

Bioenergia em Revista: Diálogos

ano 13/vol. 13 | n. 1 | jan.2023 /jun. 2023 | ISSN: 2236-9171



Bioenergia em Revista: Diálogos

ISSN: 2236-9171

Bioenergia em Revista: Diálogos | publicação semestral | Piracicaba
ano 13/vol. 13 | n. 1 | jan. / jun. 2023

Governador do Estado de São Paulo

Tarcísio de Freitas

Secretario Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação

Vahan Agopyan

Diretora Superintendente do Centro “Paula Souza”

Laura Laganá

Diretor do CESU

Rafael Ferreira Alves

Diretor da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”

José Alberto Florentino Rodrigues Filho

Editoria

Filomena Maria Formaggio

Editores de Seção

Filomena Maria Formaggio – Fatec Piracicaba

Luis Fernando Sanglade Marchiori – ESALQ-USP e Fatec Piracicaba

Paulo Cesar Doimo Mendes – Fatecs de Piracicaba e Itapetininga, EEP

Fabio Augusto Pacano – Fatec Piracicaba, CNEC Capivari-SP

Luciana Fischer – Fatec Piracicaba e PUCCampinas-SP

Érika Gutierrez – Fatec Piracicaba

Angela de F. Kanesaki Correia – Fatec Piracicaba, UNIMEP

Mauricio D. C. Pinheiro – Fatec Piracicaba

Comissão Editorial

Filomena Maria Formaggio - Fatec Piracicaba

Vanessa de Cillos Silva - Fatec Piracicaba

Paulo Cesar Doimo Mendes - Fatec Piracicaba

Marcia Nalesso Costa Harder - Fatec Piracicaba

Fabio Augusto Pacano - Fatec Piracicaba

Maria Helena Bernardo – Fatec Piracicaba

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa

CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702

e-mail: bionergia.r.dialogos@gmail.com

www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Conselho Editorial

José Alberto Florentino Rodrigues Filho – Fatec Piracicaba
Daniela Russo Leite – Fatec Araraquara
Gisele Gonçalves Bortoleto - Fatec Piracicaba
Eliana Maria G. Rodrigues – Fatec Piracicaba
Daniela Defavari do Nascimento – Fatec Piracicaba
Regina Movio de Lara – IESCAMP/SP
Siu Mui Tsai Saito - Cena – USP
Raffaella Rossetto - APTA - polo regional Centro-Sul
Ada Camolesi - FIMI Mogi Mirim
Marly T. Pereira - ESALQ-USP
Vitor Machado – UNESP Bauru
Adolfo Castillo Moran - Cordoba, Ver. Mexico
Gregorio M. Katz - San Miguel de Tucuman Argentina
Guilherme A. Malagolli - Fatec Taquaritinga
Murilo Melo - ESALQ-USP
Angelo Luis Bortolazzo – Centro Paula Souza
Jorge Corbera Gorotiza - San Jose de Las Lajas - La Habana - Cuba

Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN 2236-9171) é uma publicação eletrônica semestral vinculada a Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan” e a Faculdade de Tecnologia de Araçatuba (Fatecs).

Objetivo: publicar estudos inéditos, na forma de artigos e resenhas, nacionais e internacionais, que contribuam ao debate acadêmico-científico, além de estimular a produção acadêmica nos níveis da graduação e pós-graduação.

Os artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida sua reprodução, total ou parcial, desde que seja citada a fonte.

Bioenergia em Revista: Diálogos / Fatec - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba /
Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. - - Piracicaba / Araçatuba, SP: a Instituição, desde 2011.
v. Semestral - ISSN 2236-9171

1. Ciências Aplicadas / Tecnologia- periódico I.

Bioenergia em Revista: Diálogos II. Fatec -

Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan” / Faculdade de Tecnologia de Araçatuba

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa
CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702
E-mail: bioenergia.r.dialogos@gmail.com
www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Sumário

06 Apresentação

07 Chamada de Artigos

08 Estudo comparativo da produção de amilases utilizando como substrato subprodutos agroindustriais

RODRIGUES, E.M.G.; D'AMICO, C. C.; GERAGE, K.R.G.

22 Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais

MAZZONETTO, Alexandre Witier; COSSANTE, Larissa; SANTOS, Alexsandro Gomes dos; HARDER, Márcia Nalesso Costa

42 Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano dos municípios de Piracicaba, Limeira, Rio Claro e Americana – interior de SP

MAZZONETTO, Alexandre Witier; CARBONI, Rafael Willians

62 Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

88 Pinhão-manso (*jatropha curcas*) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADEMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

110 Produção de biogás a partir da água residual de mandioca (manipueira) utilizando diferentes métodos e inóculos

MARTINS, Diego Fernando; KEWITZ, Felipe Senna; MAZZONETTO, Alexandre Witier; ALONSO, Luis Felipe Toro

129 Análise dos impactos gerados pela implantação do sistema ERP SAP no setor de contas a pagar em uma indústria do segmento de alimentos

SANTOS, Cristiane Maria dos; GONÇALVES, Luiz Claudio

Apresentação

Bioenergia em Revista: Diálogos, publicação da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” oferece à comunidade acadêmico-científica mais um número objetivando a apresentação e discussão de temas atinentes à pesquisa, inovação e ao diálogo com todas as áreas do conhecimento, elementos imprescindíveis e constituidores à formação científico-tecnológica.

A Revista está classificada como B4 no sistema Qualis/CAPES e encontra-se associada aos indexadores Latindex, IBICT, Sumários.org e CNEN60.

A presente edição conta com as seções de *ALIMENTOS* e apresenta o artigo “Estudo comparativo da produção de amilases utilizando como substrato subprodutos agroindustriais”.

A seção *ENERGLA* apresenta os artigos “Análise dos impactos gerados pela implantação do sistema ERP SAP no setor de contas a pagar em uma indústria do segmento de alimentos”; “Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano dos municípios de Piracicaba, Limeira, Rio Claro e Americana – interior de SP”; “Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará”; “Pinhão-manso (*jatropha curcas*) e biodiesel: potencialidades e desafios” e “Produção de biogás a partir da água residual de mandioca (manipueira) utilizando diferentes métodos e inóculos”.

A seção de *GESTÃO* apresenta o artigo “Análise dos impactos gerados pela implantação do sistema ERP SAP no setor de contas a pagar em uma indústria do segmento de alimentos”.

Ressalte-se que um dos nossos objetivos é a disseminação do conhecimento. Para tanto, o periódico Bioenergia em Revista: Diálogos possui inserção nacional e internacional e conta com a participação de pesquisadores de diversas instituições de ensino e pesquisa. O recebimento dos artigos é pelo sistema de fluxo contínuo e a periodicidade é semestral.

Chamada de artigos

A Revista Bioenergia em Revista: Diálogos convida pesquisadores, docentes e demais interessados das áreas de Bioenergia, Gestão Empresarial, Agroindústria, Alimentos e áreas afins, a colaborarem com artigos científicos, de revisão e/ou resenhas para a próxima edição deste periódico.

As normas de submissão e análise estão disponíveis em nosso site – **www.fatecpiracicaba.edu.br/revista**. Os trabalhos serão recebidos por via eletrônica em **fluxo contínuo**, e os autores poderão acompanhar o progresso de sua submissão através do sistema eletrônico da revista.

Os dados apresentados, bem como a organização do texto em termos de formulação e encadeamento dos enunciados, das regras de funcionamento da escrita, das versões em língua **inglesa e espanhola** dos respectivos resumos, bem como o respeito às Normas da ABNT são de **inteira responsabilidade dos articulistas**.

Estudo comparativo da produção de amilases utilizando como substrato subprodutos agroindustriais

RODRIGUES, E.M.G.
D'AMICO, C. C.
GERAGE, K.R.G.

Resumo

As amilases são enzimas de grande importância na quebra do amido, a hidrólise enzimática, é sem dúvida a forma mais eficiente de converter o amido em açúcares fermentescíveis. Com a finalidade de diminuir os custos dos processos e resolver os problemas ambientais de legislação, as enzimas produzidas estão cada vez mais substituindo reagentes químicos que podem causar problemas ambientais, sua produção a partir de fungos apresenta vantagens, como a facilidade de manipulação e habilidade de fermentar em uma grande variedade de matérias-primas de baixo custo. Entre as tecnologias empregadas para reduzir ou minimizar o descarte inadequado de subprodutos, a utilização em bioprocessos é uma das alternativas viáveis, pois podem ser utilizados como biomassa para cultivo de vários fungos na produção de enzimas. O reaproveitamento dos resíduos industriais, em especial os resíduos sólidos, é uma das alternativas mais viáveis e utilizadas para a diminuição ou eliminação dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado. O presente trabalho teve como objetivo estudar a produção da amilase por fermentação em estado sólido utilizando os fungos *Aspergillus niger* e *Trichoderma reesei*, tendo como substrato os subprodutos do processamento da mandioca e da indústria cervejeira. A metodologia aplicada foi a produção das enzimas pela fermentação em estado sólido, a determinação da atividade amilolítica pelo método descrito por Okolo e os resultados foram analisados estatisticamente através do Programa *Action Stat*. Os resultados demonstraram que ao utilizar o fungo *A. niger* não foi possível se obter variável significativa, entretanto, quando se utilizou o *T. reesei*, o modelo se ajustou a um linear, tendo como variável significativa a temperatura, sendo as melhores condições de trabalho temperatura de 30°C, umidade de 50% e tempo de fermentação 96 horas.

Palavras-chave: *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, farinha de mandioca, bagaço de malte, bioprocessos.

Abstract

Amylases are enzymes of great importance in the breaking of starch, enzymatic hydrolysis, is undoubtedly the most efficient way to convert starch into fermentable sugars. In order to lower process costs and solve environmental problems of legislation, the enzymes produced are increasingly replacing chemical reagents that can cause environmental problems, its production from fungi presents advantages such as ease of handling and ability to ferment in a wide variety of low cost raw materials. Among the technologies used to reduce or minimize the improper disposal of by-products, the use in bioprocesses is one of the viable alternatives, as they can be used as biomass for the cultivation of various fungi in the production of enzymes. The reuse of industrial waste, especially solid waste, is one of the most viable alternatives used for reducing or eliminating environmental impacts caused by improper disposal. The present work aimed to study the production of amylase by solid state fermentation using the fungi *Aspergillus niger* and *Trichoderma reesei*, having as substrate the by-products of cassava processing and the brewing industry. The methodology applied was the production of enzymes by solid state fermentation, the determination of amylolytic activity by the method described by Okolo and the results were statistically analyzed through the Action Stat Program. The results showed that when using the fungus *A. niger* it was not possible to obtain a significant variable, however, when *T. reesei* was used, the model adjusted to a linear one, having

as a significant variable the temperature, being the best working conditions temperature of 30°C, humidity of 50% and fermentation time 96 hours.

Keywords: *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, cassava flour, malt bagasse, bioprocesses

Resumen

Las amilasas son enzimas de gran importancia en la ruptura del almidón, la hidrólisis enzimática, es sin duda la forma más eficiente de convertir el almidón en azúcares fermentables. Con el fin de reducir los costos de proceso y resolver los problemas ambientales de la legislación, las enzimas producidas están reemplazando cada vez más los reactivos químicos que pueden causar problemas ambientales, su producción a partir de hongos tiene ventajas, como la facilidad de manejo y capacidad de fermentación en una amplia variedad de materias primas de bajo costo. Entre las tecnologías utilizadas para reducir o minimizar la eliminación inadecuada de subproductos, el uso en bioprosesos es una de las alternativas viables, ya que pueden ser utilizadas como biomasa para el cultivo de diversos hongos en la producción de enzimas. La reutilización de residuos industriales, en particular residuos sólidos, es una de las alternativas se utiliza para reducir o eliminar los impactos ambientales causados por una eliminación inadecuada. El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la producción de amilasa por fermentación en estado sólido utilizando los hongos *Aspergillus niger* y *Trichoderma reesei*, teniendo como sustrato los subproductos del procesamiento de la yuca y la industria cervecera. La metodología aplicada fue la producción de enzimas por fermentación en estado sólido, la determinación de la actividad amilolítica por el método descrito por Okolo y los resultados fueron analizados estadísticamente a través del Action Stat Program. Los resultados mostraron que al utilizar el hongo *A. niger* no fue posible obtener una variable significativa, sin embargo, cuando se utilizó *T. reesei*, el modelo se ajustó a uno lineal, teniendo como variable significativa la temperatura, siendo las mejores condiciones de trabajo temperatura de 30°C, humedad del 50% y tiempo de fermentación 96 horas.

Palabras-clave: *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, harina de yuca, bagazo de malta, bioprosesos

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações mundiais é o destino incorreto dos resíduos industriais, uma vez que são responsáveis pelas agressões ao ambiente, além de representarem perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos em tratamentos para controlar a poluição. O reaproveitamento dos resíduos industriais, em especial os resíduos sólidos, é uma das alternativas mais viáveis e utilizadas para a diminuição ou eliminação dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado (BORGES & NETO, 2009; PELIZER et al., 2007).

Os processos fermentativos de produção de enzimas podem ser conduzidos tanto em meio líquido, chamado de fermentação submersa, quanto em meio sólido, chamado de fermentação em estado sólido. Embora a fermentação submersa seja ainda o processo mais empregado para a produção de enzimas, a utilização em estado sólido vem aumentando bastante, especialmente devido à possibilidade de aproveitamento de co-produtos agroindustriais de baixo custo como fontes de matéria-prima (COUTO & SANDROMAN, 2005; SINGHANIA et al., 2010).

Entre os vários parâmetros que influenciam a eficiência do processo de fermentação em estado sólido, a água apresenta papel de destaque, em virtude do elevado grau de interação com as substâncias que compõem a fase sólida (GERVAIS & MOLIN, 2003). Além da concentração das fontes de carbono, nitrogênio e fósforo, o pH do meio, a disponibilidade de nutrientes, a suplementação com indutores e a temperatura (SINGHANIA et al., 2010).

O bagaço de malte de cevada é o resíduo cervejeiro resultante do processo inicial da fabricação da cerveja gerado a partir da filtração do mosto antes da fervura. Este bagaço é constituído basicamente pelas cascas da cevada malteada. Sua utilização vem sendo estudada nos processos biotecnológicos, empregando-os como substratos ou suportes para fermentações e produções de enzimas (ALIYU & BALA, 2011; LIMA, 2010).

Devido à alta quantidade de subprodutos gerados pela indústria cervejeira e a necessidade de matéria-prima alternativa para a produção de enzimas, o bagaço de malte constitui uma boa opção, pois se encontra disponível o ano todo, em grande quantidade e a um baixo custo, o que torna um substrato atrativo para a produção de enzimas.

A maior parte das hidrólises de amido são realizadas pelo emprego de enzimas, em vez de ácidos, o que produz um xarope de sabor doce, subdividindo-se em três etapas: liquefação, sacarificação e isomerização. A hidrólise enzimática é sem dúvida a forma mais eficiente de converter o amido em açúcares fermentescíveis (AGUSTINI & JÚNIOR, 2008).

Com a finalidade de diminuir os custos dos processos e resolver os problemas ambientais de legislação, as enzimas produzidas estão cada vez mais substituindo reagentes químicos que podem causar problemas ambientais (JEGANNATHAN & NIELSEN, 2013).

As enzimas amilolíticas são responsáveis por 25-33% da produção mundial de enzimas, vindo em segundo lugar, após as proteases (NGUYEN et al., 2002). A mais importante é a α -amilase, pois desempenha um papel fundamental na conversão do amido em produtos de baixa massa molecular, que podem ser utilizados por outras enzimas do mesmo grupo. Compreendem as hidrolases, que hidrolisam as moléculas de amido em produtos, como dextrinas, e pequenos polímeros compostos por unidades de glicose (GUPTA et al., 2003). São utilizadas em vários tipos de indústrias como de papel, têxtil, panificação, produção de álcool e bebidas. Elas vêm sendo produzidas por fermentação em estado sólido a partir de resíduos da agroindústria (SANTANA et al., 2012). Spier et al (2004) também relatam vários exemplos da utilização das enzimas amilolíticas com o objetivo de modificar matérias-primas amiláceas, destacando-se os usos na indústria de alimentos para a modificação de farinhas utilizadas em panificação, na modificação enzimática de materiais amiláceos para a obtenção de açúcares e na fabricação de bebidas fermentadas; na indústria química e farmacêutica, além de seu emprego na indústria de ração animal.

Sendo assim, no presente trabalho, foram realizados ensaios com o intuito de se verificar a influência das variáveis umidade, tempo de fermentação e temperatura sobre a produção de enzimas amilolíticas, a partir da fermentação em estado sólido, utilizando os fungos *Aspergillus niger* e *Trichoderma reesei*.

1. METODOLOGIA

1.1 Microrganismo

Os microrganismos utilizados neste trabalho foram as cepas de *Aspergillus niger* e *Trichoderma reesei*. Foram inoculados em meio PDA (*Potato Dextrose Agar*) e incubado a 30°C em estufa bacteriológica durante 7 dias.

1.2 Mandioca

A casca de mandioca utilizada no experimento foi obtida no comércio local de Piracicaba-SP. Os resíduos após serem lavados e higienizados, foram secos e triturados.

1.3 Bagaço de Malte de Cevada

O subproduto da indústria artesanal cervejeira utilizada no experimento foi obtido em indústria local de Piracicaba - SP. Foram secas a 60 °C em estufa por 48h.

1.4 Produção de amilase

Os ensaios foram realizados em Erlenmeyer de 250 mL, contendo cinco gramas da farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada na proporção 1:1. Ao substrato foi adicionado solução de sais contendo sulfato de amônio 3,3 g/L e fosfato de potássio 1,5 g/L. Em seguida foi feita a esterilização em autoclave a 121°C por 15 minutos. Posteriormente, adicionou a suspensão de esporos e foi feita a incubação na umidade, tempo e a temperatura determinado pelo planejamento experimental. Após o tempo de fermentação, adicionou-se 50 mL de água destilada e manteve-se em agitação por 150rpm em incubadora de agitação orbital (“shaker”) durante 20 minutos e realizou-se a filtragem em papel de filtro, obtendo o caldo enzimático para determinação enzimática.

1.5 Determinação da atividade enzimática

A atividade da amilase foi determinada como descrito por Okolo et al. (1995). A mistura de reação consistiu em 1,25 mL de amido solúvel a 1%, 0,25 mL de tampão acetato 0,1 mol L⁻¹ (pH 5,0), 0,25 mL de água destilada e 0,25 mL de extrato de enzimático. Após 10 minutos de incubação a 50 °C os açúcares redutores liberados foram estimados pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) conforme Miller (1959). Em seguida foi realizada a leitura em 540nm usando um espectrofotômetro UV-Vis. O branco 0,5 mL de tampão acetato 0,1 mol L⁻¹ (pH 5,0), 1,25 mL de solução de amido 1% e 0,25 mL destilada água. Segundo Ghose (1987), uma unidade de atividade enzimática libera 1µmol de açúcar redutor por mL de extrato por minuto. A partir da Equação (1) calculou-se a atividade enzimática, a qual foi expressa em U/mL.

$$\frac{U}{ml} = AR \times \frac{Vt}{0,18 \times Vc \times Th} \quad (1)$$

Onde: AR: açúcares redutores produzidos na etapa de hidrólise (mg ml⁻¹);

Vt: volume total utilizado na hidrólise (volume do tampão + volume do caldo) (ml);

Vc: volume do caldo utilizado na hidrólise (mL);

Th: tempo de hidrólise (min);

0,18 é 1 µmol de glicose (mg).

1.6 Delineamento Experimental utilizado na Produção de Amilase

As variáveis estudadas foram: Umidade (A); Tempo de fermentação (B) e Temperatura (C).

O delineamento experimental para verificação das variáveis que influenciam na produção da amilase utilizando tanto o fungo *Aspergillus niger* quanto o *Trichoderma reesei* foram realizados segundo um esquema fatorial completo do tipo 2³. Os níveis dos fatores utilizados e a matriz do planejamento desse projeto fatorial é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial completo 2³

Ensaio	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 96); C = Temperatura (°C) (-1 = 30; 1 = 35)

1.7 Análise Estatística

Os dados experimentais foram analisados estatisticamente, de acordo com planejamentos predeterminados, para verificar o nível dos efeitos dos fatores em estudo.

A análise estatística dos resultados foi realizada através do Programa *Action Stat*, onde foram feitas estimativas dos efeitos das variáveis e suas interações, considerando um nível de significância de 95%. Os resultados foram expressos em tabelas de estimativa de efeitos, teste t de “Student” e ainda em tabelas de análise de variância.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizados frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo cinco gramas do substrato, o qual foi formado pela farinha da casca de mandioca e pelo bagaço de malte de cevada na proporção 1:1. Foram adicionados ao substrato proporções de solução de sais para alcançar a umidade de 50 e 70%. Em seguida foram esterilizados, para posterior inoculação com os esporos do fungo *Aspergillus niger* e *Trichoderma reesei*. A fermentação ocorreu em 30 e 35 °C, por um

período de 72 e 96 horas (Figuras 1 e 2). Após o tempo de fermentação, acrescentou-se 50 mL de água destilada, em seguida deixou-se em agitação por 150rpm durante 20 minutos e realizou-se a filtragem em papel de filtro, obtendo o caldo para determinação enzimática. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Figura 1: Meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Aspergillus niger*



Fonte: Autores (2022).

Figura 2: Meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Trichoderma reesei*



Fonte: Autores (2022).

Tabela 2: Resultado em Atividade Enzimática da Amilase obtido pela matriz do planejamento fatorial completo 2³ do meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Aspergillus niger*

Ensaio	A	B	C	Resultado em Atividade Enzimática (U/mL)
1	-1	-1	-1	5,33
2	+1	-1	-1	3,89
3	-1	+1	-1	3,03
4	+1	+1	-1	2,94
5	-1	-1	+1	2,84
6	+1	-1	+1	3,52
7	-1	+1	+1	3,17
8	+1	+1	+1	3,18

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 96); C = Temperatura (°C) (-1 = 30; 1 = 35)

Tabela 3: Resultado em Atividade Enzimática da Amilase obtido pela matriz do planejamento fatorial completo 2³ do meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Trichoderma reesei*

Ensaio	A	B	C	Resultado em Atividade Enzimática (U/mL)
1	-1	-1	-1	5,58
2	+1	-1	-1	7,76
3	-1	+1	-1	10,68
4	+1	+1	-1	9,96
5	-1	-1	+1	3,98
6	+1	-1	+1	4,19
7	-1	+1	+1	3,97
8	+1	+1	+1	2,85

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 96); C = Temperatura (°C) (-1 = 30; 1 = 35)

As Tabelas 2 e 3, apresentam os resultados em atividade enzimática da amilase segundo um planejamento fatorial completo 2³, onde a única alteração foi o fungo utilizado, *Aspergillus niger* e *Trichoderma reesei*, respectivamente Tabela 2 e 3. Ao compararmos os resultados foi possível verificar que quando se utilizou o fungo *A. niger* o maior resultado em atividade enzimática foi de 5,33 (Ensaio 1) e o menor 2,84 (Ensaio 5), nestes ensaios a única variável que se alterou foi a Temperatura (C), passando do menor para o maior nível, ou seja de 30 para 35°C, e com esta alteração houve uma redução de quase 50% no valor da atividade enzimática. Entretanto, ao analisar os experimentos com o *T. reesei* (Tabela 3), verifica-se que houve um aumento de 50% em

atividade enzimática, quando comparado com os experimentos utilizando o *A. niger* (Tabela 2). Sendo que o maior valor em atividade enzimática foi de 10,68 (Ensaio3) e o menor 2,85 (Ensaio 8), reduzindo em aproximadamente 75% quando os níveis das variáveis Umidade (A) e Temperatura (C), passaram do menor para o maior nível, ou seja, 50 para 70% e 30 para 35°C, respectivamente.

Tabela 4: Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” obtidos no planejamento fatorial completo 2³ do meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Aspergillus niger*

Efeitos e interações	Estimativas	T	P
Média	3,487	-	-
A	-0,105	0,252	0,821
B	-0,407	0,978	0,417
C	-0,310	0,744	0,524
AB	0,085	0,204	0,854
AC	2,777	0,667	0,564
BC	0,405	0,972	0,420
ABC	-0,252	0,606	0,597

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 96); C = Temperatura (°C) (-1 = 30; 1 = 35)

Tabela 5: Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” obtidos no planejamento fatorial completo 2³ do meio de cultura fermentado composto por farinha de casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, sais e *Trichoderma reesei*

Efeitos e interações	Estimativas	T	P
Média	6,1	-	-
A	0,075	0,121	0,913
B	0,725	1,171	0,347
C	-2,400	3,878*	0,046
AB	-0,550	0,888	0,456
AC	-0,275	0,444	0,694
BC	-1,075	1,737	0,206
ABC	0,200	0,323	0,773

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 96); C = Temperatura (°C) (-1 = 30; 1 = 35);

*Significativos ($t_{4,0,95} = 2,77$)

Ao analisarmos as Tabelas 4 e 5, onde temos os efeitos estimados das variáveis e suas interações, pode-se observar que não há nenhuma variável significativa quando se utilizou o fungo *A. niger* (Tabela 4), entretanto, quando se utilizou o fungo *T. reesei* encontramos uma

variável significativa dentro da faixa de valores estudados, a temperatura (C) (Tabela 5). Esta observação pode ser comprovada através da Tabela 7. Além disso, a variável significativa, temperatura (C) apresenta sinal negativo, o que indica que, para haver aumento da atividade enzimática, será necessário diminuir o valor desta variável. Embora a variável umidade (A) não apresente resultado significativo, seu valor também é negativo, o que indica que deveria ser diminuído seu valor. De acordo com Santos et al. (2005) e Dalsenter et al. (2005) o alto teor de umidade também diminui a porosidade, a difusão de oxigênio e a eliminação de dióxido de carbono. Por outro lado, baixas quantidades de água podem resultar na redução do crescimento microbiano.

Tabela 6: Análise da variância para o estudo da produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *A. niger*, no planejamento fatorial completo 2³

Efeitos	QM	F	P
A	0,088	0,141	0,726
B	1,328	2,128	0,218
C	0,768	1,232	0,329

R² = 0,47; A = Umidade (%); B = Tempo de fermentação (h); C = Temperatura (°C); QM = Média Quadrática

Tabela 7: Análise da variância para o estudo da produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *T. reesei*, no planejamento fatorial completo 2³

Efeitos	QM	F	P
A	0,045	0,014	0,910
B	4,205	1,335	0,312
C	46,080	14,640	0,018*

R² = 0,80; A = Umidade (%); B = Tempo de fermentação (h); C = Temperatura (°C); QM = Média Quadrática;

*Significativos ao nível de 95% de confiança

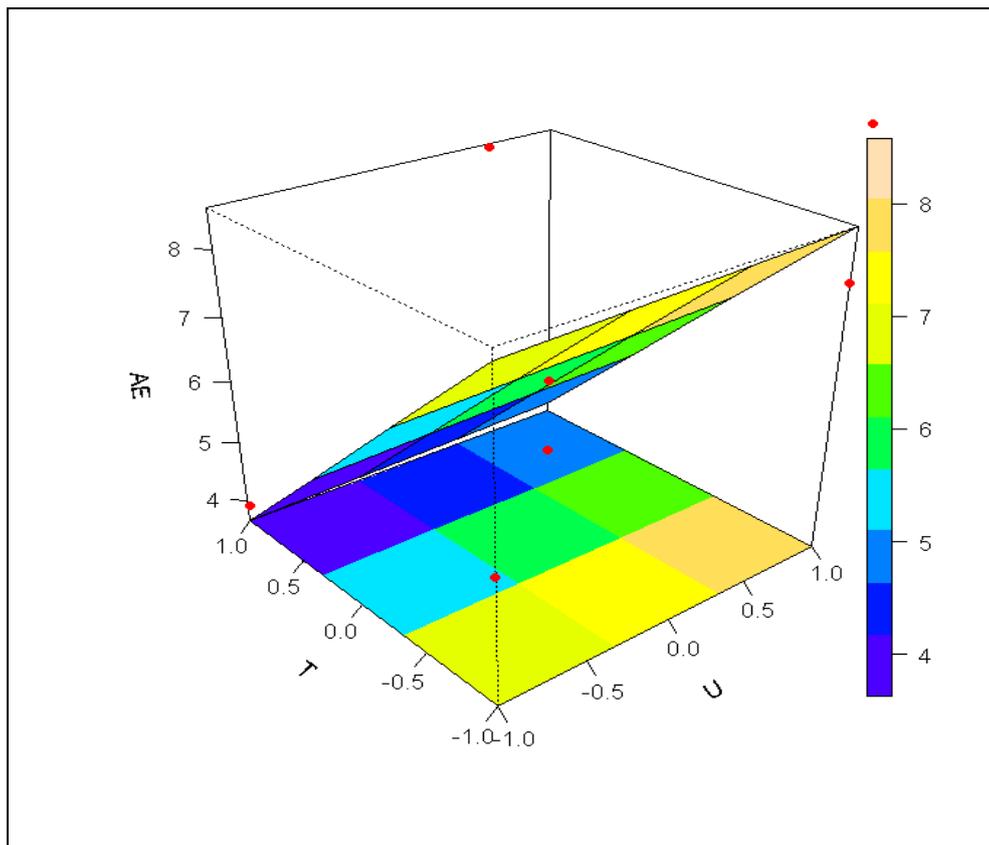
Como os resultados das análises, feitas utilizando o fungo *T. reesei*, demonstraram que o modelo se ajusta a um linear, então podemos representar o processo de produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *T. reesei*, considerando os termos que realmente influenciam na atividade enzimática, pela Equação 2:

$$Y = 6,1 - 2,4 C \quad (2)$$

Sendo que Y representa a atividade enzimática e C a Temperatura (°C).

