão vegetal, obtidos muitas vezes de forma ilegal, assume valores significativos, contribuindo para o aumento da poluição.

No forno solar, a cocção dos alimentos é possível devido aos fenômenos de transferência de calor que ocorrem no seu interior. A transferência de calor ocorre por radiação, condução e convecção. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo o estudo da construção do forno, bem como a quantificação dos tipos de transferência de calor que ocorrem dentro do forno, utilizando a água como fluido de trabalho.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Forno solar

O primeiro forno solar foi criado pelo naturalista francês Horace Benédicte de Saussure (1740 — 1799) em 1767 e os primeiros experimentos com esse tipo de forno foram descritos por seu filho Nicolas Théodore de Saussure (1767 — 1845). Seu forno foi construído com duas caixas de madeira de pinho uma dentro da outra, isoladas com

lã com três coberturas de vidro, como demonstrado na figura 1. Com esse forno, Saussure conseguiu atingir a temperatura de 90o C. (Beyer, 2004).

2.1.1 Forno solar tipo caixa

São fornos com estrutura que se assemelha a uma caixa, com tampa de vidro, cuja finalidade é permitir a ocorrência do efeito estufa no qual o aquecimento dá-se essencialmente porque a convecção é suprimida. Não há troca de ar entre o interior e o exterior do forno, sendo assim, a energia que entra pela radiação solar que aquece o ambiente interno não é perdida com as correntes ascendentes que roubariam o calor. Possuem abas ou refletores laterais que concentram a energia térmica solar dentro da caixa. Essa configuração de forno permite temperaturas superiores a 100 graus. A construção é mais onerosa, demandando maior tempo. Este tipo de fogão necessita de certo direcionamento de acordo com o movimento da Terra, de modo a concentrar a energia solar dentro da caixa (Souza, 2018). A Figura 1 ilustra o funcionamento do forno solar

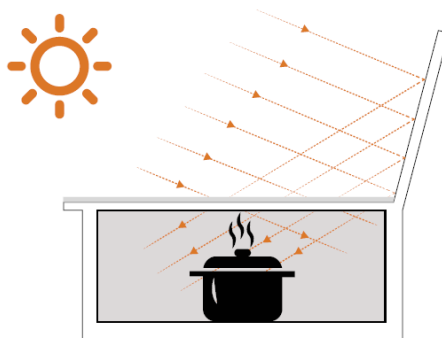


Fig. 1: Funcionamento do forno solar tipo caixa. Fonte: Associação Caatinga, 2017.

2.2 Fundamentos da transferência de calor no forno solar tipo caixa

Transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio, ou entre meios, haverá, necessariamente, transferência de calor (Incropera, 1990). Existem três mecanismos de transferência: condução, convecção e radiação e um forno solar do tipo caixa ocorrem os três mecanismos.

2.2.1 Condução

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto (Incropera, 1990). A taxa de condução de calor é calculada pela fórmula de Fourier (eq. 1).

$$q_{cond} = \frac{(k \cdot A \cdot \Delta T)}{L} \quad (\text{eq. 1})$$

$$k = 0,6065 \times \left[-1,48445 + 4,12292 \left(\frac{T_{\infty}}{298,15} \right) - 1,63866 \left(\frac{T_{\infty}}{298,15} \right)^2 \right] \quad (\text{eq. 2})$$

Onde,

q_{cond} = fluxo de condução de calor (W/m²)

k = condutividade térmica do fluido, para cada ΔT (W/ m.K)

A = área de seção transversal (m²)

ΔT = Diferença de temperatura entre superfícies, $T_s - T_\infty$ (K)

T_s = Temperatura da superfície aquecida (K)

T_∞ = Temperatura do fluido (K)

L = espessura na qual está ocorrendo a transferência (m)

2.2.2 Convecção

Transferência de calor por convecção ocorre quando existe o contato entre um sólido e um fluido em movimento, consiste na combinação da condução com a advecção, transferência de calor devido ao movimento do fluido (Incropera, 1990).

O cálculo da taxa de transferência de calor por convecção (q_{conv}), é calculado através da seguinte equação:

$$q_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (\text{eq. 3})$$

$$h = \frac{k}{A} Nu \quad (\text{eq. 4})$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \left[\frac{g \left(\frac{2}{(T_s + T_\infty)} \right) (T_s - T_\infty) D^3}{(\alpha \vartheta)} \right]^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,556}{\frac{\vartheta}{\alpha}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (\text{eq. 5})$$

Onde,

T_s = Temperatura da superfície aquecida (K)

T_∞ = Temperatura do fluido (K)

A = Área do recipiente que contém o fluido (m²)

H = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/(m².K))

k = Coeficiente de transferência de calor por convecção por condução (W/(m.K))

Nu = Número médio Nusselt (adimensional)

D = Diâmetro do recipiente que contém o fluido (m)

ϑ = Viscosidade cinemática do ar para cada $T_s - T_\infty$ (m²/s)

α = Difusividade térmica do ar para cada $T_s - T_\infty$ (m²/s)

2.2.3 Radiação

Radiação é o processo pelo qual calor é transferido de um corpo sem o auxílio do meio interveniente, e em virtude de sua temperatura e ondas eletromagnéticas. Ao contrário dos outros dois mecanismos, a radiação não necessita da existência de um meio interveniente (Quites e Lia, 2005).

$$q_{rad} = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (\text{eq. 5})$$

Onde,

σ = Constante de Stefan-Boltzmann equivalente a $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/(m}^2\text{.K))}$

A = Área do recipiente que contém o fluido (m^2)

ε = Emissividade (emissividade da água igual a 0,96)

T_s = Temperatura da superfície (K)

T_{∞} = Temperatura do fluido (K)

3. Metodologia

3.1 Construção do forno

A confecção do forno solar de baixo custo foi feita utilizando a maioria dos seus materiais reutilizados (papelão, papel, alumínio). Dentre os componentes do forno, a parede lateral refletora (de alumínio) tem um papel muito importante, pois a mesma faz diminuir a perda por condução do meio interno para externo e também aumenta a concentração da radiação solar sobre o recipiente de cozimento. A superfície onde é colocado o recipiente de cozimento é de papel da cor preto fosco para aumentar a absorção. Para impedir que o calor saia do forno, usa-se um vidro para tampar a superfície externa do forno, assim, no interior do forno é formado o efeito estufa. A caixa de papelão (a parte externa do forno) é revestida internamente de isopor para servir de isolante térmico e evitar perda de calor do ambiente interno para o externo. A tabela 1 apresenta uma relação dos materiais utilizados e sua função, e a Figura 3 traz uma representação gráfica dos componentes citados.

Tab. 1: Materiais utilizados e funcionalidade

Material	Função
Caixas de papelão	Estrutural
Placa de isopor	Isolante térmico
Aletas de alumínio	Reflexão de luz
Placa de vidro	Isolante térmico
Papel Preto fosco	Absorção de calor
Arame	Estrutural
Cola instantânea	Estrutural
Fecho de mala	Adaptação para mala (opcional)
Pegador de mala	Adaptação para mala (opcional)
Tecido	Decoração (opcional)

Fonte: Autores, 2020.

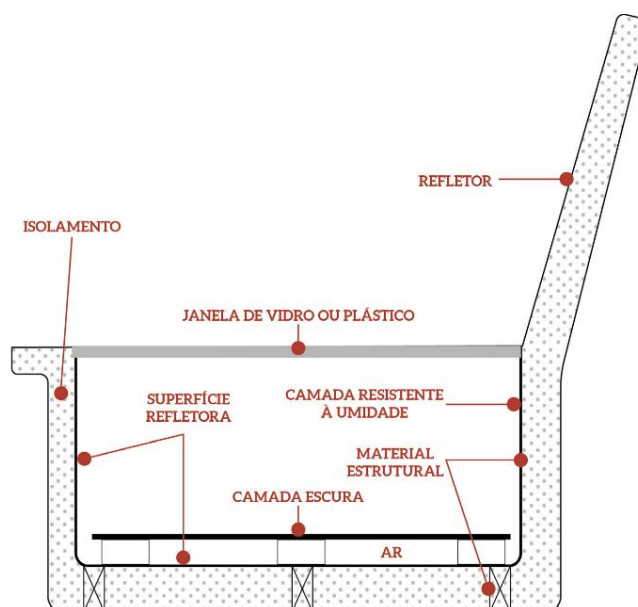


Fig. 3: Estrutura de um forno solar tipo caixa. Fonte: Associação Caatinga, 2017.

3.2 Utilização do forno

O forno foi posicionado no norte magnético, que é o norte medido pelas bússolas. De acordo com a Associação Caatinga (2017), a maior incidência da luz solar gerando maior calor dentro do forno é entre as 09:00 da manhã e 15:00 da tarde. Sendo assim, a análise do protótipo desenvolvido foi realizada de 08:45 da manhã até 14:15 da tarde.

Colocou-se uma panela de 13 centímetros de diâmetro no interior do forno contendo uma lâmina de água de 2 cm de altura e mediu-se a evolução da temperatura da coluna de água a cada trinta minutos, durante cinco horas e trinta minutos. A temperatura foi medida por um termômetro digital e o local de análise do forno solar foi a área experimental de energia solar do Centro de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, uma região livre de sombreamento.



Fig. 4: Protótipo do forno solar confeccionado em funcionamento. Fonte: Autores, 2019.

Com os valores obtidos foram calculadas as taxas de transferência de calor por condução, convecção e radiação através das (eq. 1), (eq. 2) e (eq. 3), consecutivamente e foi realizada a análise dos dados.

4. Resultados e discussão

Na tabela 2, estão descritas as temperaturas da superfície negra no forno e da água nos horários que foram realizadas as medições. É possível perceber que a temperatura da superfície do forno aumenta rapidamente com a exposição ao sol. Apesar do seu aumento, também é possível notar a queda brusca de temperatura em alguns intervalos de tempo, como foi o caso entre os horários de 09:45 e 10:15. A queda pode ter sido dada por diversos fatores, entre eles, rajadas de vento, nuvens, bem como um erro de medição. A interferência das rajadas de vento se dá através de brechas existentes entre o vidro e a parte superior do forno que não foram totalmente vedadas.

Foi observado também que a superfície aqueceu a temperaturas maiores do que a água. Este fato se dá pela questão de a superfície ser negra, conseguindo absorver uma maior quantidade de calor em menor tempo e pelo fato da água ter maior condutividade térmica, ou seja, necessita-se de maior aplicação de calor para aumentar em um grau a sua temperatura. Apesar das variações de temperatura na superfície, a água manteve um padrão de aquecimento. Esta substância demora mais tempo para aquecer, logo, demora mais tempo para perder calor. Assim, a água apresentou uma tendência crescente de temperatura devido sua continuidade de exposição à fonte de calor, chegando a atingir 55,2 °C

Tab. 2: Temperaturas medidas da coluna de 2 centímetros de água e da superfície do forno em 08/11/2019, no Centro de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo-AL

Horário	Temperatura da superfície (°C)	Temperatura da água (°C)
08:45	27	27,2
09:15	44,9	40,2
09:45	49,2	45,3
10:15	77,8	47,2
10:45	56,7	48,8
11:15	59	49,1
11:45	47,3	49,9
12:15	56,1	52,4
12:45	64,2	53
13:45	70	55,2
14:15	65,1	55,2

Fonte: Autores, 2020.

Os resultados obtidos neste trabalho estão coerentes com outras pesquisas realizadas neste mesmo propósito. Como por exemplo, tem-se os estudos de Rezende (2015) e Macedo (2011).

Rezende (2015), realizou uma pesquisa sobre a construção e utilização do modelo de forno solar tipo caixa, em MDF, mostrado na Figura 5. A água ficou contida em um recipiente de 18 centímetros de diâmetro feito de alumínio. A construção do seu protótipo se baseou nos princípios da concentração térmica, no efeito estufa e na

utilização de matérias de baixo custo. Em seu experimento, 3,6 litros de água chegaram a atingir temperatura de 60 °C, após 03:30 da inserção do recipiente dentro do forno.



Fig. 5: Protótipo do forno solar confeccionado por Rezende. Fonte: Macedo, 2015.

Macedo (2011), construiu o protótipo de um fogão solar no modelo parabólico utilizando material compósito, mostrado na Figura 6. Foi construído com área de captação de 1 metro quadrado e sua parábola foi coberta de espelhos de 25 centímetros quadrados. A água foi inserida em uma panela construída com material compósito base de cimento, gesso, EPC triturado e pneu triturado. Neste protótipo, em apenas 15 minutos, 1 litro de água atingiu a temperatura de 100 °C. O resultado expressivo do modelo parabólico mostra a eficiência disparada, frente ao tipo caixa.



Fig. 6: Protótipo do forno solar parabólico confeccionado por Macedo. Fonte: Macedo, 2011.

Na Figura 7, são apresentadas as taxas de transferência de calor respectivas a cada diferença de temperatura entre a água e a superfície do forno. Como foi visto anteriormente, a taxa de transferência de calor indica o quanto de calor foi transferido

do forno para a água. É possível notar que entre os fluxos térmicos de condutividade, convecção e radiação o que apresentou maior destaque foi o fluxo de condutividade térmica. Comprovando assim, a importância existente no contato direto entre o recipiente que contém a água e a superfície do forno.

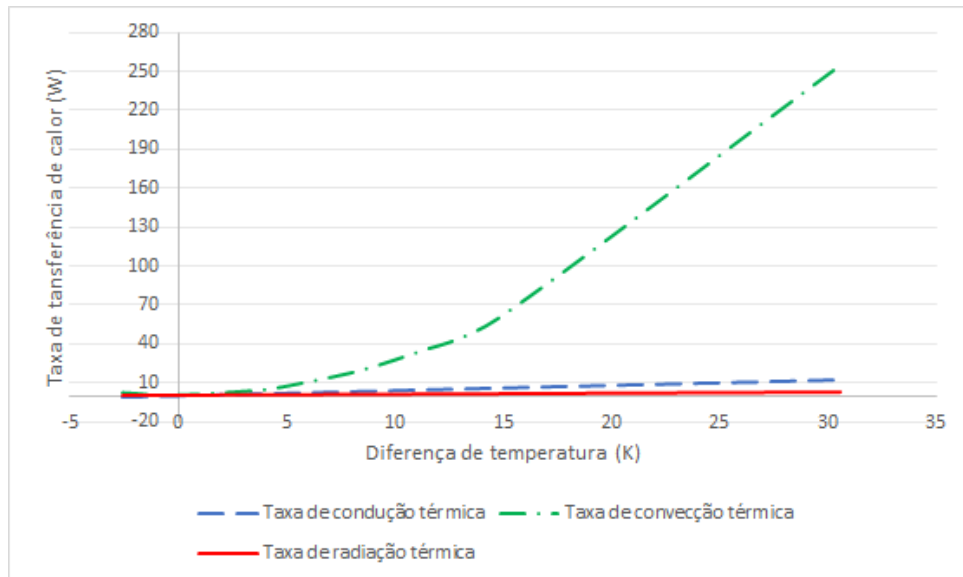


Fig. 5: Gráfico representativo da relação entre os tipos de transferência de calor e a diferença de temperatura entre a superfície do forno e a água. Fonte: Autores, 2020.

O somatório das três taxas de fluxo de calor em relação às diferenças de temperatura, apresentado na Figura 6, comprova o que já foi observado na Figura 5, há uma tendência crescente entre a taxa de calor e a diferença de temperatura. Ou seja, quanto maior for a diferença de temperatura, maior será cada taxa de transferência de calor e, conseqüentemente, a taxa total.

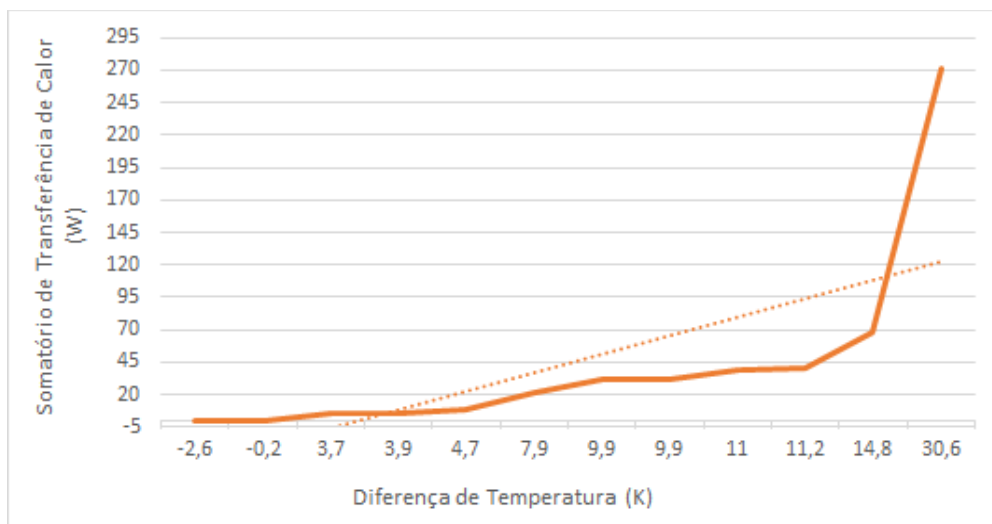


Fig. 6: Gráfico representativo da relação entre o somatório das formas de transferência de calor e a diferença de temperatura entre a superfície do forno e a água. Fonte: Autores, 2020.

Vale salientar que a temperatura máxima atingida no experimento realizado foi de 55,2 °C e a água se torna pasteurizada à temperatura de 65 °C, adequando-se ao consumo humano. Com isto, mostra-se necessário a utilização de materiais com melhor

qualidade para equipar o forno, possibilitando o alcance da temperatura de pasteurização e também o estudo da correta angulação que o forno deve estar, na latitude de utilização, para receber a maior radiação solar possível. Além do mais, faz-se necessária a vedação completa entre o vidro e a parte superior do forno para, pelo menos, diminuir a entrada de vento no mesmo, aumentando, assim, o efeito estufa no seu interior. A utilização de mais de um tipo de termômetro também é interessante, pois possibilita se ter valores mais exatos.

5. Conclusão

Neste trabalho, constatou-se que os resultados apresentados pelas taxas de transferência de calor comprovam a lei de Fourier: quanto maior for a diferença de temperatura entre a água e a superfície do forno, maior será a taxa de calor transferida. Com isto, é possível perceber que o estudo da transferência de calor é de extrema importância nas pesquisas que envolvem as fontes que compõem a matriz energética, usada em variados fins.

A análise das condições ambientais e dos materiais utilizados no protótipo de forno doméstico proposto neste trabalho, embora simplificado, é um exemplo de como utilizar a engenharia a favor das atividades cotidianas mais corriqueiras. Ao adquirir bens de consumos duráveis que funcionem por meio uma fonte de energia renovável, como é o caso do forno doméstico solar, além de trazer benefícios econômicos para o consumidor, ajuda a mitigar as emissões de GEE para a atmosfera.

Referências

Associação Caatinga, 2017. Cartilha Forno Solar. Disponível em: <<https://www.acaatinga.org.br/wp-content/uploads/cartilha-forno-solar.pdf>>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Beyer, H. G., et al., 2004. Assessing satellite derived irradiance information for South America within the UNEP resource assessment project SWERA. Proceedings of 5th ISES European Solar Conference in Freiburg, Alemanha.

Empresa de Pesquisa Energética, 2017. Balanço Energético Nacional 2017. Brasil. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Global Carbon Project, 2018. Global Carbon Budget 2018. Disponível em: <<https://www.icos-cp.eu/GCP/2018>>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Incropera F. P., et al., 1990. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, LTC, Rio de Janeiro.

International Energy, 2019. World Energy Outlook 2018: Perspectivas energéticas globais a longo prazo. Rio de Janeiro.

National Centers for Environmental Information. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019, 2020. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Neto, M. C. de M., 2011. Análise de Desempenho de um Fogão Solar com Parábola Fabricada em Material Compósito. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Painel Nacional de Indicadores Ambientais, 2012. Metadado: Emissão Líquida de Gases de Efeito Estufa (GEE) por Fontes Antrópicas. Brasil. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/pnia/Arquivos/Temas/Atmosfera_e_Mudancas_Climaticas_AMC/1_Mudancas_Climaticas/AMC_1_1/Metadado_AMC_1_1.pdf>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Quites, E. C.; Lia, L. R. B., 2005. Introdução à Transferência de Calor. São Paulo. Disponível em: <<https://amazonaws.com/academia.edu>>. Acesso em: 02 de Mar de 2020.

Rezende, A. N., 2015. A Utilização De Fornos Solares Do Tipo Caixa Para O Aquecimento De Alimentos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Souza, U. R. de L. F., 2018. Estudo de um Forno Solar do Tipo Caixa Fabricado com Materiais Alternativos. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

DIMENSIONAMENTO DE UM BIORREATOR A PARTIR DE ESTERCO DE AVES E O CÁLCULO DO PAYBACK

Ana Carolina de Santana Moura¹, Talles José Bernardo Tolêdo², Thailys Campos Magalhães³, Miryam Torres dos Santos Cunha⁴, Marcela Nunes de Souza⁵,

¹ Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
anacarolinasantana.eng@gmail.com

² Graduando em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
tallesbernardo@hotmail.com

³ Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba,
thailys_magalhaes@hotmail.com

⁴ Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
miryamts Cunha@gmail.com

⁵ Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
marcellans48@gmail.com

Resumo

No início do século XXI, a necessidade do desenvolvimento tecnologias sustentáveis, voltadas para a produção de energia de forma limpa e sustentável se tornou extremamente alta. Isso aconteceu, pois o início do século coincide com o início de mais uma revolução energética desencadeada pelo encarecimento do petróleo e condicionada alguns fatores, sendo eles: O pico do petróleo, que é o desnível entre o volume da sua produção e o das reservas recém-descobertas; O Protocolo de Kyoto que foi criado em 1997, mas só entrou em vigor em 2004 no Japão, onde foi determinada uma máxima urgência de uma política voluntária e rigorosa de redução do consumo das energias fósseis, afim de evitar mudanças climáticas irreversíveis, causadas pela emissão excessiva de gases de efeito estufa; E evitar as incertezas e a ameaça crescente à paz decorrentes da geopolítica explosiva do petróleo. Diante desse contexto o aperfeiçoamento de metodologias para a produção de biocombustíveis destaca-se pela abundante disponibilidade de matéria prima orgânica, a qual apresenta elevado potencial energético para a produção de biogás. É importante salientar que a utilização de tal processo tem um viés ambientalmente sustentável e energeticamente econômico, sendo um processo com grande potencial de melhorias para um desempenho mais eficiente.

Palavras-chave: Protocolo de Kyoto, Biogás, Energeticamente Econômico.

1. Introdução

Um dos grandes problemas ambientais da atualidade é o aumento contínuo da produção de resíduos orgânicos. Em muitos países, a gestão sustentável dos resíduos, bem como a sua redução, tornou-se grandes prioridades políticas, o que representa parte importante dos esforços comuns para reduzir a poluição e as emissões de gases de efeito estufa e para mitigar as mudanças climáticas globais.

A energia sempre foi reconhecida como a base do desenvolvimento das civilizações ao redor do mundo. No final do século XIX, por exemplo, o mundo passou por um processo de modernização após a Revolução Industrial, devido principalmente, à

necessidade de criação de novas fontes energéticas além da energia térmica, muito utilizada naquela época. (Silva, et al., 2009).

No cenário mundial atual , há bastante tempo se discute na comunidade científica e população em geral a mudança no setor energético mundial, de energia derivada do petróleo(fóssil) e energia nuclear para um sistema de geração de energia oriunda de fontes renováveis, pois o modelo político-energético baseado na interação entre crescimento e desenvolvimento insustentável desgastou-se devido as ações antrópicas , promovendo assim as mudanças climáticas e o aquecimento global.

O sistema elétrico no Brasil é predominante oriundo da energia hidroelétrica, a qual dependente do regime das chuvas . Para obter uma operação com maior eficiência, as usinas hidroelétricas necessitam da complementação de usinas termelétricas, que garantem segurança de entrada em operação. Em usinas eólicas e solares vale ressaltar também que, por serem fontes intermitentes, a capacidade de geração depende respectivamente, do regime dos ventos e da irradiação solar. Ao analisarmos tal cenário podemos observar que a médio e longo prazo, a exaustão de fontes não renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa como fonte alternativa.

Nos dias atuais , a biomassa vem sendo inserida e utilizada cada vez mais na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para locais isolados da rede elétrica. Neste contexto, foi estudada a alternativa da produção de biogás como combustível a partir do uso de biodigestores, considerando a obtenção de matéria prima (dejetos de aviário) de fácil acesso no ambiente rural , onde seria o principal local para implantação de geração de biogás .

Para Amaral et al. (2014), a fermentação da biomassa em reatores anaeróbicos apresenta uma excelente alternativa, pois além de reduzir a taxa de poluição e contaminação do ciclo produtivo, promove a geração do biogás, utilizado como fonte de energia térmica, mecânica e elétrica, permitindo ainda a utilização do resíduo final como biofertilizante.

Fig. 1: Biodigestores instalados em propriedade rural.



Fonte: TORRES, 2012.

O presente trabalho tem como objetivo propor e avaliar a viabilidade econômica um modelo de implantação de um biodigestor anaeróbico para produção de biogás, tendo como matéria prima os resíduos sólidos orgânicos provenientes da cama aviária.

2. Revisão de literatura

O biodigestor é o local onde ocorre a fermentação da biomassa (no nosso caso, esterco e resto de ração), e pode ser um tanque, uma caixa ou uma vala revestida e coberta por um material impermeável. O importante é que, com exceção dos tubos de entrada e saída, o biodigestor deve ser totalmente vedado, criando um ambiente anaeróbio (sem a presença de oxigênio) onde os microorganismos degradam o material orgânico, transformando-o em biogás e biofertilizante.

A produção de biogás é proveniente da criação de um meio para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a matéria orgânica e produzam esse combustível a partir de uma rota biológica definida. Esse ambiente é favorável à produção do biogás refere-se às condições químicas e físicas necessárias ao desenvolvimento dessas bactérias dentro do biodigestor, onde são necessários certos parâmetros, sendo eles: faixas de temperatura, pH e relação carbono/nitrogênio (C/N) da biomassa.

Segundo Oliver et al., (2008), o biogás é uma energia renovável, proveniente da biomassa, produzido a partir da conversão da biomassa através da decomposição em meio anaeróbio da matéria orgânica por bactérias. Esse processo acontece naturalmente nos ecossistemas, podendo ser adaptado para o uso industrial. Existem vários tipos de biodigestores utilizados para a produção do biogás, conforme os tipos de resíduos obtidos no meio rural, podendo ser operados com cargas contínuas ou batelada.

Dentre as diversas aplicações como uso para aquecimento, queima do biogás em turbinas, microturbinas e em motores do ciclo Otto e Diesel, quando adaptados, está a geração de energia elétrica. Através da conversão química do biogás em energia mecânica, utilizando um processo controlado de combustão, essa energia mecânica ativa um gerador produzindo energia elétrica. O biogás é uma alternativa ao gás natural em diversos aspectos, como a cogeração de energia, matéria prima, produção de biometano e síntese de produtos químicos.

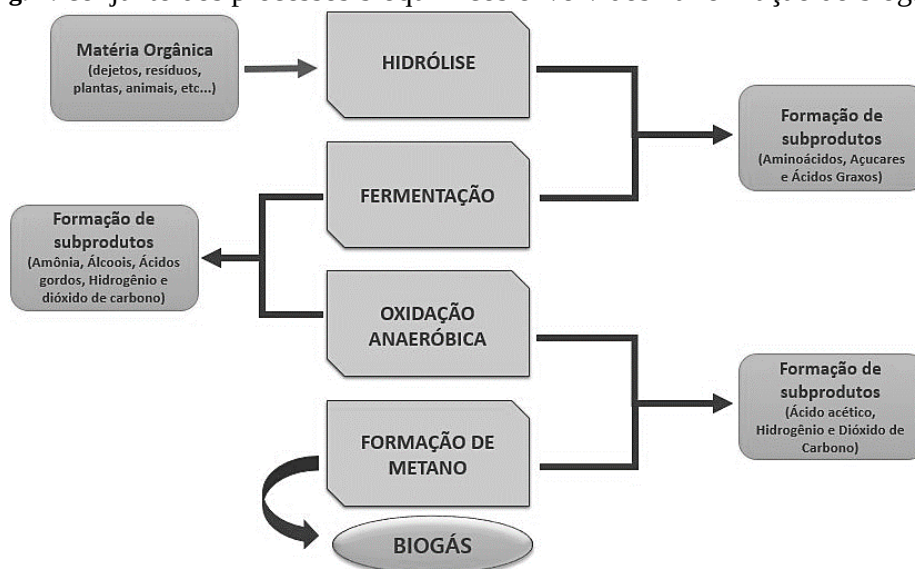
2.1 Processo de formação do biogás

A formação do metano é espontânea em ambientes anaeróbico, é quando a biomassa ou a matéria orgânica cuja composição é feita por carboidratos, lipídeos, proteínas entre outros nutrientes, com presença de bactérias, essa composição vai se decompor formando metano e algumas impurezas. Uma pequena parte do dióxido de carbono sofre ligação com a amônia, e o enxofre se torna resíduo, resultando em uma composição do biogás de CH₄:CO₂: 71%: 29%. A formação do biogás a partir da biomassa resulta, em geral, da equação 2:



O processo anaeróbico passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo elas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, na qual a geração do biogás ocorre na última etapa do processo.

Fig. 2: conjunto dos processos bioquímicos envolvidos na formação do biogás..



Fonte: <<<http://www.ecycle.com.br>>> Acesso em 05/03/2020

O estágio inicial é a hidrólise, as ligações moleculares complexas como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico, sendo liberadas por um grupo específico de bactérias e dão origem à compostos orgânicos simples (monômeros) como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares.

O segundo estágio da decomposição é a acidogênese as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias acidogênicas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e álcoois, assim como hidrogênio e gás carbônico.

A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, esta interfere negativamente na eficiência da acidogênese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura é reduzido e o processo sofre danos, sendo afetado

No terceiro estágio, a acetogênese ocorre o processo de formação de ácido acético, os compostos são convertidos por bactérias acetogênicas. Essa é uma das fases mais delicadas do processo, considerando que é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias Arqueas responsáveis pela metanogênese.

No último estágio ocorre a metanogênese, onde as arqueas metanogênicas estritamente anaeróbias convertem principalmente o ácido acético, o dióxido de carbono e hidrogênio em metano. Esse processo resulta na produção de biogás e biofertilizante, sendo este último um fertilizante natural rico em nitrogênio, fósforo e potássio (BALMANT, 2009).

A conversão da cama de frango em gás irá depender do tipo de ração, nível de reutilização da cama, tipo de substrato da cama, estação do ano, densidade de alojamento das aves e característica excretas das aves.

3. Viabilidade ambiental

A utilização de biodigestores apresenta uma saída para os problemas enfrentados atualmente com o manejo inadequado dos dejetos. A quantidade de esterco desprezado na natureza acarreta problemas como: contaminação da água e dos solos, emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, atração de animais como ratos, baratas, moscas e outros que ameaçam a saúde dos seres humanos.

O tratamento adequado deste material pode reduzir ou até eliminar os problemas supracitados, além de ser uma forma de ter acesso a um tipo de energia limpa e renovável, melhorar a qualidade do solo com o uso do biofertilizante e substituir a lenha (combustível ainda muito utilizado) pelo biogás, ajudando assim a preservar a natureza e evitando agressões à mesma.

4. Metodologia

4.1. Dimensionamento do biodigestor

Segundo FUKUDA, 1m³ de biogás equivale a 5kg de esterco de aves. Cada ave produz 0,03kg de esterco por dia. Para 5 camas de aves temos 5000 aves, dessa forma são produzidos 150KG de dejetos diariamente.

Sendo o tempo de retenção de 40 dias teremos 6000kg de esterco avícola. Considerando 10% de água adicional, o volume líquido total: VL = 6000 + 600 = 6,6m³. Tendo o volume líquido total podemos definir o volume de gás como sendo um terço do volume líquido, sendo assim 2,2 m³.

Portanto o volume total do biodigestor é igual a soma do volume líquido total e o volume de gás, então teremos 8,8 m³ de volume total.

$$V_t = V_{liq} + V_{gás}$$

Sabendo-se o volume total do biodigestor, deve-se determinar as dimensões do mesmo. Escolhendo-se um rolo com 2m de largura, o diâmetro de 1,28m. O volume total dessa seção é equivalente ao volume de um cilindro (em metros cúbicos) calculado multiplicando $\pi \times r^2 \times L$.

Assim sendo, com um raio de 0,64m, obtemos um comprimento do biodigestor de 6,84m.7

Figura 3- Tabelas com dimensões do rolo de plástico

Tabela 1 – Cálculo para obtenção do comprimento e relação comprimento/diâmetro para diferentes larguras de rolo de plástico

Largura do rolo (em metros)	Comprimento do biodigestor (L em metros)	Diâmetro do biodigestor (D em metros)	L/D
1,0	13,3/0,32 = 41,56	0,64	64,94
1,25	13,3/0,50 = 26,60	0,80	33,25
1,50	13,3/0,72 = 18,47	0,96	19,24
1,75	13,3/0,97 = 13,71	1,12	12,24
2,0	13,3/1,27 = 10,47	1,28	8,18

De acordo com as larguras dos rolos, existem diferentes possibilidades

Fonte: FUKUDA, 2013.

4.2. Relações de custos para a produção do biogás.

RELAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS(M³/Kwh)

$$\begin{array}{rcl} \text{Para } 1\text{m}^3 & \underline{\hspace{2cm}} & 6,5\text{Kwh} \\ 10050 \text{ m}^3 & \underline{\hspace{2cm}} & \text{X Kwh} \\ & & \text{X}=65.331,5 \text{ kwh} \end{array}$$

RELAÇÃO DE BIOGÁS NO PRIMEIRO ANO (Kwh/ R\$)

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kwh} & \underline{\hspace{2cm}} & \text{R\$ } 0,71 \\ 65.331,5 \text{ kWh} & \underline{\hspace{2cm}} & \text{X} \end{array}$$

$$\text{X} = \text{R\$}46.385,365 \text{ no primeiro ano.}$$

RELAÇÃO DE BIOGÁS NO SEGUNDO ANO (Kwh/ R\$)

$$\begin{array}{rcl} 10950\text{m}^3 \times 6,5 \text{ Kwh} \times \text{R\$ } 0,71 & = & \text{X} \\ \text{X} & = & \text{R\$ } 50.534,25 \end{array}$$

Sabendo esses valores, falta determinar o valor de Kw produzido e o calor consumido no biodigestor. Exemplo: Temos 30m³ de biogás produzido diariamente. Utilizamos 325 dias, pois o nosso tempo de retenção é de 40 dias. E nesse período o esterco será apenas degradado até virar um processo contínuo.

$$\begin{array}{c} \text{NO PRIMEIRO ANO TEMOS} \\ 30\text{m}^3 \times 325 \text{ dias} = 10050 \text{ m}^3 \text{ produzidos.} \end{array}$$

Nos anos seguintes, 10950 m³ produzidos anualmente, pois já consideramos 365 dias. Chegando a esses valores, é só subtrair o kW produzido pelo consumido, então será possível encontrar o lucro do biodigestor, tornando possível realizar o cálculo do payback.

4. Resultados e Discussões

Para fazer a análise de viabilidade econômica da implantação do biodigestor foi necessário determinar anteriormente a quantidade de kWh de energia produzida a partir da quantidade de aves da cama de aviários, considerando que : 1 m³ = 6,50 kWh e que a produção diária no primeiro ano é de 30 m³(Utilizamos 325 dias, pois o tempo de retenção é de 40 dias) e nesse período o esterco será apenas degradado até virar um processo contínuo, têm-se 10050 m³ de biogás gerados anualmente. Nos anos posteriores a produção equivalerá a 10950 m³ produzidos anualmente, pois já consideramos 365 dias. Deste modo, temos que ocorreu uma produção de 10050m³ de biogás, o equivalente a 65.331,50 kWh de energia elétrica produzida no ano 1 e 71.175,00 Kwh no ano 2.

Considerando uma eficiência de 100 % no 1º e no 2º ano, a produção de energia elétrica com relação ao custo de produção com uma taxa de R\$ 0,71(1 KWh) seria, respectivamente, R\$46.385,365 e de R\$ 50.534,25.

Ao analisar o Payback que é reconhecido como o tempo necessário para se obter retorno financeiro em um dado empreendimento, ou seja, o tempo para que o lucro do projeto ultrapasse seu custo. Primeiramente faz-se necessário determinar o custo total

do projeto. A tabela abaixo demonstra os custos do investimento no projeto do biodigestor.

Tabela 1 – Custo da instalação de um biorreator.

Descrição	Valor (R\$)
Biodigestor	94.000,00
Terraplanagem	18.000,00
Casa de máquinas	12.000,00
Conjunto limpeza do biogás	12.000,00
Reservatório do biogás	8.000,00
Tubulações de conexão	6.000,00
Total	150.000,00

Fonte: Acervo do autor, 2020.

Usando o método econômico de payback simples , calculamos o tempo de retorno do investimento inicial de R\$ 150 000. Verificamos que num período de 8 anos , o investimento já estaria quase quitado no 4º ano e o lucro começaria a partir do 5º como podemos observar na tabela abaixo.

5.1. Cálculo do payback simples

Tabela 2 – Ilustração do payback por ano.

	Custo (r\$)	-Payback	
1ºAno	46.385,37	150.000,00	
2ºAno	50.534,25	- 103.614,64	
3ºAno	50.534,25	-53.080,39	
4ºAno	50.534,25	-2.546,14	
5ºAno	50.534,25	47.988,11	* Se torna positivo, pois é quando começa o lucro pós investimento inicial.
6ºAno	50.534,25	98.522,37	
7ºAno	50.534,25	149.056,62	
8ºAno	50.534,25	199.590,87	
Xano	50.534,25	X ano + Custo	

Fonte: Acervo do autor, 2020.

5. Considerações Finais

No trabalho desenvolvido ficou clara a imensa vantagem de utilizar materiais que hoje são simplesmente descartados na natureza para a geração de energia, além de ser utilizado de outras formas que trazem benefício ao produtor. Constatou-se também que é perfeitamente viável a instalação de biodigestores em propriedades rurais devido ao alto potencial produtivo de biogás com os dejetos gerados. É uma forma inteligente de atingir a autossuficiência em produção de energia e de gás.

Essa autossuficiência em produção de energia trás os ganhos da economia de escala. Aumentando a produção de dejetos, cresce a produção de biogás, levando a maior utilização do sistema gerador de energia, aumentando os lucros.

6. Agradecimentos

Ao Centro de Engenharia e Ciências Agrárias e a Universidade Federal de Alagoas.

7. Referências

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual**. 2016. Disponível em:

<http://abpabr.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em 2 de julho de 2019.

AVISITE. **Pintos de corte: menos de 500 milhões de cabeças em setembro**. Disponível em: <<https://www.avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos>>. Acesso em 2 de julho de 2019.

BIODIESELBR. **Etapas metabólicas do processo de biodigestão anaeróbica em biodigestor**. 2006, Disponível: <<https://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biodigestor>>. Acesso em: 3 de julho de 2019.

NOGUEIRA, Luiz A. Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVER, A. de P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

ORTOLANI, A. F. et al. **Bateria de mini-biodigestores: estudo, projeto, construção e desempenho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. Anais... Botucatu: FCAV/UNESP, 1986, p. 229-239.

PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção de biogás**. Embrapa, Suínos e Aves. Circular técnica, 41. Dezembro de 2004.

XAVIER, C. A. N; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, mar./abr. 2010.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico.** Engenharia química, Universidade Federal de Uberlândia. 2017.