A metodologia da superfície de resposta foi utilizada para otimizar as condições de produção da amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *T. reesei*, fornecendo um modelo matemático adequado para a resposta em atividade enzimática. A superfície de resposta do modelo e as linhas de contorno estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3: Superfície de resposta descrita pelo modelo da Equação 2, que representa a produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *T. reesei*



CONCLUSÕES

Através do estudo da metodologia da superfície de resposta, foi possível avaliar, dentro da faixa de valores estudados experimentalmente, que a fermentação em estado sólido tendo como substrato farinha da casca da mandioca e do bagaço de malte de cevada, que os ensaios com o fungo *A. niger* não apresentaram nenhuma variável significativa, entretanto, utilizando o fungo *T. reesei* foi possível obter um modelo matemático linear adequado para a resposta de atividade enzimática, onde a variável significativa foi a temperatura. As melhores condições do experimento foram temperatura de 30°C, umidade de 50% e tempo de fermentação 96 horas.

REFERÊNCIAS

AGUSTINI, D.; JÚNIOR, H. E. Z; CUNHA; M. A. A. Hidrólise enzimática natural do amido de mandioca para a produção de açúcares fermentescíveis. In: Encontro de Química da Região Sul, 16, 2008, Blumenau. *Anais*. Blumenau: SQBSul, 2008.

ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, v. 103, n. 3, p. 324-331, 2011.

BORGES, M. S.; NETO, S. P. DE S. Meio ambiente x Indústria de cerveja: um estudo de caso sobre práticas ambientais responsáveis. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 5., 2009, Niterói. *Anais*. Niterói: UFF, 2009.

COUTO, S.R.; SANDROMAN, M.A. Application of solid-state fermentation to ligninolytic enzyme production. *Biochemical Engineering Journal*, v. 2, n. 3, p. 211-219, 2005.

DALSENTER, F. D. H.; VICCINI, G; BARGA, M. C.; MITCHELL, D. A.; KRIEGER, N. A. Mathematical model describing the effect of temperature variations on the kinetics of microbial growth in solid-state culture. *Process Biochem.*, v. 40, p. 801-807, 2005.

GERVAIS, P.; MOLIN, P. The role of water in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, p. 85-101, 2003.

GUPTA, R.; GIGRAS, P.; MOHAPATRA, H.; GOSWAMI, V. K.; CHAUHAN, B. 67 Microbial α -amylases: a biotechnological perspective. *Process Biochemistry*, v. 38, p. 1599– 1616, 2003.

JEGANNATHAN, K.R.; NIELSEN, P.H. Environmental assessment of enzyme use in industrial production – a literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 42, p. 228- 240, 2013.

LIMA, U. A. *Matérias-primas dos Alimentos*. São Paulo: Ed Blucher, 2010. 402p.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

NGUYEN, Q.D.; REZESSY-SZABÓ, J.M.; CLAEYSSSENS, M.; STALS, I.; HOSCHKE, A. Purification and characterisation of amylolytic enzymes from thermophilic fungus *Thermomyces lanuginosus* strain ATCC 34626. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 31, n. 3, p. 345–352, 2002.

OKOLO, B. N.; EZEUGU, L. I.; MBA, C. N. Production of raw starch digestive amylase by *Aspergillus niger* grown on native starch sources. *Journal of Science of Food and Agriculture*, v. 69, p. 109-115, 1995.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 2. Issue 1, p. 118-127, 2007.

SANTANA, R. M.; GONÇALVES, Z. S.; BONOMO, R. C. F.; FRANCO, M. Produção de amiloglucosidade utilizando como substrato a palma forrageira. *Revista Caatinga*, v. 25, p. 188-193, 2012.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 08-21
Estudo comparativo da produção de amilases utilizando como substrato subprodutos agroindustriais
RODRIGUES, E.M.G.; D'AMICO, C. C.; GERAGE, K.R.G.

SANTOS, S. F. M.; NÓBREGA, J. E.; PINTO, G. A. S.; MACEDO, G. R.; SILVA, F. L. H.
Caracterização do resíduo seco do pendúculo de cajú para obtenção de pectinases por
fermentação semi-sólida. *IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS*, Recife, 2005.

SINGHANIA, R. R.; SUKUMARAN, R. K. et al. Advancement and comparative profiles in the
production technologies using solid state and submerged fermentation for microbial cellulases.
Enzyme Microbiology Technology, n. 46, p. 541-549, 2010.

SPIER, M. R.; WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, C. R. Produção de α -Amilase por
Aspergillus em Fermentação no Estado Sólido de Amido de Mandioca e Bagaço de Cana-de-
Açúcar. VI SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA ENZIMÁTICA. *Anais Enzitec*
2004. Rio de Janeiro: Enzitec, 2004. v. 1. p. 116-116.

1 RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves. Possui graduação em Engenharia Industrial Química pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Mestrado em Biotecnologia Industrial pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena na área de Microbiologia Aplicada e Genética de Microrganismos, Doutorado em Engenharia Química na área de Processos Biotecnológicos pela Universidade Estadual de Campinas e Pós-Doutorado pela USP. Atualmente é Professor Ensino Superior, Referência III, da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Deputado Roque Trevisan”. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Purificação de Enzimas, atuando principalmente nos seguintes temas: microrganismos, enzimas, fermentação e extração líquidos – líquido.

2 D’Amico, Camila de Carvalho. Possui graduação em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba ‘Deputado Roque Trevisan’.

3 Gerage, Kellen Renato Generoso. É graduanda em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba ‘Deputado Roque Trevisan’.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais

MAZZONETTO, Alexandre Witier
COSSANTE, Larissa
SANTOS, Alexsandro Gomes dos
HARDER, Márcia Nalesso Costa

Resumo

Baseado em ampla revisão bibliográfica, este trabalho levantou as possíveis diluições para os dejetos animais mais produzidos pela pecuária brasileira – os principais dejetos animais no Brasil – bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, suínos (nas mais diferentes fases da criação), e seus respectivos tempos de retenção hidráulica (TRH) nos biodigestores. A diluição adequada é importante para proporcionar a biodigestão anaeróbia e evitar desperdícios de água na diluição, insumo precioso; bem como o tempo necessário para se ter a produção do biogás e o tratamento sanitário dos dejetos – eliminação de patógenos e contaminantes pelas bactérias. Essas informações são fundamentais diante da diversidade climática nacional, dos enormes rebanhos brasileiros e consequente produção de dejetos. Foram consideradas diversas pesquisas com dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos – nas diferentes fases da criação, para se preparar o substrato antes de ser colocado no biodigestor. Os resultados mostraram faixas ótimas para diluição e tempo de retenção hidráulica (TRH) adequados geraram um melhor aproveitamento do potencial energético dos substratos.

Palavras-chaves: biodigestão, resíduos animais, substratos, tempo de detenção hidráulica (TDH)

Abstract

The environmental concern, the need to reduce agricultural production costs, added to the relentless pursuit of the use and reuse of all resources available on a farm / livestock motivated this research. Using a broad literature review, this work raised possible dilutions for the most produced animal waste by Brazilian livestock and their respective hydraulic retention time (HRT) in biodigesters. Proper dilution is important to provide anaerobic digestion and to avoid waste of this precious input - water; as well as biogas required production time and sanitary waste treatment - pathogens and contaminants elimination by bacteria. This information is fundamental given the national climate diversity, the huge Brazilian herds and the consequent waste production. A survey was conducted for feedlot beef cattle and dairy manure; poultry, laying hens, and pigs - at different stages of rearing, in order to prepare the substrate before being placed into the digester. The results showed that proper dilution and hydraulic retention time (HRT) generated better substrate energy potential utilization.

Keywords: biogesters, animal waste, substrates, hydraulic detention time (HRT).

Resumen

Con base en una extensa revisión bibliográfica, este trabajo planteó las posibles diluciones para los desechos animales más producidos por la ganadería brasileña y sus respectivos tiempos de retención hidráulica (TRH) en los biodigestores. La dilución adecuada es importante para proporcionar biodigestión anaeróbica y evitar el desperdicio de este preciado insumo, el agua; así como el tiempo requerido para la producción de biogás y el tratamiento sanitario de los residuos – eliminación de patógenos y contaminantes por bacterias. Esta información es fundamental dada la diversidad climática nacional, los enormes rebaños brasileños y la

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais

Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso Costa Harder

consecuente producción de residuos. Se realizó un relevamiento con estiércol de res (confinamiento) y lechería; pollos de engorde y gallinas ponedoras, y cerdos- en las diferentes etapas de crianza, para preparar el sustrato antes de ser colocado en el biodigestor. Los resultados mostraron que la dilución adecuada y el tiempo de retención hidráulica (TRH) generaron un mejor aprovechamiento del potencial energético de los sustratos.

Palabras clave: biodigestión, desechos animales, sustratos, tiempo de detención hidráulica (HRT)

INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem se pautado pelo profissionalismo e alto rendimento. A legislação ambiental brasileira é uma das mais rigorosas do mundo, sendo muito mais exigente que nossos vizinhos - como Paraguai, Chile, Argentina, Bolívia.

Assim, é importante cuidar do meio ambiente e usar os recursos disponíveis nas propriedades, da forma mais eficiente para o meio ambiente.

O Brasil é um dos maiores produtores rebanho bovino, sendo o maior produtor mundial de carne para exportação, o quarto em rebanho suíno e primeiro em criação de aves (IBGE, 2019).

A biodigestão anaeróbia é uma opção para tratamento de dejetos animais que oferece soluções para problemas sanitários e ambientais, produzindo, ainda, biogás e biofertilizante.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os dados disponíveis na literatura sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos animais (para a produção de biogás), e avaliar as melhores diluições e tempo de retenção hidráulica (TRH), para os principais dejetos animais no Brasil – dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos (nas diferentes fases da criação).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Biogás

Biogás, ou gás metano, é um gás incolor, altamente combustível, que produz chama azul-clara e queima com um mínimo de poluição. É o produto final da fermentação anaeróbica de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo residencial e industrial, em condições adequadas de umidade (FARIA, 2012).

Trata-se de uma mistura gasosa combustível, de alto poder calorífico, composta basicamente de dois gases, o metano (CH₄), que representa 60- 70% restantes da mistura, e o gás carbônico (CO₂) que representa os 40- 30% restantes. Outros gases (nitrogênio, N; hidrogênio, H e gás sulfídrico, H₂S) participaram da mistura em proporções menores. A qualidade do biogás é uma função da percentagem de metano da mistura. Quanto maior for a percentagem de metano, melhor será o biogás (LUCAS JUNIOR et al, 2011).

O biogás é um gás inodoro que queima sem deixar fuligem, mas, devido à presença de gás sulfídrico (H₂S), apresenta um odor típico (ovo podre), que pode ser usado para detectar vazamentos. É armazenado sob baixa pressão (0,009 kg/cm²) e não pode ser levado a longas

distâncias, usualmente 50 a 150 m, sem utilizar compressor O biogás, por apresentar alta percentagem de metano, é extremamente inflamável. Pode ser usado para qualquer fim que necessite de combustível, devido ao seu alto poder energético. É comumente utilizado no meio rural, principalmente, para cocção, iluminação, refrigeração, aquecimento, etc., proporcionando conforto ao homem do campo. Também, pode ser usado no acionamento de motores a explosão e geração de energia elétrica. Na indústria (destilaria, fábrica de papel, etc.) pode ser empregado em substituição de parte da energia consumida no processo de produção. A Tabela 1 apresenta a composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia, de acordo com Faria (2012).

Tabela 1. Composição da mistura gasosa do biogás

Gases	Porcentagem presente no biogás (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Hidrogênio (H ₂)	1 – 3
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

Fonte: Adaptado Faria (2012).

A concentração de biogás (Tabela 2) pode variar de acordo com a espécie animal, tal variação pode ser explicada de acordo com o sistema metabólico e a alimentação empregada podendo reduzir ou aumentar a concentração de metano, salientando que animais confinados produzem um volume maior de dejetos (COLATTO e LANGER, 2012).

Tabela 2. Expectativa de produção de biogás de acordo com a espécie produtora do dejetos

Espécie	Kg de dejetos para produção de 1m ³	Produção de biogás a partir de material seco em m ³ . t ⁻¹	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	28,6	270	55%
Suínos	11,30	560	50%
Aves	8,35	285	Variável

Fonte: Adaptado de Colatto e Langer (2012).

Digestão Anaeróbia

A grande crise energética com grandes variações de custo dos combustíveis fósseis e aumento da demanda mundial, inúmeras pesquisas em busca de novas fontes renováveis vem surgindo e a aplicação da digestão anaeróbia tem ganho espaço (RIBEIRO et al, 2007).

A digestão dos resíduos orgânicos pode ser identificada como um meio em que diversos microorganismos trabalham de forma interativa buscando converter tal matéria orgânica em compostos mais simples. Em que passando por cada etapa o produto obtido serve de substrato, atendendo as necessidades nutricionais da população microbiana da etapa seguinte (OLIVEIRA, 2007).

As bactérias a serem utilizadas estão diretamente ligadas à matéria prima a ser inserida no biodigestor, podem ser divididas em três grupos que possuem comportamentos fisiológicos distintos: as bactérias fermentativas que por meio de hidrólise transformam os polímeros em monômeros (acetato hidrogênio, dióxido de carbono, por exemplo); as bactérias acetogênicas que produzem hidrogênio, capaz de converter os produtos da primeira etapa; e as bactérias metanogênicas formadas por dois grupos: um, que usa o acetato e o transforma em metano e dióxido de carbono; enquanto o outro, produz redução de dióxido de carbono. O processo da digestão é formado por etapas sequenciais distintas, promovidas pelas bactérias específicas de cada etapa (CORTEZ et al, 2007).

A hidrólise é a primeira fase da digestão que consiste na ação das bactérias fermentativas que, por não serem capazes de digerir materiais complexos como polissacarídeos e gorduras expõem enzimas que irão degradá-los até se tornarem mais simples e solúveis em água. Essa fase é lenta e fatores como pH, temperatura, retenção hidráulica e composição do substrato devem ser rigidamente analisados, pois podem afetar toda o processo. Na acidogênese, os produtos da hidrólise são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas e metabolizados para compostos mais simples e excretados. Os produtos formados são ácidos graxos voláteis, álcoois, como aldeídos, gás carbônico, além de novas células. Nesta fase as bactérias são na maioria anaeróbias estritas e a presença de oxidantes como oxigênio ou o nitrato é tóxico (GRANATO, 2003).

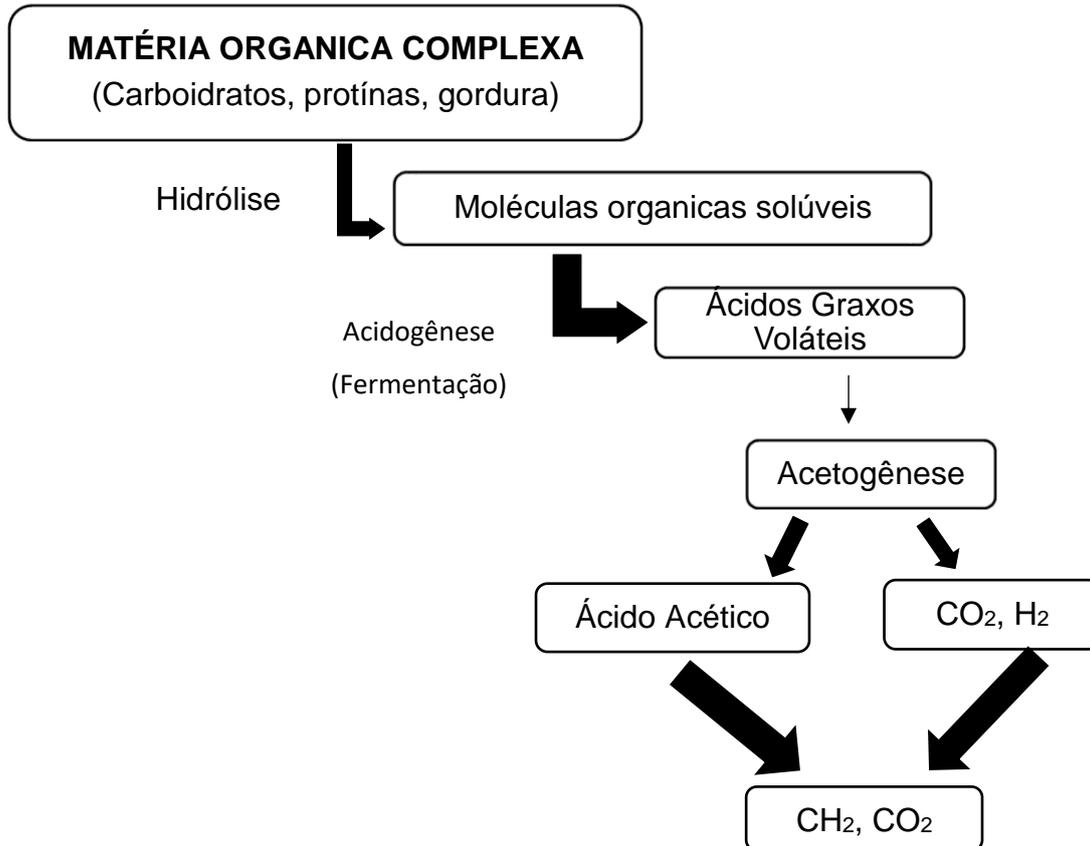
A segunda etapa é a acetogênese onde as bactérias acetogênicas convertem os produtos da acidogênese em acetato e gás carbônico para que as bactérias metanogênicas da próxima etapa possam substrato capaz de atender a sua demanda nutricional (OLIVEIRA, 2007).

A terceira e última etapa da digestão anaeróbia os compostos orgânicos são transformados em metano e gás carbônico, a qual é estritamente anaeróbia e dependem do fornecido pelas acidogênicas, estes microorganismos utilizam apenas um limitado número de substratos que

compreendem por exemplo ácido acético, hidrogênio, monóxido de carbono. Um dos grupos formadores produz metano a partir de ácido acético ou metanol produz a partir de dióxido de carbono (LUCAS JUNIOR et al, 2011).

A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo de digestão anaeróbia.

Figura 1. Fluxograma das Etapas metabólicas da digestão anaeróbia



Fonte: Cortez et al (2007).

Interferentes na Produção de Biogás

O desenvolvimento das culturas de microrganismos possui fatores que devem ser rigidamente controlados, pois podem aumentar a eficiência ou degradar a atividade das bactérias no sistema (COLDEBELLA, A 2006). Segundo Pereira (2005), interferem:

- Temperatura: influencia na velocidade do metabolismo bacteriano, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos; grande parte dos digestores funciona na faixa mesofílica de 20° C a 30° C por ser confiável e de fácil controle. - pH, as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a acidez; elevados níveis de pH podem inibir a atividade. O ideal é que esteja entre a faixa de 7 a 7,2 podendo variar no máximo entre 6 a 8.

- Tempo de retenção hidráulica (TRH) trata-se do tempo que um determinado substrato passa no interior de um digestor, ou seja, o tempo entre a entrada e a saída dos diferentes materiais do digestor. Esse período pode variar em função do tipo de biomassa, granulometria da biomassa e temperatura do digestor. Para dejetos bovinos o indicado é de 20 a 45 dias para produção de biogás e 60 dias para produção de biofertilizante (NEVES, 2010).

- Modelo de reator: ao proceder a escolha de um reator, deve-se observar critérios como, o tipo de resíduo a ser digerido, a eficiência do processo e a finalidade que se pretende com a construção do sistema.

- Diluições: substrato não pode estar muito diluído, pois pode comprometer a taxa de crescimento dos microrganismos. A quantidade de água a ser adicionada ao substrato depende do tipo de processo e dejetos a ser utilizados. Mas a diluição pode também diminuir os níveis de componentes inibidores, como amoníaco ou ácidos graxos voláteis, evitando o apodrecimento, oferecendo muitos benefícios ambientais, sobretudo a redução das emissões de metano (KARLSSON et al, 2014).

Pecuária no Brasil - Fontes de Matéria Prima para Biogás

A pecuária nacional passou por grandes alterações nos últimos anos, estimulando o sistema de criação em confinamento, desde bovinos para corte e leite - uma das principais cadeias produtivas, como suínos, aves poedeiras e de corte, esse sistema busca aumentar o rendimento e reduzir custos (ABIEC, 2019)

No ano de 2018 foi registrado um crescimento de 6,9% no número de abates, chegando a um total de 214.899.796 cabeças bovinas, sendo o Brasil, o maior exportador mundial, para rebanho suíno um total de 41.099.460 e galináceos de 1.425.699.944 (IBGE, 2019).

O Brasil tem se empenhado em manter o equilíbrio entre as suas fontes de energia renováveis e tradicionais. Há um aumento significativo no estudo a respeito do biogás gerado pelas estações de tratamento de efluentes como: lixo urbano, vinhaça, rejeitos animais (KARLSSON et al, 2014).

A produção média diária de dejetos segundo a EMBRAPA é de 25 a 30 kg para bovinos adultos confinados, de 10 a 15 kg para bovinos semi confinados, de 2,5 kg para suínos adultos de 40 kg e 0,18 kg para galináceos, a Tabela 3, abaixo esboça o potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais (EMBRAPA, 2019).

Tabela 3. Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais

Animal	Kg de esterco/animal/dia	m ³ biogás/kg de esterco	m ³ biogás/ animal/dia
Bovinos	20 - 40	0,038	0,36
Suínos	2,3 - 2,8	0,079	0,24
Aves	0,12- 0,18	0,050	0,014

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2019).

Biodigestores no Meio Rural

Um biodigestor compõe-se basicamente de uma câmara de fermentação fechada, na qual a biomassa sofre digestão pelas bactérias anaeróbicas, resultando na formação de biofertilizante e produtos gasosos. Um recipiente vedado construído (Figura 2), normalmente em alvenaria ou concreto, onde o material orgânico é depositado para que a digestão anaeróbia possa ocorrer (NEVES, 2010).

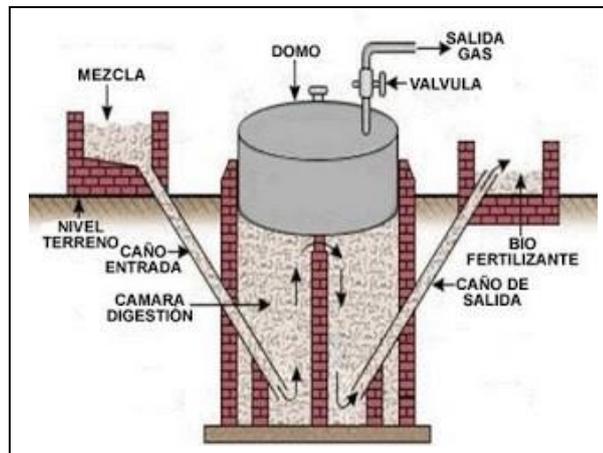
Figura 2. Biodigestor no meio rural



Fonte: Coelho, 2012.

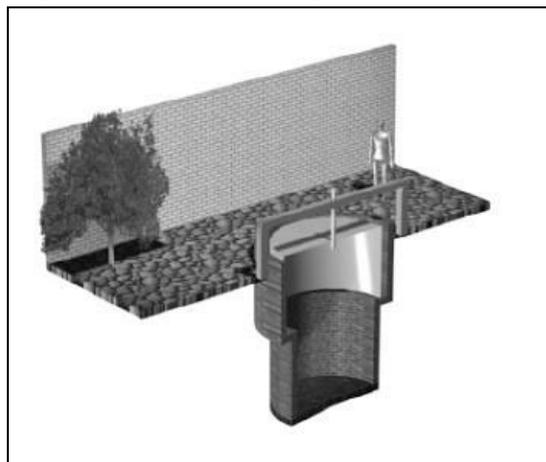
Quanto ao seu funcionamento, os biodigestores podem ser classificados em contínuos (Figura 3), quando a carga de matéria orgânica for diária, e descontínuos (batelada – Figura 4), quando não há a constância de geração de resíduos ou baixo consumo de gás. Um biodigestor é considerado rural quando possui uma câmara de fermentação com volume inferior a 100 m³ e processa as matérias-primas (vegetais e dejetos animais) líquidas com elevado teor de sólidos. O tipo ideal de biodigestor rural depende de vários fatores: qualidade e quantidade de resíduos gerados pelos animais; condições ambientais do local; mão-de-obra qualificada para a construção, manutenção e operações dos biodigestores; distância da fonte de biomassa e o consumo de gás; dimensionamento dos equipamentos, filtros do gás sulfídrico, gasômetro e geradores necessários para suprir as necessidades (OLIVEIRA, 2009).

Figura 3. Modelo de biodigestores contínuos



Fonte: Coelho, 2012.

Figura 4. Modelo de biodigestores descontínuos



Fonte: Coelho (2012).

O clima tropical do Brasil, favorece os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia com temperaturas médias anuais que garantem os processos biológicos. Por outro lado, as condições climáticas frias por períodos prolongados em países do Hemisfério Norte reduzem e chegam até a paralisar as atividades dos ciclos biológicos, e restringindo - atividade microbológica - em geral, menos intensa que a encontrada no clima tropical, limitando o emprego da biodigestão nessas regiões (GALINKIN e BLEY, 2009).

Biofertilizante

A produção do biofertilizante se dá pela fermentação (digestão anaeróbica) de resíduos orgânicos ricos em material com grande poder fertilizante, fornecendo elementos essenciais para o

crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio. Quando aplicado ao solo, pode melhorar suas qualidades físicas, químicas e biológicas (MIGUEL e CASEIRO, 2003).

No processo de digestão anaeróbica, há maior retenção de nitrogênio, quando comparada com a decomposição aeróbica. Isto pelo fato de as bactérias anaeróbicas utilizarem menos nitrogênio para sintetizar proteínas. Assim, obtém-se o biofertilizante, utilizado como adubo (NOGUEIRA et al, 2006).

O aproveitamento agrícola de resíduos ou subprodutos de determinadas atividades tem recebido um crescente interesse, por mostrar-se uma alternativa técnica e ambientalmente adequada. Essa prática se ajusta à necessidade de reposição da matéria orgânica e nutrientes no solo, buscando manter os níveis de fertilidade que permitam um razoável rendimento das culturas. Além disso, com esse procedimento, objetiva-se reduzir a exploração dos recursos naturais envolvida na produção de fertilizante e minimizar o impacto ambiental causado, pois dispensa a adoção de outras opções de destino (MIGUEL e CASEIRO, 2003).

Segundo Santos et al (2007), em função dos baixos custos de produção e da forma simplificada de preparo, o biofertilizante está surgindo como um adubo natural para a nutrição das plantas e redução do ataque de pragas e doenças, na busca de aumentos significativos no rendimento das culturas – uma vez que este produto pode ser fabricado no local a partir dos resíduos animais.

Importância do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) e da Diluição

No processo para gerar biogás, os hidrocarbonetos são convertidos em gás metano e dióxido de carbono. Dessa forma, há redução na quantidade de material sólido, pois os teores de sólidos voláteis diminuem durante o processo. Quando no processo é introduzido um novo substrato, rico em carbono, este também será convertido em biogás (KARLSSON et al, 2014).

O material resultante é constituído por água, sais dissolvidos, e por matéria orgânica digerida no biodigestor, chamado resíduo. No resíduo também há presença de certa quantidade de biomassa, pois microrganismos são cultivados durante o processo, formando o biofertilizante. O tempo de retenção de um processo de geração de biogás é de aproximadamente 30 dias para biogás, 45 para gerar biogás e biofertilizante (ainda não próprio a utilização como adubo) e 60 dias para biofertilizante próprio a utilização. A concentração do substrato também é de extrema importância, interferindo diretamente no crescimento microbiano, podendo comprometer todo o processo. O volume de água varia de acordo com o substrato a ser utilizado e a técnica adubação (NEVES, 2010).

Os dejetos podem ser separados em duas categorias, fase líquida e seca, dependendo do teor de sólidos secos que contém em cada fase. Na fase sólida normalmente há um alto teor de carbono e o teor de sólidos secos entre 27% e 70% maior que na fase líquida, pois também contém material fecal. Os lodos são mais acessíveis à digestão, pois contém maior quantidade de nitrogênio e teor de sólidos secos entre 5% e 10%. Geralmente, dejetos bovinos apresentam menos potencial de produção de biogás do que os de suínos e de aves. Isto se deve à uma grande quantidade da matéria orgânica disponível ser degradada e convertida em metano ainda nos estômagos dos animais ruminantes. Uma diluição incorreta pode aumentar os níveis de componentes inibidores, tais como amoníaco ou ácidos graxos voláteis. Dejetos de suínos e de aves são mais ricos em proteína que o bovino e podem resultar em inibição no processo causada pela amônia, quando digeridos na ausência de material rico em carbono (KARLSSON et al, 2014).

Vantagens de Produzir Biogás

O biogás tem grande destaque por sua viabilidade de produção e também pelo fato de a tecnologia para sua produção já ser perfeitamente dominada por vários países, incluindo o Brasil (ROYA et al, 2011).

Um dos maiores problemas para tornar a produção do biogás mais viável ainda é, o mesmo maior inimigo do meio ambiente, o petróleo e seus derivados. A lucratividade com a produção de petróleo é muito maior do que a da produção não só do biogás, mas frente às demais fontes de energia renováveis exploradas hoje em dia pelo mundo afora. Daí a necessidade do desenvolvimento de uma consciência ecológica mais efetiva por parte das autoridades, principalmente daquelas envolvidas na economia global, com o intuito de incentivar a produção deste tipo de energia (BRAGANÇA et al, 2012).

Energia Renovável, Biogás e Bioeletricidade

Para obter uma série de benefícios ambientais e desenvolvimento sustentável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, pode-se construir biodigestores anaeróbicos cobertos, que serão abastecidos com dejetos bovinos oriundos de animais confinados, o sistema captura o biogás gerado, proporcionando energia limpa. A utilização do biogás gera eletricidade para suprir as próprias necessidades na propriedade, implementando-se um gerador (CAZARRÉ, 2008).

De acordo com Barrera (2003), o biodigestor rural, aproveita-se toda a matéria orgânica da propriedade rural para a produção de biogás e biofertilizante, reduzindo custos nas propriedades, em que o biofertilizante é usado para o uso na irrigação de cultivos anuais e perenes.

Segundo Kunz, Perdomo e Oliveira (2004), o tratamento com biodigestores reduz cerca de 70 a 80% de material orgânico, gerando biofertilizante, biogás, reduzindo a proliferação de insetos e roedores, combatendo doenças junto às pessoas que moram e trabalham nas propriedades.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de literatura que investigaram diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH) ou tempo de detenção hidráulica (TDH) para dejetos animais submetidos a biodigestão anaeróbia, bem como aqueles que investigaram diferentes diluições para dejetos animais.

Priorizaram-se trabalhos sobre biodigestão anaeróbia para dejetos animais das principais criações no Brasil, dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos (nas diferentes fases da criação), os quais apontaram variações nas diluições, no tempo de retenção hidráulica e alguns na produção de biogás. Sabe-se que a alimentação e raça dos animais também são importantes para produção de biogás e qualidade do biofertilizante, porém este trabalho avaliou a influência do TRH e da diluição para as principais criações da pecuária brasileira.

Assim compararam-se os resultados de vários trabalhos para produção de biogás, a partir de dejetos bovinos – leiteiro e corte, suíno e aves – poedeiras e corte.

A revisão forneceu a máxima, mínima e média diluição para cada dejetos animal; e foi possível estimar o volume de água necessário para diluir os dejetos animais investigados, bem como o potencial de produção de biogás na zona rural brasileira e conseqüentemente, a geração de energia elétrica, via motogerador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 com as respectivas fontes (autores), matérias primas, diluições e tempo de retenção hidráulica (TRH).

Tabela 4. Levantamento das diluições e TRH Aves

Fonte	Dejeto	TRH [dias]	Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água)	Modelo do biodigestor	Resultado
Costa (2012)	Aves	30	0,270;1,73 ou 1:6,4	Batelada	60 L
Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018)	Aves	40	1:3	Canadense, chinês ou indiano	1000 L
Paes et al (2018)	Bovino/Suíno	77	1:1	Indiano	19,4 L
Sagula et al (2017)	Cama de frango	35	1:8	Indiano	32,8 L
Sagula et al (2017)	Cama de frango	35	1:10	Indiano	27,3 L
Sagula et al, 2017	Cama de frango	35	1:12	Indiano	28,7 L
Zanato (2014)	Aves postura e corte	315	1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8	Batelada e semi-contínuos	1,8 L

Fonte: Autores.

Tabela 5. Levantamento das diluições e TRH Bovinos

Fonte	Dejeto	TRH [dias]	Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água)	Modelo do biodigestor	Resultado
Amaral et al (2004)	Bovino Leiteiro	20	1:11,5	Chinês	12 L,15 L
Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018)	Bovino Confinado	40	1:4	Canadense	1000 L
Paes et al (2018)	Bovino Confinado/Suíno	77	1:4	Indiano	13,5 L
Paes et al (2018)	Bovino Confinado/Suíno	77	1:4	Indiano	25,1 L
Resende et al (2015)	Bovino leiteiro	60	1:2	Indiano	18 L/dia verão 16 L /dia Inverno
Zanato (2014)	Bovino corte e leiteiro	161 (corte), 210 (leite)	1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8	Batelada e semi-contínuos	1,8

Fonte: Autores.

Tabela 6. Levantamento das diluições e TRH Suínos

Fonte	Dejeto	TRH [dias]	Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água)	Modelo do biodigestor	Resultado
Costa (2012)	suíno	30	0,270;1,73 ou 1:6,4	Batelada	60 L
Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018)	Suíno	40	1:2	Canadense, chinês ou indiano	1000 L
Fernandes et al (2014)	Suíno	30 35	2:1	Canadense	600 L/dia 1230 L/dia

Souza et al (2005)	Suínos Aves	28	1,96 kg de inoculo + 1:2,232	Indiano	115,48 L
Zanato (2014)	Suíno	120	1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8	Batelada e semi- contínuos	1,8 L

Fonte: Autores.

A diluição se deu na proporção de uma parte de dejetos (kg) por partes de água (kg).

A partir dos dados obtidos é notável que a diluição aplicada aos dejetos bovinos, segundo Amaral et al (2004) alcança uma maior produção de biogás, com uso do biodigestor chinês. Tal resultado também está diretamente ligado ao tempo de retenção hidráulica (TRH), visto que no estudo de Resende et al (2015) passaram 60 dias e a produção foi menor.

Já para dejetos suínos apenas encontram-se dados com o modelo de biodigestor canadense, onde o melhor rendimento foi de 1230 L, encontrado Fernandes et al (2014) mantendo a mesma proporção de dias para retenção hidráulica, e a diluição um pouco menor devido aos dejetos serem mais líquidos.

Para o dejetos de cama de frango a melhor diluição foi de 1:8 com a produção 32,8 L encontrada por Sagula et al (2017) quanto maior a diluição houve uma queda no potencial energético (Tabela 7).

Tabela 7. Melhores diluições e TRH para cada dejetos

Dejeto	Diluição Mín.	Diluição Máx.	Diluição Média	TRH [dias]
Bovino leiteiro	1:11,5	1:2	1:5,75	40
Bovino Confinado	1:8	1:1	1:4	40
Aves	1:12	1:3	1:6,6	38
Suíno	1:8	2:1	1:2	35

Fonte: Autores.

Assim, com essas diluições e considerando os dados do IBGE (2019), pode estimar-se o volume de água (Litros e m³) necessário para produzir energia elétrica (kW.h ou MW.h). Essa informação mostra um potencial para biofertilizante com produção de energia, com essas estimativas é possível dimensionar o quanto o biogás pode contribuir para ampliar a oferta de energia para o agronegócio brasileiro.

A biodigestão anaeróbia dos dejetos animais garante proteção de mananciais, evita-se a proliferação de doenças, produz biofertilizante orgânico e biogás – combustível renovável; muito usado para geração de calor e eletricidade. É importante conseguir o biofertilizante e o biogás, usando-se o menor volume d'água, no menor tempo e com a maior produção de biogás. Ajustar essas três variáveis é importante para se ter a melhor eficiência do processo, com a melhor qualidade dos produtos – biogás e biofertilizante (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativa do volume de água para diluir dejetos e produção energia elétrica – considerando-se o rebanho nacional

Animal	Bovino corte confinado	Bovino leiteiro	Aves corte	Aves poedeiras	Suínos
Rebanho Brasileiro	150.500.182	64.399.614	925.327.293	500.372.651	41.099.460
Dejeto por dia [t]	4.816.006	1.609.990	166.599	90.067	102.749
Diluição média aplicada	1:4	1:5,75	1:6,6	1:6,6	1:2
Água [m ³]	19.264.023	9.337.944	1.099.289	594.443	205.497
Biogás por dia [m ³ .dia ⁻¹]	168.391.812	56.293.369	19.947.289	10.786.476	9.092.801
Energia Elétrica [MW.h.dia ⁻¹]	286.266	95,699	37.678	18.337	15.458
Energia /dejeto [kW.kg ⁻¹]	0,059	0,059	0,204	0,204	0,150
Energia /animal [kW.aimal ⁻¹]	1,902	1,486	0,037	0,037	0,376

Fonte: Autores.

Considerou-se o motogerador com taxa de conversão de 1,7 kW.h por m³ de biogás.

Nestas diluições, nota-se que as aves têm o dejetos com maior taxa de conversão – dejetos x energia; mas quando se avalia energia por unidade animal, o bovino de corte (confinado) tem a maior conversão. A Tabela 8 mostra que o rebanho bovino tem um grande potencial de geração de biogás e biofertilizante, e, conseqüentemente, geração de energia.

Há um potencial de geração de eletricidade de 454.674 MW.h.dia⁻¹, ou, 454,7 GW.h.dia⁻¹, com um potencial de produção anual de 163.679.799 MWh, ou, 163.679,8 GWh. A usina de Itaipu, corresponde entre 8,4 a 10,8% da geração da matriz elétrica Brasileira, que gerou 66.369 GWh no ano de 2021; assim, esses rebanhos juntos podem gerar 165.501 GW.h.; ou seja, praticamente 2,5 (2,4936) mais energia que Itaipu (considerando-se a produção de 2021).

Quando se considera a média de produção elétrica de Itaipu dos oito anos, a geração de eletricidade é de 86.909,6 GWh ou 86.909.625 MWh. Uma vez que foram usados valores médios neste trabalho, a comparação com Itaipu fica mais realista usando-se a média produzida, então a produção anual de eletricidade - via biogás de dejetos animais, seria o dobro (2 vezes) de Itaipu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apontou a importância das diluições e do tempo de retenção hidráulica para a produção de biogás, assim obteve-se números diferentes para cada dejetos de diferentes trabalhos, calculou-se as médias de TRH e diluição.

A produção de biogás a partir dos dejetos de bovinos, mesmo usando-se mais água, foi bem superior aos demais. Evidente que a produção de dejetos é muito superior aos demais animais estudados.

O TRH está diretamente relacionado, pois quanto mais tempo o substrato passou no biodigestor a produção de biogás foi menor, indicando uma possível perda no experimento.

Semelhante a estes resultados a cama de frango também obteve uma queda da produção de biogás com o aumento da diluição. Para os dejetos suínos a diluição pode ser um pouco reduzida visto que os dejetos têm característica mais aquosa.

Com a análise dos dados, o tempo de retenção hidráulica mais indicado para dejetos animais é em média de 35 a 40 dias, para melhor aproveitamento dos substratos, que garante a estabilidade da matéria orgânica (biofertilizante) e tem a maior produção de biogás. Períodos maiores de retenção hidráulica tem uma desaceleração na produção de biogás e pouco material não foi estabilizado.

O dejetos com maior produtividade de energia foi o das aves, mas a energia produzida por cabeça de bovino foi maior; sendo a produção de suínos intermediário entre ambas taxas.

REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. *BeefREPORT REPORT Beef Perfil da Pecuária no Brasil*. São Paulo, 2019. Consultado em 11 de novembro de 2019.

AMARAL, C. D. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.. *Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica*. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2004. Disponível em: www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000600035. Consultado em 14 de novembro de 2022.

BARRERA, P. *Biodigestores: energia, Fertilidade e Saneamento para a Zona Rural*. Ícone Editora, 1993, 106p.

BRAGANÇA, R; WOLFF, B. D. *Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos*, 2012. Disponível em: periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1291. Consultado em 11 de novembro de 2022.

CCEE. *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*, 2019. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afLoop=1047331957595614&_a_df. Acessado em 11 de novembro de 2019.

COELHO, P. *Biodigestores contínuos e de batelada*, 2019. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>. Acessado em 11 de dezembro de 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

COLATTO, L; LANGER, M. *Unoesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119- 128, jul./dez. 2012.

COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. 2006. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2006. Consultado em 10 de setembro de 2022.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JUNIOR, J. de; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. de. Cap. 15: Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); LORA, E. S. (Coord.) *Biomassa para Energia*. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007.

COSTA, Laura Vanessa Cabral da. *Produção de biogás utilizando cama de frangos diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos*. 2012. xiii, 75 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101710>. Acessado em 17 de junho de 2023.

EMBRAPA *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*; 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/biogas/biodigestao/potencial-metanogenico>. Acessado em 11 de novembro de 2019.

FARIA, R. A. P. *Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso*. 2012. 63p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Consultado em 15 de agosto de 2019.

FERNANDES, D. M.; COSTANZI, R. N.; FERIDEN, A.; SOUZA, S. N. M. Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suínos. *Ambiência. Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V.10 N.3 Set./Dez. 2014. Consultado em 14 de novembro de 2019.

GALINKIN, M.; BLEY, C. *Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. 2 Ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Techno Politik Editora, 2009. 140p. Consultado em 20 de maio de 2019.

GRANATO, E. F. *Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbia de Vinhaça*. 2003.139p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2003. Consultado em 12 de maio de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2019. Disponível em: www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-bra.sileira-em-numeros. Consultado em 11 de novembro de 2019. ITAIPU Geração 2022 Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao> Consultado em 25 de Julho de 2022.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHEMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. *Manual básico de biogás Lajeado*: Ed. da Univates, 2014. Consultado em 22 de outubro de 2019

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

LUCAS JUNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. *Manual de construção e operação de biodigestores*.
1. Ed. Viçosa: CPT - Centro de Produções Técnicas, 2003. v. 1. 40 p.

LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K.T. Produção Animal e o meio ambiente: Uma comparação
entre potencial de emissão de metano nos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Eng.
Agríc.*, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.399-410, mar./abr. 2011. Consultado em 15 de agosto de 2019.

MAZZONETO, A. W. *Disciplina Fundamentos da Produção de Biogás*. Fatec Piracicaba, 2018.
Consultado em 11 de novembro de 2019.

MIGUEL, J. O.; CASEIRO, J. L. *Estudo do potencial de aplicação dos principais fluxos de resíduos
orgânicos na região do Lins*. 2003. Disponível em <https://www.apda.pt/pt/?p=pt/>. Consultado em
15 de maio de 2019.

NEVES, V. L. V. *Construção de biodigestor para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco
bovino*. 2010. 56p. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade
Tecnológica de Araçatuba, Araçatuba, 2010. Consultado em 20 de maio de 2019.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade
de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de
Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n.1, 1º semestre 2006.

OLIVEIRA, R. D. *Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de
dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono*. 2009. 79p. Trabalho de Conclusão de
Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,
São Carlos, 2009.

PAES, J. L.; BRUGGIANESI, G.; SOARES, C. S. G. C. *Potencialidade do biogás gerado pela
combinação de dejetos bovino e suíno*. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de
abril de 2018. Disponível em: www.avisite.com.br/cet/img/20130403_trabalho2.pdf. Consultado
em 11 de novembro de 2019.

RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; CARNEIRO, J. C.; RIBEIRO, M. T.; LIMA, J.
C. F. *Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica*. EMBRAPA. 2015.
Disponível em: [ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130517/1/CT-110-Dejetos-
bovinos.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130517/1/CT-110-Dejetos-bovinos.pdf). Consultado em 14 de novembro de 2019.

RIBEIRO, G. M.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; HENRIQUE, W.;
SUGOHARA, A.; AMORIM, A. C. Efeito da fonte proteica e do processamento físico do
concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos
dejetos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Viçosa-MG, v. 36, n. 6, p. 2.082-2.091, 2007.

ROYA, B.; FREITAS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M. Biogás uma energia limpa. *Revista
Eletrônica Novo Enfoque*, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149.

SAGULA; L. V. C.; LUCAS JUNIOR, J. Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão
anaeróbia da cama de frango tritura e peneirada ensaio batelada. *Brazilian Journal of Biosystems
Engineering*, v. 11(4): 373-384, 2017.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

SANTOS, J. F.; LEMOS, J. N. R.; NÓBREGA, J. Q.; GREANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L.M.P.;
OLIVEIRA, M.E.C. Produtividade de feijão caupi utilizando biofertilizante e ureia. *Tecnol. &
Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v.1, n.1, p.25-29, set. 2007.

SOUZA, C. F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos
suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato considerações sobre
a partida. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005. Disponível em
www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26516.pdf. Consultado em 14 de novembro de 2019.

ZANATO, Joseli Alves Ferreira. *Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies
animais*. 2014. ix, 112 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/113985>. Consultado em 17 de junho de 2023.

MAZZONETTO, Alexandre Witier. Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leite fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

COSSANTE, Larissa. Graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

SANTOS, Alexsandro Gomes dos. Graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

HARDER, Márcia Nalesso Costa. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal (2002), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade de São Paulo (2005) e doutorado em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo (2009). Atualmente é coordenadora da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba e professor de ensino superior PIII do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Tem experiência na área de Agronomia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Análise Sensorial, Técnicas de Conservação e Processamento de Alimentos, Operações Unitárias, Aplicações Industriais de Radioisótopos, Biocombustíveis, atuando principalmente nos seguintes temas: biocombustíveis, bioetanol/açúcar, análise sensorial e suas aplicações, irradiação de alimentos, processamento e conservação de alimentos, operações unitárias, plantas medicinais e alimentos funcionais, ecossustentabilidade, aplicação do uso de energias ionizantes e não ionizantes. Atua também como mentora de programas de mentorias de incubadora.

Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano dos municípios de Piracicaba, Limeira, Rio Claro e Americana – interior de SP

MAZZONETTO, Alexandre Witier
CARBONI, Rafael Willians

Resumo

O resíduo sólido urbano (RSU) é o material que se encontra no estado sólido ou semissólido, originado das diferentes atividades humanas, podendo ou não apresentar riscos à saúde e ao meio ambiente. O aumento da produção de RSU se tornou um problema para o setor público e para a sociedade, em virtude do potencial de contaminação de lençóis freáticos, proliferações de insetos e animais, bem como a disseminação de doenças. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu medidas para o tratamento e destinação adequada do RSU com a intenção de reduzir tais impactos, recomendando que sejam reciclados e/ou tratados. Tratamentos como por processos térmicos ou biodigestão anaeróbica para produção de biogás, apresentam potencial para aproveitamento energético dos resíduos. Este trabalho levantou a produção e caracterização do RSU dos municípios de Piracicaba/SP, Limeira/SP, Rio Claro/SP e Americana/SP; para calcular o potencial energético destes RSU, pelas as equações do IPCC e USEPA de produção de biogás e índices de conversões energéticas por processos térmicos – incineração, pirólise e gaseificação; e estimaram-se a geração de energia elétrica possível neste caso. Estes municípios poderiam cumprir a PNRS e tratar o RSU produzido por cada um, dando uma destinação adequada e gerando energia elétrica. A caracterização e produção dos RSU foram obtidas com a revisão de literatura. Os resultados apresentaram valores promissores, tanto através da produção de biogás quanto pelos processos térmicos – mais indicado. Concluiu-se que há potencial energético do RSU nos municípios estudados, bem como a possibilidade de gerar energia elétrica renovável aos municípios e que os processos térmicos são mais vantajosos, por apresentarem estimativas maiores, mais próximas do real, reduzirem o volume e massa do RSU, eliminarem a necessidade de grandes aterros sanitários, darem um tratamento sanitário, evitarem proliferação de insetos e animais, além de ampliarem a vida útil dos aterros.

Palavras-chave: biogás, lixo, potencial energético, biomassa residual, energia elétrica.

Abstract

Urban solid waste (MSW) is material that is in solid or semi-solid state, originated from different human activities, which may or may not present risks to health and the environment. The increase in MSW production has become a problem for the public sector and society, due to the potential for contamination of groundwater, proliferation of insects and animals, as well as the spread of diseases. The National Solid Waste Policy (PNRS) established measures for the proper treatment and disposal of MSW with the intention of reducing such impacts, recommending that they be recycled and/or treated. Treatments such as thermal processes or anaerobic biodigestion to produce biogas have potential for energy use of waste. This work surveyed the production and characterization of MSW in the municipalities of Piracicaba/SP, Limeira/SP, Rio Claro/SP and Americana/SP; to calculate the energy potential of these MSW, using the IPCC and USEPA equations for biogas production and energy conversion rates by thermal processes – incineration, pyrolysis and gasification; and estimated the possible electric power generation in this case. These municipalities could comply with the PNRS and treat the MSW produced by each one, giving an adequate

destination and generating electricity. The characterization and production of MSW were obtained through a literature review. The results showed promising values, both through the production of biogas and through thermal processes – most suitable. It was concluded that there is energy potential of MSW in the municipalities studied, as well as the possibility of generating renewable electricity to the municipalities and that thermal processes are more advantageous, as they present higher estimates, closer to the real, reduce the volume and mass of MSW, eliminate the need for large sanitary landfills, provide sanitary treatment, prevent the proliferation of insects and animals, in addition to extending the useful life of landfills.

Keywords: biogas, waste, energy potential, residual biomass, electrical energy.

Resumen

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son materiales que se encuentran en estado sólido o semisólido, provenientes de diferentes actividades humanas, que pueden o no presentar riesgos para la salud y el medio ambiente. El aumento de la producción de RSU se ha convertido en un problema para el sector público y la sociedad, debido al potencial de contaminación de las aguas subterráneas, proliferación de insectos y animales, así como la propagación de enfermedades. La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) estableció medidas para el adecuado tratamiento y disposición de los RSU con la intención de reducir tales impactos, recomendando su reciclaje y/o tratamiento. Los tratamientos como los procesos térmicos o la biodigestión anaeróbica para producir biogás tienen potencial para el aprovechamiento energético de los residuos. Este trabajo investigó la producción y caracterización de RSU en los municipios de Piracicaba/SP, Limeira/SP, Rio Claro/SP y Americana/SP; calcular el potencial energético de estos RSU, utilizando las ecuaciones del IPCC y la USEPA para la producción de biogás y tasas de conversión de energía por procesos térmicos – incineración, pirólisis y gasificación; y estimó la posible generación de energía eléctrica en este caso. Estos municipios podrían cumplir con el PNRS y tratar los RSU producidos por cada uno, dándoles un destino adecuado y generando energía eléctrica. La caracterización y producción de RSU se obtuvo a través de una revisión bibliográfica. Los resultados mostraron valores prometedores, tanto a través de la producción de biogás como a través de procesos térmicos, los más adecuados. Se concluyó que existe potencial energético de los RSU en los municipios estudiados, así como la posibilidad de generar energía eléctrica renovable a los municipios y que los procesos térmicos son más ventajosos, ya que presentan estimaciones más altas, más cercanas a lo real, reducen el volumen y masa de RSU, eliminar la necesidad de grandes rellenos sanitarios, brindar tratamiento sanitario, evitar la proliferación de insectos y animales, además de alargar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Palabras clave: biogás, residuos, energía potencial, biomasa residual, energía eléctrica.

INTRODUÇÃO

A produção de resíduo sólido urbano (RSU) se tornou uma preocupação para a sociedade. Com o aumento populacional e industrial, tal produção vêm se elevando e, conseqüentemente, gerando problemas para a destinação final adequada. O crescimento urbano dificulta a disponibilidade de grandes áreas para aterros sanitários, que exigem adequações a fim de evitar contaminações em lençóis freáticos, proliferações de insetos e roedores, bem como disseminação de doenças.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) propôs que os resíduos sejam tratados e/ou destinados ao reuso. Alguns materiais como metais, vidros e polímeros, por exemplo, possibilitam o retorno às indústrias e reuso como matéria-prima. Entretanto, outros não possibilitam a reciclagem, como os materiais orgânicos, tecidos, madeira, alguns tipos de papéis e papelões e outros que se destinem a aterros sanitários. De acordo com a PNRS, esforços devem ser feitos para que esses materiais também sejam reutilizados, sendo uma das possibilidades a produção de biogás e conseqüente aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

Pode se considerar que uma fração do RSU tem um potencial energético, que pode produzir biogás, que além de seu valor como fonte de energia e conseqüente substituição do uso de fontes fósseis, reduz a emissão de gases que intensificam o aquecimento global. No Brasil, esse recurso é pouco explorado, tendo em vista o potencial apresentado frente ao tamanho e disponibilidade de RSU em alguns aterros. Entretanto, existem alguns projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que envolvem geração de energia em aterros no Brasil, principalmente na região sudeste (IPEA, 2012).

Assim, dando utilização o RSU em processos térmicos, pode-se cumprir a PNRS e oferecer uma opção melhor que aterros sanitários, dando tratamento sanitário e ambiental ao resíduo sólido urbano; abastecendo centros de demanda de energia com menores gastos com transmissão e descartando as frequentes necessidades de grandes áreas, cada vez mais escassas, para aterros sanitários.

É importante dar um tratamento ao resíduo sólido urbano (RSU), não só para adequação ao PNRS, mas também para aproveitamento (geração) de energia renovável e redução massa e volume desse resíduo. Uma opção é a exploração do biogás dos aterros sanitários, uma vez que boa parte do RSU tem origem orgânica, porém não se reduz o volume do resíduo nem a necessidade de aterros sanitários. Outra opção são os processos térmicos, que possibilitam tanto o aproveitamento energético, reduzem o volume do RSU e oferecem um tratamento sanitário.

Este trabalho analisou e comparou as estimativas de produção de energia elétrica de biogás e de processos térmicos, para o aproveitamento energético do RSU dos municípios de: Americana/SP, Limeira/SP, Piracicaba/SP e Rio Claro/SP; a fim de identificar qual o processo produziu mais energia elétrica e apresentou maiores vantagens.

REVISÃO

Resíduos sólidos urbanos

Características e composição dos resíduos sólidos urbanos

De acordo com a Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT) e com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduos sólidos são aqueles que se encontram nos estados sólido ou semissólido, e são originados de atividades industriais, comerciais, agrícolas, hospitalares, domésticas e de serviços de varrição, assim como de sistemas de tratamento de água e os produzidos por equipamentos de controle de poluição. Também são considerados os resíduos líquidos cujas características os tornam inviáveis ao lançamento na rede de esgotos, ou exijam soluções tecnicamente inviáveis para isso (ABNT, 2004; BRASIL, 2010).