FUKUDA, J. C. **Projeto de instalação de um biodigestor de baixo custo na sede de uma unidade de conservação: saneamento, aproveitamento energético e demonstração de alternativa sanitária para a região.** Formas de Energia Alternativa, Universidade Federal de Lavras-MG. 2013

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL POR ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE DOS TRIBUNAIS DE JUSTIÇA DA REGIÃO NORDESTE, BRASIL

Thamirys Suelle da Silva¹; Wilson Aragão Ramos Júnior² e Flávio Leôncio Guedes³

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Maceió - AL, thamiryssuelle@gmail.com

²Universidade Federal de Pernambuco, Aracaju - SE ,
wilsonramosaragao@hotmail.com

³Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, guedsflav@gmail.com

Resumo

A gestão de energia tem como foco o uso eficiente de recursos e aumentar o acesso à energia para tornar uma sociedade mais sustentável. Apesar das estratégias que têm sido propostas para garantir um maior acesso aos recursos energéticos a custos acessíveis, ainda existem desafios para garantir a conservação dos recursos e a proteção do meio ambiente. O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência do indicador consumo relativo de energia elétrica dos Tribunais de Justiça através do Plano de Gestão de Logística Sustentável (PLS) do Poder Judiciário da região do nordeste do Brasil, tomando como ferramenta a estratégia de sustentabilidade. A pesquisa estruturou-se de forma descritiva exploratória e analítica, a abordagem sobre a temática de eficiência energética e o PLS de cada instituição foi direcionada para o indicador consumo relativo de energia elétrica no período de 2016 a 2019, o método de Sistema de Medição de Desempenho foi utilizado para obter os resultados. Através do indicador analisado, foi possível observar que a partir do ano 2016, houve mudanças significativas em relação à redução do consumo de energia. Os Tribunais de Justiça que se destacaram foram os Estados do Ceará e Pernambuco, pois possuíram um plano com metas que obteve um bom desempenho, visto que apresentaram aumento gradual do indicador. Com isso, é possível estabelecer parâmetros que possam contribuir para uma gestão ambiental mais eficiente. Os PLS dos Tribunais de Justiça da Região Nordeste utilizados como ferramenta de planejamento proporcionaram aos órgãos o estabelecimento de práticas de sustentabilidade e racionalização dos gastos e processos na Administração Pública com energia elétrica.

Palavras-chave: Energia Sustentável, Gestão Pública, Plano de Gestão de Logística Sustentável.

1. Introdução

A eficiência energética e o meio ambiente, segundo Panesi (2006), são dois aspectos que estão totalmente associados, ou seja, pode-se preservar o habitat através de medidas de preservação e de combate aos desperdícios de energia, reduzindo impactos ambientais advindos da oferta de energia. Uma gestão energética tem como objetivo principal o uso racional dos recursos naturais, adotando o princípio do desenvolvimento sustentável. Sendo assim, traduz-se na redução de perdas na conversão, no transporte, na transmissão e no uso de energia, desde a extração da fonte primária até o uso final, assim como na redução da demanda energética, sem comprometer a qualidade do serviço (REN, 2016; ELOI et al., 2019; EPE, 2020).

A gestão da energia elétrica no âmbito do Setor Público representa um novo instrumento de governo e está integrada com os propósitos de uma Administração Pública voltada para sustentabilidade. Através deste instrumento, o gestor público deve buscar implantar novos procedimentos gerenciais para garantir que o serviço seja prestado, sem prejuízo da qualidade e melhor eficiência e efetividade (MOREIRA LAGE et al., 2015).

Com o intuito de minimizar os impactos socioambientais, o governo tem formulado políticas públicas que conduzam os sistemas de energia para garantir à segurança energética e adaptação as mudanças do clima, através da inserção gradual das energias renováveis ao longo do tempo (HADIAN et al., 2015; OWUSU et al., 2016).

O Decreto nº 3.330 (BRASIL, 2000) estabeleceu que os edifícios públicos deveriam reduzir em 20% o consumo de energia até dezembro de 2002. Contudo, devido o não cumprimento das metas estipuladas, resultou na criação de outro planejamento por meio do Decreto nº 4.131 (BRASIL, 2002), que determinou a redução de consumo de energia elétrica nos edifícios públicos num percentual de 17,5% a partir de fevereiro de 2002, tendo como referência o consumo no mesmo mês, ocorrido no ano 2000. De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (BRASIL, 2020), o setor público continua aumentando a participação no consumo geral de energia elétrica ano a ano. No sentido de orientar as ações do Brasil na área de eficiência energética, em 2011 o Ministério de Minas e Energia (MME) publicou as premissas e as diretrizes básicas para composição do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), por meio da Portaria MME nº 594 (PNEF, 2011).

Existem ferramentas administrativas que ampliam a gestão governamental na área de conservação de energia no Brasil, principalmente quanto à criação de instrumentos legais de incentivo à geração descentralizada de energia por fontes renováveis e de incentivo à eficiência energética. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do indicador consumo relativo de energia elétrica dos Tribunais de Justiça através do Plano de Gestão de Logística Sustentável do Poder Judiciário da região do nordeste do Brasil, tomando como ferramenta a estratégia de sustentabilidade.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Estratégias de sustentabilidade no Setor Público

A gestão de Política Pública é entendida como uma ação abrangente que se desenvolve numa extensão da sociedade, com o objetivo de fazer uma intervenção na realidade social. Dessa forma, se desdobra em programas, projetos e ações específicas voltadas para a adequação da gestão, sendo no âmbito socioambiental ou econômico.

Visto o avanço de práticas econômicas com responsabilidade socioambiental e sustentabilidade no contexto das empresas privadas, observa-se crescente orientação das políticas por ações ambientais nas estruturas da administração pública, antes aplicada nas normas legais (ALMEIDA, 2017). A partir da Agenda 21, em 2009, foi criada a Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P), que estabeleceu a inserção de critérios socioambientais em todas as esferas da administração, dando base para o surgimento de novos planejamentos.

Como consequência da criação da A3P, surge o Plano de Gestão de Logística Sustentável (PLS), com o intuito de tornar as ações da administração e dos órgãos públicos envolvidos mais sustentáveis (FRANCO et al., 2017). De acordo com a

Instrução Normativa nº 10, de 12 de novembro de 2012, os PLS são ferramentas de planejamento com objetivos e responsabilidades definidas, ações, metas, prazos de execução e mecanismos de monitoramento e avaliação, que permitem ao órgão ou entidade estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos, na administração pública (MPDG, 2016).

Demais estratégias foram desenvolvidas para minimizar os impactos gerados pelo Setor Público, para isso o Programa de Conservação de Energia foi criado para combater o desperdício de energia elétrica, bem como a redução das despesas com o insumo. Assim, a eficiência energética surge como uma essencial ferramenta de controle dos gastos, mas que ainda carece de maior força política para tornar o programa cada vez mais eficaz.

Destaca-se também a política energética que tem um papel primordial, sendo objeto de uma meta dentro do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 7 afirma “garantir a acesso a energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos”, composta por 5 metas e 6 indicadores (ONU, 2015). Tendo surgido à proeminência da questão, os ODS mais relevantes para a resiliência energética apontam para o alcance de metas universais de energia sustentável, impulsionando recursos limpos, aumentando a eficiência energética, promovendo esquemas de cooperação internacional para impulsionar a pesquisa e tecnologia para energias renováveis e infraestrutura e tecnologia modernas (GATTO; DRAGO, 2020).

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desse estudo se estruturou de forma descritiva exploratória e analítica (GIL, 2010), através de um sequenciamento de pesquisa documental por meio dos Planos de Gestão de Logística Sustentável dos Tribunais de Justiça da região nordeste: Alagoas (TJ-AL), Bahia (TJ-BA), Ceará (TJ-CE), Maranhão (TJ-MA), Paraíba (TJ-PB), Pernambuco (TJ-PE), Piauí (TJ-PI), Rio Grande do Norte (TJ-RN), Sergipe (TJ-SE) do Brasil. A primeira parte teve como objetivo realizar uma revisão sobre o tema, tendo por base os seguintes passos: (i) abordagem sobre a temática de eficiência energética e o PLS de cada instituição com direcionamento para o indicador consumo de energia elétrica por área construída (consumo de energia elétrica relativo); (ii) levantamento dos dados do consumo de energia elétrica relativo no período de 2015 a 2019; (iii) cálculo dos indicadores de eficiência energética parcial no período de 2016 a 2019, tomando como base o ano anterior ao analisado, assim a determinação da eficiência energética é dada pela relação do consumo de energia elétrica relativo do ano analisado pelo consumo de energia elétrica relativo do ano antecedente.

Os dados utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram extraídos do Painel do PLS do Conselho Nacional de Justiça do Poder Judiciário (CNJ-PJ) (https://paineis.cnj.jus.br/QvAJAXZfc/opensdoc.htm?document=qvw_l%5Cpainelcnj.qvw&host=QVS%40neodimio03&anonymous=true), em seguida transferido para uma planilha e analisados conforme o método de Sistema de Medição de Desempenho (SMD). Diversos autores definem o SMD como medição de desempenho que retrata a eficiência operacional, sendo um conjunto de processos, métodos e ferramentas que podem ser avaliadas e revisadas, através de níveis de organização, gerenciamento, implementação de estratégia, visando à conquista das metas e objetivos previamente estipulados (SANTOS 1975; SOARES, 1999; CALLADO et al., 2008; FRANCO-SANTOS et al., 2012; MORAES, 2017; GHOLAMI; ZIAEE, 2017; PINHEIRO et al., 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), que elabora e publica os resultados do Balanço Energético Nacional (BEN), em 2019, o consumo de eletricidade dos órgãos públicos no Brasil foi de 0,9 TWh, resultando no aumento equivalente a 2,1% do consumo, considerando o uso de energia renovável 46,1% utilizado no país, já o consumo de energia elétrica na região nordeste em 2019, foi de 83,59 TWh e no primeiro semestre de 2020, resultou em 46,25 TWh (EPE, 2020). Isso implica em alternativas e ações de eficiência energética que podem contribuir para diminuir o consumo e o desperdício de energia. Para Lund (2007) o desenvolvimento energético sustentável envolve três grandes mudanças tecnológicas: a poupança de energia a melhoria da eficiência na produção de energia e a substituição de combustíveis fósseis por diversas fontes renováveis.

4.1 Eficiência energética do Setor Público

Para o indicador consumo relativo de energia elétrica (kWh/m²), observa-se que no ano de 2016, o TJ-BA obteve um resultado significativo na diminuição de fonte energética, correspondente a 69,14%, sendo nesse ano o Estado com maior eficiência e efetividade. Em seguida o TJ-PI, com 24,35%, o TJ-PE, com 16,67%, e o TJ-RN, com 4,92% também se destacaram nos resultados. Os demais Tribunais de Justiça Estaduais apresentaram resultados negativos, ou seja, o consumo de energia elétrica aumentou em relação ao ano anterior, 2015. Ainda, ficou notório que o TJ-PB teve um aumento excessivo, crescendo em 60,00% o consumo de energia no ano de 2016 (Tabela 1).

Tabela 1. Ranking de eficiência dos Tribunais de Justiça da região nordeste do consumo relativo de energia elétrica através do Painel PLS do CNJ-PJ

	2016		2017		2018		2019	
1º	TJ-BA	69,14%	TJ-PE	13,33%	TJ-AL	53,93%	TJ-CE	60,00%
2º	TJ-PI	24,35%	TJ-PB	7,50%	TJ-BA	33,33%	TJ-PE	27,27%
3º	TJ-PE	16,67%	TJ-SE	6,98%	TJ-PE	15,38%	TJ-MA	5,88%
4º	TJ-RN	4,92%	TJ-MA	5,56%	TJ-PI	9,52%	TJ-PB	2,78%
5º	TJ-SE	-4,88%	TJ-PI	3,45%	TJ-RN	5,08%	TJ-BA	0,00%
6º	TJ-MA	-8,00%	TJ-CE	2,33%	TJ-SE	5,00%	TJ-RN	-1,79%
7º	TJ-CE	-13,16%	TJ-AL	0,00%	TJ-CE	4,76%	TJ-AL	-2,44%
8º	TJ-AL	-15,58%	TJ-RN	-1,72%	TJ-PB	2,70%	TJ-SE	-5,26%
9º	TJ-PB	-60,00%	TJ-BA	-92,00%	TJ-MA	0,00%	TJ-PI	-21,05%

Já em 2017, o TJ-PE continuou com resultados positivos, assim é possível reconhecer que as estratégias e as ações voltadas para as práticas de sustentabilidade da instituição tem sido benéficas para alcança o desenvolvimento sustentável. Outros cinco Tribunais também apresentaram indicadores positivos no ano de 2017, sendo em ordem decrescente: TJ-PB, TJ-SE, TJ-MA, TJ-PI e TJ-CE. Já o TJ-AL não obteve nem aumento e nem redução no consumo de energia elétrica, logo, o indicador foi igual a 0,00%. Os demais, TJ-RN e TJ-BA, tiveram aumento no consumo de energia elétrica, consequentemente, os indicadores apresentaram resultados negativos. É importante

destacar que o TJ-BA quase que dobrou o consumo de energia, atingindo um indicador negativo de 92,00%.

Quanto ao ano de 2018, todos os TJ, com exceção do TJ-MA apresentou o mesmo consumo de energia do ano anterior, tiveram indicadores de positivos. O TJ-AL destaca-se por apresentar um resultado expressivo de 53,93%, em comparação com as demais instituições de cada Estado. Em seguida, o TJ-BA, com 33,33%, e o TJ-PE, com percentual de 15,38%, também apresentaram uma redução de consumo.

Com relação à eficiência do ano de 2019, observa-se que o TJ-CE resultou em maior eficiência e efetividade nos dados analisados, equivalente a 60%. Já o TJ-PE obteve um percentual de 27,27% de redução energia e o TJ-MA apresentou uma eficiência de 5,88%. O TJ-MA e o TJ-PB também obtiveram indicadores positivos, mas com baixa magnitude. O restante das instituições o TJ-BA, TJ-RN, TJ-AL, TJ-SE e TJ-PI, tiveram aumento no consumo, resultando em indicador negativo, ou não apresentaram redução.

Percebe-se que os TJ-PE e TJ-CE são os únicos que, aparentemente, possuíram um plano com metas que obteve um bom desempenho, visto que apresentaram aumento gradual do indicador. O TJ-AL e o TJ-BA apresentam variações muito discrepantes ano a ano, o que aponta para uma falha nas medidas adotadas. Os demais estão com níveis de indicadores baixos, oscilando em alguns casos entre positivo e negativo.

O TJ-PE vem desenvolvendo e dando prosseguimento a ações que justificam a missão ambiental antes da criação do PLS, em 2016 a instituição iniciou o PLS. Com isso, o órgão busca implantar programas e ações de responsabilidade socioambiental, as propostas principais são planejar e acompanhar as ações conjuntas com o objetivo de promover a preservação e recuperação do meio ambiente. Os bons resultados apresentados pelo TJ-PE são consequência das medidas tomadas, como por exemplo, substituição de luminárias por LED, campanhas educativas para diminuição de consumo, trocas de equipamentos eletroeletrônicos e avaliação de possibilidade de adequação do horário de trabalho do judiciário entre alternativas, impulsionando a redução do consumo de energia elétrica, constituindo um importante avanço no âmbito institucional (PLS TJ-PE, 2019).

Já o TJ-CE criou em 2015 o PLS com a missão de promover a conscientização e de implementar ações efetivas na Justiça Estadual. Esta instituição está adotando medidas de sustentabilidade nos processos de aquisições de bens e serviços, como a utilização de placas solares instaladas nas cobertas de dois fóruns (Itapipoca e Russas). As ações de desenvolvimento sustentável criadas pelo TJ-CE levaram o Judiciário Estadual a receber o “Selo TCE Ceará Sustentável” no ano de 2019 (TJ-CE, 2019), destacando-se em primeiro no ranking de redução de consumo relativo de energia. O “Selo TCE Ceará Sustentável” está na primeira edição. Foram agraciados os órgãos que apresentam ações, projetos, práticas ou campanhas alinhados com um ou mais ODS, descritos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). O TJ-CE está buscando otimizar recursos financeiros e contribuir para preservação ambiental, sempre procurando a implementação de novas tecnologias nos projetos do órgão.

Ademais, em 2020, o TJ-BA dentre as temáticas abordadas pela instituição, foi apresentada a possibilidade da implantação de energia fotovoltaica na sede do TJ-BA, em Salvador. Além disso, foi abordada a importância de campanhas de conscientização para redução de gastos com água, energia elétrica e insumos utilizados na Corte baiana (TJ-BA, 2020). Devido às ações de sustentabilidade desenvolvidas pelo TJ-BA em 2016, a instituição se destacou em apresentar um dos melhores desempenhos. Contudo, em 2017, apresentou o pior desempenho, mas, em seguida, no ano de 2018, os resultados foram relevantes, obtendo a segunda colocação em práticas sustentáveis.

Fica evidente que, com as noções quantitativas de eficiência energética, é possível estabelecer parâmetros que possam contribuir para melhoria dos resultados, adotando medidas que visem às mudanças comportamentais da população em geral e às condutas de empresas e do Estado, quanto à regulamentação de certas práticas que contribuam positivamente para a melhoria do quadro de consumo e geração de energia.

Assim, o desenvolvimento de ferramentas e a avaliação do consumo eficiente, além da padronização de equipamentos, da substituição de lâmpadas, das alternativas para climatização, pode auxiliar no alcance da eficiência energética.

CONCLUSÃO

Os Planos de Gestão de Logística Sustentável dos Tribunais de Justiça da Região Nordeste utilizados como ferramenta de planejamento proporcionaram aos órgãos o estabelecimento de práticas de sustentabilidade e racionalização dos gastos e processos na Administração Pública com energia elétrica.

Através do indicador consumo relativo de energia elétrica, foi possível observar, a partir do ano de 2016, houve mudanças significativas em relação ao consumo. O Tribunal de Justiça de Pernambuco obteve destaque com redução em todos os anos, e os Tribunais do Ceará, Paraíba e Maranhão tiveram reduções no consumo a partir de 2017. Já o Tribunal de Justiça do Piauí conseguiu reduzir em 2016, 2017 e 2018 e teve um aumento de 21% no consumo em 2019.

Alguns resultados pontuais e bastante significativos na diminuição de fonte energética, atingiram até 69,14 % em 2016, 53,93% em 2018 e 60 % em 2019 de redução, referentes as Tribunais da Bahia, Alagoas e Ceará, respectivamente. Resultados negativos expressivos também foram observados, ou seja, o consumo de energia elétrica aumentou em relação ao ano anterior, como por exemplo os Tribunais da Bahia e Paraíba com acréscimo de 60% e 92%, respectivamente.

O consumo final de energia elétrica apresentado por esses órgãos públicos indicam que qualquer medida que promova a eficiência energética apresentará impactos positivos bastantes relevantes, principalmente em relação à de conservação de energia.

Com as noções de eficiência energética, é possível estabelecer parâmetros para medidas que possam contribuir para isso. Tais medidas passam por processos que visem às mudanças comportamentais da população em geral e às condutas de empresas e do Estado quanto à regulamentação de certas práticas que possam contribuir positivamente para a melhoria do quadro de consumo e geração de energia.

REFERÊNCIA

ALMEIDA, D. F. **A utilização do Plano de Gestão de Logística Sustentável como ferramenta de proteção e promoção da saúde ambiental**. 2017. 138f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2017

BEN – Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese/ Ano Base 2019**. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 18 set. 2020

BRASIL. Decreto nº 3.330, de 06 de janeiro de 2000. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 06 jan. 2000

BRASIL. Decreto n.º 4.131, de 14 de fevereiro de 2002. **Diário Oficial da União**. Seção 1 Brasília, DF, 14 fev. 2002

ELOI, S. S.; SILVA, T. F. A.; GUEDES, F.N. J.; GARCIA DE PAULA, B. Eficiência energética e realização de pré-diagnóstico energético em instituições de ensino de João Monlevade – MG. **Research, Society and Development**. v.8, p.1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i2.762>

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas). 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>> Acesso em: 18 set. 2020

FRANCO-SANTOS, M.; LUCIANETTI, L.; BOURNE, M. Contemporar performance measurement systems: A review of their consequences and a framework for research. **Management Accounting Research**. v.23, p.79-119, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mar.2012.04.001>

GATTO, A.; DRAGO, C. Measuring and modeling energy resilience. **Ecological Economics**. v.172, p.10657, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106527>

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010

GHOLAMI, A.; ZIAEE, M. Development of a performance measurement system to choose the most efficient programs, the case of the Mashhad transportation system. **Transportation Research Part A**. v.106, p. 261-277, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.013>

HADIAN, S.; MADANI, K.. A system of systems approach to energy sustainability assessment: Are all renewables really green?. **Ecological Indicators**, v.52, p.194-206, 2015

MORAES, R.R.; ARAÚJO, J. S.; PETROLA, S.; VIANNA, K.; GONÇALVES, E. Gestão estratégica organizacional a partir do Balanced Scorecard: Um estudo de caso no Tribunal Regional Eleitoral do Pará. **Revista de Administração e Contabilidade-RAC**, v. 4, n. 7, 2017

MOREIRA LAGE, W.; MORAIS LAGE, M. H.; MORAIS LAGE, B. L. Aplicação da gestão energética como ferramenta de redução estratégica de custos nas escolas públicas municipais de Belo Horizonte/MG. Anais. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2015

MPDG - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. Plano de Gestão de

Logística Sustentável (PLS) 2016-2019. 2016.**Enap**, Brasília,DF,Junho, 2016 Disponível em: <https://www.enap.gov.br/documentos/ações_e.../Plano_de_Gestão_Logística.pdf> Acesso em: 19 abr. 2019

MPOG - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. Instrução Normativa n.º 10, de 12 de novembro de 2012. Estabelece regras para a elaboração dos Planos de Gestão de Logística Sustentável. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 nov. 2012

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Washington: ONU. 2015

OWUSU, P.; ASUMADU-SARKODIE, S.. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. **Cogent Engineering**, v.3, n.1, 2016

PANESI, A. R. Q. Fundamentos de Eficiência Energética. Edit. Ensino Profissional, 2006

PINHEIRO, G. H.; GALLI, L.C.L.A.; PRATES, G.A.; SAVI, A. F. Sistema de medição de desempenho como diferencial estratégico na área de *facilities management*: estudo aplicado em uma organização do setor sucroenergético. **Brazilian Journal of Business**. v.2, n.2, p.639-658, 2020

PLS TJ-PE – Plano de Gestão de Logística Sustentável do Poder Judiciário do Tribunal de Justiça de Pernambuco. 2019. Disponível em: <<http://www.tjpe.jus.br/documents/90471/1192531/Plano+de+Log%C3%ADstica+Sustent%C3%A1vel+do+Poder+Judici%C3%A1rio+de+Pernambuco+2018-2019.pdf/>> Acesso em: 21 set. 2020.

PNEF – Plano Nacional de Eficiência Energética. **Premissas Diretrizes básicas**. Ministério de Minas e Energia. 2011

REN - Renewables 2016 global status report. REN21, 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lorea.pdf> Acesso em: 10 set. 2020

SANTOS, R. Administração de salários na empresa. São Paulo, p.119, 1975

SOARES, T.D L.M.; RATTON, C. Medição de desempenho e estratégias orientadas para o cliente: resultados de uma pesquisa de empresas líderes no Brasil. **Revista de Administração de Empresas**, v. 39, n. 4, p. 46-59, 1999

TJ-CE – Tribunal de Justiça do Estado do Ceará. **O Tribunal de Justiça é agraciado com o selo tce ceara sustentável**. 2019. Disponível em: <<https://www.tjce.jus.br/noticias/tribunal-de-justica-e-agraciado-com-o-selo-tce-ceara-sustentavel/>> Acesso em: 20 set. 2020

TJ-BA – Tribunal de Justiça do Estado da Bahia. **Núcleo Socioambiental Do Poder Judiciário Da Bahia debate estratégias de ação em reunião por videoconferência.** 2020. Disponível em: < <http://www5.tjba.jus.br/portal/nucleo-socioambiental-do-poder-judiciario-da-bahia-debate-estrategias-de-acao-em-reuniao-por-videoconferencia/>>
Acesso em: 20 set. 2020.

ESTIMATIVA PRELIMINAR DOS POTENCIAIS ENERGÉTICOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E BIOENERGÉTICOS DE MONOCULTURAS E EFLUENTES DO MUNICÍPIO DE TRAIPU-AL UTILIZANDO A FERRAMENTA LANDGEM

Fellipe Eduardo Soares Souza Barbosa¹
Centro Universitário Tiradentes, fellipetraipu@hotmail.com

Resumo:

Foram analisados os potenciais energéticos de produção de metano no município de Traipu em Alagoas, através da ferramenta Landgem, na produção de monocultura de milho, na geração de resíduos sólidos urbanos, supondo a viabilidade de produção de metano em um aterro hipotético, e na produção de efluente doméstico. A metodologia utilizada foi a proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1996; 2006) além de dados e análise bibliográfica do IBGE (2010) e do Plano de Saneamento do Município.

Palavras chave: *Potencial Bioenergético, Landgem, IPCC*

1. Introdução

Para a manutenção do estilo de vida do século XXI, pouca coisa é mais fundamental do que a energia. Desde os primórdios da civilização a energia é fundamental ao desenvolvimento, seja ela conquistada por calor, tração humana, tração animal ou via combustíveis fósseis e mais recentemente os renováveis. Atualmente vivemos uma emergência global da pauta da sustentabilidade e cada vez mais as fontes de energia renovável ganham espaço no mercado com o objetivo de preservação da natureza e diminuição dos Gases de Efeito Estufas (GEE's) que vem ao longo dos últimos dois séculos agravando bruscas mudanças nos diversos processos biogeoquímico-físicos do planeta como é o caso das mudanças climáticas.

De acordo com o IPCC (2001) houve uma variação de 0,6°C a 0,2°C nos últimos 200 anos devido principalmente ao aumento na concentração de gases de efeito estufa emitidos na natureza por ações antrópicas como o aumento vertiginoso da industrialização, o uso de combustíveis fósseis, mas também o aumento demográfico, a expansão da fronteira agrícola e a diminuição da cobertura florestal. A figura a seguir representa essa variação na temperatura média global.

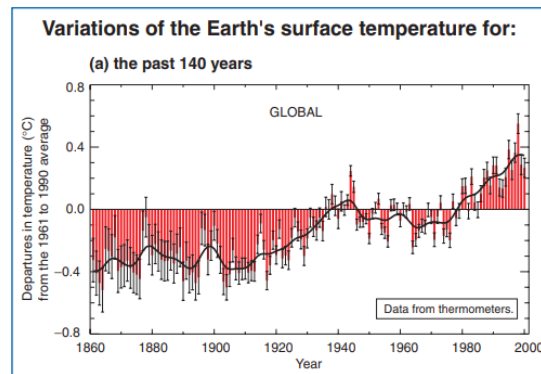


Figura 1: Variação da Temperatura da Terra entre 1860 e 2000 (IPCC, 2001)

Com o avanço da ciência das mudanças climáticas avança também as medidas de mitigação e de freio a essa variação na temperatura global, como as políticas de sequestro de carbono, os mercados e certificados de carbono e os incentivos a fontes de energia renovável em detrimento às fontes fósseis.

Uma das fontes de energia que surge como alternativa às fontes fósseis é o Biogás que, segundo a CETESB (s.d), refere-se ao gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica, podendo ser gerado através da produção de metano do lixo em aterros, da biomassa de resíduos orgânicos, domésticos ou agrários, em pântanos, e de efluentes como o esgoto doméstico. A utilização de biogás para produção de energia em aterros e estações de tratamento de efluentes se mostra uma importante medida na estabilização de lodo e de emissão de metano na atmosfera.

Quanto a produção de energia por biomassa de monoculturas, segundo Fuonke (2014) apud Atlas de Bioenergia de Alagoas (2015), o estado possui um potencial de produção energética com a biomassa das principais monoculturas do estado de 207 MW/ano. Isso posiciona o estado como 4º em potencial bioenergético no Nordeste, a frente de seus vizinhos Sergipe, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

Boa parcela desse potencial no estado é referente a participação da monocultura de cana de açúcar muito presente no estado em detrimento ao milho, por exemplo. Em contrapartida, Milho foi a monocultura escolhida neste estudo preliminar para Traipu por ser a monocultura mais predominante no município (IBGE, 2010).

Este artigo objetiva estimar a produção de metano em um aterro hipotético no município de Traipu, em Alagoas, onde a produção de lixo urbano, a vazão doméstica de efluentes e a monocultura predominante do município (milho) serão utilizados para a mensuração do potencial do município na produção desse biogás.

2. Metodologia

Segundo IPCC (2006) apud Humberto (2017), uma possível metodologia de identificação do potencial de geração de metano (L_0) dá-se através da seguinte equação:

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times \frac{16}{12} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

L_0 : potencial de geração de metano do lixo (Gg de CH_4 /Gg de RSU);

FCM : fator de correção de metano (%); (baseado na destinação final do resíduo)

COD : carbono orgânico degradável (Gg de C/Gg de RSU);

COD_f : fração de COD dissociada (%);

F : fração em volume de metano (%);

$\frac{16}{12}$: fator de conversão de carbono em metano (Gg de CH_4 /Gg de C).

$FCM = 1$

COD_f é 0,5

$F = 0,5$

Referente as variáveis, FCM , na condição de fator de correção do metano é baseado na destinação final do resíduo, se ele é devidamente gerenciado ou não, podendo variar de 0,4 (resíduo não gerenciado com até 5m de resíduo) a 1 (resíduo gerenciado) (IPCC, 1996). No caso de Traipu estipulou-se que a variável adequada é 1 tendo em vista que, segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (ALAGOAS, 2014) o município faz o gerenciamento de todo o resíduo.

Mas para utilização da equação acima, torna-se necessário encontrar o Carbono Orgânico Degradável (COD) sendo este o carbono orgânico dos resíduos que é acessível à decomposição bioquímica. O COD é estimado com base na composição de resíduos e pode ser calculado a partir de uma média ponderada do teor de carbono de vários componentes degradáveis (tipos de resíduos / materiais) na geração de resíduos (IPCC, 2006). Sendo assim, foi realizada pesquisa bibliográfica para identificar a produção per capita de resíduos no município.

Para o cálculo do COD foi utilizada a Equação a seguir:

$$COD = \sum(COD_i \times W_i) \quad (eq.2)$$

COD : Fração de carbono orgânico degradável no lixo

COD_i : Fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo i

W_i : Fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo

O valor do COD_i varia de acordo com a composição do material que será depositado no aterro conforme tabela a seguir.

Tabela 01– Lista dos componentes.

Componente	COD (% em massa)
A) Papel/Papelão	40
B) Resíduos de parques e jardins	17
C) Restos de alimento	15
D) Têxteis	40
E) Madeira	30

Fonte: Humberto, adaptado de IPCC (2006).

A fração do tipo de resíduo (W_i) depende dos resultados da análise da composição gravimétrica do resíduo. Ou seja:

$$COD = (0,40 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,40 \times D) + (0,30 \times E) \quad (\text{eq.3})$$

Já sobre a ferramenta LandGem foi utilizada sua versão 3.02 demonstrada a seguir:

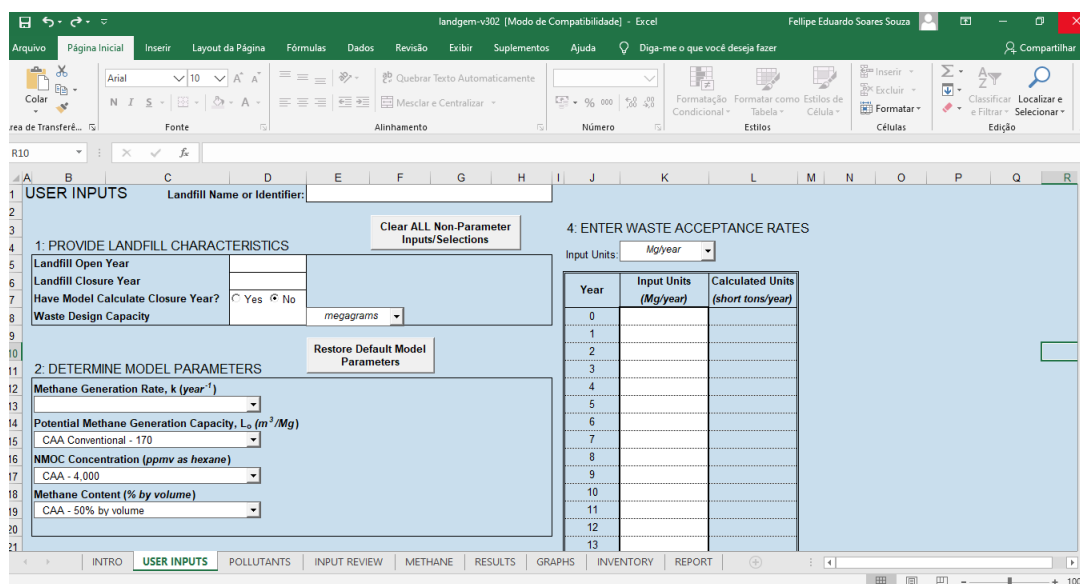


Figura: Ferramenta LandGem em sua versão 3.02

Em relação a metodologia utilizada para mensurar a produção energética com resíduos agrícolas foi utilizada uma equação apropriada para monocultura de milho extraída do Atlas de Bioenergia do Estado (2015). Os dados referentes a produção traipuense no ultimo censo do IBGE mostraram que esta é a monocultura predominante no município e sendo assim, possui a maior taxa de geração de resíduos agrícolas. A seguir a equação utilizada:

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{[(\text{milho} * 0,3 \text{ palha}) * 3570 \text{ kcal/kg} * 0,15]}{860 * 8322} \quad (\text{eq.4})$$

Onde:

0.3 palha: refere-se aos 30% de resíduos de milho referente a palha que seria utilizada como biomassa

3570: refere-se ao poder calorífico inferior (PCI) da palha de milho dado em kcal/kg

860: é o fator de conversão para transformação de kcal/kg para kWh/kg.

A fórmula utilizada para o cálculo de crescimento médio populacional foi a seguinte:

$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_f}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (\text{eq.5})$$

Fonte: (Ripsa, sd.)

Onde:

r: Taxa de crescimento

n: período em anos

Pf: último ano

P0: ano inicial

Referente ao cálculo de produção de metano nos efluentes domésticos do município, foi utilizada a seguinte equação extraída do Companhia Ambiental do Estado de Alagoas (CETESB):

$$\text{Metano}(\text{ton} \cdot \text{CH}_4/\text{ano}) = \text{Ef. Trat.} \cdot \text{DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{Efluente} \cdot \eta \cdot \text{MFEM} - R \quad (\text{eq.6})$$

Onde:

Ef. Trat= Quantidade de efluente tratado (em m³)

Taxa DBO₅ = taxa de demanda bioquímica de oxigênio (tonDBO₅/m³ ao ano)

η = Eficiência do biodigestor (fração adimensional)

MFEM = Máximo Fator de Emissão de Metano (fração adimensional)

R = Quantidade de metano recuperado (kgCH₄/ano)

De acordo com dados do CETESB (1998), a geração de carga orgânica para a população do Brasil equivale a 0,05 kgDBO₅ p/hb ao dia, enquanto que, segundo a norma ABNT NBR 7229/93 são utilizados, cerca de 160 L/hab.dia de água nas regiões urbanas, o que equivale a 0,312 kgDBO₅/m³ de esgoto gerado. Sendo assim, foi considerado para os cálculos o valor em toneladas de 0,000312 tonDBO₅/m³ de esgoto.

Quanto a eficiência de biodigestores, adotou-se uma eficiência de 50% para os biodigestores anaeróbios com base na eficiência média desses equipamentos. Para o máximo fator de emissão de metano o valor adotado é igual ao valor sugerido pelo Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) de 0,25 tonCH₄/tonDBO₅. Por fim, a quantidade de metano recuperado foi considerada insignificante para mensuração.

3. Dados do Município

Dada a necessidade de composição e geração gravimétrica de resíduos do município de Traipu para cálculo da Fração de Carbono Orgânico Degradável (COD) segue tabela de caracterização gravimétrica dos municípios da bacia do rio São Francisco: (IBGE 2010):

Quadro 13.8 - Caracterização gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos de alguns municípios inseridos na bacia do rio São Francisco.

Região	Município	Metal (%)	Papel e papelão (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Matéria Orgânica (%)	Outros (%)
Agreste	Arapiraca	5,57	10,82	18,36	5,9	42,62	16,72
	Craibas	1,53	8,18	7,67	3,07	50,9	28,64
	Palmeira dos Índios	3,27	6,54	12,75	1,63	52,29	25,53
	Traipu	5,79	13,6	17,63	2,27	39,29	21,41

Fonte: IBGE 2010

De acordo com o IBGE (2010) apud Plano Estadual de Resíduos Sólidos (2014), o município possui 80,52% de cobertura de coleta urbana de resíduos ante a apenas 1,84% de cobertura rural. Isso demonstra um potencial altamente desperdiçado no que tange a coleta e o reaproveitamento desses resíduos, além de abrir a hipótese de descarte irregular ao longo da zona rural do município.

No que diz respeito à população, ainda segundo IBGE (2010), o município possuirá em 2019 população estimada de 27.715 habitantes. Assim, foi utilizada a fórmula de Taxa de Crescimento Médio de uma População comparando o crescimento populacional do município em 2010 (ano do último censo realizado) com a população estimada para 2019. Ao encontrar a taxa de crescimento do município (2,54% ao ano) foi tabelado o crescimento populacional estimado em 20 anos (2019-2039).