Embora a composição do RSU no Brasil seja bastante heterogênea, as análises gravimétricas apontam uma frequência entre 40 e 60% de materiais orgânicos do total de resíduos coletados. Em regiões altamente industrializadas, como São Paulo, a quantidade de resíduos orgânicos continua elevada, em cerca de 57,5%, como registrado por Agostinho et al (2013).

As Tabelas 1 e 2 apresentam a composição média de RSU obtida por diversos autores e para diversas cidades, sendo a Tabela 2 apenas para os municípios do Estado de São Paulo.

Tabela 1. Composição média do RSU obtida por autores em diversos municípios do país

Localização	Fonte	Material Orgânico (%)	Metais (%)	Polímeros / Plásticos (%)	Vidros (%)	Papéis (%)	Outros (%)
Países com maior renda	Borges, 2017	28	6	11	7	31	17
Países com menor renda	Borges, 2017	64	3	8	3	5	17
BRASIL	EPE, 2014	59	2,10	12,30	3,10	18,50	5
Foz do Iguaçu, PR	Neves, 2013	56,92	2,77	13,23	2,46	10,15	14,47
Toledo, PR	Neves, 2013	67,57	0,75	9,75	2,34	12,68	6,91

Cascavel, PR	Neves, 2013	63	2	9	4	10	12
Belo Horizonte, MG	FEAM, 2012	62	2	9	3	11	13
Maria da Fé, MG	Alkmin e Ribeiro Júnior, 2017	55,60	5,60	12,20	2,80	11,10	12,70
Manaíra, PB	Bezerra e Campos, 2019	49,05	9,95	18,05	2,90	7,55	12,50
Santa Cruz do Sul, RS	Trentin et al, 2019	41,65	2,02	13,48	3,02	9,92	29,91

Fonte: Adaptada dos autores citados.

Tabela 2. Composição média do RSU obtida por autores em diversos municípios do Estado de São Paulo

Localização	Fonte	Material Orgânico (%)	Metais (%)	Polímeros/ Plásticos (%)	Vidros (%)	Papéis (%)	Outros (%)
São Carlos	Kim (2018)	37,48	1,73	13,76	3,10	9,72	34,21
São Carlos	Frésca, (2007)	59,08	1,31	10,47	1,67	6,44	21,03
Piracicaba	Vessalli, Favarin Neto e Oliveira (2013)	62,5	7,52	2,58	4,87	9,06	13,46
Piracicaba	SEDEMA (2015)	45,83	1,53	1,23	19,33	11,34	20,74
Piracicaba	Mazzonetto et al (2016)	79,38	1,87	9,44	1,98	2,28	5,05
Piracicaba	Mazzonetto, Gentil e Marchetti (2019)	47,16	7,88	11,10	2,52	5,79	25,55
Rio Claro	Braz (2001)	61,20	3,90	5	2,80	15	12,10
Campinas	Ensinas (2003)	46,26	4,86	13,21	3,36	29,76	2,55
Botucatu	Zanin e Mancini (2004)	74,17	3,85	8,37	1,90	7,61	4,10
Araraquara	Zanin e Mancini (2004)	82,16	2,80	12,10	0,84	2,10	0

Fonte: Adaptada dos autores citados.

Riscos e perigos

Os resíduos, se depositados de maneira incorreta ou não receber os tratamentos e manejo adequados, podem causar impactos tanto ao meio ambiente quanto à saúde da população. Isso ocorre em virtude do potencial poluidor dos produtos gerados no processo de degradação e por ser transmissor de doenças. As águas também são afetadas pelo lixiviado, podendo contaminar rios, lagos e corpos d'água, além de ser absorvido pelo solo, atingindo e contaminando águas subterrâneas. Além dos danos ao meio ambiente, os resíduos oferecem riscos à saúde pública, já que as etapas de coleta e deposição, principalmente irregular ou em aterros sanitários, podem gerar contaminantes e a proliferação de vetores de doenças. A matéria orgânica presente nos RSU atrai insetos, animais e microrganismos que acabam, pelo contato com os resíduos, por espalhar doenças, que podem ser transmitidas diretamente pelos produtos gerados ou indiretamente pelo solo, água ou ar (BORGES, 2017).

As principais fontes poluidoras são os lixiviados e o biogás. O lixiviado é o líquido produzido pela decomposição dos resíduos, formado por compostos orgânicos e inorgânicos como amônia, metais pesados e ácidos húmicos; e, se o lixiviado não for coletado e tratado, apresenta uma ameaça ao solo e águas superficiais subterrâneas. Entre os riscos ambientais, o solo pode ser afetado por fatores associados aos resíduos, como a contaminação por metais pesados, que ameaçam a qualidade do solo e alteram sua fertilidade, trazendo também consequências à saúde (ALI et al, 2014).

Política Nacional dos Resíduos Sólidos

O gerenciamento de RSU no Brasil passou por mudanças após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Nela, foram estabelecidas diretrizes relacionadas à gestão integrada e gerenciamento dos RSU, as responsabilidades dos geradores e do poder público, assim como as ferramentas econômicas aplicáveis (BRASIL, 2010). Entretanto, mesmo que as exigências sejam à nível federal, a realidade não é a mesma entre municípios e regiões do país em relação às políticas e capacidade de investimentos na gestão de resíduos sólidos (MANNARINO et al, 2015).

Em 2018, o Brasil coletou cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, com cobertura nacional de 92%, o que representa 72,8 toneladas. Do total, 43,3 milhões de toneladas foram depositadas em aterros sanitários. As 29,5 milhões de toneladas restantes foram despejadas em “lixões” ou outros locais inadequados, sem sistemas de proteção para o meio ambiente. A

produção de RSU per capita ficou, para o ano, de 380 kg por habitante. A participação regional na coleta de RSU é dominada pela região sudeste, com 53,2% do total de RSU coletado, seguida pelas regiões Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Norte, com 22%, 10,8%, 7,5% e 6,6%, respectivamente. Aproximadamente três quartos dos municípios brasileiros realizam algum tipo de coleta seletiva, embora não incluam todos os bairros (ABRELPE, 2019).

Tratamentos e destinação

Aterro sanitário

Aterro sanitário é definido como uma obra de engenharia, projetada sob critérios técnicos e específicos, com a finalidade de garantir a deposição dos RSU sem causar – ou o menor possível – danos à saúde e ao ambiente. É considerado uma das formas mais seguras para destinação de resíduos sólidos, por permitir o controle eficaz e apresentar bom custo-benefício. Podem receber diversos tipos e quantidades de resíduos, se adaptando a qualquer comunidade. Durante o processo de decomposição dos resíduos, são produzidas reações químicas e biológicas, que produzem húmus (resíduos mineralizados), resíduos líquidos e biogás (VAN ELK, 2007).

Biodigestão anaeróbia de RSU

A biodigestão anaeróbica é um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio, em que microrganismos interagem com a matéria orgânica para converter estes compostos em proporções variadas de gases, como o metano, dióxido de carbono, nitrogênio, entre outros. Alguns fatores como a concentração de substrato, umidade, pH, temperatura e composição microbiana interferem no desempenho do processo no biorreator, além da escolha do tipo de digestor, afetando o rendimento na produção de biogás. Todos os compostos orgânicos podem ser degradados por anaerobiose, sendo o processo de tratamento com melhor custo e benefício para este tipo de resíduos. Ainda, apresenta potencial redução da poluição ambiental e tem como produto compostos úteis, como o fertilizante orgânico e o biogás (REMPEL, 2014).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), referência sobre mudanças climáticas, principalmente no que se refere à emissão de gases como o dióxido de carbono e o metano, desenvolveu uma metodologia para calcular a emissão de gás metano, possibilitando estimar teoricamente o potencial da geração de energia (IPCC, 1996). Outra forma de estimar a produção de metano em locais de deposição de resíduos é pela estimativa por

aproximação simples, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (USEPA, 2002).

Processos térmicos - incineração/combustão, pirólise e gaseificação

Tratar o RSU com processos termoquímicos possui grande importância, pois reduz o volume do resíduo e a demanda por áreas de destinação e aproveita o potencial energético. Além disso, recicla compostos químicos e minerais e remove potenciais contaminantes do meio ambiente (STANTEC, 2011).

A incineração utiliza processos com elevadas temperaturas para a queima de RSU como combustíveis em fornos e na presença intensa de oxigênio. Após a queima, são obtidas cinzas (materiais inorgânicos) e material carbonáceo residual. As técnicas de incineração mais utilizadas são o *Mass Burning* e o *Refuse-derived Fuel*. No *Mass Burning*, a incineração dos resíduos ocorre na forma bruta, sem tratamentos prévios, com retirada de partes com maiores dimensões. Na *Refuse-derived Fuel*, os resíduos são previamente tratados, através da remoção de materiais recicláveis e de forma à heterogeneizar a massa a ser incinerada. A *Mass Burning*, por exigir menos esforços, é a mais utilizada (MACHADO, 2015).

A gaseificação corresponde a degradação térmica dos resíduos sólidos, na faixa de 500° C a 1300° C, na presença de um agente químico, que pode ser o oxigênio em condições sub estequiométricas, o ar ou o vapor de água. No processo, o principal produto é o gás de síntese (ou *syngas*), formado por monóxido de carbono e hidrogênio. O *syngas* pode ser convertido em diferentes produtos químicos, assim como em combustíveis renováveis e limpos (BASU, 2010).

Outro processo é a pirólise, que ocorre em temperaturas relativamente menores do que os processos anteriores, variando de 250° C a 700° C conforme o tipo de resultado final desejado, e na ausência de oxigênio. Seus produtos possuem elevada densidade energética, e podem ser o carvão, o bio-óleo (ou óleo pirolítico), e um gás formado por hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e metano (CHITI e KEMIHA, 2013; STANTEC, 2011).

O plasma consiste em um gás ionizado, e sua composição física é distinta dos outros estágios da matéria: sólido, líquido e gasoso, por isso é denominado como o quarto estágio da matéria. Um material sólido, conforme é aquecido, se transforma em líquido e, posteriormente, em gasoso. Com a continuidade do aquecimento, obtém-se o estado de plasma, que pode variar entre 5.000° C e 50.000° C (BARTHOLOMEU et al, 2011).

A Tabela 3 apresenta a produção de energia por tonelada de RSU para cada processo térmico, utilizando resíduo sólidos urbanos.

Tabela 3. Produção de energia por tonelada de RSU para cada processo térmico

Processo Térmico	Taxa ⁽¹⁾	Taxa ⁽²⁾	Taxa ⁽³⁾	Taxa ⁽⁴⁾
Incineração	493 kW.h/ton de RSU	523 kW.h/ton de RSU	1,3 MW.h/ton de RSU	0,7 MW.h/ton de RSU
Pirólise	518 kW.h/ton de RSU	-	-	-
Gaseificação Convencional	621 kW.h/ton de RSU	-	4,2 MW.h/ton de RSU	-
Gaseificação Plasma	740 kW.h/ton de RSU	-	-	-

Fonte: Adaptado de 1. Young (2010), 2. USEPA (2002), 3. Henriques et al (2004a), 4. Sabiá et al (2005).

Após a incineração, a quantidade do material sólido, com aspecto de cinza, varia de 12 a 30% em massa e de 4 a 10% em volume em relação ao original, estando apto para ser aterrado ou utilizado na construção civil (MORGADO e FERREIRA, 2006). O processo de gaseificação tem como vantagem uma maior redução do volume de RSU, que pode variar de 75 a 90%, produzindo de 8 a 12% de cinzas (HENRIQUES, 2004b).

METODOLOGIA

Foram levantadas as produções de RSU dos municípios de Americana, Limeira, Piracicaba e Rio Claro pelos sites oficiais dos municípios. Com as informações da composição do RSU de cada município foram usadas as fórmulas estimativas do IPCC e USEPA para estimarem a produção de biogás, e os índices de conversão de RSU em energia por diferentes processos térmicos – de diferentes autores.

De acordo com a metodologia desenvolvida pelo IPCC, é possível estimar teoricamente o potencial da geração de energia através da emissão de gás metano (IPCC, 1996). Tal potencial pode ser estimado também equação desenvolvido pela USEPA, uma que utiliza a quantidade de lixo como variável única, (USEPA, 1996). Nesse sentido, deve ser usado como uma ferramenta primária, e de acordo com a Equação 1 (USEPA, 1966):

Equação 1. Geração anual de gás metano

$$GCH_4 = Gr * QL \quad (1)$$

Sendo: GCH₄: geração anual de gás metano, em m³ por ano;

Gr: taxa de geração de gás metano, em m³ por kg de resíduos por ano;

QL: quantidade de lixo depositada no local, em kg.

A Estimativa por método do Inventário, proposta pelo IPCC, calcula a quantidade de carbono orgânico degradável, estimando a quantidade de metano produzida por certa quantidade de resíduo em suas diferentes categorias. Os cálculos são feitos de acordo com as equações (IPCC, 1996):

Equação 2. Emissão anual de gás metano

$$ECH_4 = \frac{(PU * RSD * RSDf * Lo)}{pCH_4} \quad (2)$$

Sendo: ECH₄: emissão de gás metano, em toneladas de CH₄ por ano;

PU: população urbana, em número de habitantes;

RSD: taxa de geração de RSU, em toneladas de RSU por habitante por ano;

RSDf: taxa de resíduos coletados e dispostos no aterro, em porcentagem;

Lo: potencial de geração de metano, em toneladas de CH₄ por toneladas de RSU;

pCH₄: massa específica do metano, em kg por m³.

O potencial de geração de metano (Lo) é estimado conforme a Equação 3 (IPCC, 1996):

Equação 3. Potencial de geração de metano

$$Lo = MCF * COD * CODf * F * (16/12) \quad (3)$$

Sendo: Lo: potencial de geração de metano, em toneladas de CH₄ por toneladas de RSU;

MCF: fator de correção de metano (Tabela 3);

COD: carbono orgânico degradável, em toneladas de carbono por toneladas de RSU;

CODf: fração de COD disponível, em porcentagem;

F: fração de metano contido no biogás, em porcentagem;

(16/12): fator de conversão do carbono em metano.

A Tabela 4 apresenta valores para o MCF, segundo IPCC (1996).

Tabela 4. Fator de correção do metano

Local	MCF
Adequado	1,0
Inadequado profundo (> 5 metros)	0,8
Inadequado raso (< 5 metros)	0,4

Fonte: Adaptado de IPCC (1996).

A quantidade de carbono orgânico degradável (COD) e de carbono disponível para decomposição química (COD_f) são calculadas conforme as Equações 4 e 5, respectivamente. O COD é baseado na composição do resíduo e na quantidade de carbono presente em cada componente (IPCC, 1996).

Equação 4. Quantidade de carbono orgânico degradável

$$\text{COD} = (0,4 * A) + (0,17 * B) + (0,15 * C) + (0,40 * D) + (0,3 * E) \quad (4)$$

Sendo: A: fração de papéis;

B: fração de resíduos de varrição, parques, jardins, entre outros;

C: fração de alimentos e restos de alimentos;

D: fração de tecidos;

E: fração de madeira.

Equação 5. Carbono disponível para decomposição química

$$\text{COD}_f = (0,014 * T) + 0,28 \quad (5)$$

Sendo: T: temperatura da zona anaeróbica, em graus célsius.

Baseada na Tabela 2 foram calculadas as médias para as cidades do interior do Estado de São Paulo, e assim utilizadas para os Municípios de Americana e Limeira, pois não se encontrou trabalhos publicados com esses dados. O Resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Composição média do RSU obtida por autores em diversos municípios do Estado de São Paulo

Localização	Fonte	Material Orgânico	Metais	Polímeros/ Plásticos	Vidros	Papéis	Outros
Média geral interior SP [%]	-	60,70	2,73	9,20	4,37	10,53	12,47
Piracicaba	Vessalli, Favarin Neto e Oliveira (2013)	62,50	2,58	7,52	4,87	9,06	13,47
Piracicaba	SEDEMA, 2015	45,83	1,53	1,23	19,33	11,34	20,74
Piracicaba	Mazzonetto et al, 2016	79,38	1,87	9,44	1,98	2,28	5,05
Piracicaba	Mazzonetto, Gentil e Marchetti (2019)	49,09	7,88	11,10	2,52	5,79	23,62
Média de Piracicaba [%]		59,50	4,89	7,70	6,61	7,80	13,50

Fonte: Adaptada dos autores citados na Tabela 2.

A Tabela 6 apresenta algumas informações básicas sobre os municípios do estudo.

Tabela 6. Informações básicas sobre os municípios do estudo

Município	População (hab) ⁽¹⁾	IDH ⁽¹⁾	Distância de São Paulo, capital (km) ⁽¹⁾	Área urbana (km ²) ⁽¹⁾	Área rural (km ²) ⁽¹⁾	Destinação do RSU ⁽²⁾
Americana	239.597	0,881	127	50,75	82,88	Aterros
Limeira	306.144	0,775	154	108,23	488,77	Aterros
Piracicaba	404.142	0,785	152	229,66	1147,25	Aterros
Rio Claro	206.424	0,803	173	64,32	434,102	Aterros

Fonte: Adaptado de 1. IBGE Cidades, 2. Spigolon (2015).

Para os cálculos, foram utilizadas as composições de RSU obtida por Braz (2001) para o município de Rio Claro e uma média das composições de SEDEMA (2015) e Mazzonetto et. al

(2016) para Piracicaba. Para as cidades de Americana e Limeira foi utilizada a composição média de municípios do Estado de São Paulo, de acordo com a Tabela 2, em virtude de as cidades não possuírem estudos que identifiquem a composição de RSU.

A estimativa do potencial de geração de biogás foi feita através da metodologia sugerida pelo IPCC (Método do Inventário - IPCC, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos cálculos utilizando as metodologias desenvolvidas pelo IPCC (IPCC, 1996) e pela USEPA (USEPA, 2002) foram estimados os potenciais energéticos dos resíduos sólidos urbanos nas cidades de Americana, Limeira, Piracicaba e Rio Claro, todas localizadas no interior do Estado de São Paulo.

A Tabela 7 apresenta a caracterização dos resíduos sólidos dos municípios estudados utilizadas para os cálculos. Não foi encontrado trabalho que caracterizasse o RSU dos municípios de Americana e Limeira, por isso foram utilizados valores médios, conforme explicado na Metodologia.

Tabela 7. Produção diária e composição do resíduo dos municípios de Americana, Limeira, Piracicaba e Rio Claro

Município	RSU/dia.hab (kg) ⁽¹⁾	RSU/dia (ton) ⁽¹⁾	Matéria Orgânica (%)	Metal (%)	Vidros (%)	Plásticos (%)	Papéis (%)	Outros (%)
Americana ⁽²⁾	0,85	203,32	60,70	2,73	9,20	4,37	10,53	12,47
Limeira ⁽²⁾	0,84	256,82	60,70	2,73	9,20	4,37	10,53	12,47
Piracicaba ⁽³⁾	0,85	342,06	45,83	1,53	1,23	19,33	11,34	20,74
Piracicaba ⁽⁴⁾	-	-	79,38	1,87	9,44	1,98	2,28	5,05
Média Piracicaba	0,85	342,06	62,60	1,70	5,34	10,65	6,80	12,91
Rio Claro ⁽⁵⁾	0,84	174,23	61,20	3,90	5	2,80	15	12,10

Fonte: Adaptado de 1. Spigolon (2015); 2. Média de acordo com a Tabela 2; 3. SEDEMA (2015); 4. Mazzonetto et al (2016); 5. Braz (2001).

Pelas equações do IPCC e da USEPA foram feitas estimativas da produção de biogás e consequentes gerações de energia elétrica – por moto gerador com taxa de 1,7 kW.h/m³ de biogás. Os resultados são apresentados pela Tabela 8.

Tabela 8. Estimativas de produção de biogás pelas equações do IPCC e USEPA, com respectivas gerações de energia elétrica – mensais

Município	IPCC [m ³] biogás	USEPA [m ³] biogás	IPCC MW.h/mês	USEPA MW.h/mês
Americana	2.672.866,4	1.374.687,8	4.543,9	2.337,0
Limeira	3.375.063,8	1.735.836,5	5.737,6	2.950,9
Piracicaba	4.649.599,1	2.318.764,7	7.904,3	3.941,9
Rio Claro	2.294.453,0	1.170.424,1	3.900,6	1.989,7

Fonte: Autores.

Da Rocha (2019), aplicando a metodologia do IPCC, concluiu que o aterro sanitário estudado mostrou ter resultados satisfatórios na produção de biogás e potencial para produção de energia, com característica de 65,65% de matéria orgânica, 11,11% de papéis, 2% de madeira. Os cálculos estimaram a produção energética de 2018 a 2048, com um crescimento atingindo um máximo de 101.366,8 W com a produção de 119.962,6 m³ por ano de gás metano e acúmulo de 1075,9 toneladas em 2033. Para que seja viável a recuperação energética do biogás em aterros, deve ser recebido, no mínimo, 200 toneladas de resíduos por dia, além da capacidade de 500 mil toneladas em sua vida útil (REMPEL, 2014).

Os resultados apresentados pela Tabela 8 mostram valores promissores. Entretanto, cabe lembrar que o Aterro Bandeirantes, em Perus/SP, com menos de 15 anos de exploração, está com metade dos motogeradores desligados por falta de biogás. Tal aterro é caracterizado como projeto MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), produz energia através do biogás e comercializa crédito de carbono (CORREA e JESUS, 2017). Tal exemplo, associado às diferenças significantes de m³ de biogás gerados nos municípios, evidenciam certo risco em estimar a produção de metano e de energia elétrica através de produção de biogás. Ainda, o biogás de aterro sanitário é altamente corrosivo, implicando na necessidade de frequentes manutenções nos equipamentos.

A produção de energia por processo térmico está apresentada na Tabela 9, conforme as taxas de Young (2010) e USEPA (2002). Com base nos resultados, pode-se observar que o

potencial de energia elétrica produzida é otimizado se fosse utilizada a gaseificação a plasma, com o maior potencial de geração de MW.h. Embora a estimativa do IPCC (1996) aponte o método do biogás com a maior produção de MW.h, se comparado o potencial dos processos de incineração com a produção de biogás obtida pelo método da USEPA (2002), o processo térmico com a produção de MW.h mais baixa (incineração) apresenta vantagem.

Vale ressaltar que os resultados dos processos térmicos são muito próximos do real, ao passo que a produção de biogás é uma estimativa que pode não se confirmar na prática, além do biogás não tirar a necessidade de aterro e reduzir o volume inicial de RSU em torno de 4%, isto é, mantém-se em torno de 96% do volume e massa iniciais de RSU. No caso de processos térmicos, além de resultados mais precisos, estes processos eliminam a necessidade de grandes aterros e reduzem a massa e volume do RSU entre 6 e 15% da massa inicial, além de gerar energia.

Tabela 9. Potencial de energia elétrica produzida por processos térmicos

Processo Térmico	RSU [ton]/dia Americana	MW.h/dia	MW.h/mês	RSU [ton]/dia Limeira	MW.h/dia	MW.h/mês
Incineração (USEPA)	203,32	106,34	3.190,09	256,82	134,32	4.029,51
Incineração	203,32	100,24	3.007,10	256,82	126,61	3.798,37
Pirólise	203,32	105,32	3.159,59	256,82	133,03	3.990,98
Pirólise/ Gaseificação	203,32	126,26	3.787,85	256,82	159,49	4.784,56
Gaseificação Convencional	203,32	126,26	3.787,85	256,82	159,49	4.784,56
Gaseificação a plasma	203,32	150,46	4.513,70	256,82	190,05	5.701,40

Processo Térmico	RSU [ton]/dia Piracicaba	MW.h/dia	MW.h/mês	RSU [ton]/dia Rio Claro	MW.h/dia	MW.h/mês
Incineração (USEPA)	342,06	178,90	5.366,92	174,23	91,12	2.733,67
Incineração	342,06	168,64	5.059,07	174,23	85,90	2.576,86
Pirólise	342,06	177,19	5.315,61	174,23	90,25	2.707,53
Pirólise/ Gaseificação	342,06	212,42	6.372,58	174,23	108,20	3.245,90
Gaseificação Convencional	342,06	212,42	6.372,58	174,23	108,20	3.245,90

Gaseificação a plasma	342,06	253,12	7.593,73	174,23	128,93	3.867,91
------------------------------	--------	--------	----------	--------	--------	----------

Fonte: Autores.

CONCLUSÃO

A cidade que apresentou maior potencial de geração de energia (MW.h) foi Piracicaba, em virtude de sua maior população e consequente produção de RSU/dia, seguida de Limeira, Americana e Rio Claro. Com as estimativas feitas, pode-se considerar que os municípios apresentam um bom potencial para geração de energia, tanto através da produção de biogás quanto pelos processos térmicos – mais recomendado.

Os maiores valores de MW.h foram estimados através da produção de biogás pelo método do IPCC (1996), embora o método da USEPA (2002), também para produção de biogás, tenha apontado os menores valores. Tal diferença demonstra uma estimativa imprecisa, que pode não se confirmar na prática. Os processos térmicos também apontaram valores promissores para a produção energética, sobretudo a gaseificação a plasma. Além disso, apresentam resultados mais próximos dos reais, confiáveis e reduzem o volume e massa de RSU, eliminando a necessidade de aterro sanitário.

Conclui-se que os municípios analisados possuem potencial para geração de energia elétrica renovável usando-se o RSU, e os processos térmicos apresentaram maior vantagem em relação a produção de biogás.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 1007:2004. Resíduos Sólidos Classificação. 71p. 2004.

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019*. 68, p. 2019.

AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V.; BONILLA, S. H.; SACOMANO, J. B.; GIANNETTI, B. F. Urban solid waste plant treatment in Brazil: is there a net energy yield on the recovered materials? *Resources, Cons and Rec*, v. 73, p. 143-155. 2013.

ALI, S. M.; PERVAIZ, A., AFZAL, B.; HAMID, N.; YASMIN, A. Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. *Journal of King Saud University – Science*, 26, p. 59-65. 2014.

ALKMIN, D. V.; RIBEIRO JUNIOR, L. U. Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) do lixão do município de Maria da Fé, Estado de Minas Gerais. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia. v. 18, n. 61, p. 65 – 82. 2017.

BARTHOLOMEU, D. B. et al. *Logística ambiental de resíduos sólidos*. São Paulo: Atlas S.A. 2011. 250 p.

BASU, P. *Biomass Gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Burlington: Elsevier, 2010.

BEZERRA, C. B.; CAMPOS, K. F S. Avaliação da gestão e composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de Manairá - PB. *Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*. V. 5, n. 16, p. 01-23. 2019.

BORGES, B. R. *Análise e avaliação de riscos em sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos*. Contribuição para a implementação de um plano de segurança. Tese de Doutorado. Portugal: Universidade do Minho, 2017. 229 p.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.

BRAZ, J. A.; SILVA, C. L. *Avaliação do potencial energético de aterro gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

BUTT, T. E.; GOUDA, H. M.; BALOCHD, M. I.; PAUL, P.; JAVADI, A. A.; ALAM, A. Literature review of baseline study for risk analysis — *The landfill*. *Environment International*, 2014. P. 149-162.

CHHITI, Y.; KEMIHA, M. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. *The Int Journal of Eng and Science*, v. 2, n.3 p. 75-85. 2013.

CORREA, R. E.; JESUS, E. L. DE. *Geração de créditos de carbono em aterro sanitário provenientes de resíduos sólidos urbanos no município de Piracicaba - SP*. Trabalho de Graduação. FATEC: Piracicaba, 2017.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas SP*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2003. 129 p.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 18/14. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos urbanos. *Série Recursos Energéticos*. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro. 50 p. 2014.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. *Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163 p.

FRÉSCA, F. R. C. *Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2007. 134 p.

HENRIQUES, R. M; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. da. *Geração de energia com resíduos sólidos urbanos: análise custo benefício*. IVIG-COPPE/UFRJ. 2004a.

HENRIQUES, R. M. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Tese, COPPE/UFRJ. 2004b. 189 p.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a Whaste - A Global Review of Solid Waste Management. Washington: Urban Development & Local Government Unit - World Bank. 2012. Em: Borges, B. R. *Análise e avaliação de riscos em sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos*. Contribuição para a implementação de um plano de segurança. Tese (Doutorado). Portugal: Univ. do Minho. 2017. 229 p.