4. Resultados preliminares

4.1 Potencial energético do biogás em resíduos sólidos

Utilizando os dados referentes a população foram encontrados, conforme mostrado na tabela a seguir, os seguintes resultados quanto a variação populacional ao longo dos 20 anos do aterro hipotético:

Ano	Projeção Populacional	Taxa de crescimento populacional
2019	27.115	2.54%
2020	27.804	2.54%
2021	28.492	2.54%
2022	29.181	2.54%
2023	29.870	2.54%
2024	30.559	2.54%
2025	31.247	2.54%
2026	31.936	2.54%
2027	32.625	2.54%
2028	33.313	2.54%
2029	34.002	2.54%
2030	34.691	2.54%
2031	35.379	2.54%
2032	36.068	2.54%
2033	36.715	2.54%
2034	37.445	2.54%
2035	38.134	2.54%
2036	38.823	2.54%
2037	39.512	2.54%
2038	40.200	2.54%
2039	40.889	2.54%

Com base nos resultados obtidos anteriormente, agora foi calculada a taxa de geração de resíduos com o crescimento populacional esperado. Em seguida foi lançado no LandGem para identificar a produção em mg/ano de metano. Os resultados obtidos foram os presentes na seguinte tabela:

Taxa de geração de resíduos (kg/hab/ao dia)	Ano	Projeção Populacional	Geração de Resíduos Sólidos (T/ano)	Unidades calculadas (Mg /ano)
0,52	2019	27.115	14099,8	12.818
0,52	2020	27.804	14458,08	13.144
0,52	2021	28.492	14815,84	13.469
0,52	2022	29.181	15174,12	13.795
0,52	2023	29.870	15532,4	14.120
0,52	2024	30.559	15890,68	14.446
0,52	2025	31.247	16248,44	14.771
0,52	2026	31.936	16606,72	15.097
0,52	2027	32.625	16965	15.423
0,52	2028	33.313	17322,76	15.748
0,52	2029	34.002	17681,04	16.074
0,52	2030	34.691	18039,32	16.399
0,52	2031	35.379	18397,08	16.725
0,52	2032	36.068	18755,36	17.050
0,52	2033	36.715	19091,8	17.356
0,52	2034	37.445	19471,4	17.701
0,52	2035	38.134	19829,68	18.027
0,52	2036	38.823	20187,96	18.353
0,52	2037	39.512	20546,24	18.678
0,52	2038	40.200	20904	19.004
0,52	2039	40.889	21262,28	19.329

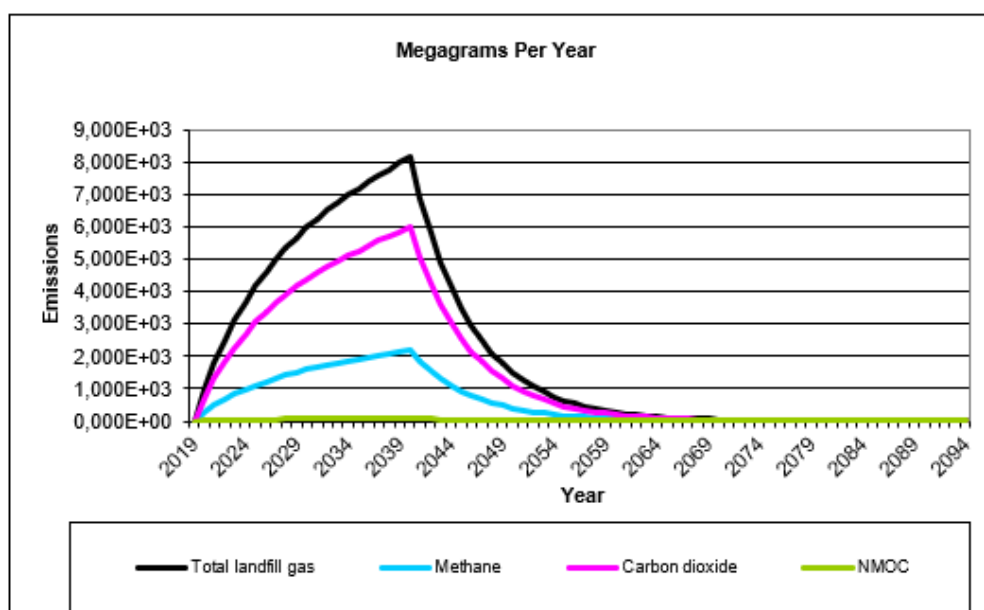


Gráfico 1: Megagramas de poluentes ao longo da série histórica

Year	Total landfill gas			Methane		
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)
2019	0	0	0	0	0	0
2020	9,439E+02	7,558E+05	5,079E+01	2,521E+02	3,779E+05	2,539E+01
2021	1,764E+03	1,413E+06	9,492E+01	4,713E+02	7,064E+05	4,746E+01
2022	2,480E+03	1,986E+06	1,334E+02	6,625E+02	9,931E+05	6,672E+01
2023	3,108E+03	2,489E+06	1,672E+02	8,303E+02	1,245E+06	8,362E+01
2024	3,662E+03	2,933E+06	1,970E+02	9,782E+02	1,466E+06	9,852E+01
2025	4,154E+03	3,326E+06	2,235E+02	1,109E+03	1,663E+06	1,117E+02
2026	4,592E+03	3,677E+06	2,471E+02	1,227E+03	1,839E+06	1,235E+02
2027	4,986E+03	3,992E+06	2,682E+02	1,332E+03	1,996E+06	1,341E+02
2028	5,342E+03	4,278E+06	2,874E+02	1,427E+03	2,139E+06	1,437E+02
2029	5,667E+03	4,538E+06	3,049E+02	1,514E+03	2,269E+06	1,524E+02
2030	5,964E+03	4,776E+06	3,209E+02	1,593E+03	2,388E+06	1,604E+02
2031	6,240E+03	4,996E+06	3,357E+02	1,667E+03	2,498E+06	1,679E+02
2032	6,496E+03	5,201E+06	3,495E+02	1,735E+03	2,601E+06	1,747E+02
2033	6,736E+03	5,394E+06	3,624E+02	1,799E+03	2,697E+06	1,812E+02
2034	6,961E+03	5,574E+06	3,745E+02	1,859E+03	2,787E+06	1,873E+02
2035	7,176E+03	5,746E+06	3,861E+02	1,917E+03	2,873E+06	1,930E+02
2036	7,382E+03	5,911E+06	3,972E+02	1,972E+03	2,956E+06	1,986E+02
2037	7,579E+03	6,069E+06	4,078E+02	2,025E+03	3,035E+06	2,039E+02
2038	7,770E+03	6,222E+06	4,180E+02	2,075E+03	3,111E+06	2,090E+02
2039	7,955E+03	6,370E+06	4,280E+02	2,125E+03	3,185E+06	2,140E+02

4.2 Potencial energético da monocultura de milho forrageiro

Tendo Traipu, produção de 4.624,56 ton/ano em lavouras temporárias (IBGE, 2010) o resultado obtido foi de uma geração de 103,806 MW/ano.

4.3 Potencial energético de efluentes domésticos

Tendo o município de Traipu, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) uma distribuição de 850m³ de água, a produção de metano com efluente doméstico no município é de cerca de 0,03315 toneladas ao ano.

5. Conclusões

Sobre a produção de biomassa de milho, Traipu apresenta um resultado bastante significativo e a utilização dessa fonte de energia poderia se mostrar viável a vilarejos e distritos da zona rural onde o fornecimento dessa biomassa subsidiaria o próprio processo produtor. Por outro lado, o uso do metano do biogás liberado na produção de efluente doméstico e na geração de resíduos sólidos urbanos no município é, respectivamente, insignificante e com pouca viabilidade econômica, principalmente tendo em vista que no caso dos resíduos, desde o encerramento do lixão com o PERS e o respectivo envio dos resíduos sólidos urbanos do município para o Centro de Tratamento de Resíduos de Craíbas, a possibilidade de implantação do aterro teorizado nesta pesquisa não se apresenta como um horizonte viável.

6. Referências Bibliográficas

IPCC. Climate Changes. Scientific Basis. 2001. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf>

IBGE. Cidades e Estados. disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/traipu.html>> acessado em 01/02/2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Biogás. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>> acessado em 12/01/2020.

FUONKE, M.H.C., 2014, Levantamento do potencial energético proveniente de biomassa residual da agropecuária na Região Nordeste do Brasil, Relatório Final de TCC apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas, 2014.

HUMBERTO, Júlia Santos. Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos das Regiões Metropolitana, Litoral Norte e Zona da Mata do Estado de Alagoas. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2017.

BRASIL. Rede Interagencial de Informações para Saúde. Disponível em > http://www.ripsa.org.br/fichasIDB/pdf/ficha_A.3.pdf< acessado em 01/02/2020.

ALAGOAS. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas (PERS). Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2015, 1ª ed. P.27. Disponível em >http://residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/205_ext_arquivo.pdf<

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Dados de 2008. Disponível em ><https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/traipu/pesquisa/30/30051>< acessado em 31/01/2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229/1993**. Projeto, construção e Operação de sistemas de tanques sépticos. Disponível em><http://www.ct.ufpb.br/~elis/SaneamentoAmbiental/ABNTNBR7229.pdf><

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA DE BIODIGESTOR CHINÊS COMO POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA: ESTADO DA ARTE

Guilherme Rios Carneiro ¹, Felipe Siqueira², Ana Manoela de Castro Santos ³ e Bianca Lima e Santos Figueiredo⁴

¹Bacharelado em Engenharia Civil/UNEF, Feira de Santana,
guirioscarneiro@gmail.com

² Bacharelado em Engenharia Civil/UNEF, Feira de Santana,
felipe.siqueira.s@hotmail.com

³ Engenheira Civil/UNEF, Feira de Santana, eng.manoelacastro@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Civil e Ambiental/UEFS, Bacharel em Ciências
Biológicas/UCSal, limabianca@yahoo.com.br

Resumo

O crescimento populacional, atrelado a falta de investimentos públicos, acabou por acentuar problemas sociais em comunidades. Dois dos maiores problemas gerados são o acesso ao Saneamento Básico de forma integral à população e a disposição de Energia Elétrica onde, no que diz respeito à destinação dos efluentes, o país possui instalações precárias, indevidas ou até mesmo inexistentes, sendo estes dois últimos mais encontrados em comunidades de baixa renda. Assim sendo, tecnologias vêm sendo estudadas de forma a darem destinação adequada aos efluentes gerados e permitindo o acesso à energia elétrica, trazendo assim benefícios para a população. Neste estudo a tecnologia escolhida foi o Biodigestor de modelo Chinês, ou apenas Biodigestor Chinês, que através de efluentes produz biogás utilizado posteriormente na geração de energia elétrica de forma limpa e eficaz. De forma a embasar os conhecimentos teóricos e apresentar resultados concretos, inicialmente foi realizado um estudo por meio da metodologia denominada Estado da Arte. Desta forma pode-se concluir que o uso do Biodigestor Chinês é viável, principalmente em regiões tropicais do país, entretanto sua construção exige mão de obra especializada e investimentos públicos que permitam sua implantação em comunidades.

Palavras-chave: Biodigestor Chinês. Saneamento Básico, Biogás.

1. Introdução

Com o crescimento das cidades no país, surgiu a necessidade de um planejamento urbano focado na destinação de resíduos gerados pelo ser humano. Desta forma, percebe-se a importância do Saneamento Básico no controle social com o intuito de promover o bem-estar da sociedade, bem como uma ferramenta de prevenção de inúmeras doenças que atingem grande parte da população brasileira.

Um dos maiores desafios no Brasil atualmente está relacionado ao tratamento de efluentes gerados. Segundo levantamentos realizados pelo Instituto Trata Brasil (ITB) mais de 100 milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto, o que evidencia o descaso público em relação a um dos setores mais importantes do desenvolvimento urbano (ITB, 2019).

De acordo com Dantas (2012) com o crescimento das cidades e a grande densidade demográfica, deve-se buscar reduzir os impactos ao meio ambiente gerados pela ação humana, além da importância de buscar tecnologias otimizadas que possam contribuir para o tratamento e destinação dos resíduos sólidos e líquidos gerados em grandes volumes.

A utilização de biodigestores vem sendo difundida em algumas propriedades rurais com a decomposição anaeróbia de excreções dos animais, a partir disso é produzido o biogás que vem como alternativa na geração de energia. Entretanto como essa geração parte do princípio de aproveitamento de matéria orgânica, os dejetos, produzidos pelas pessoas, que caem nas redes coletoras ou até aqueles que nem mesmo possuem destinação adequada são também matérias de origem biológica de grande potencial energético na zona urbana.

De acordo com dados do ABES (2015), através da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio (PNAD), 32,7% das residências no Brasil possuem algum tipo de fossa não conectada à rede coletora, que pode ser vista como o potencial se investido em biodigestores que possam transformar esses efluentes em biogás.

Além disso, ainda de acordo com ABES (2015), 1,9% das casas não possuem nenhuma forma de esgotamento sanitário, estes representam comunidades carentes que têm acúmulo de resíduos domiciliares sem destinação, que acarretam problemas de saúde ligados ao despejo de efluentes a céu aberto.

Dessa forma, com a falta de investimentos em saneamento e a dificuldade para a sua implantação nas comunidades mais carentes, o investimento em biodigestores nessas comunidades traz benefícios para a população, que além de destinar o esgoto, reduzirá custos na conta de energia destas residências com a geração de energia por biogás.

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnico-econômica do Biodigestor Chinês como possível solução para destinação adequada de efluentes e geração de energia em comunidades de baixa renda, além de identificar os tipos de resíduos que podem ser aproveitados e descrever o funcionamento do biodigestor.

2. Revisão de Literatura

Quando se fala em aproveitamento de efluentes, uma das alternativas é a utilização de biodigestores, que mesmo não sendo muito difundido, é um equipamento conhecido há mais de dois séculos. E apesar disso, tem se mostrado eficiente no aproveitamento e tratamento de resíduos não aproveitáveis, na geração do biogás e na produção de biofertilizantes.

Bonturi e Dijk (2012) definem biodigestores como “uma usina de saneamento, um poço de petróleo e uma fábrica de fertilizantes, todos em um só aparelho”. Além disso, os biodigestores se destacam pelo fato de que não utilizam de técnicas agressivas ao meio ambiente, pelo contrário, eles evitam que os resíduos sejam despejados diretamente na natureza.

De acordo com Saiki (2018) a utilização de biodigestores é uma alternativa sustentável para a diminuição do impacto ambiental causado pelo grande volume de lixo gerado de forma descontrolada pela população. Onde o Biodigestor se apresenta também como uma fonte alternativa à produção de energia, apesar da quantidade gerada ser muito inferior a das hidrelétricas devido ao seu porte, possui impactos ambientais e sociais muito baixos, além da produção de energia ser mais barata e ambientalmente

sustentável, já que aproveita resíduos que seriam lançados no meio ambiente. (GASPAR, 2003)

Ao optar pela utilização de biodigestores depara-se com vários modelos, e entre os mais conhecidos estão o Batelada, Indiano e Chinês, cada um com suas particularidades. Entretanto todos eles têm em comum uma câmara fechada na qual os resíduos (biomassa) são fermentados anaerobicamente, ou seja, sem a presença de ar atmosférico, que tem como resultado a geração do biogás. (GASPAR, 2003; FERREIRA; SILVA, 2009), assim sendo, define-se o biodigestor como sendo o equipamento responsável por conter a biomassa e o seu produto, que é o biogás.

Neste estudo, o biodigestor pensado para a produção do biogás é o modelo chinês, que segundo Gaspar (2003) possui maior parte de sua estrutura sob o solo, é feito de alvenaria e exige uma mão de obra especializada para sua execução, já que os tijolos precisam ser assentados sem o uso de escoras, além disso o interior da câmara deve ser bem vedado para garantir a impermeabilização, porém, pelo fato de o biodigestor chinês ser feito, em grande parte, de alvenaria seu custo acaba sendo reduzido, por não utilizar o gasômetro em chapa de aço. (ANDRADE et al., 2012)

Além disso, o sistema Chinês possui um abastecimento periódico, e um esvaziamento não periódico. O biodigestor é composto basicamente por duas partes: um tanque de armazenamento para permitir a digestão da biomassa, e um gasômetro que seria uma campânula para armazenamento da parte gasosa, nesse caso o biogás.

Segundo Lucas Junior (1987) esse tipo de biodigestor não é utilizado em instalações de grande porte, pois uma parcela do biogás é perdida na atmosfera, ocasionando uma redução parcial na pressão interna do gás. As Figuras 1 e 2 apresentam a estrutura do Biodigestor Chinês.

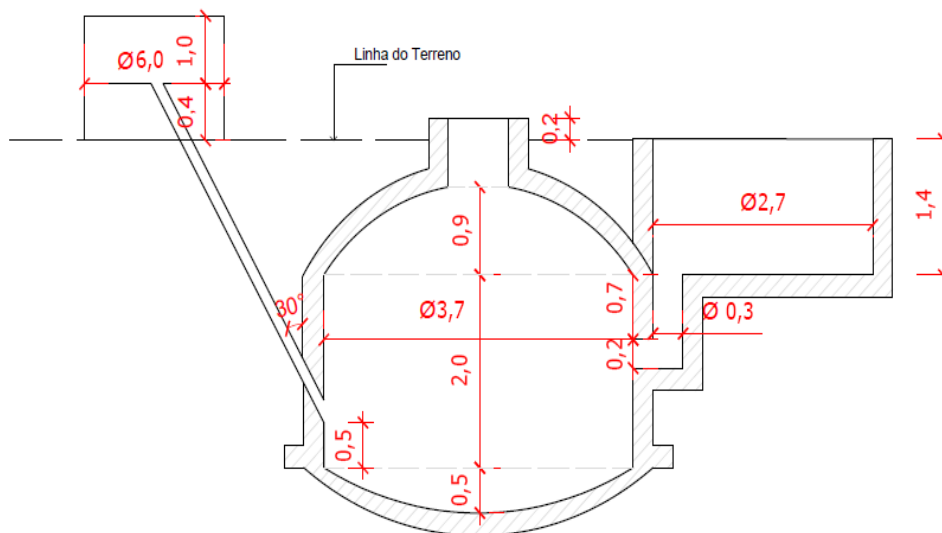


Fig. 1: Projeto Biodigestor Chinês (Oliveira, 2018)

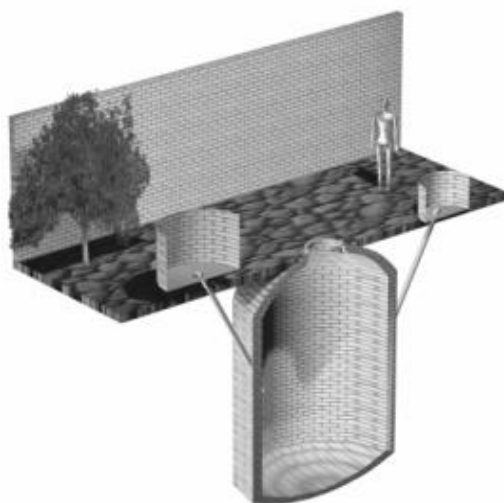


Fig. 2: Representação tridimensional do Biodigestor Chinês (Deganutti et al, 2002)

O biodigestor, assim como qualquer outro equipamento, precisa de uma fonte de energia para funcionar sendo nesse caso a biomassa, que pode ser denominada como qualquer tipo de material passível de decomposição biológica.

De acordo com Seixas et al. (1981) a biomassa utilizada nos biodigestores pode conter todos os materiais de origem orgânica, tendo como exceção a madeira, logo além dos excrementos humanos, pode-se utilizar de substâncias vegetais fibrosas como palha, grama, entre outros, desde que sejam triturados esses vegetais, pois do contrário eles podem formar uma camada flutuante dentro do digestor e interromper a produção do biogás.

Ademais, o biogás, que é produzido pela conversão de matéria orgânica contida no ciclo natural da terra, deve ser decomposto de uma forma que não emita gases que contribuem para o efeito estufa. O uso do biodigestor age justamente nessa decomposição de matéria orgânica e produz o biogás para que possa ser aproveitado (Karlsson et al., 2014). Na Figura 3 pode-se observar, de forma simplificada, o processo de fabricação do biogás.

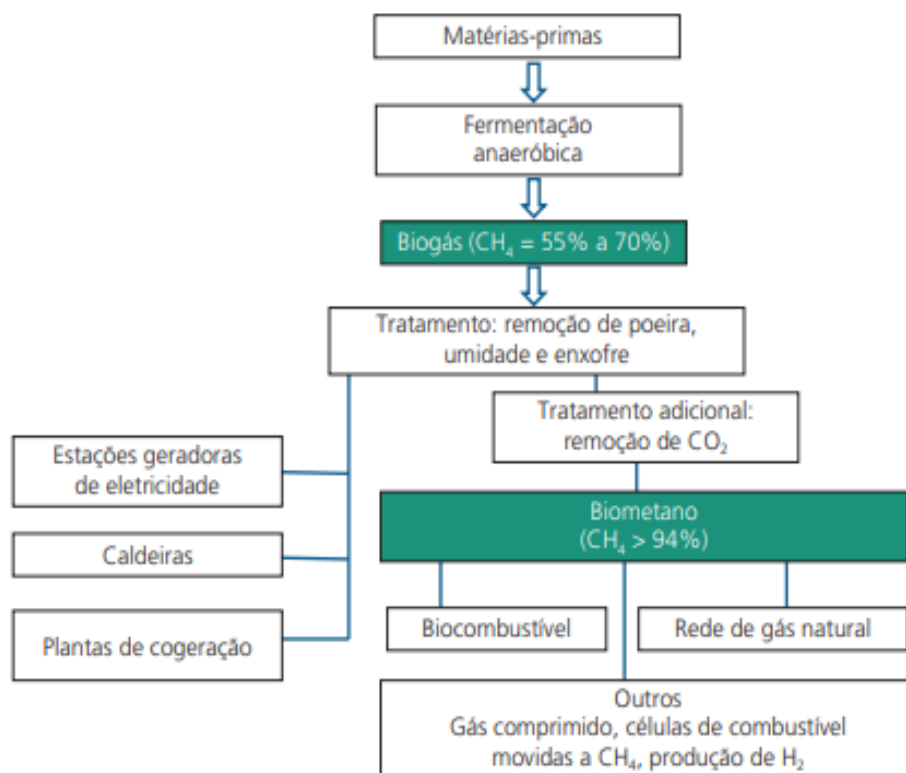


Fig. 3: Processo de Fabricação do Biogás (Adaptado de ROBONI e URBINI, 2014)

De acordo com Milanez et al. (2018) com a utilização de efluentes nos biodigestores há uma drástica redução de carbono que está presente na biomassa, por conseguinte quando é digerida a matéria orgânica ela perde exclusivamente carbono na forma de gás carbônico e metano. Já em relação ao manuseio e armazenamento de gases, o risco de explosão conforme acumulação do biogás é baixo, visto que este possui densidade menor que a do ar, além disso ele não é considerado tóxico, visto seu baixo teor de monóxido de carbono (LIMA e PASSAMANI, 2012).

Através do biodigestor obtêm-se o biogás, mas o interesse maior é obter energia elétrica, dessa forma é necessário fazer a sua conversão, que devido aos avanços tecnológicos, pode ser feita de diversas maneiras. As mais comuns são feitas a partir de microturbinas a gás ou utilizando de motores de combustão interna de ciclo Otto. Entretanto, segundo Souza et al. (2004) as microturbinas além de apresentarem um custo elevado, possuem um tempo de vida baixo operando com biogás.

E, apesar da utilização de motores de combustão interna de ciclo Otto aparentar ser a escolha mais viável, ele pode não ser tão vantajoso assim. Já que, segundo Pereira et al. (2005), esses motores apresentam custo elevado e apenas um fabricante nacional disponibiliza-o, sendo que sua aplicação é automotiva e não para geração de energia, além disso peças de reposição e profissionais treinados para sua operação e manutenção são praticamente inexistentes no país, se tornando mais viável a utilização de motores a Diesel modificados.

Dessa forma, os motores a Diesel modificados surgem como um novo mecanismo para realizar a conversão do biogás em energia elétrica, que além do custo, tem com vantagem a sua maior robustez, se comparado aos motores ciclo Otto.

3. Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho é o Estado da Arte, uma vez que faz referência a pesquisas já realizadas, avaliando os resultados obtidos pelos autores e comparando a possível utilização dos mesmos, visto a situação dos resíduos no Brasil. Assim sendo, foram realizadas pesquisas em livros, monografias, artigos publicados e sites atinentes ao tema, utilizando as palavras-chave “biodigestor chinês”, “produção de biogás”, “saneamento básico no Brasil” e “biodigestores aplicados ao saneamento” para realização destas pesquisas, excluindo resultados que tratavam de anos anteriores a 1999.

4. Resultados e Discussão

Segundo Pecora (2016) a utilização de biodigestores para o aproveitamento do biogás se revelou eficaz no tratamento de resíduos e na redução do efeito estufa, somados ao baixo custo de operação e à produção de energia elétrica. Além disso, o biogás também pode ser utilizado em aquecedores a gás, para a produção de água quente, no aquecimento de granjas, iluminação a gás, entre outros.

A implementação do biodigestor na comunidade deve ser aplicada pela própria comunidade, onde o primeiro passo seria discutir saneamento ambiental e sustentabilidade através de palestras com os moradores, apresentando o conceito de biodigestores e, de forma simplificada, explicar o seu funcionamento e o envolvimento da comunidade na sua produção. (OLIVEIRA, 2018)

Ainda segundo Oliveira (2018) a utilização do biodigestor do tipo chinês se torna viável devido ao seu custo ser razoável, de fácil manutenção, que pode viabilizar a participação popular na implementação do digestor. Além disso, pelo fato de ser feito em alvenaria possui uma manutenção simplificada, que pode ser feita pelos próprios moradores. Portanto, deve-se estudar o local onde pretende-se implementar o biodigestor para evitar possíveis dificuldades na construção, e buscar profissionais de modo a projetar e gerir os recursos necessários. Além disso, é importante capacitar as pessoas da própria região de modo a não apresentar custos com manutenção.

Os biodigestores são constituídos, basicamente, de um reservatório para armazenar a biomassa e de uma câmara para armazenar o biogás. Além disso, uma das maiores preocupações com esse tipo de biodigestor é com os vazamentos, já que o biodigestor de modelo chinês é feito em alvenaria. Logo, deve-se garantir ao máximo a sua impermeabilização.

Em relação ao funcionamento o Biodigestor Chinês tem como base o mesmo princípio de uma prensa hidráulica, de modo que o acúmulo de biogás em seu interior ocasiona aumento de pressão, assim os efluentes se deslocam da câmara de fermentação para a caixa de saída, fazendo o caminho contrário em caso de descompressão. (JORGE; OMENA, 2012; SAIKI, 2018). Os resíduos utilizados nos biodigestores são conhecidos como biomassa, para a proposta deste estudo os resíduos serão os efluentes domésticos que são compostos, em boa parte por materiais orgânicos, como é possível observar na Figura 4.

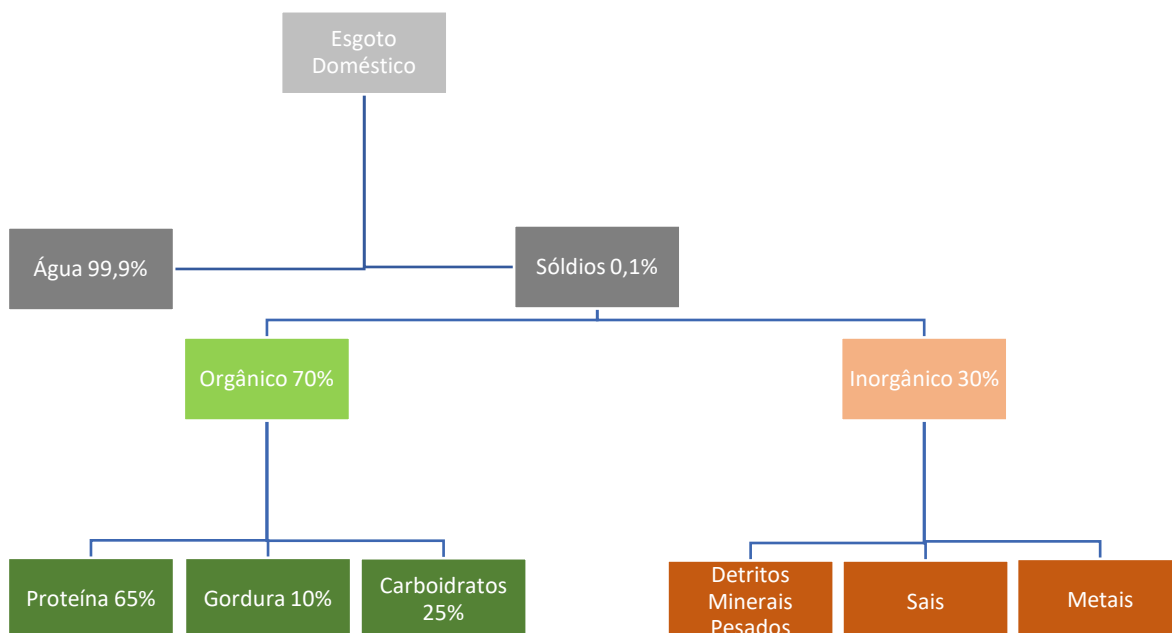


Fig. 4: Composição dos Esgotos Domésticos (Saiki, 2018)

Uma das preocupações é com a viabilidade de utilização dos biodigestores, mas segundo Ferreira (2013) na atualidade os biodigestores tiveram um aumento em seu nível tecnológico, onde foram corrigidos alguns erros de construção ocorridos nas primeiras unidades feitas no Brasil, tornando-os viáveis.

De acordo com Oliveira (2018) o biodigestor Chinês apresenta um custo razoável para a sua construção. Em um levantamento feito para, em média, 250 pessoas da comunidade de Portelinha, Rio de Janeiro. Foi visto os seguintes custos, de acordo com a Tabela 1 abaixo:

Tab. 1: Custo da Implantação do Biodigestor Chinês para Comunidade com 250 pessoas (Oliveira, 2018)

Lista de Materiais	Quantidade	Preço unitário	Preço total	Empresa	Gastos parciais
Mão-de-obra	1 pedreiro	2.973,42	2.973,42	Tabela SINAPI ⁶	2.973,42
Tijolo maciço (5 x 19 x 19 cm)	1200 un.	0,93	1.116,00	https://www.leroymerlin.com.br	4.089,42
Cimento	67 sacos de 50Kg	15,99	1.071,33	https://www.leroymerlin.com.br	5.160,75
Areia lavada	400 sacos de 20Kg	2,99	1.196,00	http://www.cec.com.br/	6.356,75
Pedra	200 sacos de 20Kg	2,90	580,00	http://www.cec.com.br/	6.936,75
Tinta	1 lata de 20 L	239,90	239,90	http://www.cec.com.br/	7.176,65
Registro para gás	1 un.	17,90	17,90	http://www.cec.com.br/	7.194,55
Tubo plástico até os queimadores (10 mm)	5 un. (1 metro)	27,90	139,50	https://www.leroymerlin.com.br	7.334,05
Tubo PVC para coletor até o biodigestor (200 mm)	45 un. (6 metros)	239,23	10.765,35	https://www.breithaupt.com.br/	18.099,40
Tubo PVC para conexões das casas com biodigestor (75 mm)	1264 un. (3 metros)	25,90	32.737,74	https://www.leroymerlin.com.br	-
1ª etapa	132 un. (3 metros)	25,90	3.417,64	https://www.leroymerlin.com.br	21517,04
2ª etapa	96 un. (3 metros)	25,90	2.495,36	https://www.leroymerlin.com.br	24012,41
3ª etapa	175 un. (3 metros)	25,90	4.533,05	https://www.leroymerlin.com.br	28545,45
4ª etapa	196 un. (3 metros)	25,90	5.067,22	https://www.leroymerlin.com.br	33612,67
5ª etapa	124 un. (3 metros)	25,90	3.219,57	https://www.leroymerlin.com.br	36832,25
6ª etapa	103 un. (3 metros)	25,90	2.657,22	https://www.leroymerlin.com.br	39489,46
7ª etapa	158 un. (3 metros)	25,90	4.088,98	https://www.leroymerlin.com.br	43578,44
8ª etapa	145 un. (3 metros)	25,90	3.753,95	https://www.leroymerlin.com.br	47332,39
9ª etapa	135 un. (3 metros)	25,90	3.504,75	https://www.leroymerlin.com.br	50837,14
TOTAL			50.837,14		

Pelo fato de sua estrutura ser feita em alvenaria, seu custo se torna razoável, já que segundo Deganutti et al. (2002) o fato de não possuir partes móveis e nem partes

metálicas que podem ser oxidadas com o tempo, fazem com que seu custo seja reduzido e sua duração seja maior.

Além disso, a produção de energia limpa através do biogás apresenta um crescimento anual considerável, atraindo investimentos para essa matriz energética. A produção de energia por meio do biogás chegou a 0,5 TWh em 2016, que correspondia a 0,08% de toda energia gerada no país, dessa forma, em potência instalada, o biogás teve uma contribuição de 119 MW em 2016 e 20 MW em 2007, apresentando um crescimento de 66% a.a. (EPE, 2017).

Apesar disso, no estudo realizado por Saiki (2018) observa-se resultados obtidos para 40 humanos gerando excrementos, onde é analisado a produção de volume de biogás e a quantidade gerada de eletricidade, que corresponde respectivamente a 0,4m³ e 0,4 kWh em um biodigestor genérico.

Portanto, a quantidade gerada de energia a partir do Biodigestor não é suficiente para dar autonomia energética à comunidade. Porém, a redução dos impactos ambientais justifica a implantação do biodigestor e, mesmo que pouco, irá reduzir os custos na conta de energia das residências.

5. Considerações Finais

No momento atual têm ocorrido diversos acidentes ecológicos, variando de pequenas a grandes proporções, como rompimento de barragens, vazamento de óleo, derramamento de resíduos de esgotos industriais e domésticos, entre outros. Com tantos acontecimentos dessa natureza cada medida tomada em prol de reduzir a poluição ambiental é válida.

Os Biodigestores são equipamentos onde são depositados materiais orgânicos para que ocorram a biodigestão anaeróbica, que é a decomposição desta matéria orgânica sem a presença de ar atmosférico, assim, há a formação do biogás e dos biofertilizantes. Este estudo deu enfoque ao Biodigestor de modelo Chinês, aqui tratado somente como Biodigestor Chinês, este modelo de biodigestor é construído em alvenaria.

Após realização da Revisão de Literatura por meio de Estado da Arte, pode-se observar que o fato da estrutura desse biodigestor ser composta por alvenaria eleva seu valor, entretanto em comparação com outros modelos possui maior duração e custo abaixo da média, pois não possui partes móveis e/ou metálicas que podem ser oxidadas com o tempo.

Observou-se que embora a quantidade de energia gerada não seja capaz de fornecer autonomia para uma comunidade com 250 pessoas, apresenta vantagens em relação a destinação dos resíduos gerados e fornecimento de, aproximadamente, 2,5kWh.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana, pelo apoio e incentivo.

5. Referências

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2016. Situação do saneamento básico no Brasil. Uma análise com base na PNAD 2015. Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/pdf/Situacao.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2020.

ANDRADE, H., O.; PINHEIRO, G., D.; PEREIRA, A., I., S.; FERREIRA, J., C., S., F.; BORGES, M., V., F. Aspectos Teóricos na Produção de Biogás e Biofertilizante pelo Mecanismo de Biodigestão e Geração de Energia Elétrica Limpa Através de um Gerador Específico. VII CONNEPI- Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas, Tocantins, Brasil, 2012.

BONTURI, G.; DIJK, M. Instalação de Biodigestores em Pequenas Propriedades Rurais: Análise de Vantagens Socioambientais. UNICAMP, SP. 2012.

CASSINI, S. T. (Coordenador). Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de Biogás. 1. Ed. Vitória: PROSAB/FINEP, 2003. 196p.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. 2002.

ITB – INSTITUTO TRATA BRASIL. Novo Ranking do Saneamento Básico evidencia: melhores cidades em saneamento investem 4 vezes mais que as piores cidades no Brasil. 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2019/PRESS_RELEASE___Ranking_do_Saneamento___NOVO.pdf>. Acesso em: 03 set. 2020.

JORGE, L., H., A.; OMENA, E. Biodigestor. Dossiê Técnico. SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N.; MARDER, M.; CASARIL, C.; KOCH, F.; PEDROSO, A. Manual Básico de Biogás. 2014.

LIMA, Ana Carolina Guedes; PASSAMANI, Fernanda Caliman. Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES. Orientador: Professor Doutor Ricardo Franci Gonçalves. 2012. 106 p. Projeto de graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: <http://www.ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido.pdf>. Acesso em: 06 set. 2020.

LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 1987, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista.

MILANEZ, Artur Yabe et al. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 47, p. 221-276, mar. 2018. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15384/1/BS47__Biogas__FECHAD O.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019

OLIVEIRA, Jéssica Clarisse. Utilização de um biodigestor para tratamento de esgoto e geração de energia: um estudo de caso na comunidade de Portelinha, RJ. Orientador: Heloisa Teixeira Firmo. 2018. 82 p. Projeto de graduação (Engenheiro Civil) - Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025008.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2020.

PECORA, Vanessa. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto residencial da USP- Estudo de Caso. Orientador: José Roberto Moreira. 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, R. H., Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicombustível Diesel/Gás Natural, In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador – BA, 2005.

SAIKI, Camila. Geração de energia elétrica com a utilização de biodigestores de esgoto sanitário e seu impacto na economia e no meio ambiente dentro do contexto de uma cidade sustentável. Orientador: Álvaro Bittencourt H. Silva. 2018. 30 p. Pesquisa de Iniciação Científica (Pós-graduando) - Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2018.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D., Construção e Funcionamento de Biodigestores. Embrapa, 1981.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C, Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura, Acta Scientiarum, v.26, n. 2, p. 127-133, 2004.

ESTUDO E ANÁLISE DAS ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR ÓLEO RESIDUAL E DE SEUS PARÂMETROS NO PROCESSO

**Amanda Cavalcante de Jesus¹, Filipe Brito Perez², Amanda da Silva Santos³,
Dayana de Gusmão Coêlho⁴**

¹ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, amandacavalcantej@gmail.com

² Universidade Federal de Alagoas, Maceió, filipebritoperez@hotmail.com

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, amanda.santos@ctec.ufal.br

⁴ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, dayana.coelho@ctec.ufal.br

Resumo

Neste trabalho são postas em evidência a produção de biodiesel, suas reações e as características observadas na formação da matéria prima final em reatores contínuos. Há, também, o destaque do processo de esterificação, que, feito em matérias-primas de alta acidez, tal como o óleo de fritura, faz aumentar a sua viscosidade. Além disso, a reação de transesterificação, considerada como principal forma de produção do biocombustível é evidenciada. Também há a alusão quanto ao melhor tipo de reator para a produção de biodiesel, destacando os contínuos, visto que são os melhores quando se produz em largas escalas. O reator mais comum de ser encontrado, CSTR, se assemelha com o de batelada, e nele há fluxo constante de entrada de reagentes e saída de produtos. Por fim, ocorre o processo de pós tratamento e purificação, que é onde o produto passa primeiro pela decantação, em seguida, pela lavagem, e, logo após, a água residual é retirada pelo procedimento conhecido como secagem. As pesquisas do presente trabalho têm como objetivo o detalhamento e o estudo referente às etapas da produção do biodiesel, a caracterização dos reatores contínuos, bem como destacar os benefícios nos quais a reutilização de óleos residuais podem vir a trazer ao meio ambiente.

Palavras-chave: Biocombustíveis, Produção de biodiesel, Biodiesel de óleo de fritura.

1. INTRODUÇÃO

A produção de biodiesel em países como o Brasil serviu como um mecanismo para a produção de energia mais limpa, ao haver a aplicação do biodiesel no diesel, com o foco em reduzir os impactos ambientais (Knothe *et al.*, 2006). Essa produção pode ser realizada com o auxílio de inúmeras matérias-primas, tais como: soja, mamona, girassol, milho, babaçu, entre outros. Outra matéria prima que é promissora é o óleo residual de fritura, óleo que geralmente é utilizado na produção de sabão (Mittelbach, Tritthart, 1988; Neto *et al.*, 2000). A produção de biodiesel com esta matéria prima pode reduzir o descarte inadequado de milhares de litros do óleo de fritura por ano, impedindo, assim, uma maior agressão ao meio ambiente.

Durante o procedimento de obtenção do produto final, tem-se a reação de transesterificação, que geralmente é realizada por catálise. A escolha do catalisador, do álcool e as condições reacionais são primordiais para o bom resultado final (Neto *et al.*, 2000; Canakci, Gerpen, 1999). Entretanto, para que a reação seja eficiente, é necessário também que haja o dimensionamento correto dos reatores, com o objetivo de minimizar o custo da produção e obter o rendimento esperado. Além disso, faz-se necessário

observar qual tipo de reator será utilizado, seja ele em processo contínuo ou em batelada, visando sempre o fornecimento de melhores resultados para a produção do bicomcombustível.

A análise do modo de operação e configuração dos reatores também é de importância primordial para a produção efetiva do produto. Os reatores mais utilizados são os reatores tanques (Silveira, 2011), tendo operação descontínua e contínua, e os reatores tubulares, com operação contínua. Os descontínuos, por sua vez, são aqueles que durante a reação, a matéria não é adicionada nem removida. Esses reatores são utilizados, geralmente, para produção em baixa escala. Já nos contínuos, utilizados para produção em larga escala, há a remoção e adição simultânea de matéria (Silveira, 2011).

Os reatores contínuos podem ser divididos, também, de acordo com seu dimensionamento. Reatores conhecidos como “tanque”, CSTR (*continuous stirred-tank reactor*) ou reator Backmix, funcionam em estado estacionário, ou seja, a taxa de reação assume o mesmo valor em todos os pontos, independentemente do tempo. Além disso, as propriedades das misturas da reação são uniformes em toda parte do recipiente, sendo idênticas às propriedades de mistura da reação no fluxo de saída. O material fica misturado e não há nenhuma variação de espaço na concentração e temperatura. Já os reatores tubulares, PFR ou “Plug Flow”, os reagentes são consumidos de forma contínua enquanto eles fluem ao longo do comprimento do reator. Atuam em estado estacionário e em uma determinada posição, para qualquer corte transversal, não há pressão, temperatura ou mudança de composição na direção radial. (Promopetro, 2014).

A produção de biodiesel por meio do óleo residual de fritura nesses dois tipos de reatores contínuos pode alcançar rendimentos avançados, e é necessário, também, observar os parâmetros reacionais que podem vir a modificar sua produção, tais como: temperatura, tempo e alteração de pressão. O manuseio correto dos reatores fornecerá, dessa forma, a produção de uma matéria-prima de qualidade elevada.

Além disso, é válido destacar a viabilidade da produção do biodiesel do óleo residual de fritura, visto que, além do mesmo poder alcançar rendimentos avançados, contribui sustentavelmente com o ambiente por meio do reuso de óleos que antes seriam descartados indevidamente.

O presente estudo utilizará ferramentas bibliográficas de experimentos realizados com o intuito de analisar e descrever a produção de biodiesel de óleo residual de fritura, detalhando o procedimento em reatores com processos contínuos e em batelada.

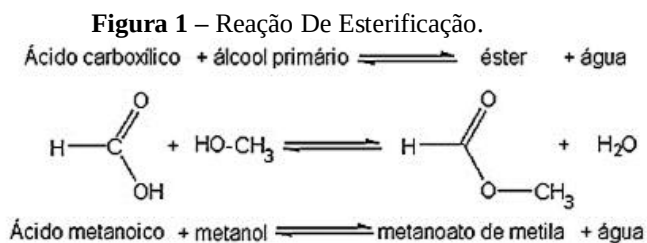
2. METODOLOGIA

Com o objetivo de levantar dados relevantes e suficientemente representativos para o estudo da produção de biodiesel, buscou-se resultados dando enfoque em quatro pilares de busca: pré-tratamento, produção, transesterificação, tipos de reatores, processos e pós-tratamento. Para levantar as informações, utilizou-se estudos contidos na literatura, incluindo artigos, dissertações, entre outros, para que assim, um estudo dos métodos aplicados na produção do biodiesel por diversos autores possa ser feito. A viabilidade da produção em termos comparativos foi verificada e os resultados obtidos foram organizados de modo a expor os parâmetros utilizados como os resultados e as conclusões tomadas por seus respectivos autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.1 Pré-Tratamento

A esterificação consiste em uma reação onde os ácidos graxos livres nos óleos vegetais e gorduras animais interagem com um álcool de cadeia curta e produzem alquil ésteres (**Figura 1**). Porém, por se tratar de ácidos graxos livres, não há formação de glicerol, mas sim de água. Trata-se de uma reação indicada para quando se possui uma matéria prima com alta concentração de ácidos 18 graxos livres, visto que, se estes forem submetidos a transesterificação na presença de catalisador básico, haverá uma reação paralela de saponificação entre os ácidos graxos livres e o catalisador (Gerpen, 2005).



Fonte: Fogaça (2018).

O processo de esterificação de ácidos graxos é usado na produção do biodiesel quando utilizam-se matérias-primas com alta acidez. É o caso do óleo residual de fritura, visto que o mesmo é aquecido até elevadas e esse aquecimento prolongado leva a polimerização da molécula dos triacilgliceróis, aumentando a viscosidade do óleo e seu índice de acidez. (Neto, Freitas, 1996).

Em relação aos tipos de esterificação, tem-se a homogênea e a heterogênea. Entretanto, segundo Zhang, Dube, McLean (2003), o uso do procedimento heterogêneo frente ao homogêneo apresenta as vantagens de não haver corrosão dos equipamentos por parte do catalisador, não exigindo a lavagem do produto e gerando menor quantidade de resíduos ao final do processo. Portanto, a esterificação heterogênea é a mais adequada na do ponto de vista sustentável. Tal processo consiste em empregar um catalisador em fase diferente do meio reacional, de modo a facilitar a separação do catalisador ao final da reação. Porém, assim como na esterificação homogênea, a heterogênea também apresenta algumas desvantagens. Pode-se destacar uma maior resistência a transferência de massa, baixa estabilidade térmica e diminuição da conversão após a reutilização de alguns catalisadores (Kusdiana, Saka, 2004).

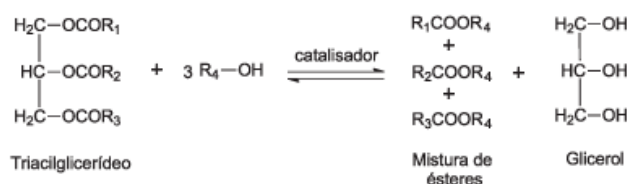
No estudo realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte por Tavares (2017), a esterificação supercrítica com e sem inertes em um reator contínuo tubular (PFR) foi realizada. O reator tubular possui 30 cm de comprimento, 6 mm de diâmetro e volume de 8,5 mL. Para a reação de esterificação, foram utilizados ácido oleico e álcool etílico com 99,9 % de pureza. Com o reator sem leito poroso e com leito poroso, foi utilizada, para a temperatura, pressão e vazão fixas de 350°C, 15 MPa e 0,5 mL/min, respectivamente. Além disso, todas as conversões obtidas foram acima de 96% e razões de 1:1 até 1:10 considerando o reator com e sem inertes. No trabalho em questão, utilizando a faixa de razão molar apresentada, nota-se que o efeito da porosidade na conversão não é significativo. Além disso, pode-se concluir que o processo de obtenção do biodiesel nesse reator tubular obteve resultados e conversões satisfatórias, sendo, assim, viável economicamente.

1.2 Produção e Transesterificação

A transesterificação é a reação química de um mol de triacilglicerol com três mols de álcool, como representado na **Figura 2**. Esse processo atualmente é visto como o principal método de produção de biodiesel (Ramos *et al.*, 2011). Na reação podem ser utilizados álcoois como metanol, etanol, butanol, entre outros. Os monoésteres são ésteres metílicos, etílicos e butílicos (Cunha, 2008).

O processo normalmente faz uso do excesso de álcool para evitar a reversão da reação e forçar a formação de produtos (Morais *et al.*, 2013).

Figura 2 – Reação De Transesterificação



Fonte: Geris *et al.* (2007).

O metanol é normalmente o álcool preferencial. Esse fato se dá devido ao fornecimento de uma melhor separação de glicerol e possuir o rendimento muito alto, contudo, o mesmo possui a desvantagem da toxicidade evidenciada. Em contrapartida, o etanol é muito menos tóxico, mas, resulta em problemas na separação do glicerol. Apesar da razão molar de álcool em excesso favorecer os produtos, isso também acaba por dificultar a separação do glicerol (Garcia, 2006).

Os parâmetros de reação normalmente são similares, no caso de Peiter (2013) que estudou as influências causadas devido alteração no impelidor, chicana e velocidade de agitação, mas, para isso, adotou-se parâmetros fixos de reação, tais como: óleo de soja, temperatura de reação de 70°C e razão molar de óleo de soja/etanol de 1:10 e catalisador com 1,5% em massa de óleo. A partir de tais parâmetros, obteve-se resultados que mostram que a reação nos primeiros 5 minutos já obteve os melhores resultados, como também notou-se ganho ao se utilizar a rotação de 350rpm em comparação ao de 150rpm, e impelidor tipo turbina em comparação do tipo pás.

Ferrari, Oliveira e Scabio (2005) notaram que ao utilizar o óleo de soja neutro, utilizando os seguintes parâmetros: 50°C de temperatura reacional, 1:2 partes de etanol anidro para óleo em volume e 1% massa/volume de catalisador (Hidróxido de sódio – NaOH) e álcool, com tempo de 5 minutos de reação, o processo obteve rendimento de 97%.

Cunha (2008) estudou a produção de biodiesel a partir de diferentes matérias primas em transesterificação por meio da catálise básica, utilizando 1,5% de hidróxido de potássio (KOH) em massa de óleo de soja, sebo bovino ou frango, metanol na razão molar 6:1 em relação a matéria prima utilizada, temperatura reacional de 60°C e tempo de 30 minutos, sob agitação de 300rpm. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se rendimento próximo de 100%.

Garcia (2006) fez um estudo aprofundado, no qual executou a transesterificação de óleos vegetais, em particular no caso da influência do catalisador e da temperatura, para isso utilizou-se o óleo de soja na razão molar de 1:6 de óleo/etanol e utilizou os catalisadores: metóxido de sódio - NaOCH₃, hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH) variando as proporções, na temperatura de 70°C e à 25°C, utilizando 1% de catalisador.

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que, à 70°C, as conversões em ésteres etílicos foram diretamente proporcionais a quantidade de catalisador, contudo, com o aumento da quantidade, a formação de emulsão na lavagem também aumentou.

Já nas etanólises à 25°C catalisadas por metóxido de sódio e hidróxido de potássio, as mesmas tiveram separação espontânea da fase de glicerol.

1.3 Tipos de Reatores e Processos

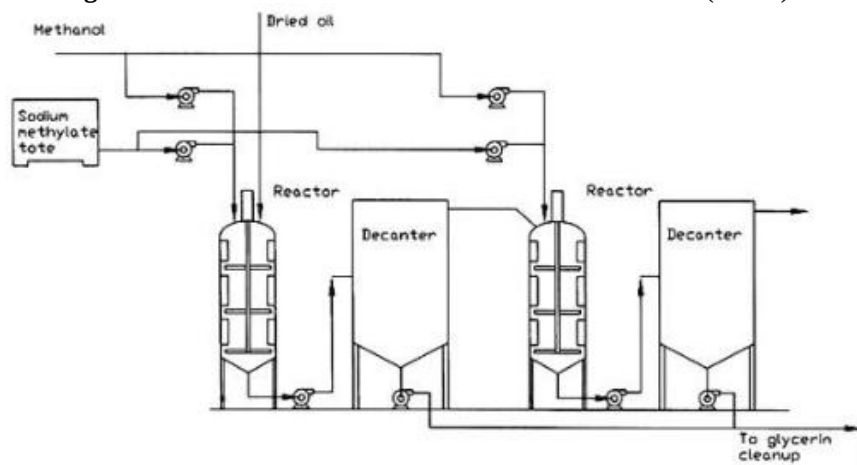
Existem diversos tipos de reatores onde podem ocorrer as reações de produção de biodiesel. O processo pode ocorrer em batelada ou de forma contínua (Gerpen, 2005). Quando utilizamos um reator em batelada, adicionamos óleo e a mistura álcool + catalisador em um tanque agitado, deixando reagir por um determinado tempo. Após esse tempo, a mistura é decantada e haverá a separação dos produtos biodiesel e glicerina. A glicerina então é removida pela base, e o biodiesel deve ser purificado por lavagem (Stidham, Seaman, Danzer, 2000).

O processo em batelada é escolhido quando uma pequena quantidade de biodiesel deseja ser produzida. Por necessitar apenas de um tanque, é um processo barato, porém, com algumas desvantagens: uma grande quantidade de álcool e catalisador se faz necessário para que se obtenha uma alta conversão. A grande quantidade de álcool implica na dificuldade de separação dos produtos e na purificação e recuperação dos mesmos (Stidham, Seaman, Danzer, 2000). Outra desvantagem é que para aumentar a produção, se faz necessário aumentar o tamanho físico da planta, aumentando o tamanho do tanque, por exemplo (Nauman, 2008).

O processo contínuo é a melhor alternativa para uma grande produção de biodiesel, geralmente acima de 4 milhões litros por ano (Gerpen, 2005). Isso se deve ao fato de não ser necessário aumentar o tamanho físico dos reatores, visto que uma mudança na vazão de entrada já pode ser suficiente para aumentar a produção. É mais comum encontrar reatores contínuos do tipo CSTR (*Continuous Stirred-tank Reactor*) nessas grandes plantas de produção de biodiesel. Esse tipo de reator é bastante semelhante a um reator em batelada, pois ambos são tanques. Todavia, no mesmo há a existência de um fluxo constante de entrada de reagentes e saída de produtos, podendo, muitas vezes, também trabalhar em batelada (Levenspiel, 1999).

O esquema da **Figura 3** demonstra uma planta com este tipo de reator onde reagente são adicionados ao primeiro tanque reacionário. O produto é conduzido para decantadores e é separado em duas fases principais: a fase inferior, constituída principalmente de glicerina, onde a mesma é retirada do decantador; já o restante, retorna para um reator para aumentar a eficiência do processo, sendo, portanto, um processo em dois estágios.

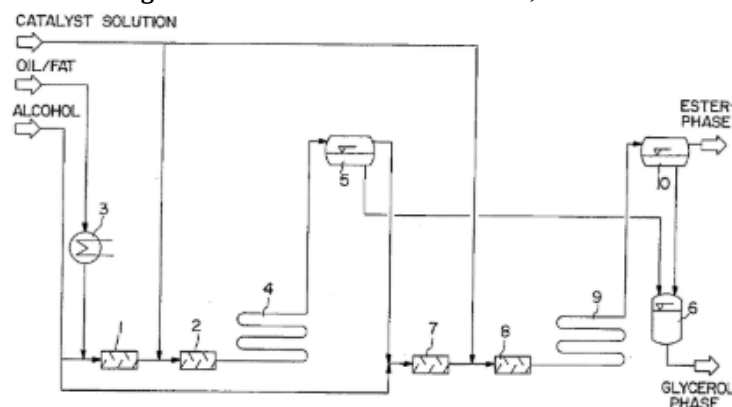
Figura 3 – Planta com reator contínuo - stirred-tank reactor (CSTR).



Fonte: Extension (2018).

Em 1996, Assmann *et al.* patentearam um sistema contínuo para produção de biodiesel a partir óleos contendo menos de 1% de ácidos graxos livres (**Figura 4**). Neste sistema os reagentes e catalisadores são introduzidos por bombas em misturadores estáticos e então transportados para um reator de formato tubular. A fase contendo glicerina é retirada em um separador estático e o restante é novamente introduzido em um reator tubular para aumento da eficiência, sendo, então, também um processo em dois estágios.

Figura 4 – Sistema De Assmann *et al.*, 1996



Fonte: Assmann *et al.* (1996).

Em um teste com uma planta piloto, Assmann *et al.* (1996) introduziu 150 L/h de óleo de colza e uma solução de metanol e metóxido de sódio em um reator tubular, obtendo 98% de conversão após o segundo estágio.

1.4 Pós - Tratamento

Com o fim da reação de transesterificação, o produto é composto por duas fases, que podem ser separadas dentre outros métodos por decantação, centrifugação ou mesmo extração por solvente. O principal objetivo da separação é remover os ésteres (biodiesel) da mistura da maneira mais pura possível, sendo esta a fase mais leve do produto. A fase pesada constitui-se principalmente de glicerol (glicerina), que apresenta ainda excesso de álcool utilizado, água e impurezas vindas da matéria prima. É

importante ressaltar que a fase leve, os ésteres, também apresenta excesso de álcool e impurezas que são removidas por destilação a vácuo, lavagem ou qualquer outro método que se encaixe nas necessidades e disponibilidade do produtor (Ardila, 2009).

Dib (2010) ao produzir biodiesel em batelada, deixou que a mistura permanecesse no funil de boro por 12h antes de iniciar o processo de separação por decantação, onde a fase rica em glicerol foi drenada e os ésteres encaminhados para novos tratamentos de purificação. Já no processo contínuo, Gonçalves *et al.* (2016) utilizou a extração líquido-líquido em contracorrente com água como solvente, realizada em uma coluna líquido-líquido com dez

pratos, com alimentação de água à temperatura de 70°C e pressão de 101,3 kPa. Já a corrente de ésteres+glicerol estava com temperatura de 30°C e pressão de 101,3kPa.

Depois do excesso de glicerina ser retirado, o biodiesel segue para a lavagem. É neste processo que são retiradas as impurezas presentes no meio, tais como: no catalisador, parte do excesso do álcool utilizado na reação, a glicerina livre residual, sais de ácidos graxos, tri-, di- e monoacilgliceróis que ainda restam da separação de fases (Ardila apud Murugesan *et al.*, 2009). Com a retirada das impurezas, o biodiesel pode atender às especificações regulamentadas pela Agência Nacional do Petróleo-ANP, através da Resolução 7 de 2008. Quando se trata do processo em batelada, essa lavagem deverá ser feita normalmente em um funil de bromo, aplicando ainda a agitação, para melhorar o contato com a água. No processo contínuo, essa lavagem é feita ainda na extração da fase pesada, com contato em contracorrente com água (Gonçalves *et al.*, 2016).

A corrente rica em biodiesel, vinda do funil de decantação ou coluna de extração líquido-líquido, apresentará ainda em sua composição a água que foi utilizada para a lavagem e não foi retirada por completo do biodiesel. Para a retirada desta água residual, no processo em batelada, segundo Innocentini (2007), o biodiesel deve ser desumidificado de acordo com a disponibilidade do produtor, podendo ser por evaporação na estufa, adsorção ou reação química com o uso de um agente secante. No processo contínuo Gonçalves *et al.* (2016) faz-se o uso de um vaso flash, com temperatura de 130°C e pressão de 26,30 kPa, a corrente que alimenta o vaso flash é uma mistura bifásica com 0,8218 de fração de vapor e 0,1782 de fração de líquido.

4. CONCLUSÃO

De acordo com as referências utilizadas no presente estudo, conclui-se que os parâmetros reacionais, tais como: temperatura, pressão e tempo possuem grande influência na produção de biodiesel. Além disso, observa-se que, para produção em grande escala, os reatores contínuos são os mais adequados, tendo os do tipo CSTR como mais comum.

Também nota-se que o uso do óleo residual de fritura é visto como uma alternativa viável e sustentável, posto que os índices de conversões são elevados e, ainda, agride menos o meio ambiente, ao se evidenciar que o óleo proveniente da fritura está sendo reutilizado e não descartado ao meio.

De modo geral, os levantamentos feitos levam a verificação de que, durante a produção de biodiesel, há inúmeros fatores que alteram a qualidade e seu rendimento, que vão desde o pré-tratamento da matéria prima - os parâmetros de reação, incluindo os reatores e processos - e também o pós-tratamento, e que finaliza deixando o biodiesel dentro dos parâmetros ideais para o uso conforme a especificação da ANP (Agência

Nacional de Petróleo). Ademais, o processo também sofre a influência dos reagentes, visto que, dependendo da matéria prima, o tipo de álcool se comporta de um jeito particular, assim como também o tipo de catálise leva a diferentes resultados.

Por fim, é evidenciado que não se tem um método consumado acerca do melhor jeito de reação, pois nota-se que, apesar das grandes variações no processo, elas levam aos mesmos resultados ou semelhantes, o que força uma verificação profunda e experimental aplicando os parâmetros desejáveis, e, a partir desses, a realização do ajuste necessário para o maior rendimento possível.

5. REFERÊNCIAS

Ardila, Y. C.. **Sistemas De Extração Líquido – Líquido Para Processos De Purificação de Biodiesel**. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2009.

Assman, G., Blasey G., Gutsche B., Jeromin L., Rigal J., Armengand R., Cormary B., **Continuous progress for the production of lower alkyl esters**, US Patent No. 5,514,820 (1996).

Canakci, M.; Gerpen, J. V.. Biodiesel Production Via acid Catalysis. **Transactions of the ASAE**, 42(5),1203. 1999.

cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technology. 2003.

Cunha, M. E. D.; **Caracterização De Biodiesel Produzido Com Misturas Binárias De Sebo Bovino, Óleo De Frango e Óleo de Soja**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

Dib, F. H.. **Produção De Biodiesel A Partir De Óleo Residual Reciclado E Realização De Testes Comparativos Com Outros Tipos De Biodiesel E Proporções De Mistura Em Um Moto-Gerador**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2010.

Extension. **Reactors For Biodiesel Production**. Disponível em: <<http://articles.extension.org/pages/26630/reactors-for-biodiesel-production>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2018.

Ferrari, R. A.; Oliveira, V. D. S.; Scabio A.. Biodiesel De Soja – Taxa De Conversão Em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-Química E Consumo Em Gerador De Energia. **Química Nova**. Vol. 28. No. 1,19-23. 2005.

Fogaça, J.. Reações De Esterificação. **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/reacoes-esterificacao.htm>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2018.

Garcia, C. M.. **Transesterificação De Óleos Vegetais**. Universidade Estadual De Campinas. São Paulo. 2006.

Geris, R.; Santos, N. A. C. D.; Amaral, B. A.; Maia, I. D. S.; Castro, V. D.; Carvalho, J. R. M.. Biodiesel de soja - reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**. v.30, n.5, São Paulo. 2007.

Gerpen, J. V. **Biodiesel Processing And Production**. Fuel Processing Technology, v. 86, n. 10, p. 1097-1107, 2005.

Gonçalves A. L.; Takakura A. K.; Costa E. C.; Machado N. T.; Araújo M. E.. Simulação Da Produção Contínua E Purificação Do Biodiesel De Óleo De Palma

Usando Aspen Hysys. **Revista Brasileira De Energias Renováveis**. v.5, n.2, p252-266.2016.

Innocentini, M. D. M.. O Processo De Produção Industrial Do Biodiesel.In: **Jornada Científica Da UFSCAR**, 7., 2007, São Carlos, SP. Resumo ... São Carlos,SP. Universidade de Ribeirão Preto. P 1-7. 2007.

Knothe, G.; Gerpen, J. V.; Krahl, J.; Ramos, L. P..**Manual de Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

Kusdiana, D.; Saka, S.. Two-Step Preparation For Catalyst-Free Biodiesel Fuel Production. **Applied Biochemistry And Biotechnonology**. v.113, p.781-791. 2004.

Levenspiel, O.. **Chemical Reaction Engineering. Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 38, n. 11, p. 4140-4143, 1999.

Mittelbach, M.; Tritthart, P.. Diesel Fuel Derived From Vegetable Oils, III. Emission Tests Using Methil Esters Of Used Frying Oil. **JAOCS**, v, n 7, p. 1185-1187.1988.

Morais, F. R.; Lopes, C. S.; Lima, N. E.G.; Silva, G.. Influencia Da Temperatura E Da Razão Molar Na Produção Contínua De Biodiesel. **Scientia Plena**. v. 9. n. 10. 2013.

Nauman, E. B. **Chemical Reactor Design, Optimization, And Scaleup**. John Wiley & Sons, 2008.

Neto, P. R. C.; Freitas R. J. S.. Purificação De Óleo De Fritura. **Boletim do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos**. 1996.

Neto, P. R. C.; Rossi, L. F., Zagonel, G. F., Ramos, L. P.. Produção De Biocombustível Alternativo Ao Óleo Diesel Através Da Transesterificação De Óleo De Soja Em Frituras. **Química Nova**, V. 23, n. 4, p.531-537. 2000.

Peiter, A. S.. **Avaliação Do Efeito De Diferentes Impelidores, Da Presença De Chicana E Da Velocidade De Agitação Na Produção De Biodiesel De Soja, Via Transesterificação Etilica**. Universidade Federal De Alagoas. Alagoas. 2013.

Promopetro. **Engenharias Das Reações Químicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.laco.ufpe.br/wp-content/uploads/2013/08/reatores.pdf>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2018.

Ramos, L. P.; Silva F. R. D.; Mangrich A. S.; Cordeiro C. S.. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 5. 2011.

Silveira, B. I. D.. **Produção De Biodiesel-Análise E Projeto De Reatores Químicos**. Biblioteca24horas. 2011.

Stidham, W.D., Seaman, D.W., Danzer, M.F., **Method for preparing a lower alkyl ester product from vegetable oil**, US Patent No. 6,127,560.2000.

Tavares, J. H. D. O.. **Esterificação Em Meio Continuo Pressurizado Em Reator De Leito Fixo Com Presença De Inertes**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. 2017.

Zhang, Y.; Dube, M. A., McLean, D. D. L., Kates, M.. Biodiesel Production From Waste Cooking oil. Process Design And Technological Assessment. **Bioresourse Technology**. 2003.

INTERAÇÃO TORRE-FUNDAÇÃO DE AEROGERADORES *ONSHORE* E *OFFSHORE*: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vitor Guilherme L. Farias¹; Jerusa G. A. Santana²; Sandro Correia de Holanda³
^{1,2,3} Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo - Alagoas
vitorlemos158@gmail.com; jerusa.santana@ceca.ufal.br; sandro.holanda@ceca.ufal.br

Resumo

De uma forma geral, as fundações são elementos estruturais que transmitem ao solo as cargas (estáticas e/ou dinâmicas) de uma determinada construção. Em aerogeradores, com altura e turbinas cada vez maiores e, portanto, com maiores esforços atuantes, um projeto inadequado da fundação da torre pode, por exemplo, conduzir a acidentes, abreviar a vida útil para qual o equipamento foi projetado, dentre outros. De acordo com o local de instalação das turbinas eólicas, as fundações apresentam características/particularidades específicas tanto do ponto de vista da utilização de materiais, quanto da técnica de construção empregada. Neste contexto, em turbinas eólicas onshore, dependendo da carga a ser transmitida, bem como das condições geológicas, as fundações das torres podem ser classificadas em fundações diretas ou rasas e fundações indiretas ou profundas. Já em um ambiente offshore, de acordo com a profundidade de localização da torre, as fundações são classificadas em fixas (gravitacional, monopilar, tripod, tripé, jacket) e flutuante. Este trabalho foi concebido com o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais tipos de fundações e de torres empregadas no ambiente onshore e offshore, abordando os principais materiais e técnicas empregadas em ambas os meios.

Palavras-chave: Fundações; torres, turbinas eólicas on- e offshore,

1. Introdução

A demanda da sociedade por energia limpa e ambientalmente correta, bem como os incentivos governamentais para produção de energia a partir fontes renováveis, propiciou um incremento considerável na produção dos aerogeradores. Assim, foram desenvolvidos modelos mais avançados, empregando tecnologia de ponta e voltado para atender o mercado *onshore* (produção de energia elétrica a partir de turbinas instaladas em terra) e *offshore* (produção de energia elétrica a partir de turbinas instaladas em uma superfície aquática). Embora, atualmente, os parques eólicos *offshore* ainda não sejam uma realidade no Brasil, segundo NASCIMENTO (2020), o Ceará tem três grandes projetos de investimento no setor de geração de energia eólica no mar (Complexo Eólico Marítimo Jangada, Parque Eólico Offshore Caucaia-Parazinho e Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I), com investimentos previstos de R\$ 37,6 bilhões no estado. Segundo reportagem do Estadão.com (2020), a petrolífera Equinor Brasil iniciou o licenciamento no IBAMA dos parques eólicos *offshore* Aracatu I e Aracatu II, com 4 GW (2 GW em cada um), sendo possível sua ampliação para 2,33 GW.

Na instalação de um aerogerador, fatores como, condições geológicas do terreno, cargas estáticas e cargas dinâmicas são fatores que devem ser considerados para a escolha de uma adequada fundação da torre. Para um aerogerador *onshore*, os custos do sistema torre - fundação equivale a 10% do custo total do investimento, enquanto para

um sistema eólico *offshore*, o custo da fundação corresponde a 25% do custo total (Dos Santos, 2013). Essa diferença significativa no custo percentual, deve-se ao fato da maior complexidade exigida na confecção da fundação *offshore*, dimensionada de acordo com a profundidade do local e porte do aerogerador a ser instalado. Em ambos os casos, quando mal projetada, a fundação pode conduzir à problemas, como: falta de rigidez, recalques, tombamentos, acidentes durante a operação e redução da vida útil do equipamento.

Com turbina e altura cada vez maiores, a torre representa um papel primordial na sustentação do aerogerador, podendo ser confeccionada de diversos materiais e com características de fundação determinada pela localização do parque eólico. Assim, no dimensionamento da torre, devem ser levadas em consideração a ação dos vento nas pás da turbina e na própria estrutura, o peso da turbina, os efeitos dinâmicos do vento e dos equipamentos, as ações sísmicas, e o efeito das correntes e das marés, no caso de estruturas *offshore* (Chastre; Lúcio, 2014).

Pelos aspectos anteriormente expostos, faz-se necessário um maior conhecimento a respeito do sistema torre-fundações empregados nos ambientes *on-* e *offshore*, abordando-se os materiais e técnicas empregadas nos respectivos locais de implantação do parque eólico. Assim, o presente trabalho foi concebido com o objetivo de realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, por meio de consultas às revistas especializadas, tabelas, gráficos, periódicos, artigos científicos, catálogos técnicos, teses, dissertações, monografias, sites especializados e livros técnicos disponíveis. Divididas em duas etapas, inicialmente a pesquisa abordará conceitos gerais dos assuntos envolvidos e em seguida, serão detalhadas as características/particularidades inerentes a cada ambiente de geração de energia eólica. Na segunda etapa, no tópico resultados e discussão, serão abordados os principais conceitos e informações atualmente aplicados à aerogeradores.

2. Revisão da literatura

2.1 Aerogeradores

Denomina-se aerogerador o equipamento destinado a gerar energia elétrica a partir da energia fornecida pelo vento (Pinto, 2013). De acordo com o eixo ao redor do qual as pás giram, eles podem ser classificados em aerogeradores de eixo vertical (tipo Savonius e tipo Darrieus, por exemplo) e aerogeradores de eixo horizontal (Pinto, 2013). Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas em pequenas (potência nominal menor que 500 kW e empregados em residências rurais, fazendas e aplicações remotas), médias (potência nominal entre 500 kW e 1000 kW, utilizados em pequenas comunidades, sistemas híbridos e geração distribuída) e grandes (potência nominal maior que 1 MW, destinados à parques eólicos e geração distribuída) (CRESESB, 2001). Já o aproveitamento dos recursos eólicos pode ser feito no ambiente *onshore* ou em ambiente *offshore*.

Os aerogeradores podem ser divididos em quatro grandes subcomponentes: a fundação, a torre, a nacelle e o rotor (constituído pelo cubo e pás) (Ribeiro, 2015). Segundo SILVA (2014) e BRAZ (2018), enquanto na maioria das estruturas em Engenharia Civil as fundações são projetadas para suportar as cargas verticais, as fundações das torres eólicas terão de suportar essencialmente forças horizontais impostas pelo vento, que irão originar valores muito elevados de momentos fletores na base da torre e na fundação.

Por definição, as fundações transmitem ao terreno as cargas (estáticas e dinâmicas) de uma estrutura e nos aerogeradores, ela funciona como um elemento de interface entre a torre e o solo. Logo, um projeto da fundação deve incluir além dos aspectos estruturais e geotécnicos, a natureza das cargas atuantes na torre eólica, a identificação do nível do lençol freático e sua variação sazonal (Mendizabal, 2014).

A torre funciona como elemento de sustentação do conjunto rotor-nacele. Sua altura é determinada em função da captação da massa de ar nas velocidades consideradas ideais e menos vulneráveis aos efeitos das instalações urbanas, vegetação e formações geográficas (Bretschneider et al., 2015). Além dos elementos estruturais, a torre abriga no seu interior alguns componentes (escadas ou elevadores, plataformas, suportes e guard-rails) e a definição do modelo e do material a ser empregado na sua confecção são dependentes de fatores, como: custos, altura do aerogerador, facilidade de transporte, montagem e manutenção (Lima, 2018; Ribeiro, 2015).

2.2 Aerogeradores *onshore*

2.2.1 Fundações

As fundações empregadas para torres de aerogeradores *onshore* são confeccionadas em concreto armado e divididas em dois grandes grupos, de acordo com a resistência dos solos: fundações superficiais (rasas ou diretas) e fundações profundas ou indiretas. Embora as sapatas, blocos e radier sejam exemplos de fundação direta, assim como as estacas, os tubulões e os caixões estejam incluídas entre os tipos de fundação profundas, neste trabalho serão abordadas apenas as sapatas e as estacas.

Para solos com características geotécnicas mais resistentes, são utilizadas fundações diretas, constituídas, geralmente por sapatas. Já para solos com resistência mínima, são empregadas fundações indiretas, constituídas por estacas. Existem ainda situações mistas, em que as características dos solos não são uniformes (Silva, 2014).

Segundo a Norma NBR 6122 (2010), são ditas superficiais, rasas ou diretas os elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

Define-se como sapatas os elementos de fundação superficial de concreto armado, com espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal (NBR 6122, 2010). Já as fundações indiretas ou profundas, segundo a referida norma, são definidas como elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa.

As estacas apresentam diferentes metodologias de execução (estacas cravadas ou escavadas), bem como, de materiais empregados (concreto e aço). Segundo PIUCCO (2014), as estacas escavadas são moldadas no local após a escavação do solo, com remoção do material. Já as estacas cravadas podem ser cravadas no terreno por percussão, vibração ou prensagem e não há remoção do solo.

2.2.2 Torre

A madeira e a alvenaria de pedra foram os primeiros materiais empregados na fabricação dos moinhos de ventos destinados ao uso comercial. Porém, em virtude do

tamanho dos aerogeradores, outros materiais passaram a ser utilizados na fabricação das torres, tais como: perfis de aço, estruturas de concreto betonadas no local ou pré-moldadas, torres híbridas de concreto pré moldado e aço (Chastre; Lúcio, 2014; Ribeiro, 2015).

A torres eólicas tubulares de aço são as mais utilizadas tanto em parques *onshore*, quanto em *offshore*, necessitando, entretanto, de proteção anticorrosiva em ambos os ambientes, além de inspeção e manutenção periódicas. Consiste em chapas de liga metálica especial que são fletidas em uma forma circular e soldadas longitudinalmente (Rocha, 2016). Os cilindros resultantes são conectados um ao outro através de soldas horizontais para formar um tramo de torre, que varia entre 20 e 30 metros em seu comprimento (Rocha, 2016). Até 80 m de altura, as torres de aço apresentam preço competitivo e são facilmente montadas no local de instalação. Porém, a partir de 80 m de altura, elas utilizam chapas com maior espessura e possuem um formato com os diâmetros dos anéis aumentando do topo para a base, pois, neste local, as forças de compressão geradas por ação dos ventos são maiores (Camacho e Silva, 2013).

O concreto, inicialmente com uso específico na construção civil, por sua versatilidade, propriedades específicas e por atender as demandas de aerogeradores cada vez maiores, passou a ser empregado na construção de torres eólicas. Embora apresentem um tempo de construção demorado, elevando o seu preço final, as torres de concreto podem ser pré moldadas (pré fabricadas) em partes menores ou fabricadas no próprio local, ao contrário das torres de aço. Neste contexto, na construção da torre de concreto pré moldado podem ser utilizados meios anéis na base e anéis no topo, com juntas verticais e horizontais, eliminando-se assim, os custos e as dificuldades relacionadas ao transporte da estrutura inteira ou partes da mesma (Chastre; Lúcio, 2014). As torres de concreto fabricadas no local, embora permitam uma certa flexibilidade e sejam adequadas do ponto de vista estrutural, apresentam algumas desvantagens, quando comparadas àquelas fabricadas com concreto pré moldado, a saber: prazo de execução elevado, necessidade de reforço para o concreto até a sua completa cura e dependência das condições climáticas da obra (ocorrência de precipitação e condições de temperatura) (Camacho e Silva, 2013; Mendizabal, 2014).

As torres híbridas de concreto e aço surgiram da necessidade de solucionar as limitações de alturas originadas pela utilização das torres de aço. A parte inferior da torre é constituída de concreto, enquanto a parte superior, de aço. Desta forma, soma-se o comportamento dinâmico das torres metálicas com o comportamento da base de concreto que confere uma rigidez suficiente para atendimento às ações dinâmicas (Duarte, 2014). Além disso, os anéis com maiores diâmetros na base podem ser confeccionados no local ou fabricados em meia seções e transportados até o local de fixação.

Independente do material empregado, a ligação entre a fundação e a torre é feita por meio de um anel metálico constituído por dois flanges. Um dos flanges estará ligada à torre e o outro, embutido na fundação, para onde serão transmitidas as forças de tração e compressão (Camacho e Silva, 2013).

2.3 Aerogeradores *offshore*

2.3.1 Fundações

Em virtude da sua complexidade, a implantação de um parque eólico em ambiente aquático, necessita de uma logística eficiente, maiores investimentos relacionados ao transporte de materiais e de equipamentos, bem como, investimentos em instalação,

construção e manutenção. Neste contexto, incluem-se, por exemplo, os custos com a infraestrutura da turbina, transporte e fixação da fundação e instalação de cabos submarinos. A complexidade da fundação no ambiente *offshore* está relacionada à dependência de fatores, como: geologia do terreno, profundidade em que o aerogerador será instalado, correntes oceânicas, forças geradas pela interação entre a turbina e o vento, cargas resultantes de um ambiente marinho como ondas e gelo (Bertuzzi, 2013; Ribeiro, 2015).

As fundações de estruturas eólicas comumente empregadas em ambiente *offshore* podem ser classificadas como fixas (gravitacional, monopilar, tripod, tripile e jacket) ou flutuantes, de acordo com a profundidade de instalação ou pelo tipo de fixação no fundo do oceano (Pinto, 2013; EPE, 2020). Segundo RIBEIRO (2015), nas estruturas fixas, o aerogerador transfere as forças através da fundação para o fundo oceânico. Já nas estruturas flutuantes, o conjunto não está ligado de forma rígida ao fundo e, portanto, transmitem as forças e cargas para a água (Camacho e Silva, 2013). A conexão com o solo é realizada por cabos que tem como objetivo assegurar que o aerogerador permaneça no local instalado (Camacho e Silva, 2013; Ribeiro, 2015).

A fundação gravitacional consiste em uma base em concreto ou aço, instalada de forma que a estrutura total do aerogerador seja estabilizada pelo efeito da gravidade. Seu design é apropriado para águas rasas (até 25 m) e com solo marinho plano (EPE, 2020; Pinto 2013). Depois de transportada e colocada na posição final de instalação, a estrutura é preenchida com material de lastro como, por exemplo, areia (Da Silva, 2018; Ribeiro, 2015).

A fundação monopilar (estaca única) consiste em um tubo de aço com diâmetro variando de 2,5 a 4,5 m e com uso dependente do tipo de solo no fundo das águas (Pinto, 2013). É indicada para profundidades inferiores a 30 m, não requer preparação do solo marinho e é cravada ao solo com a aplicação de pressão no sentido descendente, não sendo por isso recomendado para fundações em rocha (EPE, 2020). Já a fundação do tipo tripod surgiu na indústria petrolífera e de gás, sendo utilizada na instalação de parques eólicos *offshore* com profundidades superiores a 30 m. É uma estrutura mais estável que as anteriormente citadas, complexa, com grandes dimensões (1 a 5 m de diâmetro), em forma de um tripé e confeccionada em aço tubular soldado. Este tripé, cujos pés são fixados ao fundo do mar, é conectado a um tubo central que faz a ligação com a torre do aerogerador (EPE, 2020). A fundação tripile, utilizada na indústria petrolífera e de gás, é semelhante à tripod podendo ser confundida com a mesma. Consiste em três tubos de aço que se estendem até ao fundo do mar e uma peça de transição colocada sobre eles, por meio de um flange, faz a ligação com a torre do aerogerador (Camacho e Silva, 2013; Ribeiro, 2015).

Conhecida como fundação por treliça, a fundação jacket (jaqueta) utiliza uma estrutura treliçada cujos pés são fixados por perfuração (EPE, 2020). São fabricadas em tubos de aço soldados (diâmetro de 0,5 a 1,5 m), comumente utilizadas na indústria petrolífera e de gás e, portanto, empregadas em águas profundas (Oliveira Filho, 2011; EPE, 2020). Além disso, as fundações jacket tem maior resistência contra ondas e, por sua estabilidade, são adequadas para aerogeradores com maiores dimensões ou em subestações marítimas (Ribeiro, 2015; EPE, 2020).

Algumas fundações como por exemplo, a monopilar e a tripile, apresentam um elemento de transição entre a estrutura de suporte e a torre, denominado peça de transição, que contém os dutos que facilitam as conexões elétricas da turbina, bem como, escadas e plataformas que permitem acesso à torre e execução de trabalhos de manutenção.

As fundações flutuantes são empregadas em locais de grandes profundidades, não acessíveis por outro tipo de fundação. De uso corrente na indústria petrolífera, seu uso ainda não está consolidado no ambiente *offshore*, sendo ainda pouco solicitada em função do seu custo elevado e da tendência à oscilação, em virtude da ação da água e do vento. Este tipo de fundação utiliza a estabilização das estruturas no mar por meio de um sistema de ancoragem de cabos no leito marinho, impedindo assim, o seu deslocamento. Segundo OLIVEIRA FILHO (2011), uma estrutura flutuante deve fornecer a flutuabilidade suficiente para suportar o peso da turbina e ter *pitch*, *roll* e movimentos verticais dentro dos limites aceitáveis.

2.3.2 Torre

As torres empregadas em ambiente *offshore* apresentam tecnologia semelhantes às suas correspondentes em ambiente *onshore*, inclusive, no emprego do mesmo material (aço) na sua confecção. Entretanto, por estarem expostas a um ambiente agressivo e, portanto, sujeitas à maior incidência de corrosão, necessitam de maior proteção contra a degradação de sua superfície e/ou partes que a compõem. Além disso, a altura das torres utilizadas no ambiente *offshore* são menores, apesar das maiores turbinas empregada neste local.

Segundo MOMBER et al. (2008), as torres *offshore* estão expostas a forças intensas e complexas, incluído: tensões corrosivas, carga física e tensão biológica (sob a água). Por tensão corrosiva entende-se a inclusão de características, como: exposição da torre à água do mar, ciclos de umidade/secura, variações de temperatura da água e do ar, detalhes de construção (juntas, parafusos, soldas, flanges, cordões de solda, perfis de aço) e materiais de construção (combinações de materiais) (Momber et al., 2008). Além do aço, comumente empregado na confecção das torres, CHASTRE e LÚCIO (2014) desenvolveram uma torre treliçada pré-moldada em concreto armado, que pode ser empregada nos ambientes *onshore* e *offshore*.