IBGE Cidades. Disponível em : <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba/panorama>. Acessado em: 23 de maio de 2020.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos urbanos*. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. 82 p.

IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANG. Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual Vol. 3. 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf> . Acessado em: 23 de maio de 2020.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. *Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios de sustentabilidade*. Estudos Avançados, v. 25, n. 71. 2011.

KIM, V. J. H. *Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP)*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: UFSCar. 196 p. 2019.

MACHADO, C. F. *Incinerção: uma análise do tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP*. Rio de Janeiro: UFRJ. Escola Politécnica. 2015.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência européia. *Eng Sanitária e Ambiental*, 2015. 7 p.

MAZZONETTO, Alexandre Witier; GENTIL, Maria Cláudia Garcia; MARCHETTI, Rebeca. Gestão do aproveitamento de resíduos recicláveis e não recicláveis de um condomínio – estudo de caso. *Bioenergia em revista: diálogos*, ano 9, n. 1, p. 62-86, 2019.

MAZZONETTO, A. W.; ROCHA, D. C.; OLIVEIRA, D. F. G. DE S.; SILVA, P. L. DA. Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano de Piracicaba para produção de biogás. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, ano 6, n. 1, p. 47-75. 2016.

MORGADO, T. C., FERREIRA, O. M. *Incinerção de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia*. Estudo para a região metropolitana de Goiânia. PUC Goiás. 2006. Disponível em: http://web-resol.org/textos/incineracao_de_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acessado em 12 de junho de 2020.

NEVES, F. DE O. *Gestão pública de resíduos sólidos urbanos: problemática e práticas de gestão no oeste paranaense*. Tese (Doutorado). UFPR: Curitiba, 2013. 279 p.

PIEIDADE, M.; AGUIAR, P. *Opções de gestão de resíduos urbanos - Série Guias Técnicos 15*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. 2013.

REMPEL, N. *Biodigestão anaeróbica da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos consorciado com glicerina*. Dissertação (Mestrado). Unisinos 2014. 107 p.

ROCHA, R. R. da. *Potencial de geração de energia elétrica procedente do biogás oriundo dos resíduos sólidos urbanos no município de São Luiz Gonzaga/RS*. Tese (Graduação). UNIJUÍ: Ijuí. 2019. 59 p.

SABIÁ, R. J.; DUARTE, P. H. G.; MARTINS, M. C. B.; JÚNIOR, F. T. A. Estudo da geração de energia a partir de resíduos sólidos. *23º Congresso Bras de Eng Sanitária e Ambiental*. 2005.

SEDEMA. Revisão PMGIRS-2019. Anexo 19. Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos. Versão Completa. 76 p. 2015. Disponível em: https://130d0c4c-ab3e-edc8-1080-4d80417aba96.filesusr.com/ugd/9804b1_c3c16b9944874c4dbb6552b9f0c578ef.pdf. Acessado em: 23 de maio de 2020.

SPIGOLON, L. M. G. *A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários*. (Doutorado) USP: São Carlos. 2015. 217 p.

STANTEC . *A technical review of municipal solid waste thermal treatment practices* - final report. Bumbaby, BC. 2011. Disponível em: https://static1.squarespace.com/static/57f5a79e6a49633bcbec59be/t/5867c767d2b857fd0d17fb04/1483196275650/Etude_technique.pdf Acessado 19 de maio de 2020.

TRENTIN, A. W. S.; BRAUN, A. B. RODRIGUES, A. L.; LOPES, D. A. R. Estudo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em Santa Cruz do Sul, Brasil. *Revista de Ciências Ambientais. Canoas*, v. 3, n. 1, p. 07-14. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. USEPA. 2002.

VAN ELK, A. G. H. P. *Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: redução de emissões na disposição final*. Coordenação de Karin Segala – Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

VESSALLI, B. A.; NETO, H. F.; OLIVEIRA, L. H. A. *Caracterização do Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município De Piracicaba*. TCC (Graduação – Tecnologia) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba, Tecnologia em Biocombustíveis, junho de 2013.

YOUG, G. C. *Municipal Solid Waste to energy conversion processes: economic, technical and renewable comparison*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, 2010. 304 p.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. *Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia*. EdUFSCar, São Carlos: SP. 2004.

1 MAZZONETTO, Alexandre Witier. Possui Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leito fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

2 CARBONI, Rafael Willians. Possui graduação em Tecnologia em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” (2020) e graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Anhanguera de Piracicaba (2013). Atualmente é analista de programação agroindustrial junior - RAÍZEN Energia.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.
GAZILLO, Anderson Montenegro

Resumo

O mundo busca por soluções para a redução dos gases de efeito estufa na atmosfera. Um dos caminhos para viabilizar essa transição energética é através do uso do hidrogênio verde. O Brasil é um país que possui grandes vantagens e o porto do Pecém no Ceará em específico, possui uma localização estratégica, com incentivos tributários diferenciados, elevado fator de produção dos parques geradores eólicos, além de conexão com portos de maiores movimentações da União Europeia. Diante disso, o objetivo geral do trabalho é discutir o potencial do hidrogênio verde no comércio internacional para o estado do Ceará. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, descritiva, com uso de dados secundários. Foram utilizados dados por meio de pesquisas bibliográficas nas bases Google acadêmico, Google livros, EbscoHost e base CAPES. Verificamos que são diversos os investimentos em projetos de empresas internacionais que ultrapassam bilhões no Estado do Ceará, mostrando assim, o grande potencial de exportação do hidrogênio verde no comércio internacional. Nós concluímos que estado do Ceará é o local no Brasil com maiores investimentos de empresas estrangeiras e planos crescentes para produção do hidrogênio verde, podendo, desta forma, identificar seu grande potencial futuro, que contribuirá com a estratégia global de transição energética e descarbonização da economia, assim como ampliará as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos e renda no Ceará.

Palavras-chave: Energias renováveis, Hidrogênio verde, Comércio exterior.

Abstract

The world is looking for solutions to reduce greenhouse gases in the atmosphere. One of the ways to make this energy transition viable is through the use of green hydrogen. Brazil is a country that has great advantages and the port of Pecém in Ceará in particular, has a strategic location, with differentiated tax incentives, high production factor of wind generator parks, in addition to connection with ports with greater movement in the European Union. In view of this, the general objective of the work is to discuss the potential of green hydrogen in international trade for the state of Ceará. This is a qualitative and descriptive research, using secondary data. Data were used through bibliographical research in Google academic databases, Google books, EbscoHost and CAPES database. We verify that there are several investments in projects by international companies, which exceed billions in the State of Ceará, thus showing the great potential for exporting green hydrogen in international trade. We concluded that the state of Ceará is the place in Brazil with the largest investments by foreign companies and growing plans for the production of green hydrogen, thus being able to identify its great future potential, which will contribute to the global strategy of energy transition and decarbonization of the economy, as well as expand national and international business opportunities and the generation of jobs and income in Ceará.

Keywords: Renewable energy, Green hydrogen, Foreign trade.

Resumen

Bioenergía em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

El mundo está buscando soluciones para reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Una de las formas de viabilizar esta transición energética es mediante el uso de hidrógeno verde. Brasil es un país

que tiene grandes ventajas y el puerto de Pecém en Ceará en particular, tiene una ubicación estratégica, con incentivos fiscales diferenciados, alto factor de producción de parques eólicos, además de conexión con puertos de mayor movimiento en la Unión Europea. Frente a eso, el objetivo general del trabajo es discutir el potencial del hidrógeno verde en el comercio internacional para el estado de Ceará. Se trata de una investigación cualitativa, descriptiva, utilizando datos secundarios. Los datos fueron utilizados por medio de pesquisa bibliográfica en las bases de datos académicas de Google, Google books, EbscoHost y base de datos CAPES. Verificamos que existen varias inversiones en proyectos de empresas internacionales, que superan los miles de millones en el Estado de Ceará, mostrando así el gran potencial de exportación de hidrógeno verde en el comercio internacional. Concluimos que el estado de Ceará es el lugar de Brasil con mayores inversiones de empresas extranjeras y crecientes planes para la producción de hidrógeno verde, pudiendo así identificar su gran potencial futuro, que contribuirá a la estrategia global de transición energética. y descarbonización de la economía, así como ampliar las oportunidades de negocios nacionales e internacionales y la generación de empleos y renta en Ceará.

Palabras clave: Energías renovables, Hidrógeno verde, Comercio exterior.

INTRODUÇÃO

O hidrogênio atualmente foi reconhecido como um combustível alternativo, com uma promessa de grande contribuição para a transição energética e essencial no processo de descarbonização e tem atraído a atenção não só de pesquisadores como também de governos. Quando produzido por uma fonte renovável, o hidrogênio pode possibilitar um sistema de energia não poluente mais seguro e econômico (BARROSO et al., 2021)

O gás hidrogênio pode ser empregado em diversas cadeias industriais, como no refino do petróleo, na produção de aço e fertilizantes, no processamento de alimentos e nos transportes (CAPURSO, 2022). Além disso, o gás hidrogênio pode ser usado como um instrumento de armazenamento de energia elétrica renovável (eólica e solar), capaz de ser transportado (no estado sólido, líquido, gasoso e ou via produtos químicos) em longas distâncias, criando conexões entre oferta e demanda, e aumentando a flexibilidade do sistema energético. Este composto tem a capacidade de atuar como um integrador entre a produção de energia elétrica e o seu uso industrial (ABDIN et al., 2020).

Essas características, somadas a expressivas reduções nos custos das fontes de energia renováveis e expectativas de reduções para eletrolisadores, resultam em um contexto político, econômico e de negócios completamente novo para esse setor (CHAVES et al., 2022).

Desta forma, o hidrogênio verde é apontado como a maior aposta para uma produção industrial mais sustentável e o Brasil é um país que possui grande potencial para a geração de hidrogênio verde, justificado pela diversificação de energias renováveis produzidas no país e considerável fração destas na matriz energética, além de possuir expectativas significativas para a capacidade de crescimento da área. Estima-se que, em 2050, a matriz elétrica brasileira terá uma participação de energias renováveis equivalente a 84%, sendo 56,7% proveniente de fonte hidráulica e 27,3% de outras fontes, como biomassa, eólica e solar (GÓES, 2021).

Exemplificando esse crescimento brasileiro, tem-se o anúncio do projeto-piloto para a implementação da primeira usina de hidrogênio verde do país, divulgado em 2021 e que terá suas instalações no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no estado do Ceará. Sendo assim, os países e cidades que têm baixos custos de produção de energias renováveis possuem vantagens competitivas que podem viabilizar suas especializações na produção e exportação de hidrogênio. Ou seja, os países podem optar por exportar hidrogênio e ou criar um *cluster* industrial associado à produção de hidrogênio (GÓES, 2021).

Desse modo, esse estudo busca preencher uma lacuna na literatura com atualizações sobre a temática, pois, apesar de existirem trabalhos na área da economia, engenharia mecânica, elétrica, de produção, comércio, entre outros, a cada dia o assunto se torna mais relevante e as informações sobre a importância, avanços, pesquisas, capitais, empresas investidoras, projetos do governo etc., estão em constantes atualizações nas diversas plataformas de pesquisa, podendo ser de grande valia o preenchimento e sintetização de novas informações na literatura.

Diante do exposto, tendo em vista que os países que conseguirem reduzir ao máximo a participação de fontes fósseis nas suas matrizes energéticas, e dominarem as tecnologias de geração de energia por fontes renováveis, certamente ocuparão papel de liderança no processo de transição energética rumo a uma economia global, que poderá gerar enormes oportunidades de investimentos, tributos, emprego e renda. Assim, este estudo se justifica a aprofundar os conhecimentos sobre a temática, tendo como pergunta norteadora: qual o impacto do hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará?

O objetivo geral do trabalho é discutir o potencial do hidrogênio verde no comércio internacional para o estado do Ceará. A pesquisa tem, ainda, os seguintes objetivos específicos: 1) discutir a importância do hidrogênio verde para o comércio internacional; 2) demonstrar as estratégias e pontos fortes do Brasil como exportador do hidrogênio para o comércio internacional; 3) identificar os projetos e investimentos para produção do hidrogênio e, 4) verificar os planos e avanços do comércio de hidrogênio verde no Estado do Ceará.

Nesse momento de transição de governo no Brasil, onde a preocupação com o meio ambiente é um tema muito presente nos encontros entre os líderes dos países, tem-se buscado encontrar maneiras alternativas e não poluentes de contribuir para a desaceleração e riscos ao nosso ecossistema, ao mesmo tempo em que, também é fundamental contribuir para o aumento da economia e do comércio no país, visando, assim, uma combinação entre o hidrogênio verde e o comércio internacional para englobar dois fatores fundamentais no contexto atual. Inclusive, em novembro de 2022 houve a COP 27, onde foi discutido novamente pelos líderes mundiais sobre a preocupação com o meio ambiente e os meios de reduzir os gases de efeito estufa, propostas de desenvolvimento sustentável e fundos para compensar danos causados por desastres climáticos (CASTRO; LEAL, 2022). As alterações no regime de chuvas e temperaturas, a falta de avanços relacionados à redução de gases de efeito estufa, as mudanças de uso e cobertura do solo associadas ao desmatamento, fogo (incêndios), expansão de atividades agrícolas e pecuária, são exemplos de fatores preocupantes nessas reuniões de cúpula mundial, tendo em vista que afetam não somente as mudanças climáticas, mas também a biodiversidade (GARCIA, 2022).

Ressalta-se, ainda, como relevância contextual, que as empresas estão preocupadas, independentemente da conjuntura econômica originada pela Pandemia da COVID-19, com a sua responsabilidade socioambiental, ou seja, repensar o modelo de negócio atual e trabalhar para uma recuperação econômica mais sustentável (GIZ, 2021). Além disso, ainda existem os recentes conflitos entre Rússia e Ucrânia que aumentaram os preços de energia devido às incertezas nos mercados globais de petróleo e gás, tornando assim os preços da energia insustentáveis para grande parte da população, sendo necessário um meio de baratear a energia para população. Espera-se que este trabalho tenha relevância prática, auxiliando não somente as empresas produtoras e exportadoras do hidrogênio, bem como os demais atores da cadeia exportadora, tanto da esfera governamental federal e estadual, mas também pesquisadores da temática, bancos e empresários investidores na área da energia e governantes que identifiquem a importância do hidrogênio verde e seu papel potencializado da economia do país. Como relevância social, identifica-se o barateamento das energias renováveis associado aos avanços tecnológicos, que estão provocando uma verdadeira revolução econômica.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Hidrogênio Verde

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante na Terra e só pode existir em combinação com outros elementos como a água e o oxigênio, além de se combinar com o carbono para formar hidrocarbonetos, como o gás natural, o carvão e o petróleo. Para que ele possa ser usado como combustível, precisa ser separado de outras moléculas (BONACIN, 2022).

Apesar de abundante, 93% dos átomos do universo, o hidrogênio é muito raramente encontrado na natureza em sua forma pura (LAMEIRAS, 2019). Seu uso como combustível é interessante por alguns motivos; sua combustão, que é essencialmente uma reação química entre hidrogênio gasoso e oxigênio, gera apenas água no processo que também, pode ser “quebrada” em hidrogênio e oxigênio. Dessa forma, é um combustível que pode ser gerado de elementos abundantes (água e oxigênio) e que, ao ser utilizado, gera um produto não poluente e de alto valor (FREITAS, 2022).

De acordo com o Brasil (2021b), o hidrogênio é um elemento químico com grande potencial energético. Se comparado, por exemplo, com o diesel, esse potencial pode ser três vezes superior, ou seja, 1 kg de hidrogênio gera um volume de energia equivalente a três vezes o conteúdo energético de 1 litro de óleo diesel.

Conforme a sua forma de obtenção e de seus níveis de produção de CO₂, ele pode ser classificado por cores, desde as formas mais poluentes até as com poluição zero, como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação do hidrogênio por cores

Tipo	Caracterização
Hidrogênio Marrom	O hidrogênio marrom é obtido através da gaseificação do carvão mineral, sem a captura do carbono, sendo assim ele é considerado agressivo para o meio ambiente
Hidrogênio Cinza	O hidrogênio cinza é o produzido através da reforma a vapor do gás natural, e também sem a captura do carbono, então ele também é considerado nocivo ao meio ambiente
Hidrogênio Azul	O hidrogênio azul é obtido através da reforma a vapor de combustíveis fósseis, porém com a captura e reutilização do carbono, então ele já é mais eficiente comparado ao cinza e ao marrom.
Hidrogênio Branco	É produzido através da extração do hidrogênio natural, ou geológico.
Hidrogênio Turquesa	Produzido através da pirólise do metano e não gera emissão de carbono
Hidrogênio Verde	O hidrogênio verde é produzido através da eletrólise da água, com a eletricidade utilizada para a eletrólise proveniente de fontes renováveis. Possui zero ou baixa emissão de carbono
Hidrogênio Musgo	Produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão anaeróbica.
Hidrogênio Rosa	Produzido através da eletrólise, porém a energia utilizada é a partir de fontes de energia nuclear.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2021a)

Como pode ser observado, das oito cores demonstradas, uma delas, a verde, é produzida de forma “limpa”, sendo proveniente de energia renovável. Logo, o termo ‘verde’ significa que o hidrogênio é produzido por zero emissão ou baixa emissão de carbono” (DEWAN, 2019). Outro que também é produzido de forma limpa é o hidrogênio branco, sendo este tipo de hidrogênio produzido pela gasificação de resíduos de plástico, biomassa e rejeitos de carvão, porém ele é pouco mencionado pela mídia (ZANCAN, 2022).

O hidrogênio verde é obtido a partir da quebra de moléculas que contêm H₂ em sua composição, mas difere do chamado hidrogênio cinza, por exemplo, já amplamente utilizado na indústria petroquímica e na produção de fertilizantes à base de amônia, que utiliza fontes fósseis, principalmente gás natural (ANDRADE, 2022).

O sistema de produção de hidrogênio verde demanda altos investimentos, visto que a única forma de conseguir a energia para manter o eletrolisador é através de energias renováveis. Caso não sejam utilizadas as energias renováveis o hidrogênio deixaria de ser considerado “verde” já que dependeria de uma forma poluente para manter o eletrolisador ligado (BARROSO et al., 2021).

A produção do hidrogênio através da decomposição da água é uma das formas mais limpas de produção do hidrogênio verde, uma vez que, a eletricidade necessária advém de uma fonte renovável de energia como solar, eólica, maremotriz, geotérmica, entre outras (SOUSA, 2022).

O hidrogênio pode ser utilizado como matéria-prima, combustível ou transportador e armazenamento de energia, e tem muitas aplicações possíveis nos setores de indústria, transporte, energia e edifícios. Mais importante ainda, ele não emite dióxido de carbono e causa pouca ou nenhuma poluição do ar quando em uso. Assim, oferece uma solução para descarbonizar processos industriais e em setores econômicos, em que a redução das emissões de carbono é difícil de alcançar (BEZERRA, 2022).

1.2 Hidrogênio Verde e o Comércio Internacional

O hidrogênio com baixo teor de carbono pode ser um dos impulsionadores da próxima fase das transições de energia limpa da América Latina. O Chile tem a ambição de produzir e exportar o hidrogênio mais competitivo do mundo a partir de eletricidade renovável até 2030, e muitos países da América Latina, inclusive o Brasil, compartilham as condições que podem tornar a região uma líder global na produção de hidrogênio de baixo carbono (IEA, 2021).

No Brasil, a exploração do hidrogênio teve início na década de 1970, quando os sucessivos choques do petróleo tornaram evidentes os impactos da dependência dos combustíveis fósseis, motivando a busca por novas fontes de energia. Nesse sentido, em 1975, foi criado o Laboratório de Hidrogênio (LH₂), sediado na Universidade de Campinas (Unicamp), em São Paulo (GÓES, 2021).

Naquele momento, a pesquisa em torno do hidrogênio centrava-se na viabilidade de seu uso em motores à combustão. Todavia, com o fim da crise do petróleo e a sua consequente queda de preço, os projetos desenvolvidos foram descontinuados (ANDRADE; LORENZI, 2015).

O futuro hidrogênio verde brasileiro deve ser capaz não só de suprir outros países em suas necessidades, mas, principalmente, o Brasil, beneficiando suas indústrias e sua economia com um energético limpo e competitivo. Para isso, entende-se como mais do que oportuno que no país se

iniciem as reflexões sobre como desenvolver física, técnica, comercial e reguladoramente essa indústria (DELGADO et al., 2021).

Especialistas acreditam que, até 2030, o Brasil terá uma posição de destaque nesse mercado, porém, em um período entre dois e quatro anos, o país já será capaz de gerar uma produção significativa de hidrogênio verde, sendo um dos desafios a redução de custos, já que sua obtenção é quatro vezes mais cara que a do hidrogênio convencional (BONACIN, 2022).

A estratégia do Brasil como futuro exportador de hidrogênio (inclusive o verde) está calcada não só na disponibilidade de vários recursos energéticos dispersos geograficamente no seu território, mas também em um momento oportuno de sérias mudanças de paradigmas em relação ao uso dos hidrocarbonetos como impulsionadores principais da economia global (DELGADO et al., 2021).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2021b), é possível observar ações de políticas públicas relevantes para a implementação da cadeia de produção do hidrogênio a partir do início dos anos 2000, com a criação do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a economia do hidrogênio.

Em 2022, já se tem dois marcos importantes que afetam o setor de hidrogênio: a publicação do Decreto no 11.075, de 19 de maio de 2022, criando o mercado regulado de carbono no Brasil e o Projeto de Lei (PL) no 725/2022, que inclui o hidrogênio como fonte energética na matriz brasileira e estabelece metas para a sua inserção nos gasodutos nacionais, sendo adicionado até 2032 o percentual mínimo de 5% de hidrogênio na rede de gasodutos, e 10% até 2050. Dentro desses percentuais, 60% deve ser hidrogênio sustentável – de fontes energéticas como solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica até 2032, com aumento de participação de 80% até 2050 (IPEA, 2022).

Além do desenvolvimento de estratégias nacionais, a relevância da cooperação internacional para o desenvolvimento de projetos também é reafirmada a partir da experiência latino-americana. Destaca-se, nesse contexto, o papel da Alemanha, que vem desenvolvendo parcerias energéticas bilaterais (RAMOS et al., 2022).

Uma parceria energética entre Brasil e Alemanha foi relançada em 2017, com ênfase na diversificação da matriz elétrica, modernização do setor e descarbonização. A partir de 2020, com o lançamento da Estratégia Alemã para o Hidrogênio, o Brasil iniciou uma análise voltada para identificação de possibilidades de cooperação com a Alemanha, sobretudo relativas à oferta de hidrogênio verde para atendimento à demanda futura do país europeu. Nesse âmbito, o Estudo de Mapeamento Setorial do Hidrogênio Verde no Brasil foi lançado em 2021, com o objetivo de identificar os principais agentes envolvidos na cadeia de valor do hidrogênio no Brasil e as oportunidades correlatas (BRASIL, 2021b).

Os investimentos anunciados para a construção de usinas de hidrogênio verde no Brasil variam em localização e estão concentrados principalmente nos portos - Pecem no Ceará; Suape, Pernambuco, e Açu, no Rio de Janeiro. O porto do Pecem no Ceará, em específico, possui localização estratégica em uma zona de processamento de exportação, com incentivos tributários diferenciados, além de conexão com o porto de Roterdã, na Holanda – o maior porto marítimo da Europa –, e de disponibilidade de energia renovável. O porto de Roterdã é um sistema que combina produção e consumo de H₂V e infraestrutura para distribuição aos demais países da Europa. Tendo

como principais atividades: dutos que irão até a Bélgica e a Alemanha, parque de produção, terminal de importação, eletrolisadores de 150 MW (Megawatts) a 250 MW, com fluxo de 20 Mt (milhões de toneladas) de H2V até 2050, para tanto é necessária cooperação internacional para garantir uma cadeia de valor bem-sucedida de importação/exportação (IPEA, 2022).

Particularmente para o Ceará, já foram assinados diversos protocolos de intenção entre o Governo do Estado e *players* internacionais e nacionais interessados em investir na cadeia produtiva do hidrogênio, sendo que a intenção é elevar o Ceará a uma posição de destaque no que se refere a energias renováveis no país (SILVA, 2022).

Entre outros, no Brasil, há 23 complexos *offshore* com processos abertos de licenciamento no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que totalizam 46,6 GW (Gigawatt) de potência instalada. Os portos com eólicas *offshore* são modelos preferidos para H2V no Brasil, pois os *clusters* industriais costeiros podem ser portais para a construção de *hubs* de hidrogênio. Sendo assim, são diversas as oportunidades do uso interno e do comércio internacional do H2V (IPEA, 2022).

1.3 Pesquisas em Hidrogênio Verde

Na área da engenharia de produção, Freitas (2022) identificou, por exemplo, que o Brasil se beneficia de sua matriz energética num contexto de transição energética mundial, afirmando, ainda, que o país possui um grande potencial de ser um exportador de hidrogênio verde mundialmente e especificamente para a União Europeia, independentemente da configuração que fizer para a produção do hidrogênio. Silva (2022), na área de engenharia elétrica, analisou que com a expectativa de escassez do petróleo, existe a necessidade de um novo combustível para sucedê-lo no mercado, tornando o hidrogênio um elemento crucial para este feito. No entanto, ressalta que é imprescindível um melhoramento nos métodos de transporte e armazenamento do hidrogênio sendo necessário diminuir os custos dos eletrolisadores. Entretanto, os problemas com transportes seriam reduzidos, se aplicada a produção através da geração distribuída. Da engenharia mecânica, Sousa (2022), identificou o grande potencial do Ceará como um todo para geração de hidrogênio verde e percebeu que há recursos suficientes para implementação desta tecnologia, uma vez que, no Estado existem diversos recursos renováveis do para geração de hidrogênio verde.

Barroso et al. (2021) constataram que no cenário mundial, o Brasil, por ser um país que já utiliza fontes renováveis de energia, apresenta-se como sendo uma potência para o desenvolvimento dessa nova tecnologia energética sustentável, tanto para o uso interno (pequenas centrais de energias e transporte de passageiros), como para exportação, onde país como Alemanha, já procuram fornecedores brasileiros. Ramos (2022) relatou que outro ponto que deve ser desenvolvido é o do financiamento em longo prazo para a produção de H2V e para reconversão industrial. Um modelo de financiamento semelhante ao utilizado para o desenvolvimento das renováveis na década passada pelo BNDES poderá ser adotado com aperfeiçoamentos. Giz (2021) fez um mapeamento da indústria e dos principais atores acadêmicos e institucionais como uma preparação de um *roadmap* brasileiro de hidrogênio verde. Neder (2022) identificou que o BNDES vai entrar no apoio à produção do hidrogênio verde, sendo oferecidos empréstimos para produção tanto destinada ao comércio nacional, quanto o comércio internacional.

Na área da economia, Lã Branca (2021) constatou que existem poucas alternativas ou nenhuma que podem funcionar tão bem como o hidrogênio verde em se tratar de descarbonização da economia, sendo esse o principal fator para redução de gases com efeito estufa e crescimento da economia. Ainda diante da economia, Delgado e Costa (2021) retratam que é importante atentar para a progressão das rotas de hidrogênio, haja vista o “desenvolvimento tecnológico ainda necessário para sua plena competitividade que aparenta ser essencial para possibilitar uma futura mudança de paradigma: de uma economia de combustíveis fósseis para uma economia global do hidrogênio”.

O IPEA (2022), a partir do panorama do hidrogênio no Brasil, identificou que o Brasil está em um grande momento para o hidrogênio como vetor energético, com previsão de investimentos nos próximos anos que já somam mais de US\$ 27 bilhões. Assim, também, Nadaleti, Santos e Lourenço (2020) apresentam o potencial e a viabilidade econômica da produção de hidrogênio, a partir do aproveitamento da energia excedente de hidrelétricas e eólicas no Brasil.

Pode-se verificar que são diversas as vertentes dispostas a analisar e descrever sobre o hidrogênio verde. Diante do contexto que vivemos em relação ao clima e das condições socioeconômicas apresentadas mundialmente, esse assunto traz o frescor da inovação. São diversos os pesquisadores interessados na área, sendo benéfico não só para colaborar na construção do conhecimento, como também incentivar o desenvolvimento de novas descobertas na temática, e induzir a produção e exploração de novos contextos.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa é do tipo teórico-empírica (Demo, 2000), qualitativa (COLLIS; HUSSEY, 2005), descritiva (DEMO, 2000), de corte transversal (WOOLDRIDGE, 2010), bibliográfica (LAKATOS; MARCONI, 2002), com utilização de dados secundários, pois envolve argumentos e métodos teóricos, por meio da literatura, examinando evidências baseadas em dados e resultados empíricos, coletados de forma sistemática.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados dados secundários, extraídos de publicações da área de comércio exterior e economia. A coleta de dados foi obtida a partir de dados coletados nas bases de consulta Google acadêmico, Google livros, EbscoHost e base de dados CAPES, além de entrevistas do *Youtube* e palestra com *expert* na área de hidrogênio verde. Foram utilizadas as palavras chaves a seguir: “energias renováveis”, “hidrogênio verde”, “comércio brasileiro”, “comércio internacional” e “comércio exterior”.

Com base no estabelecimento de critérios para a inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura, os parâmetros utilizados para a inclusão dos artigos eram: artigos originais, no idioma português, inglês e espanhol, publicados nos últimos cinco anos (2017-2022), disponíveis na íntegra nas bases de dados selecionadas, capítulos de livros, teses, monografias, dissertações, trabalhos de conclusão de cursos na íntegra.

Para a coleta de também foram utilizadas informações por meio do *Youtube*, extraídas de entrevistas, coletadas nos meses de setembro e outubro 2022, referentes à energia vinda do hidrogênio, e hidrogênio verde e suas relações com o comércio no Brasil e em especial no Ceará,

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.
Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará
 FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

e, ainda, mediante palestra realizada no dia 07 de dezembro de 2022, ministrada por *expert* na área do hidrogênio verde. Os vídeos e a palestra foram especificados conforme Quadro 2:

VÍDEO	TÍTULO	TEMPO DE DURAÇÃO	DATA	ENTREVISTADOS
Vídeo 1 (V1)	O que é hidrogênio verde?	4min.29seg.	27/08/2022	E1 – Henri Ozi Cukier (cientista político e professor)
Vídeo 2 (V2)	Hidrogênio verde: Ceará possui primeiro pré-contrato para usina.	57min25seg	16 de agosto de 2022	E1) Constantino Frate (Assessor da secretaria executiva da indústria da Secretaria de Desenvolvimento do Ceará) (E2) - Lucio Bonfim (Sócio diretor da Bio Energia) (E3) - Carlos Alberto Nunes (gerente comercial da TC Terminais Portuários Ceará)
Vídeo 3 (V3)	“Energia por Hidrogênio	14min18seg	06 de setembro de 2019.	Entrevistado (E1): Edson Antônio Ticianelli (Pesquisador Eletroquímica)
Vídeo 4 (V4)	Hidrogênio verde: Fundamentos e Perspectivas Brasileiras	2h05min38seg	14 de março de 2022	(E1) - Luiz Augusto H. Nogueira (Coordenador BIOEN - Consultor em estudos energéticos para a Comissão Econômica das Nações Unidas) (E2) - Jamil Haddad (Engenheiro electricista – Professor voluntário)
Palestra 1 (P1)	Ceará a casa do hidrogênio verde no Brasil	-----	07 de dezembro de 2022	Palestrante (P1) – Francisco de Queiroz Maia Junior (Engenheiro Civil – Secretário do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado do Ceará)

Quadro 2: Vídeos e Palestra

Fonte: Autores.

A pesquisa foi analisada por meio da técnica de análise de conteúdo (BARDIN, 2016), a qual se pode aplicar em discursos diversos e a todas as formas de comunicação, seja qual for à natureza do seu suporte, estruturadas em três fases: 1) pré-análise; 2) exploração do material, categorização ou codificação; 3) tratamento dos resultados, inferências e interpretação. As análises foram subdivididas quatro categorias, selecionadas, mediante a leitura prévia do material bibliográfico: (1) importância do hidrogênio verde para o comércio internacional; (2) as estratégias da produção do hidrogênio verde para comercialização e pontos fortes do Brasil como exportador do hidrogênio; (3) investimentos no comércio internacional do hidrogênio verde; e (4) os planos e avanços do comércio de hidrogênio verde no Ceará.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Importância do Hidrogênio Verde para o Comércio Internacional

Partindo do hidrogênio produzido por meio da eletrólise com uma fonte energética renovável, a primeira possibilidade seria a utilização deste para suprir possíveis demandas do *grid*, isto é, a “reeletrificação” em momentos de pico. Entretanto, considerando que há outras formas mais interessantes de utilização do ponto de vista industrial e químico e possíveis questões de eficiência energética, considera-se a utilização no setor de energia não será tão usual (FREITAS, 2022).

Por sua vez, Bezerra (2021) identifica que a utilização em outros setores apresenta maiores demandas e potencial de escalabilidade. O hidrogênio verde pode ser usado como matéria-prima, combustível ou transportador e armazenamento de energia, e tem muitas aplicações possíveis nos setores de indústria, transporte, energia e edifícios.

No setor de transportes, pode ser utilizado tanto para produção do metanol e posterior produção de “e-combustível”, quanto utilizado diretamente por células de combustível, ampliando a possibilidade de uso por diferentes modais. Estas últimas apresentam no momento custos que não são competitivos com alternativas do mercado, mas que reduziu cerca de 70% desde 2008 e pode reduzir em mais 70% com economias de escala (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

No V3, E1 afirma que comparando a quilometragem feita nos combustíveis atuais, com o Hidrogênio “*os 8km/L de etanol podem virar até 20km/L de rodagem nos veículos com o hidrogênio*”.

Porém, sua utilização apresenta alguns entraves: os combustíveis sintéticos são caros de produzir, perdem muita energia desde a produção até o consumo e ferozmente exigem mais cuidado no manuseio do que os combustíveis líquidos usuais (FREITAS, 2022).

E1 no V1 ainda acrescenta “*O maior problema hoje da aplicação desse tipo de sistema, são os custos, que estão associados à curta durabilidade dos sistemas, então pesquisas precisam ser feitas para melhorar os aspectos em relação à durabilidade e ao menor uso de catalizadores que possuem alto custo*”.

No setor residencial, pode ser utilizado para aquecimento utilizando a infraestrutura de gás natural existente (atualmente a percentagem de H₂ misturado com gás natural é limitada). No setor industrial, pode ser utilizado para a fabricação de aço, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa desse processo (BHASKAR et al., 2020).

Entretanto, o maior potencial de uso do hidrogênio encontra-se na agricultura: ele pode ser usado para sintetizar amônia junto com nitrogênio no processo Haber-Bosch, onde moléculas de nitrogênio e hidrogênio reagem para formar amônia (Capdefila-Cortada, 2019) ou em algum outro produto similar a este amplamente utilizado na indústria (WEICHENHAIN et al., 2021). Como a amônia é amplamente utilizada na produção de fertilizantes, já existe considerável *expertise* tanto no armazenamento, quanto no transporte dessa substância. Desta forma, tem vantagens sobre o uso de hidrogênio para transporte de longa distância que cobre 45% da demanda global de combustível marítimo em um cenário Net-Zero (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

A importância do hidrogênio verde não está centrada somente nas questões ambientais, como, por exemplo, na redução das emissões de gases tóxicos para atmosfera. Sua importância como pode ser visto, também está na incorporação de novas tecnologias em vários setores, seja no setor de transportes, agricultura etc., beneficiando economicamente os governos que têm como foco a produção do H2V. As vantagens governamentais de investir, planejar e programar trazem benefícios em longo prazo, para o comércio nacional e internacional, economia e inovação dos países que dominarem as tecnologias de geração de energia e produção de hidrogênio verde.

3.2 Estratégias e Pontos Fortes do Brasil como Exportador

A estratégia do Brasil como futuro exportador de hidrogênio verde está calcada não só na disponibilidade de vários recursos energéticos dispersos geograficamente no seu território, mas também em um momento oportuno de sérias mudanças de paradigmas em relação ao uso dos hidrocarbonetos como impulsionadores principais da economia global (IPEA, 2022).

No V1, o E1 analisou que “o Brasil tem uma posição geográfica de vantagem, além *de estar próximo dos grandes mercados do mundo, consumidores de Hidrogênio*”.

No contexto brasileiro, foram identificados pelo Ipea (2022) os principais pontos fortes no desenvolvimento de um mercado nacional e de exportação de hidrogênio sustentável brasileiro. As principais forças competitivas identificadas que evidenciam o potencial de produção de H2V no Brasil são: Disponibilidade de recursos naturais (gás, etanol e água); crescimento da produção de energias renováveis; Facilidade de escoamento da produção e geolocalização; mercado de gás natural em evolução; crescente redução de custos de geração de energia, inclusive em comparação internacional, e o crescimento da produção de energia solar e eólica.

A evolução da capacidade em GWh (Gigawatts-hora), da energia eólica e da energia solar, fazendo uma comparação entre 2019 e 2029, é mais que o dobro da capacidade na energia eólica, enquanto na energia solar é quase seis vezes maior em 2029 (BRASIL, 2021a).

A esse respeito, P1 analisa que “o Brasil pode ter o hidrogênio verde mais barato do mundo”. E que “a nova demanda por hidrogênio em 2050 é de apenas 190 milhões de toneladas métricas em nosso cenário cinza, em comparação com 1.318 milhões de toneladas no cenário verde”

Diante disso, e tendo em vista que já existem diversas políticas e que estão sendo desenhadas novas a todo o momento para o mercado do hidrogênio no Brasil, tem-se identificado por Góes (2021), que essas políticas e incentivos têm buscado: A dinamização da procura e o

escalamento da oferta; o estímulo à pesquisa e desenvolvimento; o aproveitamento da infraestrutura existente; e a cooperação e as parcerias internacionais.

A posição geográfica do Brasil favorável e a disponibilidade da abundância de fontes de energia renováveis são fatores que deixam o Brasil em vantagem competitiva comparada a outros países. Entre outros, são vários pontos fontes que o país possui. Entretanto, a elaboração de estratégias para realização de pesquisas, políticas, para produção e comercialização do hidrogênio verde são necessárias para antecipar as necessidades do comércio. É necessário um planejamento antecipado para ficar à frente, como futuro grande exportador do H2V no mundo.

3.3 Investimentos do Comércio Internacional no Hidrogênio Verde

Na Europa, é visto que o hidrogênio verde deve representar pelo menos 5,7% de todos os combustíveis até 2030, incluindo 1,2% no setor marítimo. Além disso, 50% da indústria deverá fazer a transição para o hidrogênio verde até 2030, chegando a 70% até 2035 (EPBR, 2022).

A política de hidrogênio na União Europeia é principalmente guiada pelo financiamento em pesquisas e desenvolvimento interno e parcerias internacionais. As parcerias estratégicas englobam países com oferta potencial de hidrogênio verde para exportação (CNI, 2022).

Em setembro de 2022 a Comissão Europeia anunciou a criação de um Banco Europeu do Hidrogênio, que destinará 3 bilhões de euros para alcançar a meta de consumo de 20 milhões de toneladas de hidrogênio verde até 2030, prevista no RePower - programa de substituição do gás natural russo. Dos 20 milhões de toneladas de hidrogênio verde, 10 milhões virão da produção doméstica e outras 10 milhões de toneladas de importação (MONTEIRO et al., 2022).

Além do apresentado acima, no V1, E2 analisou que *“deve-se dar destaque à Europa, que está com problemas com a Ucrânia, e que precisa substituir toda sua dependência do gás natural, logo, o hidrogênio verde cairia como uma luva nesse quesito”*.

Inclusive P1 menciona que as boas condições para produção do hidrogênio verde no Brasil, se devem também devido ao *“aumento de demanda pelo risco de segurança energética do continente europeu motivado pelo cenário da guerra Rússia x Ucrânia”*.

No V4, E1 ainda acrescentou que *“a Alemanha já previa um *shift* do hidrogênio verde antes mesmo de sua popularidade atual, e com a guerra da Ucrânia essa urgência de substituição por outra fonte de energia se tornou ainda maior”*.

Ademais, a necessidade de mudança da hegemonia energética que a Rússia possui na Europa, tem-se também a preocupação ambiental, que buscou meios viáveis economicamente ajudar na situação do planeta. No V2, E2 analisou ainda nesse contexto *“o Brasil como grande beneficiado diante da busca dos países desenvolvidos por alternativas de energia não poluentes do planeta, pois possui grandes vantagens para produção de hidrogênio verde”*, sendo que esse benefício se dá *“principalmente diante da guerra com a Ucrânia em que a dependência do gás Russo fez um alerta grande para os países da Europa”*, como mencionado também em V4E1 e V1E2.

Quanto aos investimentos do governo no desenvolvimento das economias do hidrogênio, estes já totalizam atualmente USD 70 bilhões anunciados. Em relação ao volume total de investimentos em projetos de hidrogênio, o Hydrogen Council reporta (2021) um volume de USD 300 bilhões até 2030. Vale ressaltar que devido à fase inicial de alguns projetos, 75% do volume

anunciado (equivalente a USD 225 bilhões) ainda não tem compromisso de investimento que deverá ser ratificado conforme o desenvolvimento dos projetos. Até 2030, o Hydrogen Council estima US\$ 80 bilhões em investimentos confirmados. Isso inclui US\$ 45 bilhões no estágio de planejamento, o que significa que as empresas estão gastando pesadamente no desenvolvimento de projetos. Outros US\$ 38 bilhões incluem projetos comissionados ou em construção, comissionados ou já em operação (GIZ, 2022). Dos 25 apresentados, 18 deles de empresas internacionais e somente 7 de empresas nacionais. Desses em sua maioria concentrados os investimentos no Estado do Ceará, sendo esse número crescente a cada dia (IPEA, 2022).

Conforme o IPEA (2022), no Brasil, a transição energética exigirá uma colaboração entre os setores público e privado. Os investimentos anunciados para construção de usinas produtoras de hidrogênio verde (H2V) já somam mais de US\$ 27 bilhões, a maioria concentrados em portos – Pecém, no Ceará; Suape, em Pernambuco; e Açú, no Rio de Janeiro. Esses portos combinam uma série de fatores estratégicos para o desenvolvimento da nova cadeia do H2V, como logística para exportação, proximidade de polos industriais e de fontes de energia renovável – utilizada na eletrólise para sintetização do H2V (IPEA 2022).

O complexo do Pecém destaca-se em especial pela sua localização geográfica estratégica, com rotas marítimas conectadas à Europa e aos Estados Unidos, os diversos incentivos fiscais que oferece à área e o fato de que o Pecém é um parque industrial instalado com empresas do “mercado consumidor de hidrogênio”, todas elas grandes poluentes, sendo as mesmas grandes interessadas em utilizar o H2V (ANGELO, 2022).

De acordo com BRASIL (2021a), de 2013 a 2018 foram identificados 91 projetos associados a hidrogênio e pilhas a combustível, com recursos totais na ordem de R\$ 34 milhões financiados pela ANEEL, ANP e ou Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT).

Visto o potencial do país, inclusive projetos pilotos e investimentos sendo feitos na área, o Ministério de Minas e Energia (MME), em agosto de 2021, propôs diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Este visa desenvolver em conjunto políticas públicas, tecnologia e mercado, tidos como pilares fundamentais para desenvolvimento de uma economia do hidrogênio (BRASIL, 2021c).

Gurlit et al. (2021) identificaram uma oportunidade total de US\$ 15 bilhões a US\$ 20 bilhões em 2040, com a maior parte desse potencial (US\$ 10 bilhões a US\$ 12 bilhões) para servir ao mercado doméstico – em particular o transporte de carga por caminhões, a siderurgia e outros usos energéticos industriais além dos outros de US\$ 4 bilhões a US\$ 6 bilhões oriundos das exportações de derivados de H2V para a Europa e os Estados Unidos. Para viabilizar esse cenário acelerado, o H2V precisará de US\$ 200 bilhões em investimentos, incluindo 180 GW de capacidade de geração de eletricidade renovável adicional.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) vai entrar no apoio à produção do hidrogênio verde. Uma nova linha de crédito oferecerá empréstimos de até R\$ 300 milhões para construção de fábricas de produção para o mercado doméstico, tanto para atender a demanda nacional quanto do comércio internacional (NEDER, 2022).

Entretanto, como foi citado pelo economista Sênior de Energia do Banco Mundial, Carlos Costa, alguns desafios que podem vir a dificultar os investimentos. O primeiro é o alto custo dos

hidroeletrizadores, mecanismos que extraem hidrogênio da água. Outro aspecto seria a incerteza sobre a performance técnica do combustível, uma vez que os projetos implementados até o momento envolvem apenas “escalas menores” de produção, “havendo, portanto, risco ao se passar para grandes escalas” (GRIESINGER, 2022).

No V4, E1 questiona sobre essas dificuldades “*Como vamos enfrentar o alto custo do hidrogênio?*”. No entanto, em seguida analisa que “no cenário de grandes transições, o Brasil se destaca e desde já, estão sendo analisadas as possibilidades para resolver as questões conflitantes em relação ao transporte, por exemplo”.

No V2, E1 concorda com a questão da dificuldade de transporte afirmando que “*o hidrogênio como H₂, é muito difícil de ser transportado, porque teria que ser comprimido à altas pressões, ou liquefeito a temperaturas próximas a -237 graus centígrados, o que seria um grande desperdício de energia*”, entretanto, já continuou descrevendo como seria esse transporte “*a forma de transportar o hidrogênio é o transformando em amônia, refrigerando a -30 graus e assim podendo transportar em navios, sendo essa é a forma atualmente mais econômica do armazenamento e do transporte*”.

Já P1 ameniza, explicando que o H₂V:

Pode ser transportado sob altas pressões, dentro de cilindros, e líquido, sob altas pressões e baixas temperaturas. Pode também ser transportado em “hidretos metálicos”. Nesse caso, ele é misturado a outros metais, podendo então ser transportado na forma sólida, o que garante maior segurança. A forma mais comumente usada é sob altas pressões, mas há evolução tecnológica principalmente na forma de hidretos metálicos.

Pode-se notar que o crescimento de investimentos no comércio do hidrogênio verde tem aumentado gradativamente a cada ano. A preocupação ambiental mundial é um dos fatores que estão contribuindo positivamente para as modificações necessárias a diminuição dos gases de efeito estufa. Além disso, a guerra da Rússia com Ucrânia trouxe essa urgência da busca por alternativas energéticas, pois a hegemonia que a Rússia possui na Europa, tornou-se um grande problema com a guerra.

Em relação ao Brasil, ele se beneficiou diante das buscas dos países Europeus por alternativas energéticas. Suas vantagens mencionadas anteriormente no capítulo anterior o tornaram um potencial exportador do H₂V. Com isso, fica claro que cabe ao governo aproveitar as oportunidades econômicas e comerciais, para valorizar seu potencial.

3.4 Planos e Avanços do Comércio de Hidrogênio Verde no Ceará

É perceptível que a disposição geográfica da região Nordeste do país, somada ao elevado fator de produção dos parques geradores eólicos, resultem em um grande potencial para geração de hidrogênio verde para exportação. Tomando como base os portos de maior movimentação na União Europeia (Rotterdam, Hamburgo e Antuérpia), a distância geográfica média entre Fortaleza é de 7,5 mil km, ao passo que a distância de Porto Alegre até tais portos é cerca de 40% maior (10,6 mil km) (GIZ, 2021).

O E1 destacou, ainda, no V1 que:

...devido ao Brasil ter uma vantagem natural, principalmente no Nordeste, com muito sol, vento, água, doce e salgada, nós podemos nos tornar o maior produtor do mundo de hidrogênio verde. Ele pode substituir o hidrogênio convencional, sendo utilizado em fábricas para produção de fertilizantes, amônia, e nos meios de transporte. Beneficiando assim, não somente o comércio nacional como o internacional.

Conforme destacado por Sousa (2022), o Estado do Ceará apresentou o plano Ceará 2050 que por meio de uma plataforma possui uma área de resultados em que engloba o tópico intitulado de “Valor para a sociedade” que está em linha com a agenda 2030 da Organização das Nações Unidas de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Dessa forma, na área do plano de geração de valor para a sociedade existe a subárea de “Cadeias Produtivas”, na qual contempla a reinvenção setorial com o aproveitamento das vantagens competitivas dos setores mais 21 expressivos do estado e dentro deste está englobado energia limpa e renovável e recursos hídricos, de acordo com os objetivos 4 e 6 presentes no relatório de 2018:

Objetivo 4: Consolidar o Ceará como o maior produtor e distribuidor nacional de energia de fontes limpas e renováveis (solar, eólica, biocombustíveis), aproveitando a atuação na cadeia para o desenvolvendo de produtos e serviços de alto valor agregado na indústria e no campo a partir de processos inovadores e sustentáveis.

Objetivo 6: Elevar ao grau de excelência a gestão de recursos hídricos (uso, reuso e reaproveitamento econômico e racional da água) do Ceará e mitigação dos impactos das mudanças climáticas no território do semiárido (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2020).

Em relação às vantagens competitivas que o Ceará tem diante do comércio de H2V, P1 citou em sua apresentação, a estrutura e logística do Estado, detalhada a seguir:

- Elevado potencial de energia eólica *on shore* (94 GW) e *offshore* (117 GW);
- Elevado potencial de energia solar (643 GW);
- Condições adequadas do Porto do Pecém para sediar um *HUB* de H2V;
- Estado com condições fiscais e administrativas confiáveis;
- Existência de Universidades e Institutos Tecnológicos;
- Qualidade da mão de obra;
- Rede de ensino médio e superior para atender a demanda da nova cadeia produtiva;
- 4 (quatro) Siderúrgicas em Operação;
- ZPE – Zona de Processamento de Exportação do Ceará;
- Parceria com Porto de Roterdã.

Após a assinatura com novas empresas em 2022, o estado totalizará 24 companhias interessadas no *Hub* de hidrogênio verde. O empreendimento muda o contexto econômico do estado. A ideia central do projeto, que foi apresentado em meados de fevereiro de 2021, será instalada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém. O projeto promete ser um dos maiores do mundo e tem como objetivo reduzir as emissões de poluentes e abrir oportunidades de emprego para moradores do Ceará, impulsionando a economia e fazendo o estado ser destaque no setor (CRUZ, 2022).

Em outubro de 2022, a Casa Civil do Estado do Ceará afirmou que após o Governo do Estado ter assinado mais dois memorandos de entendimento, somando-se os 24 documentos mencionados anteriormente, a intenção com esses projetos é de tornar o Ceará o principal produtor de energia renovável do país (CRUZ, 2022).

O ex-Secretário do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado Ceará, Maia Júnior, destacou em entrevista realizada em outubro de 2022, a importância desse ato de assinatura de mais dois novos documentos para os próximos anos no estado. “Hoje tem uma convicção muito grande que o Ceará vai realizar esses projetos e cumprir o desafio, em até menos de 10 anos, que é consolidar o Ceará em um dos principais locais do mundo em produção de energias renováveis e produção de hidrogênio verde” (CAMPOS, 2022).

Em entrevista divulgada pelo jornal virtual Comex Brasil, o professor Fernando Melo Nunes do Parque Tecnológico da UFC, informou que “Há possibilidades de se ter veículos carregados com hidrogênio, ou fazer o aquecimento de residência e até mesmo utiliza-lo em indústrias que hoje usam carvão”. Deste modo, é constante a busca por investimento, para assim ampliar as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos no Ceará (ECB, 2022).

Um marco regulatório sobre o setor no Ceará, também foi citado pelo economista Sênior de Energia do Banco Mundial, Carlos Costa: “Há também outros desafios por envolver um novo modelo de negócio, mas do mesmo jeito que a Petrobras criou um centro [petrolífero] no Rio de Janeiro, há possibilidades de se fazer algo similar no Ceará”. Tendo acrescentando também que: “Este não é um projeto do Ceará, mas da nação brasileira, tendo o Ceará como leme” (GRIESINGER, 2022).

Conforme destaca Picanço (2021), entre outros, já foram anunciados no estado do Ceará os seguintes projetos (ver Quadro 3):

Quadro 3 – Projetos anunciados no Estado do Ceará.

Empresa	Características dos Projetos
White Martins/Linde	<ul style="list-style-type: none">• A White Martins é uma empresa do grupo Linde desde 2019.• Aproveita a sinergia da planta de gases da White Martins já existente na Zona de Processamento de Exportação (ZPE).• Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.

Fortescue	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Brasil 2025: 2GW: 300.000 ton/ano de eletrólise de hidrogênio verde, Investimento total de USD 6 bilhões.
Qair Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Liberdade: 2,24GW: 296.000 ton/ano de eletólise de hidrogênio verde. Complexo Eólico <i>Offshore</i> Dragão do Mar: 1,22GW. Investimentos de US\$ 3,95 bilhões em H2V e de US\$ 3 bilhões na eólica <i>offshore</i>.
EDP Energias do Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Piloto da 1ª usina hidrogênio do Brasil (Operação em 2022), Capacidade: 3 MW usina solar; 250 Nm³/h de produção de H2V. Investimento de R\$ 41,9 milhões.
Diferencial Energia	<ul style="list-style-type: none"> Opera no setor elétrico brasileiro na comercialização de energia, projetos de geração e consultoria. Intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades a ser desenvolvido e implantado no HUB do Pécem.
H2Helium	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvedores de projetos de Blue/Green H2/NH3. Objetiva desenvolver projeto de cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a possibilidade de estudar a participação de <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.
Hytron	<ul style="list-style-type: none"> Comercializa e projeta soluções inovadoras para produção de hidrogênio. Objetiva desenvolver e buscar a viabilidade de um Projeto Piloto para a produção de Hidrogênio Verde de até 5 MW, que será localizado no Porto do Pécem.
Eneva	<ul style="list-style-type: none"> A maior operadora de gás natural do país. Tem parque térmico de 2,8 GW de capacidade contratada. Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.
Neoenergia/Iberdrola	<ul style="list-style-type: none"> É uma empresa integrada de energia que atua nos quatro segmentos do setor elétrico: geração, transmissão, distribuição e comercialização. Objetiva realizar análise de viabilidade de um projeto de mobilidade urbana com utilização de veículos para transporte público movidos à hidrogênio verde.
Engie Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Tem seu foco principal a exportação do hidrogênio verde, no entanto, também está sendo avaliado seu uso em mobilidade pesada, na indústria do aço, produção de químicos e mistura para as redes de transporte de gases, o que permitiria transformar o projeto em um <i>hub</i> de hidrogênio verde Objetiva produzir entre 100 e 150 MW em um prazo de até cinco anos e em seguida desenvolver outras fases até chegar à uma escala maior, acompanhando a expansão dos mercados locais e internacionais
Transhydrogen	<ul style="list-style-type: none"> Formado pelas empresas Proton Ventures, Trammo, Global Energy Storage e VARO. Objetiva a produção de 500 mil toneladas de hidrogênio verde por ano. Investimento inicial de US\$ 2 bilhões.
AES	<ul style="list-style-type: none"> Objetiva estudo de viabilidade para construção de uma planta com capacidade inicial de 1 GW de energia renovável. Estima produção de até 500 mil ton/ano de amônia verde para exportação. Investimento estimado em até US\$ 2 bilhões, nos cinco primeiros anos.
Enel Green Power	<ul style="list-style-type: none"> Projeto contará com algumas fases até a sua finalização, mas a companhia energética pretende aproveitar o potencial produtivo desde a primeira etapa e vai instalar o projeto Green Hydrogen Fortaleza Capacidade de até 400 MW de eletrolisadores já na primeira fase.
Cactus Energia Verde	<ul style="list-style-type: none"> Previsão de construção para início de 2023 Capacidade para produzir 10.500 toneladas de hidrogênio e 5.250 toneladas de oxigênio verdes por mês. Investimento é de 5 bilhões de Euros.
Nexway	<ul style="list-style-type: none"> Empresa tem a intenção de participar do <i>pool</i> de armazenamento de amônia, no futuro HUB de H2V no Porto do Pécem.