3. Discussão

3.1 Aerogeradores *onshore*

3.1.1 Fundação

Como elemento de ligação entre a torre e o solo, a fundação desempenha um papel muito importante no correto funcionamento do aerogerador. O tipo e dimensão a ser utilizado está relacionado com as condições geotécnicas do solo sobre a qual será assentada, bem como da altura da torre e da potência do equipamento. Devido a alturas cada vez maiores, a fundação deve ser dimensionada de maneira tal que garantam que as oscilações existentes no topo da torre (ângulo de deflexão de $0,5^\circ$), não interfiram no correto funcionamento do aerogerador (Camacho e Silva, 2013; Ribeiro, 2015). Outro fator importante que deve ser considerado em projeto diz respeito a rotação que a estrutura da turbina e das pás dão em torno do eixo da torre, com o objetivo de se alinhar a condição mais favorável do vento obtendo-se assim, maior geração de energia. Ao executar esta manobra, ocorre uma variação de esforços/carregamento atuantes na fundação, que devem ser previstos no seu dimensionamento.

Comparando-se as fundações de torres metálicas e de concreto, observa-se que as fundações diretas possuem normalmente um diâmetro elevado para facilitar a

capacidade suporte da torre em relação à turbina (Da Silva, 2018). São mais econômicas em relação às fundações profundas e a quantidade de material a ser empregado (consumo de concreto e aço) é dependente da geometria empregada na sua construção (quadrada, circular octogonal ou hexagonal). Dentre as formas citadas, a circular é a mais empregada pela soma dos seguintes fatores (Da Silva, 2018): a distribuição das forças na sapata é uniforme, independentemente da direção do vento, utilização de um menor volume de concreto e quantidade de aço necessários para a sua execução. Além disso, este tipo de sapata é a única que possui armadura disposta em forma radial e possui uma maior resistência aos momentos fletores, devido ao reforço de pelo menos quatro camadas na superfície inferior da fundação (Camacho e Silva, 2013). A desvantagem apresentada pelas sapatas circulares diz respeito à complexidade exigida na sua construção que pode necessitar de mão de obra qualificada. Segundo RIBEIRO (2015), uma fundação direta típica para uma turbina eólica de 2 MW apresenta um diâmetro na base da ordem de 20 metros e no topo, 7 metros e espessura variável entre 1 a 2,5 metros.

As fundações profundas ou indiretas são formadas por um bloco maciço de concreto armado, localizado à pouca profundidade em relação à superfície do terreno e sobre estacas que podem ser cravadas ou escavadas, inclinadas ou verticais. Este tipo de fundação, além do ser utilizado em situações em que as fundações diretas são inviáveis em função das características do solo, devem ser empregadas, também, quando a implantação do parque eólico prevê aterros nos locais das torres. Outros fatores devem ser levados em consideração para a escolha do tipo de estaca a ser empregado, tais como; nível de carregamento, efeitos da rigidez das estacas, bloco e torre nos deslocamentos do conjunto; custos; equipamentos disponíveis; prazos necessários, e análise dos carregamentos em compressão tração e horizontal (Milititsky, 2014). Ainda segundo este autor, bases com 16 a 24 metros de diâmetro são suportadas por número de estacas variável entre 16 e 48 unidades, dependendo das cargas atuantes. Segundo SALES (2018), no nordeste do Brasil, em geral, soluções em fundações diretas são as mais utilizadas, enquanto no sul do Brasil, as fundações geralmente adotadas são as profundas.

3.1.2 Torre

As torres tubulares em aço, para altura de até 80 m, apresentam como principais vantagens: facilidades de produção e de transporte, uma vez que são divididas em seções (ou tramos) e facilidade de montagem em obra. Em alturas superiores à 80 m, o uso das torres de aço apresenta algumas desvantagens, tais como (Chastre; Lúcio, 2014): necessidade de fundações mais pesadas; aumento do diâmetro e da espessura das paredes; limitações de produção e transporte relacionados com o tamanho dos anéis. Além disso, as torres metálicas tornam-se mais sensíveis à fadiga, à instabilidade e apresentam um deficiente comportamento dinâmico para a ação do vento e para as ações dos sismos (Chastre; Lúcio, 2014). As conexões soldadas, áreas aparafusadas, bem como, seções onde ocorrem modificações nas dimensões do tubo (flanges) têm influência negativa na resistência da torre (Camacho e Silva, 2013).

Em virtude dos problemas acima relatados, o concreto ou a junção deste material com o aço surgiu como alternativa para construção de torres eólicas. As torres de concreto pré moldadas podem ser confeccionadas em diferentes formas, de acordo com altura e carga a suportar especificadas em projeto. Assim, podem ser concebidas com anéis pré-moldados, meios anéis na base e anéis no topo, e compondo a base de uma torre híbrida contendo aço na parte superior. Segundo CORSINI (2015), na montagem

das seções (tramos) que compõem as referidas torres, cabos de tensão são passados por dentro de dutos e tensionados com a fundação. Outra solução alternativa, de acordo com a tecnologia desenvolvida por Chastre e Lúcio (2014), é a utilização de torres treliçadas pré moldadas em concreto armado para alturas acima de 80 m, em substituição ao aço. Este modelo pode ser empregado nos ambientes *on* - e *offshore* e apresenta os seguintes benefícios: os elementos pré-moldados de pequenas dimensões podem ser facilmente transportados, geometria variada e redução de custo com a fundação (Chastre; Lúcio, 2014).

Em relação às torres de aço, as torres fabricadas com concreto apresentam as seguintes vantagens: melhoria do comportamento dinâmico reduzindo a fadiga; maior durabilidade do concreto; utilização de material completamente reciclável; menor necessidade de manutenção, em contraste com as torres aço e maior resistência à corrosão, dentre outras (Chastre e Lúcio, 2014). Entretanto, as torres de concreto com anéis ou pré-moldadas são limitadas pelo diâmetro máximo da base da torre e, para a sua montagem, utilizam equipamentos extremamente altos. Já as torres com paredes de concreto produzidos no local, apresentam processo construtivo demorado (Camacho e Silva, 2013).

3.2 Aerogeradores *offshore*

3.2.1 Fundação

A maioria dos parques eólicos *offshore* estão localizados em águas rasas, o que demonstra que as estruturas flutuantes ainda não estão consolidadas, apesar da tecnologia já empregada em plataformas de petróleo e gás. Isso ocorre porque o custo de instalação de um parque eólico *offshore* é influenciado pela distância do parque em relação à costa, bem como pela profundidade na qual o aerogerador será instalado (EPE, 2020). Considerando-se que a fundação equivale à 20% dos custos envolvidos em um projeto eólico no mar, percebe-se que, quanto mais próximo da costa for a instalação, menos complexa e, naturalmente, mais barata será a fundação. Neste contexto, dentre os parques eólicos *offshore* em operação no mundo, cerca de 80% utiliza fundação do tipo monopile. Este tipo de fundação não requer, na maior parte dos casos preparação prévia do local de fixação, o que a torna competitiva, uma vez que reduz o volume de trabalhos abaixo da linha de água e sua instalação é relativamente rápida (Ribeiro, 2015). Como ponto negativo, destaca-se a ligação entre a peça de transição e a fundação monopile que é feita por meio da utilização de cimento ou argamassa. Como a atuação das cargas dinâmicas do vento e das ondas do mar provocam oscilação e vibração na torre, ao longo do tempo, surgem fissuras na argamassa (Camacho e Silva, 2013). A fundação monopile evoluiu significativamente, sendo a mais competitivo em termos de custo, mesmo com turbinas maiores e em profundidades superiores a 35 m (EPE, 2020).

Apesar da possibilidade de instalação de parques eólicos em águas profundas, as técnicas para sua implementação neste ambiente ainda não estão consolidadas, necessitando de maiores conhecimentos acerca das tecnologias de construção e manutenção das fundações, com o objetivo de baratear os custos envolvidos nesta etapa.

3.2.2 Torre

As torres dos aerogeradores *offshore* produzidas com aço, em virtude do ambiente agressivo no qual estão localizadas, apresentam zonas expostas às tensões de corrosivas,

assim definidas: enterrada no solo, subaquática, zona intermediária, de respingo e a zona atmosférica (Momber et al., 2008).

A zona subaquática abrange a região permanentemente exposta a água, enquanto que na intermediária, o nível da água muda por ação dos efeitos naturais ou artificiais. É na zona de respingo, área molhada pela onda e ação de pulverização, que ocorre a maior incidência de corrosão do aço (Momber et al., 2008). Neste local, a fundação e a torre são conectadas por meio de flange, exigindo, portanto, uma maior proteção contra a corrosão (Momber et al., 2008). Como forma de proteção aos danos provocados pela corrosão, podem ser empregados, por exemplo; materiais mais resistentes à deterioração, aplicação de revestimentos para proteção do aço e proteção catódica, respeitando-se a característica/particularidade da zona ou região analisada e a severidade da corrosão no local. Esta conduta é primordial para vida útil do aerogerador, pois em virtude da reduzida acessibilidade, as inspeções na torre *offshore* não são regulares, acarretando em altos custos de manutenção e reparação em caso de falha do revestimento (Momber et al., 2008).

4. Conclusão e considerações finais

Os investimentos cada vez maiores em parques eólicos, fonte de energia limpa e renovável, requerem estudos detalhados acerca de todas as etapas envolvidas no projeto a ser implantado, em virtude da sua complexidade, tanto no ambiente *onshore*, quanto no *offshore*. Neste contexto e, respeitando-se as características particulares e específicas das estruturas dos aerogeradores, devem ser considerados no estudo da interação torre-fundação, fatores como: fundações que atendam à especificação do projeto, altura da torre e pás; ambiente em que o equipamento será instalado, esforços/cargas atuantes, especificação dos fornecedores, dimensionamento estrutural de fundação e torre, relação custo/benefício dos materiais empregados, vida útil do aerogerador (20 anos, 175.000 horas de operação), custos das fundações e critérios de manutenção. Quando mal projetada, a fundação da torre pode conduzir à problemas, como: falta de rigidez; recalques; tombamentos; ressonância ocasionada por vibração da torre, rotor e pás; acidentes durante a operação e redução da vida útil do equipamento. Embora a tecnologia consolidada em parques eólicos *onshore*, sirvam de referência para o seu correspondente em ambiente marinho, a complexidade das etapas que envolvem o planejamento, construção, funcionamento e manutenção do empreendimento *offshore* ainda necessitam de aprimoramento, melhor compreensão e domínio das técnicas e particularidades envolvidas em todo o processo.

5. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6122: PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES, Rio de Janeiro 2010.

Bertuzzi, P. J. 2013. 102f. Estudos de aspectos de engenharia para implantação de torres eólicas. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Braz, E. M., 2018. A engenharia de fundações de aerogeradores de grande porte - Revista Fundações e Obras Geotécnicas, Ed. 92, 38-43;

Bretschneider, M. R.; Schneider, E. L.; Dias, M. M. 2015. Análise do uso de materiais em aerogeradores. In: XV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial (CONEMI) e IX Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial (SEEMI), Novo Hamburgo.

Camacho e Silva, B. S. 2013. A engenharia civil e a produção industrial de energia eólica. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESEB. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001. Disponível em: <

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&ci6d=1>.

Acesso em: 26 set 2018.

Chastre, C., Lúcio V. 2014. Evolução histórica, desenvolvimento atual e potencial futuro das torres de concreto pré-moldado para suporte de aerogeradores – Revista Concreto e construções, 75, 24-35.

Corsini, R. 2015. Montagem de torres eólicas. Revista Construção – mercado, negócio de incorporação e construção, nº 171, ano 68.

Da Silva, W. N. 2018. Tipificação de fundações de turbinas eólicas de parques eólicos off-shore. 2018. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 10, nº. 1, 19p.

Dos Santos, M. A. (org). 2013. Fontes de energia nova e renovável. 1ªed., LTC, Rio de Janeiro

Duarte, E. P. 2014. Evolução das torres eólicas pré-moldadas protendidas - Revista Concreto e construções, 75, p. 36-41.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. 2020. Roadmap Eólica Offshore Brasil - Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima. Rio de Janeiro.

Estadão.com. 2020. Equinor Brasil entra com pedido de licença para parque eólico offshore de 4 GW.

Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,equinor-brasil-entra-com-pedido-de-licenca-para-parque-eolico-offshore-de-4-gw,70003407015> . Acesso em 25 de ago. 2020.

Lima, R. C. A. 2018. Indústria de aerogeradores e o desenvolvimento regional: perspectivas de consolidação na Bahia. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica.

Mendizabal, R. L. 2014. Realizações do concreto no setor eólico. Revista Concreto e construções, nº 75, 42-48.

Milititsky, J. 2014. Desafios na solução de fundações de aerogeradores. Revista Concreto e construções, nº 75, 4 -61.

Momber, A.W.; Plagemann P.; Stenzel, V.; Schneider, M. 2008. Investigação de proteção em torres eólicas offshore - Parte 1: histórico e programa de teste. The Journal of Protective Coatings & Linings, p. 30-43.

Nascimento, R. H. 2020. Projetos de energia eólica offshore podem injetar R\$ 37,6 bi no CE. Jornal diário do Nordeste. Ceará, 06 fev.

Disponível em:
<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/negocios/projetos-de-energia-eolica-offshore-podem-injetar-r-37-6-bi-no-ce-1.2208106>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

Oliveira Filho, O. D. Q. de. 2011. Uma metodologia simplificada para estimativa do aproveitamento eólico offshore no litoral brasileiro - Estudo de caso: a ilha de Itamaracá/PE. Dissertação (mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco.

Pinto, M. 2013. Fundamentos de energia eólica, LTC, Rio de Janeiro.

Piucco, L. T. 2014. Estudos e dimensionamento das fundações de uma torre eólica. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ribeiro, C. M. S. 2015. Construção de Parques Eólicos Marítimos: Processos e Direção de Obra. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto.

Rocha, A. B. 2016. Uma avaliação comparativa entre torres para aerogeradores de aço tubulares e de concreto pré-moldado protendido na região de serra do mel, Rio Grande do Norte. Trabalho de conclusão de curso, departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Sales, M. U. 2018. Aplicação de mono estacas cravadas em fundações de aerogeradores offshore. Monografia (Engenharia Civil) Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará.

Silva, M. D. da. 2014. Tipificação de fundações de torres eólicas em parques industriais, para diversos tipos de solos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE PÁS DE AEROGERADORES: UMA VISÃO GERAL

Miryam Torres dos Santos Cunha¹, Thailys Campos Magalhães², Ana Carolina de Santana Moura³, Marcela Nunes de Souza⁴, Luana Laís da Silva Freire⁵

¹Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
miryamts Cunha@gmail.com

² Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alagoas, Curitiba,
thaylis_magalhaes@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
anacarolinasantana.eng@gmail.com

⁴Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
marcellans48@gmail.com

⁵Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Alagoas, Maceió,
luanalaisfreire@live.com

Resumo

Desde os primórdios da humanidade a energia eólica é aplicada para a obtenção de energia mecânica e atualmente para a geração de energia elétrica. É uma fonte de energia renovável em que os ventos movimentam a turbina gerando a energia. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre os principais materiais utilizados na construção de pás de aerogeradores, mostrando sua evolução de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de utilização do vento como força motriz, tanto para o bombeamento de água e moagem dos grãos, quanto para a produção de energia elétrica de uma forma limpa e sustentável. Os materiais com o passar dos anos tiveram que acompanhar o avanço da técnica na busca da maior eficiência na geração de energia eólica. Para os primeiros aerogeradores da história, a madeira era utilizada como material base e apresentava vantagens como baixo custo e garantia resistência mecânica. Visando a melhoria e eficiência do equipamento surgiram as pás metálicas que por sua vez permitiam a sua manutenção e reciclagem. Seguindo do desenvolvimento e identificando possibilidade de melhorias, surgiram estudos e materiais que pudessem trazer leveza e baixo custo como, por exemplo, os materiais compósitos. Muito utilizado atualmente, os materiais compósitos são formados por um ou mais elementos que gera um material que possa apresentar melhores propriedades frente às necessidades para o funcionamento adequado do aerogerador. Madeira balsa, fibras de vidro e fibras de carbono fazem parte dos materiais estudados para viabilidade na utilização dos aerogeradores.

Palavras-chave: Energia eólica, Ciência dos Materiais, Aerogerador.

1. Introdução

De acordo com relatos e documentos históricos, além da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 A.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700 A.C) empregavam o manuseio de cata-ventos na irrigação. É notório que a energia eólica vem sendo utilizada desde os tempos remotos de diversas civilizações através de moinhos rústicos e estimulados por velas fazendo as engrenagens dos moinhos

funcionarem, logo após o movimento de suas pás. Esses moinhos eram empregados na produção de farinhas, irrigação de lavouras e na drenagem de riachos, canais e córregos, em países europeus como a Holanda.

O uso de geradores eólicos para prover energia elétrica tem sua origem documentada no início do século 20, em várias regiões da Europa, onde geradores criavam a possibilidade de ter energia independente da rede convencional (de distribuição extremamente restrita, na época) gerando desenvolvimento em consequência da criação de pequenas zonas de autonomia energética (parcial ou total) em regiões que antes não possuíam qualquer fonte energética (CLEVELAND, 2004).

Em 1941, a produção de eletricidade a partir do vento foi feita usando turbinas com pás de aço construídas pela empresa S. Morgan-Smith em Vermont nos Estados Unidos (Fig.1 a). Uma das lâminas falhou após apenas algumas centenas de horas de operação intermitente. Assim, logo no início da história do desenvolvimento da energia eólica percebe-se a importância da escolha adequada dos materiais e das limitações inerentes dos metais como material de pás de aerogeradores.

A turbina eólica Gedser (Fig 1 b), projetada por Johannes Juul, com três pás construídas com longarinas de aço, com cascas de alumínio apoiadas em nervuras de madeira, instaladas na Gedser costa da Dinamarca em 1957, foi a primeira história de sucesso de energia eólica, funcionando por 11 anos sem manutenção. Dessa forma, observa-se a ligação existente entre o sucesso da tecnologia de geração de energia eólica e a aplicação de materiais. A primeira turbina, construída com pás de aço, falhou, enquanto a segunda turbina, com pás compostas, trabalhou para muitos anos.

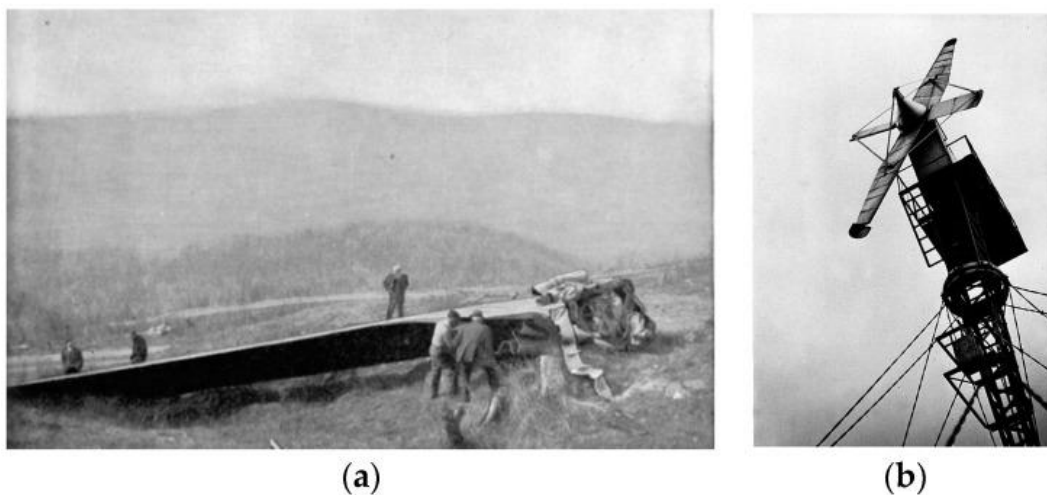


Fig. 1: Falha na pá da turbina eólica Smith de 1941 (a); e turbina eólica de Gedser (b).

O Aerogerador é um conjunto turbina-gerador, que utiliza o aproveitamento da energia cinética do vento para produzir energia elétrica, através de um sistema de hélices que pode se apresentar de maneira horizontal ou vertical. O desenho aerodinâmico destas hélices, ou pás, é responsável pela eficiência na interação com a massa de ar e captação de energia. Quando o vento passa pelo rotor, a massa de ar gera empuxo e torque que são convertidos em energia.

Comumente os rotores mais utilizados são os de eixo horizontal, sendo assim o mecanismo mais usado no cenário de mercado em todo o mundo. Esses rotores são constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás. Sendo que essas pás podem possuir variadas formas e fabricadas de variados materiais, como: madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada.

Conforme SCHUBEL e CROSSLEY (2012), as pás dos aerogeradores passam por diversos ciclos de flexão, propriedade mecânica que deve ser observada para que estas hélices não tenham contato acidental com a torre de sustentação do gerador horizontal, afim de evitar graves danos. O estudo de materiais compósitos através de ensaios mecânicos e simulações computacionais permite explorar as características de orientação das fibras, reforços estruturais e demais situações que podem afetar o desempenho e a segurança do gerador.

Para permanecer competitivo com as tecnologias existentes, a otimização da eficiência das turbinas eólicas é crucial e ditada pelo projeto de engenharia complementado pela escolha criteriosa dos materiais. Além disso, os materiais devem ser duráveis, idealmente recicláveis e de baixo custo em termos de fabricação, para não causar grande impacto ambiental e se obter vantagens econômicas.

2. Histórico dos materiais usados na fabricação das pás

A utilização da madeira em sistemas eólicos é antiga. Desde os moinhos (Fig. 2), com pás feitas de tecido e madeira, geralmente é usada para aerogeradores de pequeno porte, em aerogeradores de grande porte é utilizada como reforço estrutural. É um material de baixo custo e fácil de ser obtido e oferece resistência mecânica boa, foi composição de pás de aerogeradores no início do século 20 na Europa e Estados Unidos.



Fig. 2: Moinho de cereais europeu, cerca de 1920.

Segundo Callister (2010), a madeira por ser material orgânico com fibras organizadas de modo direcional, tem o comportamento de material compósito em suas propriedades mecânicas. Por apresentar maior densidade que os materiais compósitos e pela vulnerabilidade a agentes externos, a madeira deve passar por tratamentos químicos para ser viável sua utilização em ambientes extremos. Devido seu poder biodegradável e por sofrer modificação nas suas características a depender do grau de umidade e temperatura do ambiente, seu uso nas hélices é limitado, pois há a probabilidade de que sua forma se transforme a ponto de enfraquecer a estrutura e causar fratura.

A fabricação de equipamentos com pás metálicas (Fig. 3) se deu em 1890, quando se iniciava um novo conceito de máquina eólica e as turbinas possuíam várias pás, com o propósito apenas voltado para o bombeamento de águas do subsolo, delimitando suas capacidades de expansão e desenvolvimento (FILHO, 2011).



Fig. 3: Aerogerador com pás de metal.

Este equipamento (Fig. 3) possui em torno dezoito pás e seu funcionamento baseia-se em giros com velocidades menores, e necessita de um torque maior, diferente dos aerogeradores, que se concentra em geração de eletricidade onde se almeja ventos com velocidades maiores, onde normalmente o número de pás se restringi a três e o design aerodinâmico é mais complexo (FILHO, 2011).

Os metais são materiais que geralmente são compostos na forma de ligas metálicas que apresentam grande tenacidade, condutividade térmica e elétrica e excelentes propriedades mecânicas. Exercem funções importantes nas estruturas e fixações, na forma de elementos auxiliares como rolamentos, parafusos e rebites, alternadores e geradores e cabos de transmissão de energia.

Apresenta facilidade de reposição e manutenção, há a possibilidade de reciclar o metal, baixo custo dos processos envolvidos, no entanto aumenta o peso da estrutura e a vantagem do baixo custo é perdida no acréscimo de materiais de reforço para estrutura além da necessidade de tratamento anticorrosivo. O valor de adquirir e produzir estes materiais, principalmente as ligas mais exóticas, pode ser alto devido a raridade de alguns elementos da liga (CALLISTER, 2010).

Com o avanço nos estudos de novas tecnologias e o surgimento de materiais mais leves e de menor custo, as pás de metal deixaram de ser usadas em favor do uso de materiais compósitos ou polímeros. Determinados aerogeradores de grande porte, possuem pás com estrutura externa metálica, estas exibem uma dificuldade no transporte, já que tem de ser transportadas já na forma final. O grande índice de reciclagem do aço, impulsionou empresas a criarem pás para aerogeradores de pequeno porte feitas inteiramente de metal, como pode ser visto pela Figura 4.

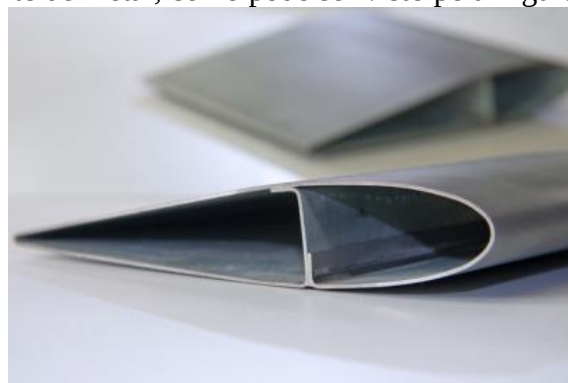


Fig. 4: Perfil de uma pá de pequeno porte produzido pela empresa Fraunhofer.

O alumínio, era utilizado na composição das estruturas internas e as placas formando o corpo externo das pás, igualmente como são fabricadas as asas de aeronaves. No entanto, a utilização desse tipo de fabricação tornou-se caro e suscetível a falhas mecânicas pelo fato de serem composto de muitos rebites e parafusos (FILHO, 2011).

As máquinas com pás de até 10 metros eram produzidas através de placas de fibra de vidro curadas em moldes e unidas por meio de rebites e parafusos em aço (CLAUSEN e WOOD, 2000). Já as turbinas com pás de 24 metros que utilizava fibra de vidro e os rotores com 60 metros de diâmetro produzidos em chapas de aço consolidadas por solda, foram testadas no centro de pesquisas da Agência Espacial Norte Americana (SPERA, 1994).

Atualmente o mercado se encontra em constante expansão, proporcionando assim um aumento em investimentos em equipamentos para enrolamento de fibras, automatizando o processo de fabricação das pás em material compósito. Levando a redução da mão de obra, de custos e melhoria no controle de qualidade.

A Figura 5 mostra uma linha do tempo ilustrando a evolução dos materiais utilizados na construção de pás de aerogeradores em cada período.

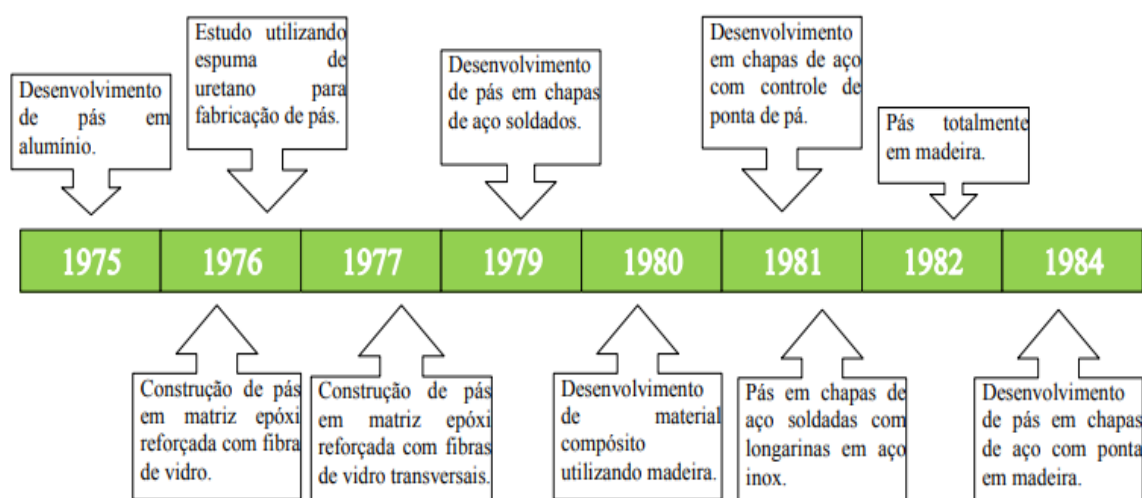


Fig. 5: Cronologia da utilização de materiais para fabricação de pás de aerogeradores.

Diversos modelos têm sido propostos e utilizados para descrever o comportamento em degradação e a evolução do dano nos materiais de confecção das pás. Esses modelos são fundamentados empiricamente a partir de dados experimentais e em observações físicas e mecânicas. A resistência a fadiga deve ser avaliada para obedecer às condições de vida útil.

3. Compósitos para pás de aerogeradores

Os materiais compósitos são materiais compostos de dois ou mais elementos para gerar um único material com comportamento similar aos materiais de origem (CALLISTER, 2010). São excelentes materiais para a superfície das pás, estrutura interna e a construção da nacele e leme, podem ser de dois tipos: laminados que são várias camadas de materiais compósitos unidas, e sanduíche que são camadas externas finas de laminado com um núcleo central de baixa densidade, formado por espuma de

PVC (policloreto de vinila), PET (polietileno politereftalato de etileno) ou madeira balsa. Em seguida essas estruturas são coladas com adesivos a base de resina epóxi, isso pode ser visto na Figura 6.

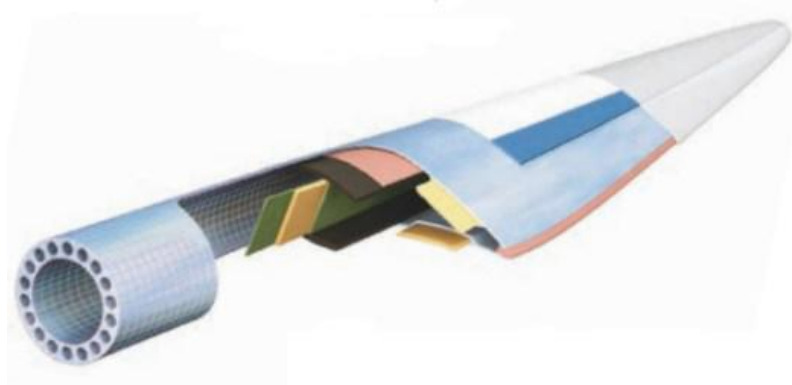


Fig. 6: Corte de uma pá, mostrando as diversas camadas de materiais de construção.

Devido à resistência estrutural limitada, materiais compósitos são mais empregados na nacele, leme e pás dos aerogeradores. As fibras de vidro e fibras de carbono são as mais usadas junto a resina epóxi no desenvolvimento de compósitos com fibras multidirecionais para a construção das pás de aerogeradores, devido a facilidade de conformação, baixo peso e grande resistência mecânica.

Quando combinadas, as fibras e a matriz polimérica formam um material compósito com diferentes propriedades químicas e físicas que seus constituintes individuais. O material resultante é reforçado com propriedades complementares que compensam déficits no outro. Os materiais compósitos comuns que contêm fibras usados nas pás das turbinas são de vidro e carbono. As fibras longas fornecem rigidez e resistência, enquanto a matriz polimérica suporta as fibras, fornecendo força fora do plano, flexibilidade, resistência à fratura e maior rigidez. Em uma composição e combinação otimizadas, as lâminas resultantes são leves, com excelentes propriedades mecânicas.

3.1 Matriz de polímero

A matriz polimérica fornece suporte estrutural ligando as fibras e consiste em duas classes principais: termorrígidas e termoplásticas. A principal diferença física entre eles é o comportamento em diferentes temperaturas.

Os materiais termorrígidos contêm polímeros fortemente reticulados em ligações químicas irreversíveis. Isso os torna resistentes a altas temperaturas e permanecem em estado sólido permanente depois de resfriados. Isso pode dar origem a tensões internas na estrutura composta.

Os termoplásticos contêm polímeros que não possuem essas fortes ligações químicas, para que as interações sejam reversíveis. Eles amolecem quando reaquecidos, permitindo a possibilidade de reforma e reparos quando necessário. No entanto, essa propriedade também os derrete sob altas temperaturas, tornando-os impraticáveis para algumas das condições adversas que as turbinas eólicas devem suportar.

O mais importante da resina matriz é a habilidade de absorver energia e reduzir as concentrações de tensões, pelo fornecimento de tenacidade à fratura ou ductilidade, maximizando a tolerância a danos de impacto e o tempo de durabilidade do compósito.

A resina epóxi é um material mais nobre que não possui solventes, tem a necessidade de um controle da temperatura e umidade durante o processo de produção, após a cura ela mantém suas características físicas e químicas, o que não ocorre na de poliéster que continua curando ao longo do tempo, tendo mais chances de ter rachaduras. Ela pode obter resistência química a solventes, propriedades mecânicas, dureza, elevada resistência à tração, fadiga, calor, além de propriedades elétricas excelentes. A Figura 7 mostra um exemplo de pás de pequeno porte produzidas em resina epóxi reforçadas com fibras de vidro.



Fig. 7: Pá de aerogerador de pequeno porte.

A resina poliéster é 2 ou 3 vezes mais baratas que a epóxi, ela tem a secagem controlada, sua desvantagem é a permeabilidade. Pois, na secagem dos solventes a resina se torna porosa, levando uma absorção da água com o tempo destruindo as características mecânicas do material.

3.2 Fibras

Os materiais fibrosos são caracterizados pelo fato de serem significativamente mais longos do que largos. A excepcional resistência e rigidez das fibras os tornam excelentes candidatos para os materiais das pás da turbina, onde as fibras longas fornecem rigidez longitudinal quando alinhadas paralelamente ao longo do comprimento da lâmina. As fibras geralmente são quebradiças e, portanto, não são usadas sozinhas como material, mas como reforços aditivos.

As fibras de vidro têm um diâmetro de 10 a 20 μm , são pouco rígidas, possuem baixa densidade e alta resistência. É um material composto de vários filamentos finos de vidro, que não é rígido, porém apresenta alta flexibilidade, quando adicionado poliéster ou outro tipo de resina como a resina epóxi, transforma-se em PRFV (polímero reforçado com fibra de vidro). As fibras de vidro estão disponíveis a um custo menor em comparação com as de carbono e, portanto, são mais prevalentes na indústria.

As fibras de carbono são consideradas uma alternativa muito promissora às fibras de vidro. Apresentam rigidez e densidade muito mais altas que as fibras de vidro, permitindo assim as lâminas mais finas, mais rígidas e mais leves. É uma fibra sintética composta de finos filamentos de carbono, tem propriedades mecânicas semelhantes ao aço, mas é leve e tem maior resistência ao impacto que o aço. No entanto, eles têm tolerância a danos relativamente baixa e são muito mais caros do que as fibras de vidro. Os compósitos reforçados com fibra de carbono são sensíveis ao desalinhamento e

ondulação da fibra, até pequenos desalinhamentos levam a uma forte redução da resistência à compressão e à fadiga.

As fibras de aramida são fibras sintéticas altamente resistentes ao calor, tornando-as adequadas para turbinas eólicas que operam em temperaturas extremas. As fibras são compostas por cadeias de poliamida aromática mantidas juntas por fortes ligações de hidrogênio que contribuem para a resistência da fibra. Entretanto, demonstram alta resistência mecânica e são resistentes e tolerantes a danos, mas apresentam baixa resistência à compressão, baixa adesão às resinas poliméricas, absorvem a umidade e degradam devido à radiação ultravioleta.

4. Desafios no design de materiais das pás para turbinas eólicas mais eficientes

4.1 Mudança de design

Alterações no design e aumento do uso em locais mais hostis, especialmente no mar, criam novos desafios tanto em termos de aerodinâmica quanto de durabilidade. Uma grande mudança está sendo motivada pelo desejo de pás de turbina mais longas. Quanto mais longa a hélice, mais energia ela pode produzir.

Isso cria um enorme desafio para quem trabalha no desenvolvimento de materiais. O alongamento de uma pá aumenta enormemente sua massa, quase um fator de três. A redução de peso tornou-se a principal prioridade no design da hélice.

O ambiente também afeta o design, um grande problema, à medida que mais turbinas são construídas para o exterior. As turbinas *offshore* experimentam uma velocidade média do vento muito mais alta que em terra. A alta velocidade do vento combinada com a chuva no ar salgado do mar, com alta umidade, afeta seriamente a durabilidade.

A durabilidade é uma questão ainda maior para *offshore* do que *onshore*. A localização remota de turbinas *offshore* significa que o reparo e a manutenção das pás são extremamente caros. Encontrar uma maneira de prolongar a vida útil dos materiais é, portanto, uma prioridade para a indústria.

Portanto, os dois grandes desafios de materiais estão relacionados ao aumento eficiente do comprimento da pá e à criação de maior durabilidade, especialmente em ambientes *offshore*.

4.2 Pás de peso mais leve

As pás mais longas aumentam o peso, o que cria uma maior necessidade de materiais de menor peso para compensar isso. Devido à sua alta relação resistência / peso, os compósitos são utilizados há muito tempo no setor de energia eólica. De acordo com Ramsden e Dyer (2015), os fabricantes de turbinas eólicas usam dez vezes mais materiais compósitos do que as indústrias automobilística e aeroespacial combinadas. Muitos compósitos são compostos de apenas dois materiais - fibras de reforço de alta resistência e a matriz, que as une e as envolve.

A fibra de vidro é o reforço mais utilizado, porém sua alta densidade significa que, para futuras lâminas grandes, ela será muito pesada. Devido ao alto custo da fibra de carbono, o mesmo não é a solução para a questão das lâminas fortes e leves.

4.3 Danos às pás

Além dos vários efeitos estruturais de carga, as pás das turbinas eólicas também podem ser sujeitas a descargas atmosféricas, impactos físicos e condições de erosão da superfície prejudiciais durante a operação. Em certos casos raros, mas dramáticos, um evento específico pode causar a falha total de uma pá quase imediatamente; um raio poderoso ou uma carga de vento extrema que leva uma pá rotativa a atingir a torre, por exemplo.

Uma forma significativa de dano observada nas pás da turbina em operação é causada por partículas transportadas pelo ar (abrasivas) que afetam e corroem a borda principal, especialmente em direção à ponta onde as velocidades são mais altas. Uma vez estabelecida, essa superfície áspera degradará o desempenho aerodinâmico da pá e reduzirá a produção de energia, se houver danos estruturais não reparados no material laminado, logo se desenvolverá um dano mais longo e mais complexo.

Para turbinas *offshore*, as fibras de vidro resistentes mecanicamente são, como outros materiais, suscetíveis a danos pelo ambiente salgado e o vento dos mares. Dado que a vida útil da pá no exterior precisa ser de no mínimo 25 anos, os materiais de revestimento duráveis são um aspecto essencial para garantir a resistência à erosão em turbinas eólicas. Os materiais de revestimento atualmente utilizados incluem revestimentos em resina epóxi, sistemas de tinta e fitas de poliuretano.

A maioria desses revestimentos começou na indústria aeroespacial e, portanto, seu desempenho tende a ser otimizado para essas aplicações. No entanto, os raios ultravioletas combinados com a alta umidade do ar salgado no mar, condições extremas de vento e rotores de alta velocidade de uma turbina *offshore*, combinam-se para formar um ambiente altamente erosivo que supera em muito o que é experimentado por uma aeronave.

Portanto, é necessário que as empresas desenvolvam novas formulações para revestimentos e resinas compostas, que são projetadas especificamente para suportar os ambientes adversos nos quais as turbinas *offshore* devem operar.

5. Conclusão

A otimização da forma e do material das pás deve permitir que ela gire mais rapidamente e capture vento em velocidades mais baixas para aumentar a eficiência da turbina. O formato da hélice do rotor deve ser aerodinâmico, como as asas de um avião. O material das pás deve melhorar, em vez de prejudicar sua aerodinâmica, e atender aos seguintes critérios: alta rigidez para uma aerodinâmica ideal, baixa densidade para reduzir as forças gravitacionais e uma vida longa à fadiga para reduzir a degradação do material.

Na avaliação das amplas categorias de materiais disponíveis, a cerâmica não se comporta bem contra cargas de fadiga de longa data, o que significa que elas podem fraturar facilmente. Isso deixa as madeiras e os compósitos restantes que atendem a esses requisitos de material. A madeira é uma opção ecológica, com a vantagem de ter baixas densidades. No entanto, sua baixa rigidez torna o material suscetível a flexões e desvios ao vento, comprometendo gravemente a eficiência geral da turbina. Os materiais compósitos continuam sendo a escolha mais prática e predominante.