Energix Energy	<ul style="list-style-type: none"> • Objetiva produzir mais de 600 milhões de kg/ano de hidrogênio verde a partir de 3,4GW de potência, advindos projetos eólicos e solares combinados. • Investimento de U\$ 5,4 bilhões
MITSUMI	<ul style="list-style-type: none"> • Acordo voltado à mobilidade • Com Mitsui e a fabricante de carrocerias CaetanoBus, o interesse é desenvolver a cadeia produtiva de hidrogênio e amônia em Pecém, incluindo projetos de mobilidade com células a combustíveis.
ALUPAR	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa tem interesse em desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção da avaliação da participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades a ser desenvolvido e implantado no futuro <i>Hub</i>.
Casa dos Ventos	<ul style="list-style-type: none"> • Objetiva a instalação de unidade fabril de produção de hidrogênio e amônia verde. • Primeira fase prevista para iniciar operação em 2026. • Capacidade de até 2,4 GW de eletrólise, produzindo mais de mil toneladas de hidrogênio por dia. • Projeto, que já vem sendo trabalhado desde 2021 entre as partes, agora segue para a fase de licenciamento ambiental e projeto básico para iniciar sua implantação que será dividida em etapas.

Picanço (2021).

No Quadro 3, identificam-se algumas das empresas e os projetos de produção do hidrogênio verde que foram anunciados a serem desenvolvidos no Ceará. Além das mencionadas acima, temos também a empresa Total Eren do Brasil; Stolthaven Santos; a H2 Grenn Power; ASEA Brown Boveri; e a HDF Energy, totalizando as 24 empresas com assinaturas de memorandos de entendimento.

A empresa australiana Energix Energy por exemplo, pretende instalar uma usina para produzir H2V no Complexo do Pecém para desenvolver no Complexo de Pecém o projeto “*Base One*”, o maior projeto de hidrogênio do mundo, com potencial para abastecer com energia mais de 200 milhões de pessoas nas economias em desenvolvimento (CNI, 2022).

Outra empresa de destaque é a White Martins, que também assinou um Memorando de Entendimento com o Complexo de Pecém visando estabelecer e desenvolver as potencialidades da produção local de Hidrogênio verde, voltada prioritariamente à exportação para a Europa (CNI, 2022). Essa mesma empresa foi mencionada no V2, com a fala de E3 “*com apoio da empresa White Martins planeja-se trocar o carvão pelo hidrogênio, e isso dará um mix para o Estado do Ceará com o hidrogênio, tanto como exportador como importador que vai equilibrar o mercado para atender nas duas vertentes*”.

A Qair Brasil já desenvolve a planta de produção de hidrogênio verde com energia elétrica gerada através do Complexo Eólico Marítimo Dragão do Mar e de um parque de energia eólica *offshore* (dentro do mar). O investimento total previsto é de US\$ 6,95 bilhões, com geração de 2 mil empregos durante a construção das plantas, e 600 empregos diretos quando da plena operação dos projetos (CASA CIVIL, 2022b).

Com isso, a empresa multinacional com sede no Ceará está envolvida no projeto que, a partir de 2023, produzirá, armazenará, transportará e comercializará o hidrogênio verde (CASA CIVIL, 2022b).

Entre outros, são diversos investimentos em projetos de empresas internacionais que ultrapassam bilhões, mostrando, assim, o grande potencial de exportação do hidrogênio verde no comércio internacional dentro do Estado do Ceará, inclusive, a Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE Ceará, parte do Complexo do Pecém, foi destaque com duas menções

honrosas na nona edição do prêmio *Global Free Zones of the Year 2022*, publicada pelo jornal britânico Financial Times nas categorias “Hidrogênio Verde” e “Aceleração na Adoção de Hidrogênio”.

O reconhecimento é referente ao projeto do *Hub* de Hidrogênio Verde, uma estratégia do Governo do Ceará e do Porto de Roterdã em parceria com a Federação das Indústrias do Ceará (Fiec) e a Universidade Federal do Ceará (UFC) (ZPE CEARÁ, 2022).

Sobre a ZPE Ceará, P1 descreve que “é a primeira zona de processamento de exportação do Brasil, tem localização estratégica para exportação e importação e possui parceria com o porto de Rotterdam, o maior na Europa pronto para operar com hidrogênio verde”. Desta forma, menciona ainda que “o complexo de Pecém almeja ser o principal *hub* industrial, portuário e logístico do Brasil até 2050, gerando valor acrescentado para os clientes com foco em inovação, sustentabilidade e eficiência operacional”.

Em novembro de 2022, a multinacional australiana Fortescue assinou um memorando de investimento e o pré-contrato com Governo do Estado do Ceará e a Companhia do Desenvolvimento do Complexo do Pecém, ao projeto de instalação de uma unidade de produção de Hidrogênio Verde no estado, onde se planeja construir a primeira usina de hidrogênio verde da empresa no mundo (CASA CIVIL, 2022a). Este memorando também abre espaço para colaboração com universidades locais para desenvolver programas de pesquisa de modo a promover tecnologias relacionadas ao hidrogênio (CNI, 2022).

A estimativa é de um investimento de cerca de US\$ 6 bilhões de dólares no Estado. A previsão é gerar 2.500 empregos na fase de construção e 800 durante a operação da unidade e que as operações devem começar em 2025 e até 2030 que sejam produzidos 15 milhões de toneladas do combustível (CASA CIVIL, 2022a).

No V2, E1 afirma que “*existe uma empresa perto de assinar um memorando, que vai produzir células a combustível para ônibus e caminhões. Atingindo assim um crescimento de empregos, rendas, impostos para o Ceará*” e finaliza que “*isso vai transformar o Estado do Ceará*”

Ao consolidar o Ceará como o principal produtor e exportador de H2V do Brasil, o *Hub* de Hidrogênio Verde contribuirá com a estratégia global de transição energética e descarbonização da economia por meio do uso de energias renováveis.

Como reflexão, explana-se com V2, na fala de E2, que “*o Governo precisa melhorar cada vez mais o planejamento e apostar nas energias renováveis, pois além da relação econômica favorável, evita-se uma emissão de carbono para atmosfera, beneficiando o planeta*”.

Ao final da construção desse trabalho, já se somavam 24 memorandos de entendimento com empresas interessadas em investir no hidrogênio verde no Ceará. Em sua maioria, empresas internacionais, objetivando desenvolver projetos da cadeia produtiva do H2V, incluindo a possibilidade de estudar a participação de *pool* de armazenamento de amônia e de utilidades, além de estudos de viabilidade de projetos de mobilidade urbana com utilização de veículos para transporte público movidos à H2V e também aqueles com foco principal na exportação do mesmo.

Esse número de memorandos é crescente, e diante do evidenciado, mais empresas demonstrarão interesse, mostrando assim, o grande potencial do Ceará para o comércio internacional do hidrogênio verde.

CONCLUSÃO

A partir desse estudo é possível concluir que o hidrogênio verde se apresenta atualmente como um grande aliado para diminuição dos gases de efeito estufa no mundo, sendo fundamental sua utilização como fonte de energia renovável, substituindo os combustíveis fósseis, para que os objetivos da COP 27 sejam atingidos no período preconizado, e possam ser evitados mais danos ao ecossistema.

Entretanto, seus benefícios não são somente sociais e ambientais. Podem-se verificar com esse trabalho, os diversos benefícios econômicos para os países produtores e exportadores dessa fonte de energia, sendo o Brasil bastante favorecido pela disponibilidade de recursos naturais, devido às condições climáticas e geográficas favoráveis para a produção, pelo crescimento da produção de energia fotovoltaica e eólica que também pode ser utilizada para desenvolver H2V, pela utilização de H2V como armazenamento de energias renováveis, devido à facilidade de escoamento da produção, entre outros.

Dessa forma, nota-se o grande potencial que o Brasil tem para produção e exportação do H2V, dando destaque ao Ceará. Podendo ser identificado nessa pesquisa, que já existem numerosos investimentos e projetos em prática, tanto para o comércio nacional, quanto para o comércio internacional, assim como, diversos planos para o futuro.

Verificou-se o estado do Ceará como sendo o local no Brasil com maiores investimentos de empresas estrangeiras, com várias empresas que já estão investindo, e os planos para produção são cada vez mais crescentes. Logo, como foi citado anteriormente, o plano está sendo consolidar o Ceará como um dos principais locais do mundo em produção do H2V, pois assim contribuirá com as oportunidades de negócios nacionais e internacionais e a geração de empregos e renda do Estado.

Diante desses avanços, as estratégias de comércio e as pesquisas na área precisam ser constantes, pois, aliando a temática do hidrogênio verde com o comércio internacional, foi possível identificar a positiva transição energética e a descarbonização da economia por meio do uso de energias renováveis, sendo assim, existe uma visão potencial de benefícios econômicos e ambientais.

Esta pesquisa tem suas limitações, como não ter coletado dados primários, mas tentou-se mitigar essa ação como uso de entrevistas de *expertises* em *youtube* e literatura dos últimos cinco anos.

Como trabalhos futuros, sugerem-se os seguintes estudos: (1) verificar quais os impactos ambientais que a industrialização de hidrogênio verde no Ceará poderia resultar no futuro; (2) analisar a evolução econômica do Brasil com o início da produção do hidrogênio verde, e (3) verificar a viabilidade econômica da produção do hidrogênio verde comparado com outros tipos de hidrogênio.

REFERÊNCIAS

ABDIN, Z., et al. Hydrogen as an energy vector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 120, n. 109620, p. 32, mar. 2020.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

ANDRADE, F. Hidrogênio verde: brasil pode assumir lugar de destaque na produção de novo combustível. *Instituto de Física São Carlos*, p. 2, ago. 2022. Disponível em:

<https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/hidrogenio-verde-brasil-pode-assumir-lugar-de-destaque-na-producao-de-novo-combustivel/#:~:text=A%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20tecnologias%20em,poi%C3%A7%C3%A3o%20de%20destaque%20nesse%20mercado>. Acesso em 15 out. 2022.

ANDRADE, T. N.; LORENZI, B. R. Política energética e agentes científicos: O caso das pesquisas em células a combustível no Brasil. *Revista Sociedade e Estado*, v. 30, n. 3, set./dez. 2015.

ANDRADE, T. N.; LORENZI, B. R. Política energética e agentes científicos: O caso das pesquisas em células a combustível no Brasil. *Revista Sociedade e Estado*, v. 30, n. 3, set./dez. 2015.

ANGELO, M. Hub de hidrogênio verde no Ceará tem parceria com mineradora australiana, generosos incentivos fiscais, e impactos desconsiderados. *Observatório da Mineração*, jul. 2022.

BARROSO, A. M. R.; et al. Obtenção do Hidrogênio verde a partir de energias renováveis. In: *Anais do IV Congresso Multidisciplinar de Arte, Ciência e Tecnologia* (Revista arte, ciência e tecnologia). Piauí, p. 1-13, 2021.

BEZERRA, F. D. Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia. *Caderno Setorial ETENE*, n. 212, p. 1-13, dez. 2021.

BHASKAR, Abhinav; ASSADI, Mohsen; SOMEHSARAEI, Homam Nikpey. Decarbonization of the iron and steel industry with direct reduction of iron ore with green hydrogen. *Energies*, vol. 13, n. 3, 2020.

BONACIN, Juliano Alves e MONTABONE, Paulo e GONÇALVES, Renato

Vitalino. Hidrogênio verde: como o Brasil pode se tornar polo de produção do 'combustível do futuro' [Entrevista a Igor Savenhago]. *G1: O Portal de Notícias da Globo*, 2022. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2022. Disponível em:

<https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/estacao-agro/noticia/2022/08/08/hidrogenio-verde-como-o-brasil-pode-se-tornar-polo-de-producao-do-combustivel-do-futuro.ghtml>. Acesso em: 18 set. 2022.

BRASIL. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2021a.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde*, Brasília, 2021b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE; MCTI. *Programa Nacional do Hidrogênio - Proposta de Diretrizes*. [S. l.: s. n.], jul. 2021c.

CAMPOS, I. Governo do Ceará chega a 24 memorandos de entendimento assinados sobre energia renovável. *Portal do Governo (Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho)*. Governo do Estado do Ceará – ADECE, out, 2022. Disponível em:

<https://www.adece.ce.gov.br/2022/10/27/governo-do-ceara-chega-a-24-memorandos-de-entendimento-assinados-sobre-energia-renovavel/> Acesso em: 28 nov. 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

CAPDEVILA-CORTADA, M. Eletrizando o Haber-Bosch. *Nat Catal* 2, v. 1055, 2019.

CAPURSO, T.; et al. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition. *Energy Conversion and Management*, v. 251, p. 114898, 2022.

CASA CIVIL. COP27: Fortescue reafirma compromisso com governo do Ceará para instalar usina de hidrogênio verde. *Portal do Governo*, nov. 2022a. Disponível em:

<https://www.ceara.gov.br/2022/11/09/cop27-fortescue-reafirma-compromisso-com-governo-do-ceara-para-instalar-usina-de-hidrogenio-verde/> Acesso em 03 dez. 2022.

CASA CIVIL. Governo do Ceará e Qair Brasil assinam acordo para desenvolvimento de projetos de energias renováveis com investimento de us\$ 6,95 bilhões e geração de 2.600 empregos. *Portal do governo*, jul. 2022b. Disponível em: <https://www.casacivil.ce.gov.br/2021/07/12/governo-do-ceara-e-qair-brasil-assinam-acordo-para-desenvolvimento-de-projetos-de-energias-renovaveis-com-investimento-de-us-695-bilhoes-e-geracao-de-2-600-empregos/> Acesso em 01 dez. 2022.

CASTRO, N. J.; LEAL, L. M. COP 27: Transição Energética e o Hidrogênio Verde no Brasil.

Agência Canal Energia, dez. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/12/Castro_2022_11_29.pdf Acesso em: 07 de dez 2022.

CHAVES, A. C.; AQUINO, T.; IVO, R. O papel do financiamento nos projetos de hidrogênio verde na União Europeia: um exemplo a ser seguido. *Agência Canal Energia*, jun. 2022. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48_Chaves_2022_06_30.pdf Acesso em: 12 set. 2022.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. *Hidrogênio sustentável: perspectivas e potencial para a indústria brasileira*. Brasília, 2022.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. *Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CRUZ, J. HUB de hidrogênio verde: Governo do Ceará assina memorando de entendimento com empresas a serem instaladas no complexo do Pecém. *Portal do Governo (Casa Civil – Governo do Estado do Ceará)*, mai, 2022. Disponível em: <https://www.casacivil.ce.gov.br/2022/05/02/hub-de-hidrogenio-verde-governo-do-ceara-assina-memorandos-de-entendimento-com-empresas-a-serem-instaladas-no-complexo-do-pecem/> Acesso em: 29 out 2022.

DELGADO, F.; COSTA, A. M. Os caminhos do país na construção da economia global do hidrogênio. *Conjuntura Econômica*, v. 75, n. 03, mar, 2021.

DEWAN, A. Hidrogênio verde pode ser o combustível do futuro. Mas ainda não deve resolver todos os problemas. *CNN Brasil*, ago. 2021. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/business/o-hidrogenio-verde-pode-ser-o-combustivel-do-futuro-mas-ainda-nao-deve-resolver-todos-os-problemas/> Acesso em: 15 out. 2022.

DEMO, P. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2000.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

ECB - Equipe Comex Brasil. Ceará projeta hub para produzir e exportar 500 mil toneladas de hidrogênio verde por ano. *Revista Comex do Brasil*, jan. 2022. Disponível em:

<https://www.comexdobrasil.com/ceara-projeta-hub-para-produzir-e-exportar-500-mil-toneladas-de-hidrogenio-verde-por-ano/> Acesso em 18 nov. 2022.

EPBR. Hidrogênio verde, mas nem tanto. *Agência EPBR*, set, 2022. Disponível em:

<https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-mas-nem-tanto/>. Acesso em: 15 out 2022

FREITAS, G. M. T. *Hidrogênio verde: estudo de caso sobre o potencial brasileiro como exportador para União Europeia utilizando programação linear*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022.

GARCIA, E. COP15 E COP27: por que biodiversidade e clima são indissociáveis. *TNC*

Brasil/Revista Galileu, dez, 2022. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/colunistas/tnc-brasil/coluna/2022/12/cop15-e-cop27-por-que-biodiversidade-e-clima-sao-indissociaveis.ghtml>

Acesso em 30 nov. 2022.

GIZ – GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. *Mapeamento do setor de hidrogênio brasileiro*. Brasília: GIZ, oct. 2021.

GÓES, G. S. *A geopolítica da energia no século XXI*. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2021. P. 392.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. *Plataforma Ceará 2050 Programa Estratégico Energia e*

Negócios, SEPLAG-CE, 2020. Disponível em: <https://www.seplag.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/14/2020/07/Energia-e-Negocios.pdf> Acesso em 15 nov. 2022.

GRIESINGER, D. Especialistas veem potencial brasileiro para hidrogênio verde. *Agência Brasil*, ago. 2022.

GURLIT, W. et al. Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. *McKinsey & Company*, 25 nov. 2021.

HYDROGEN COUNCIL. *How hydrogen empowers the energy transition*. 2017. Disponível em:

<https://hydrogencouncil.com/wpcontent/uploads/2017/06/Hydrogen-Council-VisionDocument.pdf>. Acesso em 23 de set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA. *Global Hydrogen Review 2021*. Paris: [s. n.], out. 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Panorama do hidrogênio no Brasil*. Brasília: Ipea, 2022.

LÃ BRANCA, D. S. *O futuro do hidrogênio verde em Portugal*. Dissertação (Mestrado em em Economia e Gestão de Ciência Tecnologia E Inovação) – Liscen School of Economics & Management, Universidade de Lisboa, Lisboa, p. 86, 2021.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 62-87.

Hidrogênio verde como potencializador do comércio internacional no estado do Ceará

FORTE, Sérgio H. A. C.; GAZILLO, Anderson Montenegro

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Técnicas de Pesquisa*. 5. ed. São Paulo, Atlas, 2002.

LAMEIRAS, F. L. *O hidrogênio como vetor de energia / CMG (RM1-T)*. - Rio de Janeiro: ESG, 2019.

MONTEIRO, L.; LIMA, P. V. Governo aplaude criação do banco europeu de hidrogênio. *Revista Renascença*. Set, 2022. Disponível em: <https://rr.sapo.pt/noticia/politica/2022/09/14/governo-aplaude-criacao-do-banco-europeu-de-hidrogenio/299714/>. Acesso em: 11 out 2022.

NADALETI, W. C.; SANTOS, G. B. dos; LOURENÇO, V. A. The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: a national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 3, p. 1373-1384, jan. 2020.

NEDER, V. Hidrogênio verde: BNDS dará crédito de até R\$ 300 milhões para fábricas do combustível. *Revista Economia & Negócios*, jul 2022.

PICANÇO, Jurandir. *Apresentação proferida em 26 de outubro de 2021 para o Banco do Nordeste*, 2021.

RAMOS, C. C.; CANTARINO, V. B. P.; AQUINO, T. C. N.; CASTRO, N. J.; SENA, A. T. O. Financiamento internacional da economia do hidrogênio: uma visão a partir dos países importadores. In: *Anais do VI Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (ENEI): "Indústria e pesquisa para Inovação: novos desafios ao desenvolvimento sustentável"*. São Paulo: Blucher, 2022, v. 9, n. 01, p. 1158-1179.

SILVA, T. A. *O hidrogênio na geração distribuída: desafios e possibilidades*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica) - Unidade Acadêmica de Processos Industriais, Instituto Federal de Educação da Paraíba, Paraíba, p. 56, 2022.

SOUSA, L. M. S. *Potencial do Ceará para obtenção de hidrogênio verde via eletrólise da água residual através da energia eólica*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em engenharia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, p. 75, 2022.

WEICHENHAIN, Uwe; ALBERS, Bram; BILLEN, Dieter; BERNARDO, Antonio. Hydrogen transportation. *The key to unlocking the clean hydrogen economy*. Munique: [s. n.], out. 2021.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. 2. ed. London: MIT Press. 2010.

ZANCAN, F. Na energia, o branco também é verde. *Revista Energia Hoje*, ago, 2022. Disponível em: <https://energiahoje.editorabrazilenergia.com.br/na-energia-o-branco-tambem-e-verde/> Acesso em 30 nov. 2022.

ZPE CEARÁ. Com hub de hidrogênio verde, zpe ceará é premiada no global free zones of the year 2022. *Portal do Governo*, nov. 2022. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/com-hub-de-hidrogenio-verde-zpe-ceara-e-premiada-no-global-free-zones-of-the-year-2022/> Acesso em: 30 nov. 2022.

1 FORTE, Sérgio Henrique Arruda Cavalcante. Engenheiro Civil (UFC) e Administrador de Empresas (UECE). Mestre e Doutor em Administração pela FGV/EAESP. Coordenador do Grupo de Pesquisas de Estudos Avançados e Aplicados de Estratégia e Coordenador do Mestrado em Administração UNIFOR/CIESA. Professor titular do Programa de Pós-graduação em Administração (PPGA) da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). E-mail: sergioforte@unifor.br

2 GAZILLO, Anderson Montenegro Bacharel em Comércio Exterior pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e graduando em Economia pela UNIFOR. E-mail: anderson.mg@yahoo.com

Pinhão-manso (*Jatropha curcas*) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques
WARNAVIN, Larissa
ATTADEMO, Fernanda Löffler Niemeyer
PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

Resumo

Jatropha curcas L. (família Euphorbiaceae) conhecida como pinhão-manso, é uma planta arbustiva, caducifólia, perene e de crescimento rápido, que pode atingir de três a cinco metros de altura. Considerada uma espécie de interesse para a geração de renda, principalmente para o sertão brasileiro, diversas são as pesquisas que visam compreender as potencialidades e desafios do cultivo, bem como, da cadeia produtiva do pinhão-manso. Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar as características botânicas, de cultivo e potencialidades do pinhão-manso como fonte de óleo para o biodiesel. Para isso, o artigo conta com uma revisão de literatura sobre a caracterização botânica da espécie, a importância econômica e potencial agrônomo, métodos de propagação e avanços e desafios do cultivo de *Jatropha curcas* para a geração de biocombustíveis. Como achados da pesquisa, o pinhão-manso além de ser uma espécie em potencial para a geração de biodiesel (porcentagem de óleo nas sementes 40-60%) e poder ser cultivada em áreas de menor interesse para a produção alimentícia, possui outras funcionalidades, como exemplo, a geração de etanol combustível a partir da casca e biogás da torta, adubo verde, cerca viva, importância medicinal e outros. No entanto, apesar da rusticidade, a produtividade decresce com o déficit hídrico e a desuniformidade na floração e consequente, frutificação, ainda são entraves para o ganho de produtividade da espécie e colheita em campo. Portanto, pesquisas que abordem os padrões fenológicos da espécie, a escolha de cultivares e o desenvolvimento de sistemas de produção para as diferentes regiões produtoras, se fazem necessárias.

Palavras-chave: *Jatropha curcas*; biodiesel; pinhão-manso.

Abstract

Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae family) known as **physic nut**, is a bushy, deciduous, perennial, fast-growing plant that can reach three to five meters in height. Considered a kind of interest for income generation, mainly for the Brazilian hinterland, there are several studies that aim to understand the potential and challenges of cultivation, as well as the *Jatropha* production chain. Thus, the objective of this work is to present the botanical characteristics, cultivation and potential of *Jatropha* as a source of oil for biodiesel. For this, the article has a literature review on the botanical characterization of the species, the economic importance and agronomic potential, safety methods and advances and challenges in the cultivation of *Jatropha curcas*. As research findings, *J. curcas* besides being a potential species for the generation of biodiesel (percentage of oil in seeds 40-60%) and being able to be cultivated in areas of lesser interest for food production, has other functionalities, as an example, the generation of fuel ethanol from the pie crust and biogas, green manure, living fence, medicinal importance and others. Together, it has advantages compared to other oilseeds, as it is not suitable for human consumption. However, despite the rusticity, the productivity decreases with the water deficit and the unevenness in flowering and fruiting, they are still crossed by the productivity gain of the species and harvest in the field. Therefore, research that addresses the phenological patterns of the species, the choice of cultivars and the development of production systems for the different producing regions, if necessary.

Keyword: *Jatropha curcas*; biodiesel; physic nut.

Resumen

Jatropha curcas L. (familia Euphorbiaceae) conocida como jatropa, es una planta arbustiva, caducifolia, perenne y de rápido crecimiento que puede alcanzar de tres a cinco metros de altura. Considerado un tipo de interés para la generación de ingresos, especialmente para el sertón brasileño, hay varias investigaciones que tienen como objetivo comprender las potencialidades y desafíos del cultivo, así como la cadena de producción de jatropa. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es presentar las características botánicas, de cultivo y potenciales de la jatropa como fuente de aceite para biodiesel. Para ello, el artículo cuenta con una revisión bibliográfica sobre la caracterización botánica de la especie, la importancia económica y potencial agronómico, métodos de propagación y avances y retos del cultivo de *Jatropha curcas* para la generación de biocombustibles. Como hallazgos de investigación, la jatropa, además de ser una especie potencial para la generación de biodiesel (porcentaje de aceite en semillas 40-60%) y puede cultivarse en áreas de menor interés para la producción de alimentos, tiene otras funcionalidades, como la generación de etanol combustible a partir de la corteza y biogás del pastel, abono verde, seto, importancia medicinal y otros. Sin embargo, a pesar de la rusticidad, la productividad disminuye con el déficit hídrico y el desnivel en la floración y consecuente fructificación, siguen siendo obstáculos para la ganancia de productividad de la especie y la cosecha en el campo. Por lo tanto, es necesaria una investigación que aborde los patrones fenológicos de la especie, la elección de cultivares y el desarrollo de sistemas de producción para las diferentes regiones productoras.

Palabras clave: *Jatropha curcas*; biodiesel; *Jatropha*.

INTRODUÇÃO

O clima mundial está sofrendo mudanças provocadas, entre outras razões, pela intensa e crescente emissão de gases poluentes na atmosfera, dentre eles o dióxido de carbono (CO₂), o que se deve, principalmente, ao consumo de combustíveis fósseis como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo (IPCC, 2022). Em 2000, tais fontes de carbono compunham 80% da matriz energética mundial, sendo 36% compostas de petróleo. No Brasil, a participação dessa *commodity* até o mesmo ano era ainda maior, na ordem de 43%, sendo o setor de transportes o maior consumidor (BRASIL, 2005). Apesar da diversificação da matriz energética nacional obtida nas últimas décadas, dados de 2021 do relatório Balanço Energético Nacional (BEN), apontam que no mesmo ano, 34,4% da energia utilizada no Brasil foi composta pelo petróleo e derivados, sendo que a totalidade de energia não renovável foi de 55,3%, com o gás natural contribuindo com 13,3% e o carvão mineral, 5,6% (MME, 2022).

Associadas ao consumo, a poluição atmosférica, a concentração geográfica das jazidas, sua finitude e a volatilidade do preço do petróleo, atuam como forças motrizes de guerras geopolíticas e de crises como a chamada “crise do petróleo” na década de 70. Situações estas, que forcem governos e indústrias a buscar fontes energéticas alternativas desde décadas passadas (SILVA; FREITAS, 2008). Desta forma, cada vez mais consolida-se a necessidade de um combustível alternativo que reduza o consumo e a dependência que as sociedades atuais têm do petróleo e que ao mesmo tempo seja renovável e menos poluente.

Dentre as principais alternativas pode-se citar o biodiesel. Definido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) como um combustível líquido sintético, constituído por uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa e proveniente de matérias-primas renováveis (DEMIRBAS, 2005), como os óleos vegetais “puros”, os já utilizados (de cozinha) ou gordura animal (SILVA; FREITAS, 2008; MACHADO, 2010).

No Brasil, esse combustível é definido pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 como, “combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para a geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005a) e que tem sua produção incentivada e respaldada pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) (BRASIL, 2005b). Regulamentado pela mesma lei, há no Brasil, desde 2010, a obrigatoriedade da mistura de 5% de biodiesel ao diesel com crescentes anuais, o que oportunizou a utilização de espécies vegetais com potencial para produção de óleo e a alavancagem das

oleaginosas nas pesquisas e produção com a demanda de matéria prima surgida (ANP, 2011). Atualmente, o biodiesel conta com um percentual mínimo no diesel de 13% (B13), sendo que, de acordo com o cronograma estabelecido, o teor mínimo será estendido 1% a cada ano, até atingir o percentual de 15% em 2023 (ANP, 2021). Em consonância, impulsionado pelo setor de transporte, o consumo de biodiesel no país em metros cúbicos aumentou 5,5% em 2021 (MME, 2022).