6. Agradecimentos

À Universidade Federal de Alagoas.

7. Referências

Al-abadi, A., 2014. Novel Strategies for Aerodynamic Performance Improvement of Wind Turbines in Turbulent Flow. Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen.

Bretschneider, M. R. Análise do uso de materiais em aerogeradores. Novo Hamburgo - RS, 2015. Disponível em: < <http://www.feevale.br/Comum/midias/468ef546-5ae1-442a-a4de-362fa799952a/MAXIMILIAN%20DA%20ROSA.pdf> >. Acesso em: 4 de março de 2020.

Callister, W. D.; Rethwisch, D. G., 2010. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. LTC, São Paulo.

Clausen, P.D., Wood, D.H., 2000. Recent Advances in Small Wind Turbine Technology. Wind Engineering.

Cleveland, C. J., 2004. Encyclopedia of Energy. Elsevier, Amsterdam.

Filho, J. G. A. C., 2011. Análise de fadiga em pás de aerogeradores de pequeno porte. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

Izumi J.I., Energia Eólica: aerogeradores e materiais empregados, Materiais Elétricos: Compêndio de Trabalhos, UNIOESTE, volume 3. Foz do Iguaçu, 2006.

Mishnaevsky, L. J., 2017. Materials for Wind turbine blades. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5706232/> >. Acesso em 03 de março de 2020.

Ramsden, J. C.; Dyer, K., 2015. Materials innovations for more eficiente wind turbines. Renewable Energy Focus.

Schubel, P. J.; Crossley, R. J., 2012. Wind Turbine Blade Design. Energies, Basel, Suíça.

Silva, E.P., 2014. Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável, Livraria da Física, São Paulo.

SPERA, D. A., 1994. Wind turbine technology: fundamental concepts of wind turbine engineering. ASME, Nova York.

The Wind Energy Pioneers: The Gedser Wind Turbine. Danish Wind Industry Association; Frederiksberg, Denmark: 2000.

POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO COCO-DA-BAÍA NAS MICRORREGIÕES DE ALAGOAS

Pietra Maria Alcântara Pereira¹; Flávia Fernanda Santos Gomes²; Mariana de Barros Dlumou³ e Karina Ribeiro Salomon⁴

¹Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, pietra-al@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, ffernanda_gomes@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, mdlumou@gmail.com

⁴Professora Doutora - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, krs@ctec.ufal.br

Resumo

*As cascas do coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) são um subproduto do consumo e da industrialização da água de coco e têm se tornado um problema ambiental nos grandes centros urbanos quando destinadas em aterros sob condições anaeróbicas, levando à emissão de metano, um dos mais importantes gases de efeito estufa. Somado a isso, também há a ocupação de um grande volume do aterro, reduzindo sua vida útil. Com o crescimento da energia oriunda da biomassa, o uso do resíduo para geração de energia pode ser uma opção para ressignificá-lo. Neste trabalho é explanado o potencial bioenergético do resíduo do coco-da-baía como alternativa para a disposição inadequada, assim como para um maior aproveitamento energético no estado de Alagoas, levando em consideração suas 13 microrregiões.*

Palavras-chave: Energia renovável, Biomassa, Casca de coco.

1. Introdução

Na matriz energética mundial, é predominante o uso de fontes energéticas não renováveis, em especial o uso de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral que na combustão emitem Gases do Efeito Estufa (GEE) e, por isso, seu uso vem sendo discutido como uma das maiores preocupações da sociedade atual (VENTURA FILHO, 2019).

Visando atender à crescente demanda de energia no mundo aliando às alternativas energéticas sustentáveis, surgiram diversas fontes energéticas alternativas, as quais citamos a solar, a eólica, a nuclear e a de biomassa. Segundo o Balanço Energético Nacional do ano de 2019 (Figura 1), a participação de fontes de energias consideradas renováveis no mundo é de 13,7%, enquanto no Brasil é de 45,3% (EPE, 2019).

Tratando-se especificamente da matriz elétrica brasileira, ela tem por característica a grande participação de fontes renováveis, causada principalmente pela contribuição das hidrelétricas, as quais possuem forte impacto ambiental associado em

sua construção. Nesse contexto, a geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuir a dependência das hidrelétricas, diversificando a matriz energética do país, além de auxiliar a correta destinação dos resíduos agrícolas (ANEEL, 2008).

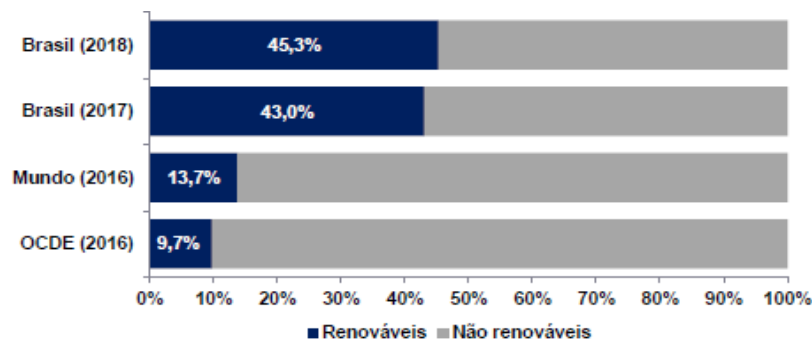


Fig. 1: Participação de renováveis na matriz energética. Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2019).

Do ponto de vista energético, a biomassa é toda matéria orgânica recentemente produzida, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. É classificada de acordo com a sua origem, podendo ser florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais. É uma das fontes energéticas com maior potencial de crescimento nos próximos anos, sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e, conseqüentemente, na redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2008).

O coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) é um coqueiro de origem asiática trazido pelos portugueses na época da colonização, típico de regiões quentes, úmidas e ensolaradas, sendo o nordeste brasileiro um local ideal para o cultivo da planta. Com diversos produtos e subprodutos, seu principal uso é para o consumo da água do fruto (Sebrae Nacional, 2016).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o cultivo do coco-da-baía no Brasil vem aumentando, gerando um total 1.564.500 (x mil frutos) em 2018, no qual o estado de Alagoas ocupa o 7º lugar do ranking nacional (Figura 2), com uma produção de 77.448 (x mil frutos) nesse mesmo ano.



Fig. 2: Ranking da produção de coco-da-baía no Brasil. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

Ao comparar os dados entre os anos de 1998 e 2018, observa-se um crescimento na produção desse tipo de cultivo no estado supracitado. Este fato pode estar associado a diversos fatores, como: evolução tecnológica, desenvolvimento de estratégias no mercado para valorização do produto, renovação dos coqueirais e o tipo de sistema de produção adotado.

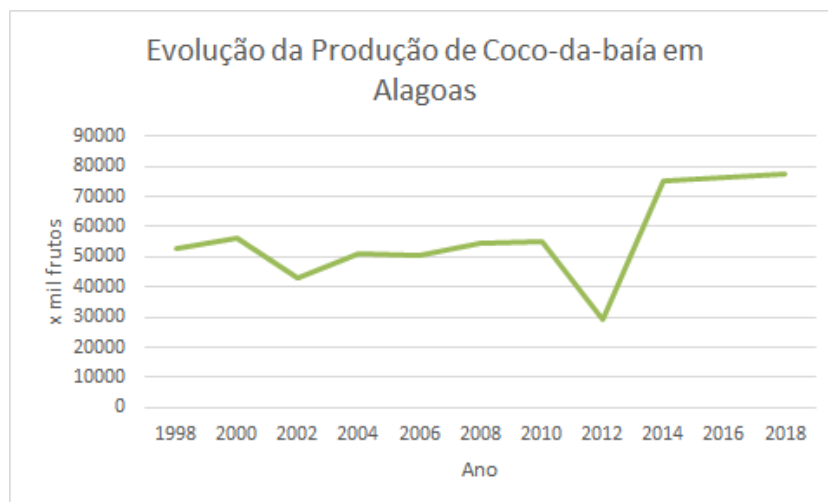


Fig. 3: Produção do coco-da-baía entre os anos de 1998 e 2018 em Alagoas. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

Alagoas conta com 102 municípios em seu território divididos em 13 microrregiões distintas. É possível observar que as maiores produções do coco-da-baía se dão no litoral do estado, fato que pode ser justificado pelas condições ambientais favoráveis para o cultivo.

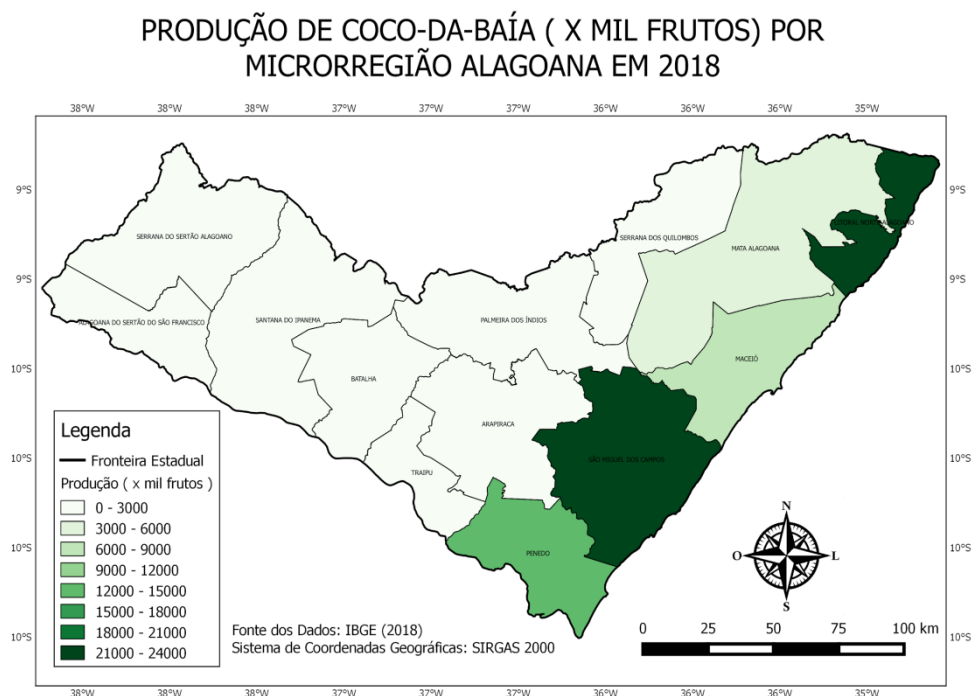


Fig. 4: Distribuição do coco-da-baía nas microrregiões alagoanas. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010) reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Ainda nesta lei, no Art. 9º, diz que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O processamento do coco é uma atividade relacionada a uma grande geração de resíduos sólidos, pois sua casca fibrosa representa 60% da massa inicial (CENBIO, 2008). São resíduos da agricultura com alto potencial de aproveitamento com pouca utilização no Brasil, indo de encontro ao que prevê a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, sendo em sua maioria destinadas aos aterros sendo, como toda matéria orgânica, um potencial emissor de metano, um dos mais importantes GEE. Além disso, contribui para que a vida útil do aterro sanitário seja diminuída, pois é um material volumoso e de difícil decomposição (PASSOS, 2005).

2. Objetivos

Do exposto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma avaliação da disponibilidade de matéria-prima e estimar o potencial bioenergético do resíduo do coco-da-baía nas 13 microrregiões do estado de Alagoas, possibilitando assim a redução da disposição desses resíduos sólidos e agregando valor à essa importante cadeia produtiva econômica.

3. Materiais e Métodos

3.1 Dados

Foram obtidos os dados de produção do coco-da-baía no ano de 2018 em cada microrregião do estado de Alagoas com auxílio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). As quantidades produzidas são expressas em mil frutos e constam na Tabela 1.

Tab. 1: Produção de coco-da-baía por microrregião alagoana

Microrregião Alagoana	Produção (x mil frutos)
Alagoana do Sertão do São Francisco	81
Arapiraca	2.733
Batalha	0
Litoral Norte Alagoano	23.950
Maceió	8.757
Mata Alagoana	4.269
Palmeira dos Índios	148
Penedo	13.176
Santana do Ipanema	0
São Miguel dos Campos	23.470
Serrana do Sertão Alagoano	226
Serrana dos Quilombos	576
Traipu	62

Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

3.2 Estimativa de Energia

Para efetuar a estimativa do potencial de energia disponível a partir da biomassa do coco-da-baía, foi adotada a metodologia de cálculo do Atlas de Bioenergia de Alagoas de 2015, representada pela Equação 1.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{\{ [mil\ frutos * 0,5 \left(\frac{kg}{fruto} \right) * 0,6\ casca] * PCI \left(\frac{kcal}{kg} \right) * 0,15 \}}{860 * 8322} \quad (eq. 1)$$

Na metodologia, como os dados do IBGE são fornecidos em função de mil frutos, é necessário adotar um peso médio para o fruto. Como sugerido pelo Atlas, é escolhido 0,5 kg por unidade de coco, além de considerar apenas a casca como resíduo agrícola aproveitável, sendo adotado como 60% no peso total do coco. O Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca é de 4.556,82 kcal kg⁻¹ e a conversão de kcal kg⁻¹ para kWh kg⁻¹ é dada pela divisão por 860.

A partir da potência calculada (MW), foi calculada a energia disponível em MWh dia⁻¹ nas microrregiões com a Equação 2 (Veneu et al., 2014).

$$Energia\ Disponível \left(\frac{MWh}{dia} \right) = Potência\ (MW) * Rendimento * Tempo \left(\frac{h}{dia} \right) \quad (eq. 2)$$

Considerando uma queima ideal, na faixa de operação (75 a 85%) correta, foi adotado um rendimento de 80% para a estimativa da energia, com um tempo de operação de 24h por dia (SENGER, 2015).

Para melhor visualização da espacialização, foram elaborados mapas do potencial da biomassa utilizando o software QGIS 2.12.3 - Lyon com as malhas digitais do IBGE, onde dados obtidos foram inseridos.

4. Resultados e Discussão

O potencial bioenergético e a energia total disponível para consumo para a casca do coco-da-baía de cada microrregião do estado de Alagoas encontram-se na Tabela 2.

Tab. 2: Potencial energético e energia disponível das microrregiões de Alagoas em MW

	Potencial Energético	Energia Disponível
Microrregião Alagoana	MW/ano	MWh/dia
Alagoana do Sertão do São Francisco	2,32	44,56
Arapiraca	78,30	1503,45
Batalha	0,00	0,00
Litoral Norte Alagoano	686,20	13175,13
Maceió	250,90	4817,31
Mata Alagoana	122,31	2348,42
Palmeira dos Índios	4,24	81,42
Penedo	377,51	7248,25
Santana do Ipanema	0,00	0,00
São Miguel dos Campos	672,45	12911,08
Serrana do Sertão Alagoano	6,48	124,32
Serrana dos Quilombos	16,50	316,86
Traipu	1,78	34,11
TOTAL	2219,01	42604,91

Fonte: Autoras (2020).

Como esperado, os maiores potenciais energéticos se encontram na costa alagoana, onde as microrregiões do Litoral Norte Alagoano e de São Miguel dos Campos lideram o ranking. Todavia, Batalha e Santana do Ipanema não possuem potencial para o coco-da-baía, pois não possuem cultivo do fruto.

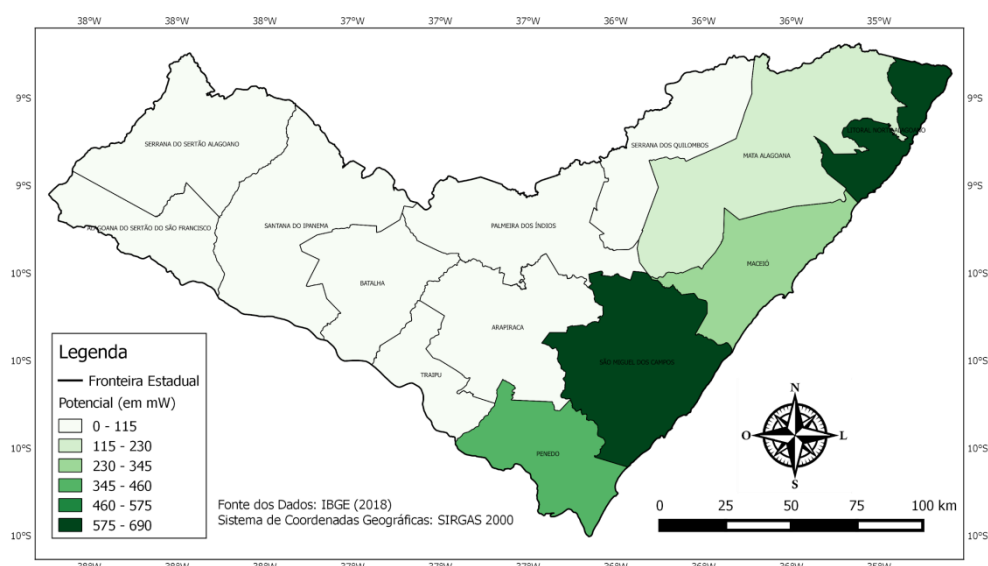


Fig. 5: Potencial energético do coco-da-baía por microrregião alagoana em 2018. Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

Segundo o Atlas da Bioenergia de Alagoas, no ano de 2015 o potencial energético do estado para o fruto era um total de 1,41 GW, saltando para 2,22 GW em 2018, representando um aumento percentual significativo de aproximadamente 57,5%.

5. Conclusão e Considerações Finais

Com base em nossas análises percebe-se que o potencial energético do coco-da-baía aumentou se comparado ao dado disponível no Atlas de Bioenergia de Alagoas de 2015, seguindo a mesma metodologia de cálculo, o que mostra a crescente disponibilidade para seu aproveitamento energético e como alternativa para a demanda energética do estado de Alagoas.

6. Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Centro de Tecnologia (CTEC/UFAL), ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFAL (CAEAMB/UFAL), e à professora Karina Salomon pela orientação e incentivo.

7. Referências

ALAGOAS. **Atlas de Bioenergia de Alagoas**. SEDETUR – Secretaria do Desenvolvimento

Econômico e Turismo. Estado de Alagoas: Maceió, 2015. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/atlas-de-bioenergia-alagoas/resource/225145f1-87a8-4b7a-bbba-380c085a1a26>>. Acesso em: 01 de Fevereiro de 2020.

BRASIL, P. (2010). Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3.

BRASIL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional-Relatório Síntese**, 2019. Ano Base, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pesquisa/15/0?indicador=11929&ano=2018&localidade1=0>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>> Acesso em: 31 de janeiro de 2020.

PASSOS, P. R. A. **Destinação Sustentável de Cascas de Coco (Cocos Nucifera) Verde:** Obtenção De Telhas E Chapas De Partículas. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **O Cultivo e o Mercado do Coco Verde.** Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 03 de Fevereiro de 2020.

VENTURA FILHO, Altino. **O Brasil no Contexto Energético Mundial.** São Paulo: NAIPPE, USP, 2009.

Veneu DM, Santos FS, Pinto VM, Pacheco JS, Tavares RS. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu-RJ** - Uma visão sobre a nova política nacional de resíduos sólidos. Revista Teccen. 2014 Jan./Dez.; 07 (1/2): 11-19.

SENGER, Renan. **Análise Do Rendimento Térmico de uma Caldeira Alimentada com Lenha em Toras.** 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DE ALAGOAS UTILIZANDO OS MODELOS COMPUTACIONAIS

Luan Santos de Oliveira Silva¹, **Rosiberto Salustiano da Silva Junior**², **Kelvy Rosalvo Alencar Cardoso**³, **Luana do Nascimento Vasconcelos**⁴

¹Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, luan.silva@icat.ufal.br

²Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, rosibertojr@gmail.com

³Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, kelvyalencar01@gmail.com

⁴Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, luanavasconcelos376@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura a respeito do potencial eólico em Alagoas. Assim como, enfatizar a criação de mapas, ou atlas, com foco o mapeamento do potencial eólico, para regiões que já apresentam parques eólicos em funcionamento. A estimativa tem como base as simulações atmosféricas realizadas com modelos mesoescala (WRF) e microescala (WAsP), que foram executados com dados de superfície na altura de 10m e extrapolados para o nível de 100m. Tendo em vista o crescimento científico ao longo dos anos sobre as fontes de energias renováveis, com abrangência significativa para o Nordeste Brasileiro (NEB). Ressalta-se que o Estado de Alagoas não apresenta parques eólicos em execução, embora o Atlas Eólico do Estado de Alagoas (2008) relate estimativa do potencial de geração eólica na região com 336 MW a 75m de altura para áreas com ventos iguais ou superiores a 7,0 m/s.

Palavras-chave: Potencial eólico, Simulações atmosféricas, Alagoas.

1. Introdução

Mediante ao crescimento da população do planeta, criou-se a necessidade da ampliação nos conhecimentos sobre fontes renováveis. Tendo também como objetivo gerar o mínimo impacto ambiental possível e a obtenção do crescimento econômico na região em foco. Como também, estabelecer determinada complementaridade entre os recursos eólicos e hidráulicos em regiões do Brasil, visto que essas podem ajudar na preservação de água dos reservatórios das usinas hidroelétricas em períodos de estiagem. Vale ressaltar, que diante de tamanho avanço científico, a área de energia eólica tem ganho bastante reconhecimento entre as demais, como por exemplo, biomassa.

Em Ramos et al. (2013), a aplicação da modelagem atmosférica no prognóstico não apenas do vento mas do tempo em geral é muito importante, pois seu uso traz uma série de benefícios para as mais diversas atividades econômicas da sociedade: turismo; agricultura; aviação civil; transporte marítimo; planejamento urbano, entre outros.

Vale ressaltar também, os impactos ambientais em decorrência da construção e operação das usinas eólicas. De acordo com Barbosa Filho e Azevedo (2013), os principais impactos são: ao meio biótico, como supressão da vegetação e fauna; ao meio físico, por degradação da área afetada e alteração do nível hidrostático do lençol freático; e impactos socioeconômico, caracterizado por emissão de ruído, impacto visual, interferência eletromagnética, efeito estroboscópico, interferências locais.

2. Metodologia

Esse trabalho foi elaborado a partir de uma revisão de literatura referente ao potencial eólico do Estado de Alagoas, com o intuito de apresentar uma base de dados para futuras pesquisas empenhadas na elaboração de projetos eólicos. Em que pesquisas referente ao Estado de Alagoas apresentaram índices eficazes quanto ao potencial eólico em regiões específicas, como também, o prognóstico do vento mediante a validação de modelos atmosféricos.

Com isso, as literaturas foram selecionadas de acordo com as etapas necessárias para a implementação de futuros parques eólicos. Consistindo, primeiramente, no emprego do Modelo Digital de Elevação (MDE) em que tenha a melhor qualidade, cujo este dado tem influência diretamente na topografia e rugosidade do terreno. Posteriormente, a validação do modelo de mesoescala faz-se necessário com objetivo de identificar inicialmente as condições do vento em áreas extensas. E por fim, a utilização do modelo de microescala possibilitará a elaboração dos projetos eólicos, seleção de turbinas, altura de instalação, variação no perfil vertical do vento, entre outros objetivos específicos.

3. Resultados e Discussão

De acordo com Eletrobrás (2008), os regimes de vento são influenciados pela topografia e rugosidade do terreno. Assim a acurácia dos resultados é afetada diretamente pela qualidade dos modelos digitais empregados. Segundo Hayakawa et al. (2008), a menor extensão dos dados perdidos no G-DEM ASTER em comparação ao SRTM-3 apresenta uma vantagem, em que ao retratar áreas montanhosas altas com encostas íngremes o SRTM-3 costuma apresentar muitos dados faltantes. De Macêdo e Surya (2019) ao avaliar os modelos digitais de elevação dos sensores ALOS PALSAR e SRTM evidenciou que o MDE ALOS é apropriado para mapeamento de morfologias de mega e mesoescala. No entanto, demanda maior capacidade do computador para o processamento dos dados. Enquanto o SRTM, proposto pelo INPE, é propício para megaescala.

Conforme Silva Junior et al. (2016), ao analisar especificamente a região do município de Maragogi/AL, evidenciou a melhora no detalhamento da topografia ao realizar as simulações com o MDE SRTM. Em que a atualização do uso do solo, tornou o entorno da área simulada mais representativa. Além de estimar com melhor eficiência a velocidade do vento. Embora, em comparação a direção do vento, não ocorra mudanças significativas quanto a implementação do MDE SRTM nas previsões.

Para Fadigas et al. (2011), a melhor forma de caracterizar as condições do vento em uma área ou áreas de interesse é por meio de instalação de torres anemométricas para medição e coleta dos dados de vento. No entanto, os resultados de simulações computacionais utilizando os modelos atmosféricos de mesoescala têm ganho abrangência na elaboração de mapas ou atlas eólicos. Como no caso da elaboração do Atlas Eólico do Nordeste (1998) em que o modelo ETA/CPTEC conteve validação por meio das estações anemométricas situadas na região.

Com isto, têm-se a oportunidade em validar o modelo atmosférico WRF (Weather Research and Forecasting) a fim de auxiliar futuras previsões em projetos de usinas eólicas, e/ou adjacências. Cujo este detém finalidade de produzir simulações com

base nas condições atmosféricas reais (ou seja, a partir de observações e análises) ou condições idealizadas. Como também, possibilita a utilização livremente para uso operacional e de pesquisa por se tratar de uma plataforma flexível.

Em Ramos et al. (2013), as previsões da velocidade e direção do vento realizadas pelo modelo WRF através dos dados anemométricos distribuídos nas três mesorregiões do Estado de Alagoas mostraram-se eficazes. Tanto na determinação dos padrões médios da velocidade e direção do vento, como também, pelo desempenho na identificação de fenômenos locais. Evidenciando a qualidade do modelo nos prognósticos de mesoescala.

Assim como Lyra et al. (2016), revela que o desempenho do WRF para previsão da Velocidade e Direção do vento na região central de Alagoas estimou com acurácia as médias mensais e diárias da velocidade do vento, e que a margem de erro aumenta para estimativa de médias de períodos mais curtos como médias horárias. Sinalizando também que, o modelo superestimou a velocidade do vento em apenas 0,23 m.s⁻¹. Apontando ser uma ótima ferramenta para o aproveitamento eólico.

Para validação dos resultados o modelo de microescala WASP (Wind Atlas Analysis And Application Program), desenvolvido pelo laboratório dinamarquês Riso, possibilita analisar o efeito a estabilidade atmosférica, rugosidade do terreno, obstáculos e topografia na determinação do regime de ventos nos locais de interesse. Para Fadigas et. al (2011), as vantagens desse modelo encontram-se diante da sua resolução ao redor do local desejado e a não utilização de torres de medição. E têm como desvantagens a limitação quando usado em terrenos complexos e a estratificação não ajustada a situações climáticas fora da Europa.

A velocidade do vento é calculada no WASP através da aproximação geostrófica. Existe também a possibilidade de fornecer dados do vento geostrófico para obter a velocidade do vento em uma altura de referência (Ramos, 2011). Jatoba et al. (2017) referindo-se ao potencial eólico simulado para a região do município de Craíbas/AL, estima o beneficiamento entre 543 a 952 casas com a instalação de um aerogerador em uma situação hipotética ao modelo de microescala, ao considerar o consumo médio de casas em 150 KWh/mês. Enquanto Silva Junior et al. (2010), ao realizar simulações para o município de Água Branca/AL com medições da intensidade e direção do vento para alturas de 30 e 50 metros, constatou que a direção do vento não sofreu diferenciação entre os níveis de medição. Em que apesar do afastamento da superfície proporcionar a diminuição do atrito e, posteriormente, maior velocidade do vento em níveis mais altos - essas mudanças não seriam significativas em relação a direção.

4. Conclusão

Tratando-se do enorme potencial energético do Brasil para fontes de energia renováveis, a energia cinética gerada pelos ventos traria complementaridade para as demais fontes de energia utilizadas no país. Visto que a maior parte de geração de energia advém das centrais hidrelétricas e, como consequência, em estações na qual ocorre interferência na precipitação ou eventuais eventos extremos, cabe a população acarretar com os custos em fator da exploração única aos recursos disponibilizados pela natureza. Para reversão desta situação, a compreensão no potencial energético do estado servirá como suporte para as previstas condições citadas anteriormente. Ou seja, em períodos de estiagem, a energia eólica teria sobreposição com relação a central hidrelétrica - encontrada em larga escala.

Vale ressaltar a importância na valorização do local após a construção das usinas. Ocasionalmente na geração de investimentos em zonas desfavorecidas. Havendo

também a difusão de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) à sociedade, empenhado no papel de preservação do meio ambiente.

5. Agradecimentos

Agradeço aos colegas de trabalho e ao nosso orientador por todo o apoio e auxílio para o prosseguimento da pesquisa.

6. Referências

Barbosa Filho, W. P.; Azevedo, A. D., 2013. Impactos ambientais em usinas eólicas, Agrener GD, 1, 1-17.

De Macêdo, R. J. A.; Surya, L., 2019. Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores srtm e alos palar para análise digital de terreno. Revista Contexto Geográfico, 3, 47-55.

Eletrobrás, 2008, Atlas Eólico do Estado de Alagoas, 1, 67.

Fadigas, E. A. F. A., et. al., 2011. Energia Eólica, Manole, São Paulo.

Hayakawa, Y. S.; Oguchi, T.; Lin, Z., 2008. Comparison of new and existing global digital elevation models: ASTER G-DEM and SRTM-3. Geophysical Research Letters, 35.17.

Jatoba, B. R. G.; Silva Junior, R. S. da; Lyra, R.F.F.; Rocha Junior, R. L.; Fernando, L. Y. C., 2017. Avaliação do potencial eólico para a cidade de Craibas-AL utilizando o modelo meteorológico WRF em alta resolução, Revista Brasileira de Energia Renováveis, 6, 787-810.

Lyra, R. F. F.; Silva Junior, R. S. da; Moura, M. A. L.; Amorim, M. C .A. L., 2016. Prognóstico da velocidade do vento utilizando o modelo WRF na região central de Alagoas, Ciência e Natura, 38, 447.

Ramos, D. N. da S., 2011. Mapeamento eólico do estado de Alagoas utilizando ferramentas computacionais e dados observados. Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió (Brasil).

Ramos, D. N. da S.; Lyra, R. F. da F.; Silva Junior, R. S. da., 2013. Previsão do vento utilizando o modelo atmosférico WRF para o estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, 28, 163-172.

Silva Junior, R. S. da; Lyra, R. F. F.; Silva, A. R.; Marchi, A. C.; Silva Ramos, D. N. da; Rabelo, F. D., 2010. Análise da variação do potencial eólico utilizando o modelo WAsP.

Silva Junior, R. S. da; Lyra, R. F. F.; Ramos, D. N. S.; Moura, M. A. L.; Gomes, H. B.; Holanda, S. C. de., 2016. Prognóstico do vento para o estado de Alagoas utilizando o modelo WRF em alta resolução: avaliação da melhoria da topografia, uso do solo e velocidade de fricção, Ciência e Natura, 38, 137.

PROGNÓSTICOS DE VENTO VIA WRF PARA FINS DE APROVEITAMENTO EÓLICO NA REGIÃO AGRESTE DE ALAGOAS

Juciele Vieira dos Santos¹; Roberto Fernando da Fonseca Lyra²

jvieira18@outlook.com¹; rffl@ccen.ufal.br²

¹Aluna de graduação em meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT-UFAL), Maceió, Alagoas; ²Professor da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo proporcionar um prognóstico da velocidade do vento com base no modelo de previsão numérica WRF. O modelo passou a ser utilizado em análises de vento por gerar resultados confiáveis. O uso do vento para a geração de eletricidade vem sendo uma das fontes renováveis mais interessantes e Alagoas possui uma enorme riqueza quando se trata de recursos naturais. A área de estudo selecionada foi o município de Craíbas, localizado na região central conhecida como Mesorregião do Agreste Alagoano. Foram utilizadas médias diárias da velocidade do vento de dados observados a cada 10 minutos da torre anemométrica instalada a (50m) no município, como também dados da saída do modelo. O período de estudo foi entre março e julho de 2015 e os parâmetros estatísticos usados para a estimativa do aproveitamento eólico foram a média, máximo, mínimo, desvio padrão, coeficiente de variação e correlação de Pearson. Os resultados foram associados ao período sazonal e concluiu-se que as médias das correlações mensais da velocidade do vento no período chuvoso são menores e no período de transição o vento volta a regularidade, Julho teve o melhor resultado entre o observado e o simulado $8,1 \text{ m.s}^{-1}$.

Palavras-chave: Energia eólica, Prognóstico.

1. Introdução

A energia eólica (em muitas aplicações) é uma fonte de energia renovável madura que foi implantada com sucesso em muitos Países. É tecnicamente e economicamente capaz de significar uma expansão contínua, e sua exploração adicional pode ser um aspecto crucial de estratégias globais de redução de GEE (IPCC, 2011). O uso do vento como fonte energética para a geração de eletricidade é uma das mais interessantes em termos de produção, segurança e sustentabilidade ambiental. Assim, o modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) passou a ser empregado em análises de vento para geração de energia eólica (GHIZONI et al., 2019).

(TUBELLIS e NASCIMENTO, 1980) definem o vento como o movimento do ar em relação a superfície terrestre. É gerado pela ação de gradientes de pressão atmosférica, mas sofre influências modificadoras do movimento de rotação da Terra, a força centrífuga ao seu movimento e do atrito com a superfície. A força do vento é

exercida pelas massas de ar e a variação diária da velocidade junto do solo apresenta um efeito marcante do balanço de radiação da superfície. Diferenças no balanço de radiação, causadas por alteração de albedo, repartição desigual da energia em aquecimento do ar, solo e evaporação, criam gradiente de pressão atmosférica que geram os ventos. Como a velocidade do vento varia com a altura, acima do solo, a energia eólica depende dessa altura.

O regime de chuvas do estado de Alagoas está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos, mas também fica submetida à influência de sistemas de mesoescala, tais como os complexos convectivos e as brisas marítimas e terrestres que influenciam todas as sub-regiões, além das circulações orográficas e pequenas células convectivas que constituem os fenômenos de microescala (BARROS et.al, 2012).

Dados do Ministério de Minas e Energia de 2018 demonstram que na matriz energética brasileira houve uma expansão de 14,4% em eólica, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIE) ficou em 636,4 TWh, montante 1,7% superior a 2017 (625,7 TWh). Pelo porte, merecem

destaque os aumentos de 14,4% na oferta eólica e de 4,8% na hidráulica nacional. No mesmo ano de 2018, as fontes renováveis chegaram a uma participação de 83,3% na matriz da OIE, indicador 2,8 pontos percentuais acima verificado em 2017.

De acordo com o Caderno Setorial ETENE de 2019 dos nove estados nordestinos, oito possuem projetos eólicos, com destaque para o Rio Grande do Norte (4.020 MW) e a Bahia (3.770 MW). No Nordeste, atualmente a fonte eólica lidera, representando 35,6% da matriz elétrica regional. Neste contexto, se destaca, em razão de seu elevado potencial eólico e por dispor de inúmeros sítios com velocidades médias de vento dentre as maiores do País. Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente viável, é necessário que seu potencial seja maior ou igual a 500 W.M^{-2} , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m.s^{-1} (DA SILVA, 2007).

Apesar de Alagoas ser o único estado do Nordeste Brasileiro que não possui um parque eólico, pesquisas de (COSTA E LYRA, 2012) avaliaram que no Agreste a regularidade da velocidade e a pouca variação da direção do vento torna o estado uma grande opção para a instalação de aerogeradores. As maiores velocidades do vento observado ocorreram a partir de maio, quando a predominância de vento muda de Leste para Sul, atingindo seu máximo e quando a direção volta a tendência de Leste (julho). A média mensal de velocidade do vento foi de $7,1 \pm 1,2 \text{ m.s}^{-1}$, com máximo de $8,1 \text{ m.s}^{-1}$ em julho.

Dessa forma (ALCIDES, 2007) levou a discussão acadêmica o questionamento da produção e do consumo de energia elétrica apresentando alternativas renováveis e de baixo impacto ecológico sendo capaz de complementar a matriz energética estadual como fator determinante para a competitividade e desenvolvimento das riquezas energéticas do próprio estado.

O objetivo deste trabalho é apresentar um prognóstico da velocidade do vento através de estudos de correlação, de modo que, venha a observar uma perspectiva para o

município de Craíbas no aproveitamento do recurso da tecnologia eólica. Especificamente o trabalho pretende analisar o campo de vento no agreste de Alagoas pelo modelo WRF e comparar os dados gerados pelo modelo atmosférico com os dados observados da torre anemométrica.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Craíbas é um município que está localizado na região central de Alagoas e tem uma população de 24.219 habitantes (IBGE, 2019). De acordo com o Atlas eólico de Alagoas (ELETROBRÁS, 2008), o agreste é o centro do estado coberto por uma vegetação de transição entre as florestas tropicais úmidas e a caatinga (Figura 1). Estudos que antecedem esta pesquisa (LYRA et al. 2016; JATOBÁ et al. 2017; SILVA et al. 2018) a princípio exibem que o agreste alagoano dispõe de um potencial eólico favorável, nesse caso foi instalado na zona rural do município um sítio experimental com coordenadas geográficas 09°40'03.4'' sul e 36°50'40.2'' oeste.

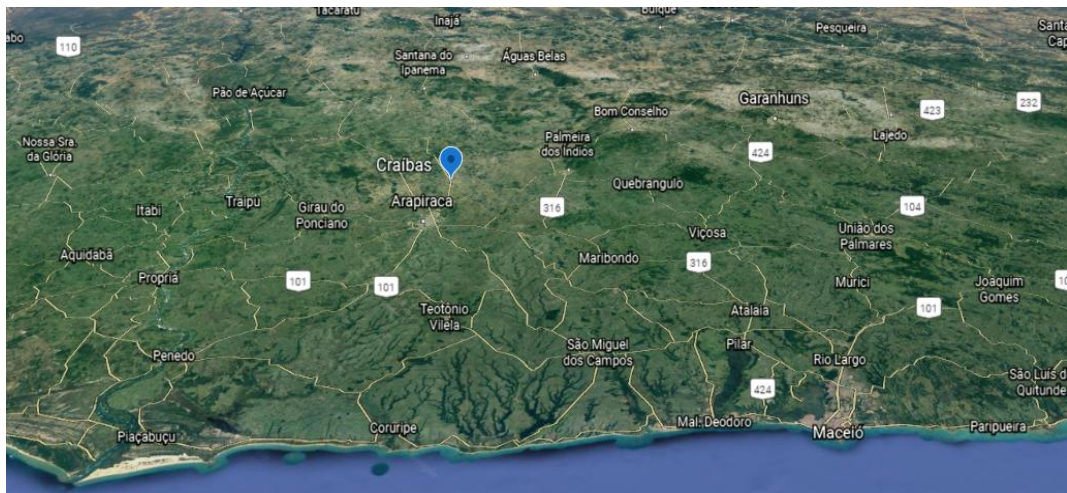


Fig. 1: Localização de Craíbas em Alagoas. Fonte: Google Earth, 2020

2.2 Medida e a obtenção dos dados

Para realizar este prognóstico foram utilizados dados do Projeto de Previsão do Vento em Parques Eólicos no Nordeste Brasileiro (PVPN) e do modelo de simulação numérica de mesoescala WRF (Weather Research and Forecasting Model). Os dados observacionais foram da torre anemométrica instalada a (50m) e foram registrados a cada 10 minutos sendo calculadas médias diárias e horárias da velocidade do vento, dessa forma, foram usadas também para a saídas do modelo WRF médias diárias e horárias, afim de uma análise comparativa aplicada a um estudo de correlação dos parâmetros estatísticos no software Excel durante o período de março a julho de 2015.



Fig. 2: Torre anemométrica de Craíbas – Alagoas. Fonte: Página do ICAT – UFAL

Para qualificar quantitativamente o desempenho deste prognóstico o trabalho foi dividido em duas etapas: a) os dados observados e os dados do modelo WRF receberam um tratamento estatístico as medidas foram aplicadas a média, máximo, mínimo, desvio padrão e ao coeficiente de variação b) em seguida foi feita uma correlação entre as variáveis com um destaque maior para as medidas do mês de julho na Tabela 1.

Bem como a correlação permite verificar com precisão se duas variáveis independentes estão associadas uma a outra. Uma das formas utilizadas para encontrar essas relações é o cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson, r . r [-1,0; 0; +1,0].

$r = -1,0$ indica pouca dispersão e uma correlação muito forte e negativa

$r = 0$ indica muita dispersão e uma ausência de relacionamento entre as variáveis

$r = 1,0$ indica pouca dispersão e uma correlação muito forte e positiva

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{eq.1)}$$

Onde x_i e y_i são vetores ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$) e ($y_1, y_2, y_3 \dots y_n$) são duas variáveis observadas a cada passo de tempo i .

$\bar{x}, \bar{y}$ são médias das amostras.

$\sum_{i=1}^n$ o somatório.

Outra equação que foi importante no prognóstico foi a do desvio padrão apontando o percentual de erro.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (\text{eq.2})$$

O desvio tem o sentido de descrever os dados informando o grau de dispersão ou afastamento dos valores observados, em torno de um valor central representativo da média. Expressa se um conjunto de dados é homogêneo (possui pouca variabilidade) ou heterogêneo (possui muita variabilidade).

S^2 é a variância, o desvio padrão ao quadrado.

3. Resultados e Discussão

Serão discutidos a seguir os resultados dos prognósticos entre os meses de março a julho. Evidencia-se a mudança da velocidade do vento através dos ciclos médios mensais nos resultados obtidos na Tabela 1. Levando em consideração que a quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano em um mesmo local. Entre o período de estudo desta pesquisa foi possível observar os valores das correlações e associá-los ao período sazonal. O Nordeste do Brasil é bastante extenso e isso faz com que o período chuvoso ocorra de maneira distinta na região. Assim, tem-se o regime diferenciado na parte norte, com chuvas máximas no período fevereiro-março-abril; na parte do sul, com chuvas máximas no período novembro-dezembro-janeiro; e grande do agreste e litoral (leste) com chuvas máximas no período maio-junho-julho (BARROS et.al, 2012). (AMORIM, 2015) relacionou os seus resultados a uma distribuição ao período seco (outubro, novembro, dezembro e janeiro); período chuvoso (abril, maio, junho, julho) e o período de transição (fevereiro, março, agosto e setembro). Julho teve a melhor correlação deste prognóstico $8,1 \text{ m.s}^{-1}$ comparado aos outros meses, isso devido que a 50 m o modelo apresentou uma melhor simulação na saída do período chuvoso para o período de transição entre as estações. Entre os meses de abril a junho o modelo WRF teve mais dificuldade em prognosticar a velocidade do vento, sendo junho onde há a menor correlação entre o observado e o simulado $4,7 \text{ m.s}^{-1}$.

Tab. 1: Valores mensais dos parâmetros estatísticos calculados para a velocidade do vento. Dados observados X wrf para Craíbas – AL. (período de março a julho de 2015)

MÊS	CORRELAÇÃO				
	MED	MAX	MIN	DP	CV
Março	0,66	0,41	0,47	0,29	0,45
Abril	0,50	-0,09	0,19	0,13	0,27
Maio	0,48	0,31	0,45	0,15	0,36
Junho	0,47	0,46	0,25	0,21	0,18
Julho	0,81	0,63	0,50	0,06	0,36

Em abril foi observado o erro mais claro da simulação o vento máximo atingiu $-0,09 \text{ m.s}^{-1}$ e o mínimo de $1,9 \text{ m.s}^{-1}$, por outro lado, a média de março atingiu um intermédio de $6,6 \text{ m.s}^{-1}$. A partir dos parâmetros estatísticos foi construído uma série

temporal de correlação do mês de julho entre as variáveis para observar como elas se relacionam (Figura 1).

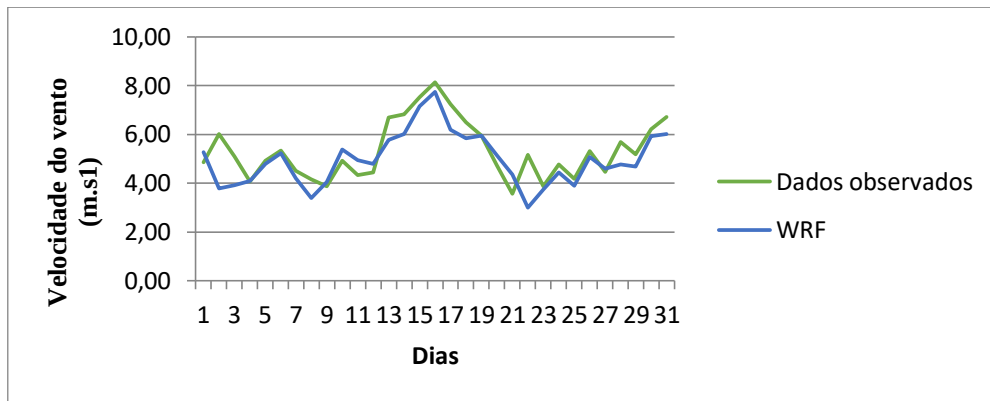


Fig. 3: Valores médios da velocidade diária do vento simulados e observados para o mês de julho de 2015.

O prognóstico do modelo foi satisfatório para este mês, repara-se que na simulação o WRF ficou bem próximo ao observado acompanhando a tendência de aumento e diminuição da velocidade do vento. Foi atingido entre os dias 15 e 16 um pico médio de $8,1 \text{ m.s}^{-1}$ e o desvio indicou uma pequena margem de erro para o WRF. Como resultado as simulações geradas pelo modelo são menores no período chuvoso e o melhor resultado no período de transição.

4. Conclusões

Portanto, a partir dos resultados foi feita uma avaliação sazonal dos meses estudados e concluiu-se que o comportamento da velocidade do vento tem uma frequência que se repete a cada período. Ficou evidente que no inverno a velocidade é menor, abril/maio e junho apresentaram uma correlação fraca com médias de $5,0 \text{ m.s}^{-1}$, $4,8 \text{ m.s}^{-1}$ e $4,7 \text{ m.s}^{-1}$ e em julho o vento teve um alcance médio de $8,1 \text{ m.s}^{-1}$ mostrando uma correlação forte e pouca dispersão dos dados em razão justamente do período de transição entre as estações. Dessa forma esse prognóstico teve finalidade de interpretar os valores mensais das correlações e apesar do período curto de observação por causa da indisponibilidade dos dados, se comprova que o agreste possui uma regularidade na velocidade do vento.

5. Agradecimentos

Agradeço ao meu mentor Roberto Lyra pela oportunidade, a paciência e o apoio de colaborar com a pesquisa na Universidade Pública.

6. Referências

EDENHOFER, Ottmar et al. (Ed.). **Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change.**

Cambridge University Press, 2011.

GHIZONI, Mariana Medeiros et al. Previsão do campo de vento empregando o modelo WRF para a análise do potencial eólico. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 40, p. 237, 12 mar. 2019. Universidad Federal de Santa Maria.

TUBELIS, Antônio; NASCIMENTO, Fernando JL do. Meteorologia Descritiva-Fundamentos e Aplicações Brasileiras; São Paulo, Ed. **Livraria Nobel**, pp198-213, 1980.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, S. de O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

BARROS, Alexandre Hugo Cezar et al. Climatologia do estado de Alagoas. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.

ETENE. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. Caderno Setorial (Fev;2019). Disponível em:
<http://www.bnb.gov.br/documents/80223/4804489/66_2019_Eolica.pdf/5091550b-0dbb-9613-8502-c1ef650ad074>

DA SILVA, Juliane Kayse Albuquerque. Caracterização do vento e Estimativa do Potencial Eólico para a Região de Tabuleiros Costeiros (Pilar, AL). Maceió-AL, 2007. 64p. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)**

COSTA, Gabriel Brito; LYRA, Roberto Fernando da Fonseca. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 31-38, 2012.

OMENA NETO, Alcides José de et al. Potencialidade energética e o perfil socioeconômico do estado de Alagoas. 2007.

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/craibas/panorama>> IBGE – Área Territorial oficial. Acesso em: 08 de julho de 2020.

ELETROBRÁS. Atlas Eólico do Estado de Alagoas. 2008. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_AL.pdf>.

AMORIM, Marney Chaves de Aragão Lisboa. **Análise e refinamento estatístico dos prognósticos do vento com o modelo WRF no estado de Alagoas**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Al, 2015

OLIVEIRA, André Felipe Spengler. **Avaliação do modelo WRF na previsibilidade do vento para geração de energia eólica na região de Laguna - SC**. 2017. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Meteorologia, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017

QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL TEÓRICO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NA CTR DO AGRESTE - CRAÍBAS, AL

Marcos Vinícius da Silva Santos¹, Ana Letícia Gaia da Rocha Almeida² e Karina Ribeiro Salomon³

¹Universidade Federal de Alagoas, Maceió, marcoseamb@outlook.com

² Universidade Federal de Alagoas, Maceió, anita.gaia@hotmail.com

³Universidade Federal de Alagoas, Maceió, karina.ufal@yahoo.com.br

Resumo

No Brasil, desde a década de 1970, as mudanças no padrão de consumo da população têm desencadeado um constante aumento na produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), tornando a disposição final destes uma das maiores preocupações ambientais do país. Tendo em vista que aproximadamente 63,5% RSU da área de estudo corresponde à matéria orgânica, a decomposição anaeróbia em aterros sanitários culmina na geração de gás metano, torna-se interessante avaliar o potencial de aproveitamento energético desses sistemas. Diante deste contexto, partindo do aporte de RSU à Central de Tratamento de Resíduos (CTR) do Agreste, com o auxílio da ferramenta LandGEM, este trabalho se propôs a estimar a geração de gás metano no aterro estudado, bem como a potência disponível para geração de energia, chegando aos valores médios anuais de 2,6 milhões de m³/ano e 872 kW, respectivamente. Com base nestes resultados, estimou-se que a energia resultante do biogás gerado na CTR do Agreste poderia abastecer, no ano de pico, uma população de 13.367 habitantes, caracterizando-se como uma fonte alternativa de abastecimento energético para o agreste alagoano.

Palavras-chave: Biogás, Resíduos Sólidos Urbanos, Aterro Sanitário.

1. Introdução

Conforme pontuado por Layrargues (2016), a geração *per capita* de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) acompanha o crescimento demográfico, sendo diretamente impactada também padrão de consumo da população. Em seu estudo, Ribeiro (2017) aponta que, desde a década de 1970, a mobilidade social tem-se tornado cada vez mais fluida na sociedade brasileira, no sentido ascensional. Como consequência, tem-se mudanças no padrão de consumo, e, em uma visão mais ampla, em toda a cadeia produtiva.

Tendo em vista que tal cadeia se inicia com a extração dos insumos - dentre os quais destaca-se a energia elétrica - e vai até o descarte do lixo por parte do consumidor final, Freitas et al. (2019) colocam como uma alternativa interessante a gestão integrada entre a geração de energia limpa e a coleta e a disposição dos RSU, através da utilização do biogás gerado nos aterros sanitários. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo estimar o potencial teórico de aproveitamento energético do biogás gerado na Central de Tratamento de Resíduos (CTR) do Agreste, localizada no município de Craíbas (AL), tendo-se como base a projeção populacional da região atendida por ela durante sua vida útil de vinte anos.

2. Fundamentação teórica

O biogás proveniente da digestão anaeróbia de RSU consiste em uma mistura de gases, composta predominantemente por metano e dióxido de carbono, conforme ilustrado na Tabela 1 (SALOMON, 2007).

Tab. 1: Composição média do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.

Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	40-75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25-40
Nitrogênio (N ₂)	0,5-2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1-1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	0,1-0,5
Amônia (NH ₃)	0,1-0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0-0,1
Hidrogênio (H ₂)	1-3

Segundo Ferreira (2018), além da composição dos RSU, a umidade, a granulometria e a idade do lixo, a temperatura e o pH são fatores fortemente influentes na produção de biogás em aterros sanitários. O autor pontua ainda que, devido a isso, o processo pode ser subdividido em cinco etapas, sintetizadas na Tabela 2. Devido à possibilidade de aproveitamento do biogás para geração de energia, a inserção dos aterros sanitários neste mercado apresenta-se como promissora. Todavia, para que esta seja bem-sucedida, faz-se necessário analisar cuidadosamente o potencial energético do biogás gerado em cada aterro.

Tab. 2: Fases típicas de produção do biogás em um aterro sanitário.

Fase	Condição	Descrição	Período Típico
I	Aeróbia	Logo após a cobertura dos RSU depositados em aterros sanitários ainda há oxigênio presente. Assim, os microrganismos aeróbios iniciam a decomposição, até que o oxigênio existente seja consumido, sem reposição.	Horas a 1 semana
II	Anóxica	Começam a predominar os chamados microrganismos anaeróbios facultativos, que atuam na conversão da matéria orgânica degradada (pelo processo aeróbio) em compostos dissolvidos por meio de hidrólise e liquefação.	3 meses a 3 anos
III	Anaeróbia instável	A matéria orgânica hidrolisada é transformada, por meio de ação bioquímica das bactérias presentes, em ácidos graxos voláteis.	8 a 40 anos
IV	Anaeróbia estável	Os ácidos já formados se misturam ao líquido proveniente da matéria orgânica, reduzindo seu pH e formando compostos orgânicos simples.	1 a 40 anos
V	Anaeróbia declinante	Bactérias metanogênicas consomem os compostos orgânicos simples, gerando metano (CH ₄) e dióxido de carbono (CO ₂).	10 a 80 anos

3. Materiais e métodos

O presente estudo seguiu o fluxo de trabalho ilustrado na Figura 1.

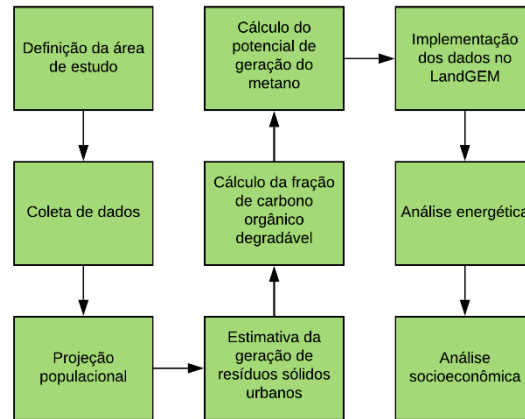


Fig. 1: Representação das etapas desenvolvidas no trabalho.

3.1 Área de estudo

A CTR do Agreste localiza-se em Craíbas ($9^{\circ}38'25,0''$ Latitude Sul e $36^{\circ}42'04,5''$ Longitude Oeste), recebendo os resíduos enviados, além da localidade sede, pelos municípios de Arapiraca, Belém, Campo Alegre, Coité do Nória, Estrela de Alagoas, Feira Grande, Feliz Deserto, Girau do Ponciano, Igaci, Igreja Nova, Jaramataia, Junqueiro, Lagoa da Canoa, Limoeiro de Anadia, Maribondo, Minador do Negrão, Olho d'Água Grande, Palmeira do Índios, Paulo Jacinto, Penedo, Piaçabuçu, Porto Real do Colégio, Quebrangulo, São Sebastião, Tanque d'Arca, Taquarana, Teotônio Vilela e Traipu (SEMARH, 2019), como mostrado na Figura 2.

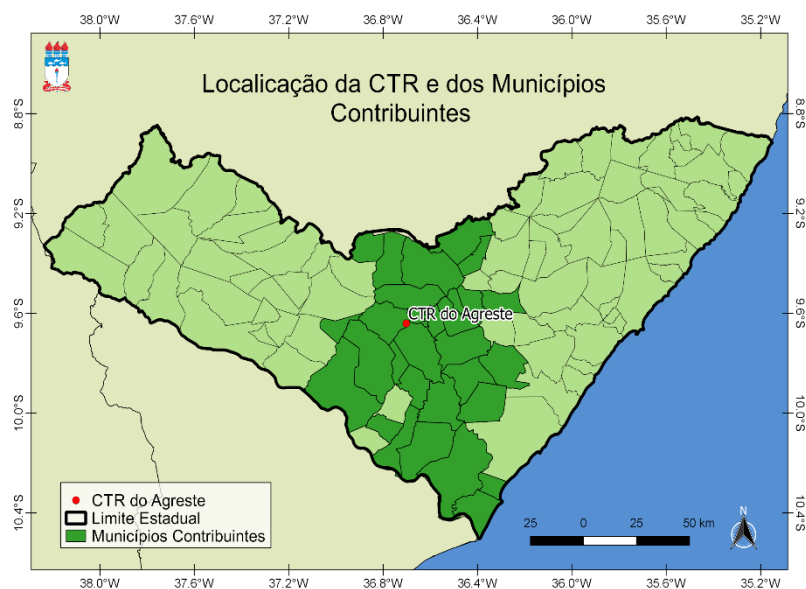


Fig. 2: Localização da CTR do Agreste.

Segundo a Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH, 2016), os municípios consorciados à CTR do Agreste encontram-se, administrativamente, nas regiões Agreste (19), Sul (8), Bacia Leiteira (1) e Zona da Mata (1). Assim, os dados de composição gravimétrica e geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos foram obtidos nos Planos Intermunicipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS) destas quatro regiões, fazendo-se um recorte dos municípios de interesse. Os dados populacionais, por sua vez, vieram dos censos demográficos de 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2017).

3.2 Projeção populacional e da produção de resíduos sólidos urbanos

Para chegar à estimativa de resíduos sólidos urbanos aportados na CTR do Agreste anualmente, no horizonte de vinte anos, trabalhou-se, inicialmente, com a projeção populacional dos municípios consorciados ao aterro sanitário. Para tal, foi o escolhido o método Logístico, pois, como pontuado por Fernandes e Santos (2018), ele melhor se adequa a situações desta natureza, haja vista que seu cálculo considera uma população de saturação, isto é, impõe um limite ao crescimento populacional, ao contrário dos demais.

O cálculo da geração de resíduos sólidos em termos de (Mg/ano), por sua vez, teve como base a projeção populacional escolhida e as informações referentes à geração *per capita* de lixo em cada município consorciado à CTR do Agreste. A geração *per capita* referente à toda a área de estudo foi estimada através de uma média ponderada do parâmetro para cada município consorciado, considerando os dados fornecidos pelos PIGIRS, tendo como pesos a população do Censo Demográfico 2010.

3.3 Quantificação do metano gerado

A partir dos dados da gravimetria, disponíveis nos PIGIRS e de população em cada município, foi possível calcular - por meio da média ponderada do parâmetro, tendo como peso a população - o valor do Carbono Orgânico Degradável (COD). O COD consiste na fração do carbono dos RSU que é acessível à decomposição bioquímica, sendo estimado com base na composição de resíduos. Assim, calcula-se o COD a partir do teor de carbono de vários componentes degradáveis do fluxo de resíduos, como visto na eq.1.

$$COD = \sum (COD_i \times W_i) \quad (eq.1)$$

Nela, o COD é dado em termos de [(Gg de C)/(Gg de RSU)]; W_i refere-se à fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo; e COD_i refere-se à fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo i . Este parâmetro depende da composição do material que será encaminhado à CTR e foram definidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como visto na Tabela 3, enquanto aquele depende dos resultados da análise da composição gravimétrica do resíduo.

Tab. 3: Valores de COD_i para os componentes do RSU.

Componente	COD _i (% em massa)
A: Papel/Papelão	40
B: Resíduos de parques e jardins	17
C: Restos de alimento	15
D: Têxteis	40
E: Madeira	30

A determinação do valor do COD possibilitou a realização do cálculo do potencial de geração de metano do resíduo sólido (L₀). No estudo de Humberto (2017) o cálculo do L₀ foi realizado através da eq.2 definida pelo IPCC, (2006).

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times \frac{16}{12} \quad (\text{eq.2})$$

Através dela, L₀ é calculado em termos de [(Gg de CH₄)/(Gg de RSU)]; FCM é o fator de correção de metano (%); COD é o carbono orgânico degradável, em [(Gg de C)/(Gg de RSU)], calculado em fase anterior; COD_f é fração de COD dissociada (%); F é a fração do volume do metano no biogás gerado (%) e 16/12 é o fator de conversão de carbono em metano [(Gg de CH₄)/(Gg de C)].

Para o desenvolvimento do presente trabalho, devido à baixa disponibilidade de estudos nesta linha de pesquisa, optou-se por adotar os valores de FCM=1; COD_f= 0,5; F=0,5, com base nas análises desenvolvidas ao longo da disciplina de Energia e Meio Ambiente atrelada ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Assim, foi possível determinar o potencial de geração de metano do resíduo sólido.

3.4 Quantificação do potencial energético

De posse da determinação de geração de RSU por ano de toda a população da área de estudo projetada para os vinte anos previstos de funcionamento da CTR em termos de (Mg/ano) e da mensuração do valor do potencial de geração de metano do resíduo sólido (L₀) em termos de (m³/Mg) foi possível alimentar a ferramenta LandGEM.

Para a determinação do valor de L₀ em (m³/Mg de RSU) foi necessária uma análise dimensional, na qual foi utilizado o valor da densidade do metano - 0,656 Kg/m³ - tendo em vista que o valor de L₀ estava inicialmente em termos de [(Gg de CH₄)/(Gg de RSU)].

A ferramenta LandGEM é um software executado na plataforma Microsoft Office Excel, criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) com a finalidade de mensurar a produção dos gases emitidos nos aterros sanitários. De acordo com Assunção (2015), o modelo é baseado no Método de Decaimento de Primeira Ordem, que considera a cinética de decomposição do RSU ao longo dos anos de funcionamento do aterro sanitário e após o seu encerramento, considerando que, a cada ano, novas quantidades de resíduos são depositadas.

A partir da inserção dos dados de entrada, a plataforma disponibiliza a quantidade estimada de geração de metano por ano na CTR, bem como confecciona gráficos com estas informações, possibilitando melhores análises. Com os resultados oferecidos pelo LandGEM, foi feita a conversão energética, considerando valores de Poder Calorífico Inferior do metano $PCI_{CH_4}=35,53 \text{ MJ/m}^3$ e da eficiência do motor de combustão interna (E_f)=0,3, para cada ano de funcionamento da CTR.

Dessa forma, calculou-se a potência disponível em (KW) e a energia disponível em (KWh/ano) a partir dos dados de geração de metano. Por fim, utilizando dados de consumo energético *per capita*, fornecidos pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2019, estimou-se a quantidade de habitantes que poderiam ser beneficiados caso acontecesse o aproveitamento energético.

4. Resultados e discussões

4.1 Projeção populacional e da produção de resíduos sólidos urbanos

O cálculo da produção de RSU *per capita* média dos municípios resultou numa geração de 0,675 Kg/hab/dia. Baseado nos dados dos três últimos Censos demográficos (IBGE, 2017) e seguindo a metodologia detalhada no item 3.2, chegou-se aos valores da projeção populacional ilustrados na Tabela 5, do item 4.3. Nesta também estão os valores da produção de RSU por ano, com base na população estimada e a produção de resíduo *per capita* calculada.

4.2 Geração de metano

Conforme a metodologia estabelecida no item 3.3, foi realizado o cálculo do COD. A gravimetria fornecida pelos PIGIRS consiste no único estudo realizado em escala municipal até o presente momento; nela, os RSU foram separados nas seguintes composições, em porcentagem: Matéria orgânica (MO); Papel/papelão; Metal; Plástico; Vidro e outros. Esta classificação, porém, difere da estabelecida pelo IPCC em 2006, ilustrada na Tabela 5. Sendo assim, foi considerado que a matéria orgânica é equivalente à fração de restos de alimento, enquanto as classes de metal, plástico, vidro e outros, não foram classificados no cálculo do COD, já que não possuem teor de carbono degradável considerável.

Desse modo, foi necessário apenas o cálculo dos valores de W_i a partir de uma média ponderada, resultando nos valores explícitos na Tabela 4. Nesta também está o valor calculado do COD a partir da eq.1. Nota-se que o valor do COD calculado (11,78%) aproxima-se consideravelmente do valor sugerido pelo IPCC em caso de ausência de estudos acerca da gravimétrica do resíduo, que é de 12% (SALOMON, 2019).

Tab.4: Cálculo do COD.

Componente	COD _i (%)	W _i para a Gravimetria fornecida (%)
Papel/Papelão	0,4	0,0567
Restos de alimento / MO	0,15	0,6345
COD (Gg de C/Gg de RSU)		0,1178

Através da Equação 2, estabelecida no item 3.3, determinou-se o valor para o potencial de geração de metano do resíduo sólido (L_0), utilizando o valor calculado do COD, obtendo-se $L_0 = 0,0393 [(Gg \text{ de } CH_4)/(Gg \text{ de } RSU)]$. Este valor foi convertido em m^3/Mg , resultando em aproximadamente $L_0 = 59,88 m^3/Mg$.

4.3 Potencial energético

Para o cálculo da estimativa de emissão de gás metano, foi utilizada a planilha LandGEM, conforme definido no item 3.4. Nela, foram inseridos os dados da produção anual de RSU da área de estudo, evidenciados na Tabela 4, e o valor de L_0 , em m^3/Mg . O período analisado foi de 2017 - ano de inauguração da CTR - até 2037 - ano previsto fim da vida útil do aterro.

A ferramenta retornou os valores de emissão de metano durante e após o funcionamento da CTR. A Figura 3 apresenta a estimativa de produção de metano em m^3CH_4/ano , gerada pela plataforma entre os anos de 2017 e 2157. Nota-se que nos primeiros anos de funcionamento do aterro ocorrem um maior crescimento de emissão de CH_4 , devido à grande taxa de deposição de RSU nestes anos. Segundo Silva (2009), quanto maior a quantidade de RSU aterrados, mais eficiente e rápido é o processo de digestão anaeróbia.

Após o fechamento do aterro, é evidenciado que a produção de metano começará a decair, pois o aporte de RSU na unidade cessará. Ainda assim, a CTR continuará produzindo grandes quantidades de metano, passíveis de aproveitamento energético, após o seu período de inatividade. Porém, com o passar dos anos, as emissões tendem a se tornar insignificantes no que diz respeito à geração de energia elétrica.

Considerando que a produção de biogás é diretamente proporcional à quantidade de resíduos aterrados, como esperado, o valor máximo de emissão de gás metano se deu por volta do ano de 2038, chegando ao valor de $4708609,54 m^3 CH_4/ano$. O fenômeno ocorre logo após o fechamento do aterro, pois espera-se que, no último ano de funcionamento, a CTR receba as maiores cargas de RSU e que toda a matéria orgânica em decomposição depositada nos anos anteriores ainda produza biogás.

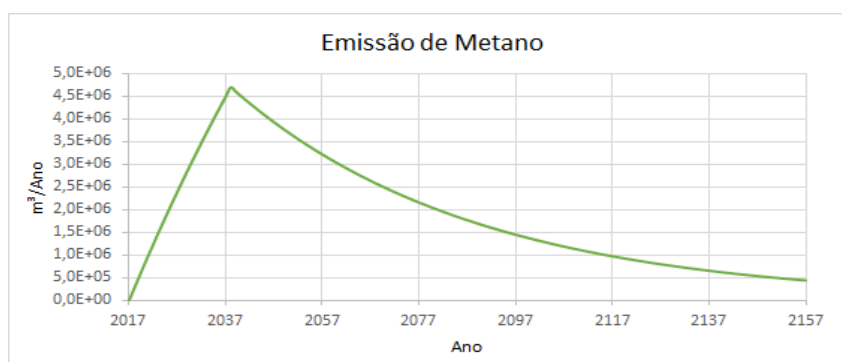


Fig.3: Gráfico da emissão de metano na CTR do Agreste.

Com os valores da emissão de metano em m^3/ano , no período entre 2017 e 2038 foi feito o cálculo da potência da energia disponível, conforme a metodologia descrita no item 3.4. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2019, que teve como ano base 2018,

no estado de Alagoas o consumo médio *per capita* de energia elétrica é de 1043 KWh/habitante em 2018. Utilizando este dado, calculou-se o número de habitantes atendidos, caso houvesse o aproveitamento energético na CTR Agreste. Os resultados destes cálculos estão registrados na Tabela 5.

Tab.5: Estimativas de população e produção de RSU dos municípios contribuintes, de potência, energia e população beneficiada no aproveitamento energético da CTR do Agreste.

Ano	Pop. Estimada (Habitantes)	RSU (Mg/ano)	Emissão de Metano (m ³ /ano)	Potência Disp. (KW)	Energia Disp. (KWh/ano)	Nº Habitantes Beneficiados
2017	874522	215404,69	0	0	0	0
2018	880030	216761,35	256173,921	86,585	758488,285	727
2019	885459	218098,65	508888,691	172,002	1506734,598	1445
2020	890810	219416,55	758189,787	256,264	2244873,594	2152
2021	896081	220714,98	1004121,718	339,388	2973037,054	2850
2022	901274	221993,94	1246728,061	421,387	3691354,000	3539
2023	906387	223253,39	1486051,494	502,277	4399950,797	4219
2024	911421	224493,35	1722133,835	582,072	5098951,263	4889
2025	916376	225713,83	1955016,076	660,785	5788476,764	5550
2026	921252	226914,85	2184738,412	738,430	6468646,314	6202
2027	926049	228096,45	2411340,276	815,020	7139576,668	6845
2028	930768	229258,70	2634860,370	890,569	7801382,413	7480
2029	935408	230401,65	2855336,691	965,089	8454176,053	8106
2030	939970	231525,38	3072806,560	1038,592	9098068,091	8723
2031	944455	232629,97	3287306,652	1111,092	9733167,113	9332
2032	948862	233715,53	3498873,019	1182,600	10359579,864	9932
2033	953193	234782,17	3707541,114	1253,129	10977411,316	10525
2034	957447	235829,99	3913345,820	1322,690	11586764,748	11109
2035	961625	236859,14	4116321,465	1391,295	12187741,806	11685
2036	965728	237869,74	4316501,852	1458,955	12780442,568	12254
2037	969756	238861,93	4513920,274	1525,681	13364965,611	12814
2038	973710	239835,88	4708609,535	1591,485	13941408,064	13367
Média			2578990,744	871,685	7635961,761	7321

Como pode-se observar na Tabela 5, o ano de maior produção de potência e energia disponível é 2038, mesmo comportamento observado na Figura 3 em relação à emissão de CH₄. Estima-se que, se houvesse o aproveitamento energético do gás

metano neste ano, a energia elétrica gerada seria o suficiente para abastecer uma população de, aproximadamente, 13.367 habitantes. Os valores médios anuais entre 2018 e 2038 de emissão de CH₄, potência e energia disponível e de habitantes que seriam beneficiados também estão presentes na Tabela.

5. Conclusões

Findo o presente trabalho, foi possível concluir que, em teoria, a CTR do Agreste possui um potencial interessante de geração de energia através da conversão de biogás. Como demonstrado pela ferramenta LandGEM, mesmo após o ano de 2037 (correspondendo à previsão de encerramento do aterro) o fluxo de metano produzido é expressivo, podendo ser aproveitado nas décadas seguintes.

Numericamente, a média dos valores obtidos entre 2018 e 2038 correspondeu a cerca de 2,6 milhões de m³ de metano, 872 kW de potência e 7,6 milhões kWh/ano de energia disponível. Caso este cenário se concretize, seria possível abastecer cerca de 13.367 habitantes no ano de pico.

Por fim, ainda que o projeto apresente inúmeros benefícios do ponto de vista socioambiental - como redução da emissão de metano para a atmosfera e de odores desagradáveis - faz-se necessária uma análise da viabilidade técnica e econômica, englobando um estudo de custos operacionais e de manutenção ao longo do horizonte de projeto, bem como de lucro com a venda da energia gerada.

Referências

ASSUNCAO, Saimon Gleico dos Santos. **Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos - Um Estudo da Viabilidade Técnica da Geração de Biogás na Região Metropolitana De Belém**. XXXV Encontro Nacional E Engenharia De Produção. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_214_267_27068.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2020.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Landfill gas emissions model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide**. maio 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica: Ano Base 2018**. 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

FERNANDES, Giovanna Loiola; SANTOS, Ivan Felipe Silva dos. **Avaliação do Potencial Energético de Aterros Sanitários de Seis Cidades Brasileiras**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, [s.l.], v. 7, n. 1, p.51-65, 19 fev. 2018. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i1.57967>.

FERREIRA, Wemerson Rocha. **Análise do Potencial Energético Territorial do Biogás Proveniente de Aterros Sanitários para Inserção na Matriz Elétrica do Estado de Minas Gerais no Horizonte de 2050**. 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Departamento de

Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AYJKUR/1/disserta__o_completa_vf_wrf.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2020.

FREITAS, Lílian Carla Ferreira et al. **Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas - SP**. Research, Society And Development, [s.l.], v. 8, n. 6, p.1-29, 31 mar. 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i6.788>.

HUMBERTO, Júlia Santos. **Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos das Regiões Metropolitana, Litoral Norte e Zona da Mata do Estado de Alagoas**. 2017. 130 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Solid Waste Disposal**. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf>. Acessado em: 02 fev. 2020.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. **Políticas de Gestão e Educação Ambiental para Resíduos Sólidos na Economia de Mercado: a Obsolescência Planejada e os Limites da Sustentabilidade no Capitalismo**. Havana: Editorial Nuevo Milenio, 2016. 32 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Philippe_Layrargues/publication/298473381_Politicade_Gestao_e_Educacao_Ambiental_para_Residuos_Solidos_na_Economia_de_Mercado_a_Obsolescencia_Planejada_e_os_limites_da_sustentabilidade_no_capitalismo/links/56e9a25608aec8bc078112ff/Politicade-Gestao-e-Educacao-Ambiental-para-Residuos-Solidos-na-Economia-de-Mercado-a-Obsolescencia-Planejada-e-os-limites-da-sustentabilidade-no-capitalismo.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2020.

PIÑAS, Jean Agustin Velásquez; VENTURINI, Osvaldo Jose; LORA, Electo Eduardo Silva; OLIVEIRA, Michele Aparecida de; ROALCABA, Orly Denisse Calle. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 33, n. 1, p.175-188, 10 maio 2016. Associação Brasileira de Estudos Populacionais. <https://doi.org/10.20947/S0102-309820160009>.

RIBEIRO, Carlos Antonio Costa. **Tendências da Desigualdade de Oportunidades no Brasil: Mobilidade Social e Estratificação Educacional**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017. 18 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7807/1/bmt_62_tendências.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2020.

SALOMON, Karina Ribeiro. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0032785.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2020.

SALOMON, Karina Ribeiro. **Potencial de Geração de Energia a Partir de Biogás.** Maceió, 2019. 90 slides, color.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Gestão Municipal: O Município.** 2019. Disponível em: <<http://www.residuossolidos.al.gov.br/gestao-municipal/o-municipio>>. Acesso em: 27 fev. 2020.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Planos: Intermunicipais.** 2016. Disponível em: <<http://www.residuossolidos.al.gov.br/planos/intermunicipal>>. Acesso em: 27 fev. 2020.

SILVA, Ana Luiza Ferreira da. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás Produzido no Aterro Sanitário Metropolitano de Natal.** 2019. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/9638/1/ENVIO_FINAL.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2020.

SEMENTES FLORESTAIS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOENERGIA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

**Crislaine Costa Calazans¹, Valdinete Vieira Nunes², Juliana Lopes Souza³,
Fernanda Evangelista de Almeida⁴, Renata Silva-Mann⁵**

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI, Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - cris.calazans@yahoo.com.br

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI, Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - val.ufs@gmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade- PPGAGRI, Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - juliana_lopes_souza@live.com

⁴Departamento de Engenharia Agrônômica – DEA, Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - fernanda.evangelista14@gmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrônômica – DEA, Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE - renatamann@academico.ufs.br

Resumo

A bioenergia florestal inclui uma grande variedade de fontes e qualidades, conversão de tecnologias, produtos finais e mercados. As sementes são consideradas produtos florestais não madeireiros (PFNMs) e são importantes para sustentar a subsistência rural, reduzindo pobreza, conservação da biodiversidade e facilitação crescimento econômico por meio da inclusão de produtores rurais por meio do cultivo de fontes de energia como alternativa para aumentar sua renda. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise sistemática da produção científica sobre o uso de sementes florestais como matéria-prima para bioenergia. Foi realizada uma revisão de artigos publicados nas bases científicas Scopus e Web of Science. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020 com os seguintes termos: “Tree seed” AND “bionergy” OR “alternative energy” que foram prospectadas no título e resumo. Os dados foram gerados e analisados com o auxílio do pacote Bibliometrix no software R. Foram prospectados 199 artigos científicos das bases Scopus (110) e Web of Science (89). Desses, retiradas as duplicatas totalizando 125 documentos publicados em 83 periódicos. Estados Unidos é o país com maior número de trabalhos publicados (15%), seguido da Índia com 14% dos artigos, China (11%) e Austrália (8%). O Brasil ocupa a 9ª posição com 4% dos documentos publicados.

Palavras-chave: Energia Alternativa, Biomassa, Recursos Energéticos.

1. Introdução

O rápido crescimento populacional tem sido acompanhado por um aumento no consumo de energia e combustíveis, o que resultou em uma degradação irreversível do meio ambiente e mudanças climáticas (DARDA et al., 2019). Dessa forma, um dos grandes desafios consiste na busca do equilíbrio entre o avanço tecnológico e a conservação da biodiversidade.

A energia proveniente de materiais florestais tem sido utilizada há milhares de anos, porém seu uso tradicional gerava grandes impactos ambientais e de saúde. Com o desenvolvimento da biotecnologia, a utilização desses recursos está mais limpa e eficiente. Assim, a energia obtida de biomassas tem como finalidade a redução do consumo de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução de problemas ambientais tais como mudanças climáticas, perda de biodiversidade e aumento da poluição (DYER et al., 2012; GONÇALVES et al., 2016).

Energia renovável ou bioenergia consiste na energia produzida e/ou derivada de fontes renováveis infinitamente, seja hídrica, solar, eólica, ou gerada por combustíveis renováveis, biomassa ou produzida de forma sustentável. A biomassa é o material de origem biológica, excluindo material embutido em formações geológicas e transformado em fóssil, proveniente de operações agrícolas, florestais e industriais relacionadas (FAO, 2020).

Os recursos naturais renováveis fornecem vários produtos para a economia, incluindo alimentos, fibras, energia e medicamentos (FREY et al., 2018). Apesar dos benefícios ambientais, sociais e econômicos do uso da biomassa florestal como combustível, esses materiais da floresta ainda são subutilizados (DEBONI et al., 2019).

A bioenergia florestal inclui uma grande variedade de fontes com diferentes qualidades, conversão de tecnologias, produtos e mercados. Além disso, costuma ser uma parte integrante do manejo florestal e silvicultural. Bioenergia, portanto, não é completamente separada de outras atividades no setor florestal, e qualquer mudança no uso de biomassa não afeta apenas a sustentabilidade ambiental, mas também leva a efeitos econômicos e sociais (BERNDES et al., 2016).

As sementes são consideradas produtos florestais não madeireiros (PFNMs). Estes, além de minimizar os impactos ambientais, são importantes para sustentar a subsistência rural, reduzindo pobreza, conservação da biodiversidade e facilitação rural do crescimento econômico por meio da inclusão de produtores rurais por meio do cultivo de fontes de energia como alternativa para aumentar sua renda (RETA et al., 2020).

O conhecimento do potencial de uso dos PFNMs é de interesse tanto de organizações governamentais quanto das não-governamentais, pois sua coleta e comercialização impulsionam alta demanda de capital financeiro; e promovem qualidade de vida para os habitantes e a conservação da biodiversidade local (BRITES; MORSELLO, 2016).

As espécies florestais nativas ocupam um importante espaço no mercado de sementes. Sua classificação exige uma certa cautela nas definições de suas características, pois estas sementes possuem grande variabilidade de características e de valor (RIBEIRO-OLIVEIRA; RANAL, 2014). Para a indústria de biodiesel, por exemplo, o teor de óleo bruto e a qualidade do percentual de ácidos graxos livres são fatores condicionantes na hora da compra dos grãos (DOS SANTOS et al., 2012).

Análises considerando o uso de termos chave ocorrentes em tópicos, podem permitir a identificação de temáticas importantes; bem como atualização do estado da técnica em determinada época. Também possibilitam o estudo da evolução das inovações tecnológicas em uma área específica. Entender essa evolução contribui para a compreensão do histórico dos interesses em estudos de uma determinada instituição ou área de pesquisa (GOMES et al., 2018).

Assim, neste trabalho se teve como objetivo realizar uma análise sistemática da produção científica sobre uso de sementes florestais como matéria-prima para bioenergia.

2. Material e métodos

Foi realizada uma revisão de artigos científicos sobre o potencial uso de sementes de espécies florestais como matéria-prima para bioenergia a partir de publicações nas bases científicas *Scopus* e *Web of Science*. A pesquisa foi realizada em setembro de 2020 com os seguintes termos: “*Tree seed*” AND “*bionergy*” OR “*alternative energy*” que foram prospectadas no título e resumo. Os dados bibliográficos foram importados no formato Bitex para realização de análises bibliométricas tais como, citações, colaboração científica e análise de artigos por ano. As análises estatísticas e os gráficos foram gerados com o auxílio do pacote Bibliometrix no software R (R CORE TEAM, 2020).

3. Resultados e discussão

Foram prospectados 199 artigos científicos das bases *Scopus* (110) e *Web of Science* (89). Desses, retiradas as duplicatas totalizando 125 documentos publicados em 83 periódicos, com média de nove publicações por ano, 17 citações por documento e 531 autores, sendo 18 documentos com autoria única e 513 com autoria múltipla. O número médio de co-autores por documento foi de 4,46 e o índice de colaboração de 4,89.

O periódico *Biomass Bioenergy* possui o maior número de documentos publicados e o maior fator de impacto (H-index) entre as revistas com trabalhos pesquisados. Seguido das revistas *SIGH* e *Biology Ecological Energy*. Destacam-se com alto fator de impacto além da *Biomass Bioenergy* as revistas: *GCB Bioenergy*, *Industrial Crops and Products*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* e *Sumarski List* (Figura 1).

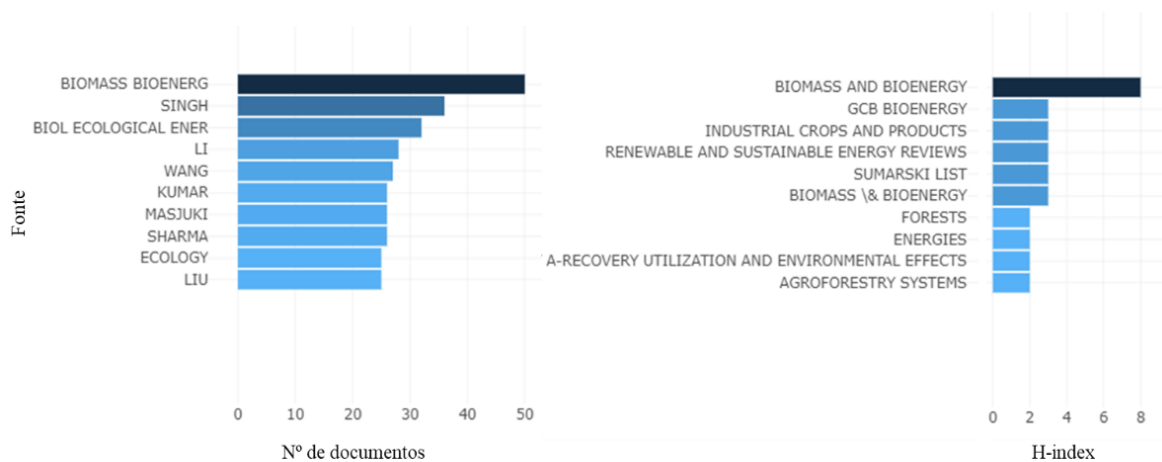


Figura 1 - Fonte de publicação por número de documentos e fator de impacto (H-index).

Fonte: R Core Team (2020).

Mesmo tendo o maior número de publicações total a *Biomass Bioenergy*. O periódico *Industrial Crops* em contrapartida obteve crescimento acentuado a partir de 2010 e apresenta-se como a revista com maior número de trabalhos por ano sobre o tema, seguida da *Forests* e da *GCB Bioenergy* (Figura 2).

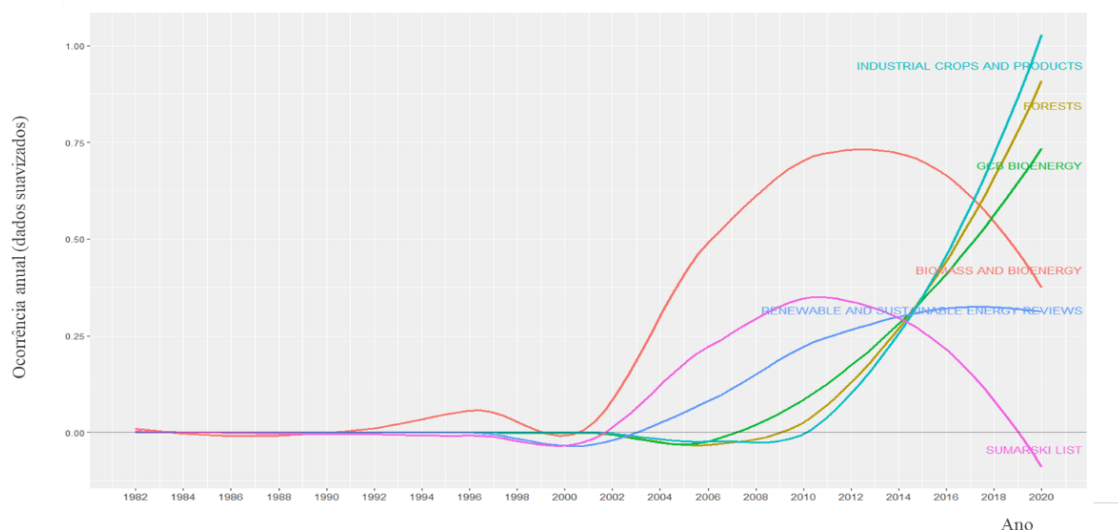


Figura 2 – Crescimento anual de publicações por periódico.

Fonte: R Core Team (2020).

Para a distribuição da produção científica relacionada ao uso de sementes florestais como matéria-prima para bioenergia por país de publicação, os Estados Unidos é o país com maior número de trabalhos publicados (15%), seguido da Índia

com 14% dos artigos, China (11%) e Austrália (8%). O Brasil ocupa a 9ª posição com 4% dos documentos pesquisados (Figura 3). Destaca-se que os Estados Unidos são os maiores produtores de biocombustível em geral, seguidos por Brasil, Alemanha, Argentina e China (NS ENERGY, 2019).

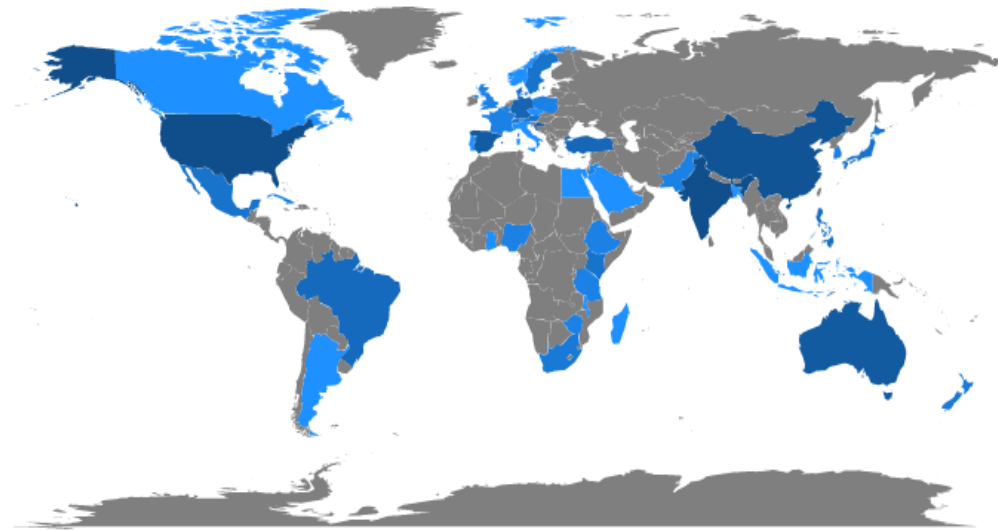


Figura 3 - Distribuição geográfica da produção científica por país.

Fonte: R Core Team (2020).

Com relação ao total de citações por país, a Índia lidera com 428 citações, seguida dos Estados Unidos com 294, Austrália (207) e China (118). O Brasil não aparece entre os 20 países mais citados.

Destacam-se com maior participação nas publicações as instituições: Ahmadu Bello University (Nigéria), University of Hohenheim (Alemanha), Csiro Ecosyst SCI (Austrália), EGE University (Turquia) e University of Cordoba (Argentina). Na pesquisa evidencia-se a importância das contribuições do autor Ante P. B. Krpan, que desenvolveu estudos sobre o potencial bioenergético de *Amorpha fruticosa* L. (KR PAN et al., 2011, 2014) (Figura 4).

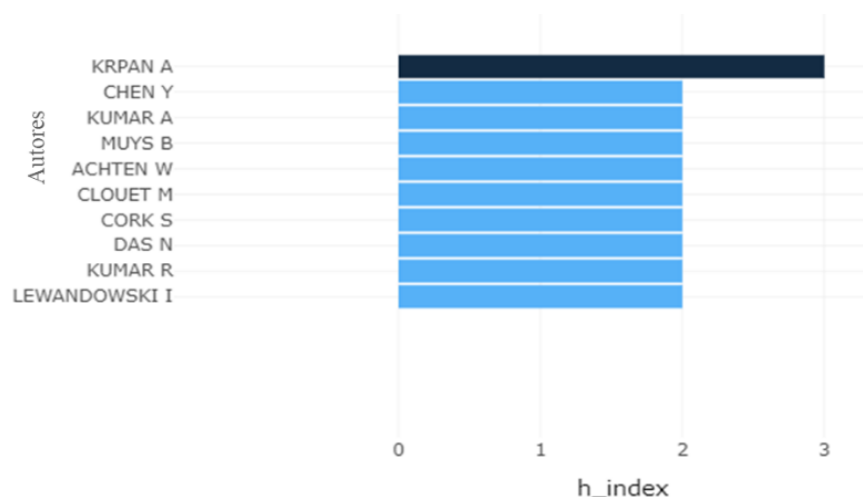


Figura 4 – Autores mais relevantes por fator de impacto (H-index).

Fonte: R Core Team (2020).

O termo *biomass* (biomassa) foi o mais frequente totalizando 20% das 10 palavras mais citadas; seguida de *Jatropha curcas* e *biofuel* (biocombustível) (15%); *forestry* (florestal) (13%), *seed* (semente) (11%), *biodiesel* (10%), *bioenergy* (bioenergia) (9%) e *crops* (culturas) (8%). *Jatropha curcas* L. destaca-se dentre as espécies com potencial para produção de biodiesel devido a sua alta capacidade de produção de óleo e sua adaptabilidade em regiões que sofrem com vários meses de estiagem (DRUMOND et al., 2016). Mais conhecida por pinhão-mansão, a espécie é alvo de estudos que têm como objetivo o avanço de técnicas para incremento de produtividade, especialmente qualidade das sementes, parâmetros genéticos e melhoramento genético (PESSOA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2017; SANTANA et al., 2013).

Esforços para analisar tópicos de pesquisas constituem formas de aprimorar a compreensão do que tem sido produzido acerca da ciência. Adicionalmente, outras informações podem ser descobertas como principais tópicos em discussão; co-ocorrência dos tópicos de pesquisas e tendências de pesquisas. A partir destas descobertas, ainda é possível realizar análises baseadas em agrupamento, ranqueamento e recomendação (GOMES et al., 2018). No campo palavras-chave ao aplicar parâmetros de normalização para associação dos termos com maior número de ocorrência foram obtidos resultados semelhantes aos apresentados anteriormente. Observa-se a formação de duas redes de co-ocorrência, sendo a primeira relacionada aos termos *Jatropha curcas* e biocombustível e a segunda, sementes florestais e biomassa (Figura 5).



Figura 5 - Mapa estruturante conceitual dos termos mais frequentes nas palavras-chave pelo método MCA.

Fonte: R Core Team (2020).

Verifica-se que o número de artigos publicados na área de estudo manteve um ritmo com pequenas flutuações ao longo dos últimos anos. As publicações na base de dados Scopus obtiveram expressiva participação na década de 2010, passando de 10 artigos publicados por ano sobre o uso de sementes florestais como matéria-prima para bioenergia. Entretanto, no ano de 2015 esse número foi reduzido tanto na base *Scopus* quanto *Web of Science*. A partir de 2016 as publicações voltaram a crescer nos dois periódicos, se igualando em 2019 com o total de 10 publicações/ano cada (Figura 6).

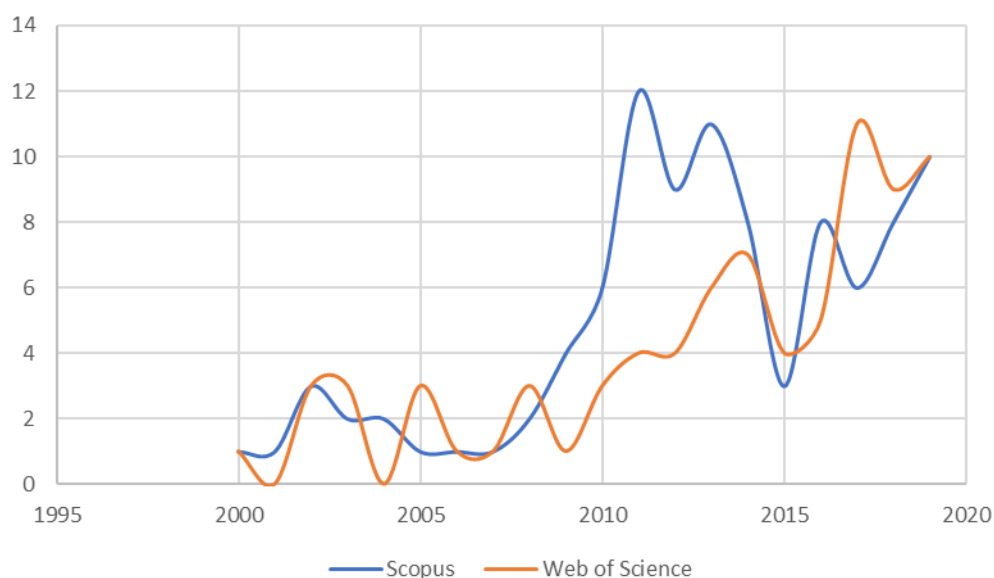


Figura 6 - Número de publicações anuais por periódico sobre sementes florestais como matéria-prima para bioenergia.

Fonte: Elaboração própria (2020).

4. Conclusão

A base *Scopus* obteve maior número total de publicações. O periódico *Biomass Bioenergy* possui o maior número de documentos publicados e o maior fator de impacto (H-index). Os Estados Unidos é o país com maior número de trabalhos publicados. O uso de sementes da espécie *Jatropha curcas* L. destacou-se como principal foco de estudo dos artigos desenvolvidos sobre uso como matéria-prima para bioenergia. Por apresentar-se como uma alternativa sustentável para o biodiesel.

Verifica-se o potencial do uso de sementes florestais como fonte de energia alternativa e espera-se o direcionamento de esforços para o surgimento de pesquisas com vistas a viabilizar a aplicação de inovações tecnológicas para maior aproveitamento dos recursos vegetais.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade - PPGAGRI, ao Grupo de Pesquisa em Conservação, Melhoramento e Gestão dos

6. Referências

Berndes, G. et al. 2016 Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation. *Trom science to policy* 3, 28.

Brites, A. D.; Morsello, C. 2016 Efeitos ecológicos da exploração ee produtos florestais não madeireiros: Uma Revisão Sistemática. *Desenvolvimento eMeio Ambiente*, 36, 55–72.

Darda, S.; Papalas, T.; Zabaniotou, A. 2019 Biofuels Journey in Europe: Currently the way to low carbon economy sustainability is still a challenge. *Journal of Cleaner Production*, 208, 575–588.

Deboni, T. L. et al. 2019 Evolution of the quality of forest biomass for energy generation in a cogeneration plant. *Renewable Energy*, 135, 1291–1302.

Dos Santos, S. B. et al. 2012 Dry matter and oil accumulation in the jatropha seeds and quality of extracted oil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 2, 209–215.

Drumond, M. A. et al. 2016. Produção e distribuição da biomassa de *Jatropha curcas* no Semiárido Brasileiro. *Cerne*, 22, 1, 35–42.

Dyer, J.; Mullen, R.; Chapman, K. Oil In Biomass: A Step-Change For Bioenergy Production? Disponível Em: <<https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/featured-articles/oil-in-biomass-a-step-change-for-bioenergy-production-april-2012?sso=true>>. Acesso Em: 25 Set. 2020.

Fao. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Disponível Em: <<http://www.fao.org/energy/bioenergy/en/>>. Acesso Em: 15 Set. 2020.

Frey, G. E.; Chamberlain, J. L.; Prestemon, J. P. 2018 The potential for a backward-bending supply curve of non-timber forest products: an empirical case study of wild american ginseng production. *Forest Policy and Economics*, 97, 97–109, .

Gomes, J. O.; Dias, T. M. R.; Moita, G. F. 2018 Uma análise dos principais tópicos de pesquisas investigados pelos pesquisadores doutores brasileiros. *Em Questão*, 24, 2, 55.

Gonçalves, A. C.; Malico, I.; Sousa, A. M. O. 2016 Solid biomass from forest trees to energy: a review. *Renewable Resources and Biorefineries*, 13.

Krpan, A. et al. 2011 Biopotential of indigobusch (*Amorpha fruticosa* L.)—second year of investigation. *Šumarski List*, 103–113.

Krpan, A. et al. 2014. Study of bioproductive and energy potentials of indigobush (*Amorpha fruticosa* L.).

Ns Energy. Top five countries for biofuel production across the globe. Disponível Em: <<https://www.nsenergybusiness.com/features/top-biofuel-production-countries/>>. Acesso Em: 25 Set. 2020.

Pessoa, A. M. S. et al. 2012 Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de *Jatropha curcas* L. Scientia Plena, 8, 7,.

R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. vienna: R foundation on statistical computing, 2020.

Reta, Z. et al. 2020 Assessment of contribution of non-timber forest products in the socio-economic status of peoples in eastern Ethiopia. Biogeneric Science and Research, 4(1), 1–8.

Ribeiro-Oliveira, P.; Ranal, M. A. 2014 Ciência Florestal, 24, 3, 771–784.

Ribeiro, D. O. et al. 2017 Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing. Genetics and Molecular Research, 16, 2, 16029651.

Santana, U. A. et al. Combining ability and genetic parameters of physic nut genotypes for morphoagronomic traits. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 48, 11, 1449–1456.

GESTÃO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS



USO DE LODO DE ESGOTO COMO MÉTODO ALTERNATIVO PARA ADUBAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Jaqueline Sampaio da Costa¹, Evany dos Santos de Araújo², Amanda Lima Moraes dos Santos³, Daniele Vital Vich⁴

¹Universidade Federal de Alagoas, Maceió -AL, jaqueline.sampaiofaleng@gmail.com

² Universidade Federal de Alagoas, Maceió –AL, evanyaraujo@hotmail.com.br

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, moraes.al22@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, daniel.vich@ctec.ufal.br

Resumo

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas cultivadas no Brasil e no Estado de Alagoas. As lavouras em grandes extensões de terra alimentam a produção da indústria sucroenergética, um dos setores de maior destaque na economia brasileira. Contudo, em geral, os solos brasileiros necessitam de adubação externa para controlar a acidez e suprir a demanda por nutrientes. Neste cenário, o uso de lodo de esgoto na adubação de lavouras canavieiras vem sendo estudado ao longo dos anos. Este trabalho objetivou apresentar uma revisão de literatura acerca do uso de lodo de esgoto como método alternativo para adubação no plantio de cana-de-açúcar. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica usando os termos de busca “lodo de ETE” e “cana-de-açúcar” isolados e de maneira combinada. A partir dos trabalhos selecionados, foi apresentado um breve histórico sobre a utilidade do lodo de esgoto, seguido de levantamento sobre a eficiência da adubação orgânica para o solo e para a lavoura. Os estudos apontam que a aplicação do mesmo forneceu nutrientes à planta, aumentou a produtividade da lavoura e não causou efeitos deletérios à qualidade do solo.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, lodo de esgoto, adubação.

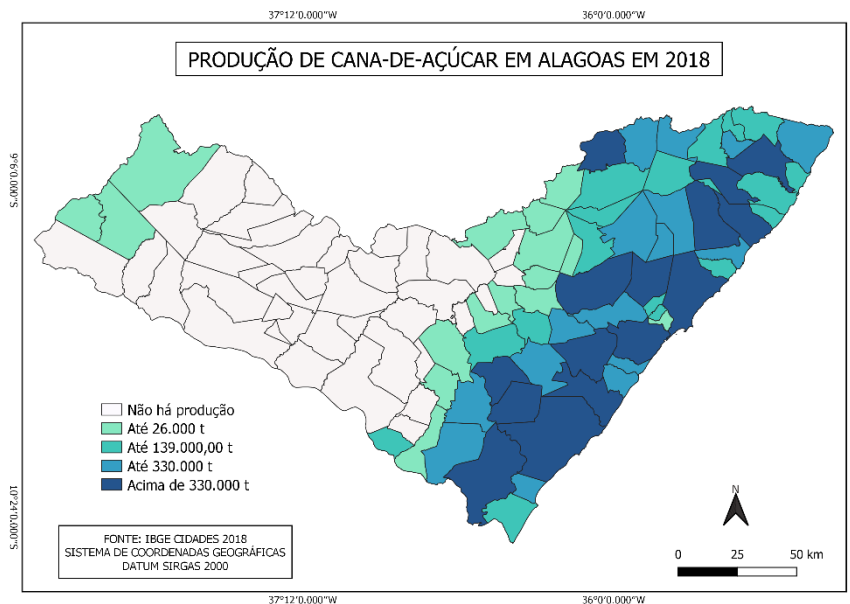
1. Introdução

Nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) geralmente adota-se a combinação de processos de tratamento anaeróbios e aeróbios, com consequente geração de lodo. O tratamento e disposição final do volume de lodo produzido em uma ETE (cerca de 1-2% do volume de esgoto tratado) representa entre 30% e 50% do custo operacional da ETE. A reciclagem do lodo na agricultura é uma boa alternativa quando este atende aos requisitos necessários relativos à concentração de metais pesados e patógenos. Além disso, suas características físico-químicas o tornam um excelente condicionador do solo, podendo auxiliar na melhoria das atuais práticas agrícolas (SANEPAR, 1999). O lodo devidamente tratado pode ser utilizado em solos, na forma de biossólido, altamente rico em nutrientes e matéria orgânica (MO). Com seu uso controlado em solo, o lodo deixa de ser um problema, ao gerar custos para ser disposto em aterros sanitários, e se torna um grande aliado devido a seu potencial uso como fertilizante, (SANEPAR, 1999).

Dentre as culturas agrícolas que podem ser cultivadas em solos com aplicação de lodo de ETE destaca-se a cana-de-açúcar. Com a adaptação da planta às terras

brasileiras, o Brasil se tornou um grande produtor de cana-de-açúcar. No Estado de Alagoas, o crescimento da agroindústria é liderado pela produção da indústria sucroalcooleira, como podemos observar na Figura 1. Os solos brasileiros, em sua maioria, são solos ácidos e pobres em nutrientes e, em geral, necessitam de adubação externa, podendo ser de origem mineral ou orgânica (PERIN et al., 2003). Isso torna o uso de lodo de ETE como adubo para os solos plantados com cana-de-açúcar uma oportunidade promissora para o Estado, podendo resultar em ganhos ambientais e econômicos se realizada de maneira controlada e criteriosa.

Fig.1: Produção de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas.



Fonte: Autores, 2020

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre o uso do lodo de esgoto como método alternativo para adubação de lavouras de cana-de-açúcar, com base em produções acadêmicas brasileiras, que abordam este tema e outros relacionados. Para isso, foi realizada pesquisa no Google Acadêmico usando os termos de busca “lodo de ETE” e “cana-de-açúcar” isolados e de maneira combinada. Os principais trabalhos encontrados foram organizados na Tabela 1 e apresentados de maneira discursiva nos resultados.

2. Resultados e discussão

A produção de cana-de-açúcar no Brasil teve início em 1503. Tornou-se uma das maiores atividades agrícolas no país, por ser altamente lucrativa no comércio exterior. A produção da espécie é feita em monoculturas que ocupam grande escala em extensões de terras. Atualmente, o Brasil e a Índia são os responsáveis pela metade da produção mundial. As usinas brasileiras produzem em torno de 71 kg de açúcar e 42 litros de etanol para cada tonelada de cana processada (COMPRE RURAL, 2018).

Adubos orgânicos são aqueles provenientes de origem animal, vegetal, urbana ou industrial, podendo ser toda a substância morta no solo, ou que descende de plantas, microrganismos e excretas animais (PRIMAVESI, 1990). Existem diversos tipos de

adubação orgânica que devolvem ao solo nutrientes como nitrogênio(N), fósforo (P), potássio (K), cálcio(Ca), magnésio(Mg) e enxofre (S). Santiago e Rosseto (2015a) citam alguns benefícios atribuídos à adubação orgânica, como atenuação do processo erosivo, maior oferta de nutrientes às plantas, aumento na retenção de água, menor oscilação de temperatura do solo, intensificação da atividade biológica, ampliação da quantidade de infiltração e acúmulo de partículas do solo. Para evitar possíveis danos às plantas, os adubos orgânicos são adicionados ao solo antecipadamente da semeadura, nos sulcos ou covas de plantio, e em sequência são irrigados (PENTEADO, 2009).

Segundo Tsutya(2000), o lodo gerado em ETE pode ser utilizado em uso agrícola, disposição em aterro sanitário, reúso industrial, incineração, conversão do lodo em óleo combustível, recuperação de solos, *landfarming* e disposição oceânica. Segundo o autor, é vantajoso o uso em florestas, juntamente com algumas culturas mais indicadas como o milho, trigo, cana-de-açúcar e sorgo, convertendo-se como uso agrícola. Segundo reportagem no Portal do Governo do Estado de São Paulo (2010), estudos realizados pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP) comprovam que o lodo de esgoto (LE) pode substituir em 100% o uso do adubo mineral nitrogenado em plantações de cana-de-açúcar.

Apesar do volume crescente de estações de tratamento de esgoto, que significa farta abundância, o LE deve ser aplicado seguindo os critérios exigidos pela norma do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução nº 375/2006 (BRASIL, 2006), que regulamenta em âmbito nacional o uso do lodo e de seus derivados em meios agrícolas e estabelece critérios, procedimentos de redução de patógenos e da atratividade de vetores.

De acordo com SANEPAR(1999), para que não ocorra a atração de possíveis vetores, inicialmente é feita a secagem em um ambiente telado para que o LE esteja apto a ser aplicado nas plantações. Um dos processos pelo qual o LE passa para se tornar adubo orgânico é o armazenamento, em que ele poderá ser abrigado em um local coberto e impermeabilizado, a fim de evitar umidade, problemas de mau odor e proliferação de patógenos.

O lodo deverá ser disposto em um ou mais montes, e cobertos com lona plástica. Esta cobertura tem os seguintes objetivos de: reter o calor; evitar o umedecimento (chuvas) e reter a amônia. Esta prática também é capaz de minimizar eventuais problemas de odor. Os montes deverão ficar cobertos até que ocorra a redução e a estabilização da temperatura (SANEPAR, 1999).

O local de armazenamento pode apresentar más condições de estabilização, como a liberação de odores provocados por gases decorrentes do processo de biodegradação do lodo e o aumento de microrganismos patogênicos. Segundo Andreoli(2001), são necessárias medidas que amenizem ou eliminem totalmente esses problemas, como processos químicos, físicos e biológicos que, utilizando vários mecanismos de atuação, estabilizam o solo.

Os materiais que não atendam aos requisitos de estabilidade (que pode ser avaliado através do teor de cinzas ou através de voláteis) devem sofrer um prévio processo de estabilização ou ter outra forma de disposição final, como aterro sanitário, *landfarming*, incineração etc (SANEPAR, 1999).

A quantidade a ser utilizada de lodo na plantação poderá ser calculada em função da recomendação de adubação nitrogenada. No caso da cana-de-açúcar, temos a aplicação de nitrogênio entre 30 e 60 quilos por hectare. No caso das soqueiras, é comum a utilização de 80 a 150 quilos por hectare de nitrogênio. Tais valores dependerão da influência de alguns fatores, como idade do canavial e ambiente de produção, entre outros (SANTIAGO E ROSSETO, 2015b).

Experimentos realizados pela Agência Paulista de Tecnologia de Agronegócios (APTA), em Piracicaba, apontam um aumento de 30% na produtividade e aumento da vida útil do canavial utilizando o LE. Em pesquisa realizada pela APTA juntamente com a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, ficou demonstrado que o uso do lodo e de seus derivados em plantações canavieiras, promoveu redução de 60% dos custos com fertilizantes (DOMICIANO, 2013).

A Tabela 1 apresenta trabalhos nacionais que versam sobre os temas. Lima et al. (2015) propõem o uso do adubo orgânico de diferentes origens como método alternativo ao uso do adubo mineral, tendo como fundamentos diversos trabalhos sobre este tema. Os autores versam sobre a utilização do LE que, além de trazer benefícios econômicos, desempenha um papel benéfico nas alterações físicas, químicas e biológicas, facilitando a absorção dos nutrientes presentes no solo.

Tab. 1: Estudos sobre as temáticas (1) uso de lodo de esgoto (LE) como fertilizante, (2) adubação em lavouras de cana-de-açúcar e (3) Uso de LE em lavouras de cana-de-açúcar

TRABALHO	AUTORES	ANO
Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura	Sanepar	1999
Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos	Andreoli, C.V.	2001
Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto	Chiba, M.K.; Mattiazzo, M.E.; Oliveira, F.C.	2008
Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente	Silva, F. C. da; Boaretto, A. E.; Abreu Júnior, C. H.; Berton, R. S.; Basso, L. C.; Barbieri, V.	2010
Lodo de esgoto pode substituir cana-de-açúcar	Ciência Hoje	2010
Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar	Moraes, E.R.	2017
Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar	Silva, M.T.	2018
Diagnóstico da gestão do lodo de uma ETE em escala real	Queiroz, G.B.	2019
Utilização do lodo de esgoto como adubo na cultura da cana-de-açúcar	Bozza, N. G; Marchiori, L. F. S.	2020

FONTE: Autores, 2020.

Segundo SANEPAR (1999), o uso do lodo na agricultura tem apresentado bons resultados, como o aumento da produtividade de plantas e animais como consequência do aumento da fertilidade do solo. No entanto, o trabalho aponta a necessidade de algum tratamento antes de sua aplicação, para que o LE apresente um menor impacto negativo e não exponha a segurança do meio ambiente.

Para Andreoli (2001), no âmbito do processamento de lodos de ETE, a estabilização é um processo imprescindível, e alguns tratamentos, como o uso de digestores ou a compostagem, devem ser empregados para avaliar reduções no potencial de produção de odor e atração de vetores, fatores que comprometem o uso direto de LE no solo. No mesmo sentido, Queiroz (2019) apresenta, em seus resultados, a redução de custo com adubos minerais quando o LE é utilizado para atividades agrícolas, fazendo com que se torne interessante adequar a qualidade do LE gerado em ETE para a disposição em solo agrícola.

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas foi estudada por Chiba, Mattiazo e Oliveira (2008), onde buscou-se avaliar por dois anos os efeitos da aplicação do LE em um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que a aplicação incrementou os teores de Carbono do solo e as folhas dos cultivados com lodo apresentaram teores maiores de Potássio, indicando que o LE forneceu nutrientes à planta. Além disso, foi possível verificar que houve um aumento dos teores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) disponíveis. Apesar do incremento, os teores de metais, nutrientes e não-nutrientes permaneceram nas faixas indicadas pela Resolução nº 375/06 do CONAMA. A aplicação do lodo de esgoto não causou efeitos deletérios na qualidade do solo, mesmo com sua reaplicação em anos sucessivos.

Corroborando com a temática, Silva et. al (2010) avaliaram o efeito da aplicação de lodo de esgoto, complementado ou não com adubos NP, NK, PK e NPK, sobre a nutrição e a produtividade em lavouras de cana-de-açúcar também cultivadas em um Argissolo Vermelho distrófico. O LE mostrou-se adequado para uso como fertilizante no cultivo de 18 meses, aumentando a atividade de fosfatase ácida e a produtividade de biomassa e de açúcares. Além do aumento de Cu e Zb no solo, como relatado em outros trabalhos, os pesquisadores observaram ainda um incremento nos teores de Boro (B), Ca e S. A partir dos resultados, o lodo de esgoto mostrou-se viável para aplicação no solo para o plantio de cana-de-açúcar, atuando como fertilizante e corretivo da acidez, propiciando um perfilhamento menor e consequente aumento da produtividade agrícola.

No trabalho desenvolvido pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CIÊNCIA HOJE, 2010), estudou-se a viabilidade de substituição do adubo mineral nitrogenado pela adubação utilizando lodo de esgoto em lavouras de cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que houve um aumento de 12% na produtividade onde o lodo foi aplicado e complementado com potássio, uma vez que o material é pobre nesse nutriente. A partir dos incrementos, os pesquisadores também verificaram que é possível substituir o adubo mineral pelo lodo de esgoto no cultivo de cana-de-açúcar.

Já na pesquisa desenvolvida por Moraes (2017), avaliou-se o desenvolvimento inicial e final, o rendimento da colheita e a qualidade tecnológica do caldo de cana-de-açúcar adubada com fertilizante organomineral (FOM) a base de lodo de esgoto interagindo com bioestimulantes em regiões de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (maior fertilidade) e Latossolo Amarelo distrófico (menor fertilidade). No estudo, comparou-se a utilização do FOM a base de lodo de esgoto com e sem biofertilizante com a utilização do Fertilizante Mineral (FM). Como principais resultados, verificou-se

que a quantidade de nutrientes prontamente solúveis fornecidos pelas fontes mineral e organomineral foram semelhantes, corroborando com o relatado em outros trabalhos. O uso do fertilizante organomineral a base de lodo de esgoto apresenta-se como uma alternativa viável para a fertilização sustentável do solo e a ciclagem de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

Silva (2018) avaliou o potencial de LE na elaboração de substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. O lodo de esgoto foi caracterizado conforme sua aptidão sanitária e ambiental e, posteriormente, junto às demais matérias-primas caracterizado quanto ao seu potencial fertilizante. A partir da mistura de diferentes proporções de lodo de esgoto com cinza de casca de arroz, vermiculita, casca de arroz carbonizada e lodo de estação de tratamento de água foram estabelecidas as formulações dos substratos, nos quais foram avaliados os parâmetros físico-hídricos. Os resultados obtidos indicaram que o LE é apto a utilização na agricultura de acordo com os limites máximos de metais pesados e agentes patogênicos estabelecidos na legislação vigente; os tratamentos propostos apresentam teores de nutrientes e características físico-hídricas satisfatórias, refletindo no desenvolvimento das mudas.

Em seu trabalho, Bozza e Marchiori (2020) avaliaram a utilização do LE como adubo, comparando-o com a adubação mineral comercial tradicional, em estudo de desenvolvimento vegetativo na cultura da cana de açúcar. Foram feitas avaliações biométricas ao longo de quatro meses, as quais mostraram que a adubação com LE e sem adubo apresentou resultados satisfatórios quando comparada à ausência de adubação e que a resposta à adubação com LE se expressa mais lentamente que a adubação com adubo mineral. Apesar disso, em comparação à ausência de adubação, o uso do LE mostrou-se eficiente em relação à produtividade da cana-de-açúcar, com um maior crescimento de perfilhos, decorrentes do fato do LE ter corrigido a acidez do solo e provocado uma melhor absorção de água.

4. Conclusões

A partir dos trabalhos apresentados, verificou-se que diversos autores descrevem vantagens relacionados à utilização do LE na agricultura, sobretudo nas lavouras de cana-de-açúcar. O uso de LE na agricultura traz o benefício da reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes nele contidos. Em contrapartida, o uso de LE pode trazer a possibilidade de contaminação ambiental com metais pesados, produtos orgânicos tóxicos e microrganismos patogênicos. Tais riscos podem ser minimizados com adequada caracterização físico-química e microbiológica do LE antes de sua aplicação do solo, além de prévia estabilização por meio de processos como secagem, solarização, compostagem, entre outros.

Quando o LE é aplicado seguindo os critérios exigidos pela resolução nº 375/2006 do CONAMA, esta aplicação em plantações, especialmente na de cana-de-açúcar, favorece a produção da planta e reduz os custos com a adubação mineral. Mais estudos sobre esse tema devem ser estimulados, para que minimizem-se os riscos ambientais e o uso de LE como insumo na agricultura possa ser considerada pelos produtores de cana-de-açúcar uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente adequada para reciclagem desses materiais.

5. Agradecimentos

Agradecemos a Deus por toda sabedoria, nossos pais por toda paciência e dedicação, a professora Daniele e a mestranda Amanda pela orientação, as irmãs Joelma e Maria Érika pelas dicas, e a Universidade Federal de Alagoas, por nos proporcionar um ambiente criativo e amigável para os estudos.

6. Referências

ANDREOLI, C. **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico(PROSAB).** 2001, Curitiba. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

BOZZA, N. G.; MARCHIORI, L. F. Utilização do Lodo de Esgoto como Adubo na Cultura da Cana de Açúcar. **Bioenergia em Revista**, v. 10, n. 1, 2020

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgotogerados em estações de tratamento de esgotosanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Resolução 375, de 29 de agosto de 2.006.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2006.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, Abr. 2008.

CIÊNCIA HOJE. **Lodo de esgoto pode substituir cana-de-açúcar.** Agrolink, Macapá, 24 de junho de 2010. Agronegócio. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/lodo-de-esgoto-pode-substituir-adubo-na-cana-de-acucar_112824.html>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

COMPRE RURAL. Brasil, o maior produtor de cana de açúcar do mundo seguido pela Índia, 2018. Disponível em: <<https://www.comprerural.com/brasil-maior-produtor-de-cana-de-acucar-do-mundo-seguido-pela-india/>> Acesso em: 26 de agosto de 2020.

DA SILVA, F. C. et al. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. **HolosEnvironment**, v. 10, n. 1, p. 62-82, 2010.

DA SILVA, M. T. **Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pelotas, 2018.

Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p.125-130, 2005.

DOMICIANO, F. **Pesquisa da APTA com aplicação do lodo de esgoto e composto orgânico diminui em até 60% dos custos com fertilizantes na cana e aumenta**

produtividade e a vida útil do canavial. 2013. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br/noticias/pesquisadas-apta-com-aplicacao-do-lodo-de-esgoto-e-composto-organico-diminui-em-at-60-dos-custoscom-fertilizantes-na-cana-e-aumenta-produtividade-e-a-vida-util-do-canavial>>. Acesso em: 17 nov.2019.

LIMA, B.V. et al. **A adubação orgânica e a sua relação com a agricultura e o meio ambiente.** V Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano, 2015.

MORAES, E. R. **Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar.** 2017. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

PENTEADO, S.R. **Manual Prático de Agricultura Orgânica.** V.1. Campinas (SP): Ed. Via Orgânica, 2007. 213p.

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, p.665-674, 2003.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo da USP mostra que lodo de esgoto pode substituir adubo mineral na cultura da cana-de-açúcar**, 2010. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/estudo-da-usp-mostra-que-lodo-de-esgoto-pode-substituir-adubo-mineral-na-cultura-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H. e SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-Coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.247-253, 2005.

QUEIROZ, G. B. **Diagnóstico da gestão do lodo de uma ETE em escala real.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SANEPAR. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB).** 1999. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf. Acesso em: 28 de abril de 2020.

SANTIAGO, A.D.; ROSSETTO, R. **Adubação Orgânica.** 2015a. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_37_711200516717.html>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

SANTIAGO, A.D.; ROSSETTO, R. **Correção e Adubação.** 2015b. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_6_711200516715.html#>>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

SILVA, M.T. **Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar**. Tese de doutorado (Doutorado em Sistema de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SOUTO, P.C.J., SOUTO, S., SANTOS, R.V., ARAÚO, G.T., SOUTO, L.S. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p.125-130, 2005.

TSUTYA, M.T. Alternativa de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. **In: Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, cap.4, p.69-106.