Nesse contexto, o Governo Federal, em 2004, lançou PNPB, na expectativa de que o potencial do país ao cultivo de espécies oleaginosas atenda a demanda por combustíveis de fontes renováveis, gerando empregos e renda na agricultura familiar e contribuindo para sua economia (BRASIL, 2005b). A especificação do biodiesel a ser comercializado no país para ser misturado ao óleo diesel A é estabelecida pela Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014 (ANP, 2014), enquanto para o diesel B a proposta ocorreu por meio da Nota Técnica Conjunta nº 10/2021/ANP (ANP, 2021).

Com esta iniciativa, novas espécies de oleaginosas vêm sendo inseridas como fonte de matéria-prima para biocombustível, dentre elas, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Esta espécie tem sido considerada promissora, devido à sua rusticidade, resistência à seca e alta produtividade de óleo (entre 40% e 60%) nas suas sementes (CARNIELLI, 2003; SATURNINO et al., 2005, LAVIOLA, 2019, GAVILANES et al., 2021). Estudos com a *Jatropha curcas* para estes fins, vem sendo realizado em diversas regiões do mundo. Na Índia, foi realizada a cinética simplificada do processo de transesterificação catalisada por ácido-base resultando na conversão para o biodiesel (JAIN; SHARMA, 2010)

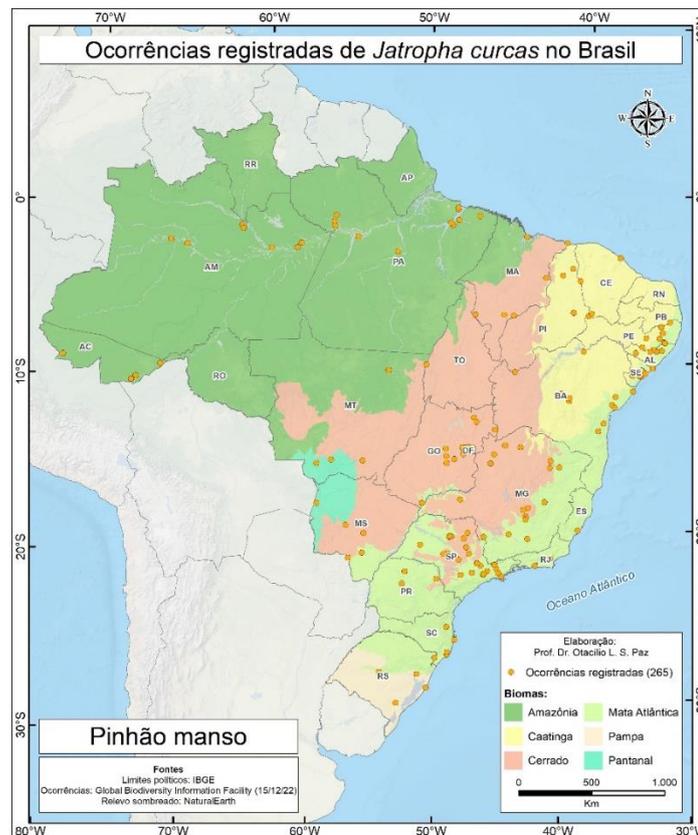
No entanto, a espécie encontra-se ainda em processo de domesticação, sendo necessária a ampliação de seus estudos, pensando as várias áreas em potencial para o cultivo (SATURNINO et al., 2005; SATO et al., 2009, LAVIOLA, 2019). Portanto, o objetivo do presente trabalho é apresentar, por meio de pesquisa bibliográfica derivada de uma dissertação de mestrado (WITT, 2015), as características botânicas, de cultivo e potencialidades do pinhão-manso como fonte de óleo para o biodiesel. Para isso, o artigo conta com uma revisão de literatura sobre a caracterização botânica da espécie, a importância econômica e potencial agrônomo, métodos de propagação e, por fim, de forma dialogada, se propõem a discorrer sobre as potencialidades e desafios do cultivo de *Jatropha curcas*.

CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA DE *Jatropha curcas* L.

O gênero *Jatropha* pertence ao grupo Joannesieae, família Euphorbiaceae e contém aproximadamente 170 espécies conhecidas. Linnaeus (1753) foi o primeiro a identificar o pinhão-manso *Jatropha* L. na “*Species Plantarum*”, com o nome do gênero *Jatropha* derivado do grego *jatrós* (médico) e *trophé* (alimento), implicando em uma origem medicinal para o seu uso (KUMAR; SHARMA, 2008).

O pinhão-manso é uma pequena árvore ou um grande arbusto, perene, que pode atingir altura entre três e cinco metros, mas sob condições favoráveis pode chegar a 8-10 metros. Nativa das Américas, mas sem definição exata do local de origem, ocorre espontaneamente em quase todo o território brasileiro, em menor escala, nas regiões mais frias (DIVAKARA et al., 2010) (Figura 1).

Figura 1. Ocorrências registradas de *Jatropha curcas* no Brasil



Fonte: os autores.

O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm; possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, dividido desde a base, em compridos ramos com numerosas cicatrizes

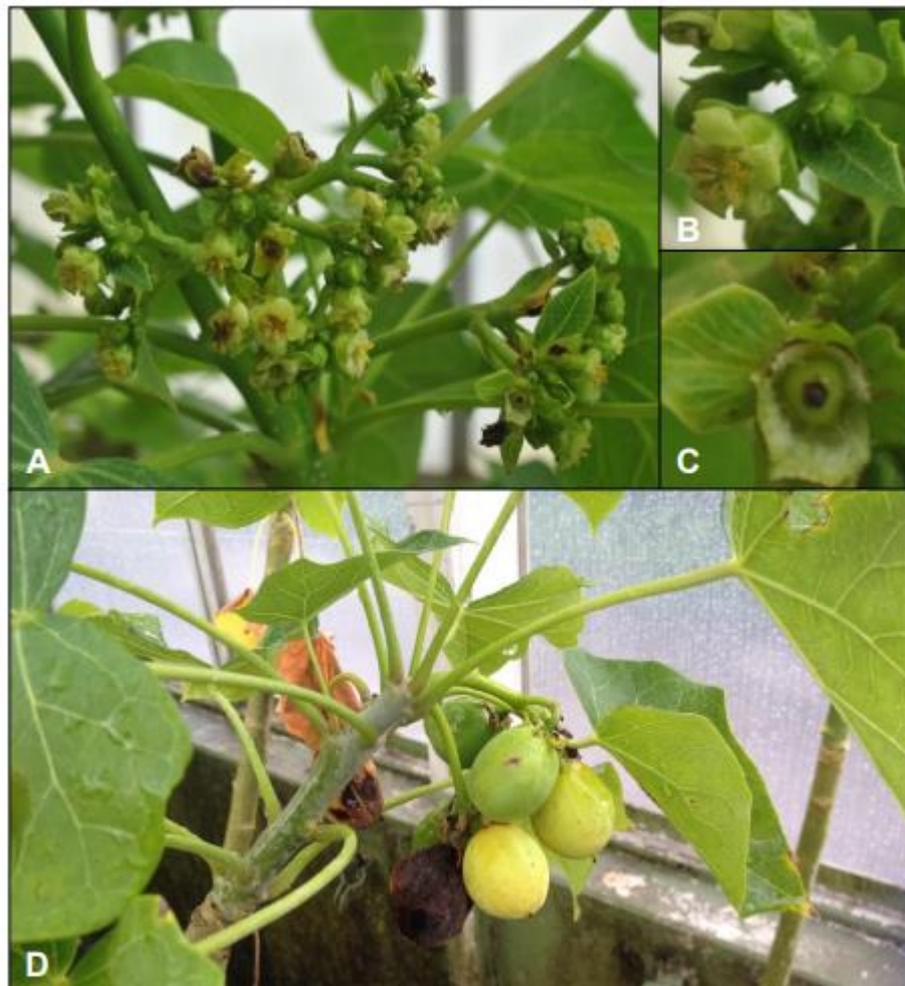
produzidas pela queda das folhas na estação seca ou de baixas temperaturas (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005).

Definida como uma planta caducifólia, suas folhas caem em parte ou totalmente quando termina a estação chuvosa ou durante a estação fria, quando a planta entra em período de repouso que dura até o começo da primavera ou da estação chuvosa (SATURNINO et al., 2005). O término do repouso vegetativo é demonstrado pelo rápido surgimento dos brotos no ápice dos galhos do ano. Na mesma ocasião do surgimento dos brotos, surgem também as inflorescências (ARRUDA et al., 2004; SANTOS et al., 2010). No entanto, para Henning (2009) não só a temperatura e a disponibilidade de água, mas também o fotoperíodo atua na fenologia da espécie; contudo, nem todas as plantas respondem aos mesmos estímulos, podendo haver desuniformidade na área de plantio.

A floração da espécie é do tipo monóica e díclina, apresentando-se na mesma planta, mas com sexos separados, flores femininas e masculinas (Figuras 2A, B e C), sendo as flores femininas maiores do que as masculinas; no entanto, em pequenas quantidades, há também registros de flores hermafroditas (KAUR et al., 2011). A razão entre flores masculinas e femininas é, em média, de 29:1 (Saturnino et al., 2005) e, o que por consequência, leva a um número de sementes aquém do esperado (GHOSH et al., 2010).

De acordo com Dias et al. (2007), a floração é descontínua e a abertura das flores femininas ocorre em dias variados; à medida que uma flor abre, as outras se abrirão diariamente durante cerca de 11 dias consecutivos, o que resulta na mesma floração, em frutos em estádios diferentes de maturação (Figura 2D). A polinização é entomófila, realizada por abelhas, trips e moscas. Da formação do botão floral ao fruto maduro são necessários em média 120 dias (SANTOS et al., 2010; FERNANDES et al., 2013). A espécie pode apresentar duas florações por ano, uma na estação seca e outra na estação chuvosa (Santos et al., 2010; Kaur et al., 2011), ou ainda, quando em regiões quentes e permanentemente úmidas, a floração pode ser contínua durante todo o ano (HELLER, 1996).

Figura 2. *Jatropha curcas* L.: A. Inflorescência. B. Flor masculina, C. Flor feminina. D. Maturação descontínua dos frutos



Fonte: WITT, 2015.

O fruto é classificado como capsular ovóide de diâmetro entre 1,5-3 cm (Arruda et al., 2004) e entre 2-2,5 cm com peso de 2,9g (SATURNINO et al., 2005). Santos et al. (2010) encontraram peso médio de 3g para os frutos de pinhão-manso que se apresentaram como secos deiscentes e Nunes et al. (2007) descrevem os frutos maduros com epicarpo de coloração marrom-escuro e quando secos de coloração preta. O início da produção do pinhão-manso se dá por volta do décimo mês após o plantio, no entanto, a produtividade atinge a plenitude no terceiro ou quarto ano, mantendo-se viável até aproximadamente os 40 anos (ARRUDA et al., 2004). Apesar destas projeções sobre a idade fisiológica da espécie, têm-se percebido que o ciclo reprodutivo do pinhão-manso apresenta forte dependência das características ambientais, as quais também irão determinar a produtividade da lavoura (MAES et al., 2009).

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIAL AGRONÔMICO

Considerada uma espécie oleaginosa apropriada ao cultivo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, devido sua rusticidade e resistência às condições adversas de clima e solo, o pinhão-manso pode ser cultivado em grande parte do território nacional (Arruda et al., 2004; Severino et al., 2007), sendo importante alternativa para o sertão brasileiro. O fator mais limitante para a espécie provavelmente seja as baixas temperaturas, o que dificulta seu estabelecimento em áreas subtropicais ou mesmo temperadas (ARRUDA et al., 2004).

Por mais que a cultura venha sendo indicada para áreas com pouca disponibilidade de água, alguns autores apontam queda na produtividade quando há déficit hídrico (SATO et al., 2009, GOMES et al., 2019). Em contrapartida, respostas positivas ao uso da irrigação foram encontradas por Openshaw (2000).

Quanto à disponibilidade de nutrientes, apesar da recomendação de plantio em áreas com restrição nutricional (Heller, 1996; Henning, 2000), há autores que indicam para cultivos comerciais e alta produtividade de frutos, a utilização de fertilizantes, havendo grande demanda pelo fósforo, nitrogênio e potássio, principalmente durante a fase reprodutiva (Openshaw, 2000; Laviola; Dias, 2008) e segundo Silva et al. (2009) a ordem de limitação encontrada seria de $Ca > Mg > K > N > P > S$ para os macronutrientes, sendo a carência destes observável nas folhas.

O interesse majoritário pela espécie é para a produção de biodiesel, devido suas sementes apresentarem alto teor de lipídeos, entre 40 e 60% de óleo, a depender da cultivar (Gavilane et al., 2021), valor superior ao da maioria das oleaginosas utilizadas no mercado, como por exemplo, a soja e o algodão com apenas 19% (KUMAR; SHARMA, 2008). O girassol e a mamona apresentam teores de óleo superiores ao pinhão-manso, porém com rendimento de óleo para o biodiesel e produtividade média inferiores. A presença de curcina (proteína tóxica), nas sementes de *J. curcas* impede seu uso para a alimentação sem destoxificação, evitando a competição como recurso alimentar (Miranda, 2011), característica esta que define o óleo do pinhão-manso como de segunda geração – não comestível (DUARTE et al., 2022). Ainda, é possível utilizar as cascas dos frutos para a geração de etanol e a torta resultante da extração do óleo para a produção de biogás (Gavilane et al., 2021), características essas que alavancam a sustentabilidade da cadeia produtiva da espécie.

Além da importância para a geração de biocombustíveis, o pinhão-manso apresenta outras utilidades, tais como cerca viva, já que não é palatável para caprinos e bovinos e assim, pode proteger campos agrícolas (Kumar; Sharma, 2008) adubo verde, fertilizante agrícola, ração animal (Kumar; Sharma, 2008; Sato et al., 2009), e carvão vegetal (Heller, 1996; Arruda et al., 2004;

KUMAR; SHARMA, 2008). A glicerina, seu sub-produto, pode ser utilizada como sabão e combustível para lamparinas (KUMAR; SHARMA, 2008; SATO et al., 2009). Além disso, tem interesse medicinal, uma vez que todas as suas partes são utilizadas pela medicina tradicional para o tratamento das mais diversas doenças, inclusive, alguns dos compostos produzidos vêm sendo estudados e testados por laboratórios (Kumar; Sharma, 2008; Sato et al., 2009) e na indústria de cosmético tem sido utilizado como alternativa à manteiga de karité e constituintes de condicionador de cabelo (RIJSSENBEEK, 2006).

A produção da *Jatropha curcas*, pode, portanto, ser ainda mais rentável, uma vez que a economia gerada pela produção da planta é diversificada, podendo ser comercializada em diferentes mercados, tendo o do biodiesel, o mais rentável. Com isso, pequenos e grandes produtores podem ter seus produtos comercializados, separando as partes de interesse para cada tipo de economia (farmacêutica, combustível, fertilizantes, alimentação e outras).

Recentemente, estudos realizados no Paquistão, demonstraram o poder lucrativo da *Jatropha curcas* na produção de biodiesel, com adoção de uma estrutura política relacionada ao meio ambiente e à viabilidade socioeconômica da produção de combustível, contribuindo, assim, para o desenvolvimento econômico do país, com menores impactos ambientais (YAQOOB et al., 2021). Neste estudo, os autores demonstraram que o impacto ambiental da produção da planta é positivo, especialmente porque pode ser cultivada em terrenos áridos e mesmo em épocas de escassez pela seca, o permite que a economia continue a se desenvolver. Contribuindo assim, de forma direta para a economia do país. Quando estudos semelhantes avançarem no Brasil, possivelmente possam ocorrer os mesmos benefícios que ocorreram no Paquistão.

Arelado a todas essas possibilidades de uso, o pinhão-manso é uma espécie perene com grande produtividade de óleo por hectare plantado (4,0 – 6,0 toneladas por hectare) (Carioca et al., 2009), o que atrai ainda mais o interesse pela espécie na possibilidade de reduzir a área plantada com a finalidade de se obter óleo vegetal (Miranda, 2011) e a torna altamente competitiva com as demais espécies cultivadas no Brasil (CARIOCA et al., 2009).

O biodiesel do pinhão-manso demonstrou ser adequado para o uso em motores de combustão interna devido às suas características físico-químicas (Araújo et al., 2008) e menos poluente do que o óleo diesel (SATO et al., 2009). Apresenta também variações pouco significativas de acidez, além de possuir melhor estabilidade à oxidação do que a soja e a palma, e boa viscosidade se comparado à mamona (ARRUDA et al., 2004; TAPANES et al., 2007). Na África e na Ásia, durante a Segunda Guerra Mundial, o óleo do pinhão-manso chegou a ser utilizado como substituto ao diesel; no entanto, as pesquisas foram abandonadas com a evolução da situação internacional pós-guerra (SATO et al., 2009). Atualmente, países como a Índia, utiliza como uma

das principais matérias primas para produção de biodiesel, o óleo de pinhão-manso (DUARTE et al., 2022).

PROPAGAÇÃO DA ESPÉCIE

A propagação do pinhão-manso pode ser estabelecida por sementes ou mudas de origem vegetativa e a escolha do método influi no ciclo reprodutivo da cultura (SATURNINO et al., 2005). A via de propagação por sementes, também chamada sexual ou seminífera, deve ser feita obedecendo certos critérios. É importante o conhecimento da espécie e do hábito de reprodução da planta fornecedora das sementes. A planta deve ter as melhores características da espécie ou variedade em questão, tais como alta produção, boas características dos frutos, precocidade, sanidade e vigor (SILVA, 2005).

Estudos realizados por Tagliani (2011) mostram que sementes germinadas diretamente no substrato apresentaram 100% de taxa de germinação e aquelas embebidas em água por vinte e quatro horas em temperatura ambiente de 25°C, durante a pré-germinação, apresentaram melhores índices de velocidade de germinação e protrusão radicular mais vigorosa, concluindo que sementes de pinhão-manso não apresentam dormência. Moreira (2013) também concluiu que para a germinação de pinhão-manso não há necessidade de tratamento pré-germinativo e sugeriu escarificação seguida de doze horas de imersão em água como facilitadores da emissão radicular.

A obtenção de mudas deve ser iniciada com a aquisição de material adequado às condições locais e finalidade específica. Esse material deve ser oriundo de um processo de seleção e propagação de plantas com as características desejadas, também chamadas de plantas “de elite” (BATISTA, 2012).

Apesar da propagação sexuada de pinhão-manso ser uma técnica viável e usual, a propagação vegetativa por meio de miniestacas apresenta bons resultados. A vantagem dessa técnica consiste na seleção de genótipos favoráveis, por meio de cultivares com características vantajosas, além da produção de mudas em menor espaço de tempo e com idade fenológica mais avançada, o que pode antecipar e padronizar a floração (ZUFFELLATO-RIBAS, 2019).

CULTURA DO PINHÃO-MANSO

No Brasil, apesar de já se terem iniciativas de produção e pesquisa com o pinhão-manso, como é o caso do projeto Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Pinhão-Manso para Produção de Biodiesel (BRJATROPHA), a utilização como biodiesel ainda precisa ser mais difundida e os

estudos referentes ao uso deste vegetal ainda necessita de maiores incentivos de pesquisa e financiamento. Portanto, a seguir, serão apresentados resultados de diferentes pesquisas acerca do cultivo de *J. curcas* em diferentes regiões do Brasil e do mundo.

Pesquisas e Cultivo do Pinhão-Manso

Por ser uma planta ainda em processo de domesticação, estudos com o pinhão-manso em cultivo a campo em diferentes condições edafoclimáticas e, em ambiente protegido e/ou controlado, estão em fase de implantação e/ou avaliação (CUNHA et al., 2009; PAULINO et al., 2011; FERNANDES et al., 2013). Em parte dessas pesquisas, há para além da compreensão do padrão fenológico da espécie a busca por cultivares com características favoráveis, uma das etapas consideradas por Laviola (2019), como fundamentais para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva de pinhão-manso.

Pesquisas com a cultura a campo vêm sendo implantadas em diferentes regiões do Brasil. Cunha et al. (2009), na cidade de Altamira – Pará, com o objetivo de avaliar a influência do espaçamento no crescimento e desenvolvimento de mudas provenientes de diferentes genótipos, identificou que, o maior espaçamento, independente do material vegetal, alterou positivamente a produtividade. Esses resultados sugerem que o aumento da população de plantas provoca competição por nutrientes, água, luz e CO₂, o que pode resultar em decréscimo de produção por planta e até redução da produtividade por área (PETINARI et al., 2012).

Avaliando aspectos do desenvolvimento com plantio a campo, sob diferentes fontes de adubações e produtividade no município de Remígio, estado da Paraíba, Fernandes et al. (2013) identificaram que a abscisão foliar ocorreu com a queda da pluviosidade. Determinaram também, que o intervalo de tempo entre a floração e o fruto maduro nas condições da pesquisa demandou 120 dias. Santos et al. (2010), na cidade de Rio Largo, estado de Alagoas, avaliaram a fenologia e crescimento da espécie nas condições edafoclimáticas da região e atingiram resultados fenológicos semelhantes aos exibidos por Fernandes et al. (2013), concluindo que a espécie é caducifólia e que 120 dias é o tempo médio entre a florada e colheita dos frutos.

Com os resultados encontrados, o que se pode sugerir é que possivelmente a semelhança climática das condições dos dois experimentos relatados, a saber, clima quente e úmido com chuvas concentradas nas mesmas épocas do ano e de quatro a cinco meses de período com baixa pluviosidade, convergiu às respostas da espécie quando em plantio a campo, estando a temperatura, pluviosidade, radiação e o fotoperíodo coordenando os eventos fisiológicos.

Em contrapartida, Queiroz et al. (2013), ao compararem o crescimento vegetativo e a fenologia de três espécies de *Jatropha* no município de Lagoa Seca (Paraíba), em condições de campo e durante a estação chuvosa, encontraram um ciclo reprodutivo médio para *Jatropha curcas* de 97 dias, diferindo dos resultados citados anteriormente, sugerindo que a elevada pluviosidade da época do plantio tenha afetado positivamente o ciclo reprodutivo da espécie.

Tanto a precipitação, quanto a disponibilidade de água para a planta deve ser considerada em estudos fenológicos das espécies e estes fornecem informações sobre ritmos de crescimento e reprodução, interações com o clima, produção de frutos e sementes (FISCH et al., 2000; BULHÃO; FIGUEIREDO, 2002). Além disso, a avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode favorecer a melhor utilização das práticas culturais, conhecimento da dinâmica fenológica e servir como base para a elaboração de estratégias de cultivos (BERGAMASCHI, 2007).

Pesquisas com o pinhão-manso em diferentes áreas vêm elucidando as relações entre a espécie e os parâmetros ambientais nas diversas regiões brasileiras, com ênfase nas zonas mais quentes, tanto pelas condições requeridas pela espécie quanto por ser uma cultura em potencial para zonas áridas e semiáridas brasileiras, onde há necessidade de implantação de novas culturas, principalmente na agricultura familiar. Em conjunto, verifica-se que o crescimento e desenvolvimento da espécie divergem de forma correlata com as condições climáticas das condições do plantio.

Em ambiente protegido, o cultivo do pinhão-manso, na maioria das pesquisas versa sobre o desenvolvimento da espécie relacionado com o suprimento hídrico, como realizado por Silva et al. (2011) em pesquisa conduzida em casa de vegetação no município de Campina Grande, no Estado da Paraíba, com o objetivo de avaliar o crescimento e produção do pinhão-manso sob vários níveis de reposição da evapotranspiração com água residuária (esgoto doméstico). Os autores acompanharam as variáveis, altura, diâmetro, número de folhas e área foliar a cada 42 dias e o número de cachos com frutos por planta durante o período reprodutivo. Na região, a média anual da temperatura máxima é de 27,5 °C, a mínima de 19,2 °C e a altitude média de 550m. Com relação ao crescimento em altura os autores constataram, em plantas de pinhão-manso bem supridas de umidade (reposição de água igual a 100% da evapotranspiração), altura média de 130 cm próxima dos 144 dias após o transplante (SILVA et al., 2011).

Resultados similares foram encontrados por Queiroz et al. (2013) em experimento a campo em período chuvoso, também no Estado da Paraíba. Em condições de suprimento hídrico adequado a cultura do pinhão-manso, apresentou crescimento e desenvolvimento contínuo,

havendo inclusive incrementos lineares para as variáveis vegetativas e, quanto maior foi a reposição da evapotranspiração maior foi o incremento de cachos de frutos por planta. A variável mais sensível ao déficit hídrico é a área foliar, indicando que a espécie reduz a área do limbo foliar, como mecanismo de otimizar o uso da pouca água disponível (SILVA et al., 2011).

Em pesquisa realizada no estado de Goiás, verificando o efeito da água salina no desenvolvimento do pinhão-manso, verificaram redução no crescimento vegetativo e elevados índices de senescência e abscisão foliar (MATOS et al., 2013). Nery et al. (2009), encontraram resultados semelhantes ao disponibilizar água salina para plantas de pinhão-manso por 163 dias ao averiguarem redução significativa na altura, diâmetro, número e área foliar.

Como a floração e a brotação, marcam o início do ciclo reprodutivo das espécies, com a formação de folhas, flores, frutos e sementes, e o interesse em *J. curcas* é a obtenção de sementes, sendo essas características de importância econômica, pesquisas sobre o controle da floração vem ocorrendo em várias regiões do mundo, chegando a resultados importantes, principalmente quanto a variedade de estímulos que regulam a transição do crescimento vegetativo para o crescimento reprodutivo, tanto aqueles externos quanto internos (MAES et al., 2009).

A partir de análises fisiológicas e genéticas da floração têm-se buscado qualificar os estímulos (WU et al., 2011); dentre os exógenos, estudos apontam que a floração e conseqüentemente a produtividade, é altamente afetada por condições geográficas e ambientais apresentando bom desenvolvimento quando cultivada em regiões tropicais e subtropicais entre as latitudes 30° N e 35° S (MAES et al., 2009).

A temperatura e pluviosidade são consideradas fundamentais para o ciclo reprodutivo do pinhão-manso. Temperaturas muito baixas, associadas a geadas, podem provocar a morte das plantas ou reduzir drasticamente a produção de sementes e, quando a disponibilidade de água está aquém do ideal, ocorre queda na produtividade (MAES et al., 2009). De acordo com Andrade et al. (2008) a temperatura mínima letal para o pinhão-manso está entre -3°C e -4°C, porém já há redução da taxa fotossintética com temperaturas positivas próximas a 0°C.

Wu et al. (2011) descreveram 12 fases do desenvolvimento das flores em pinhão-manso. Até a fase 5, o tecido é unissexual, sem diferenciação, o qual começa a diferenciar na fase seguinte, com a formação dos estames primordiais em todas as flores, indicando que no início do seu desenvolvimento as flores femininas são bissexuais e apresentam localização específica dentro da inflorescência; porém a diferenciação é coordenada por parâmetros ambientais, como temperatura e disponibilidade água. Para os autores, temperaturas médias e quantidade de água apropriada propiciam a diferenciação em flores femininas, informações que corroboram Dhillon et al. (2006),

ao identificarem relação positiva entre a queda de temperatura e aumento das flores masculinas com subsequente redução no número de flores femininas.

Como o ciclo reprodutivo do pinhão-manso é regulado por características climáticas, em regiões permanentemente úmidas, a floração das plantas é contínua, ocorrendo o ano todo (Heller, 1996), como nas províncias orientais da China Sichuan, Yunan e Hainan (WU et al., 2011). Em contrapartida, em regiões com estações definidas, pode apresentar picos de floração bem marcantes, como encontrado por Santos et al. (2010), no município de Rio Lago, estado de Alagoas, com a florada principal ocorrendo no início da estação chuvosa (outono/inverno) e outra com números reduzidos, durante a estação seca e quente (primavera). Comportamento semelhante de florescimento foi encontrado em diferentes regiões de clima tropical e subtropical (MAES et al., 2009).

Meng et al. (2009) estudando pinhão-manso em regiões de clima quente na China verificaram que a planta floresce duas vezes ao ano apresentando duas frutificações; entretanto, em algumas regiões secas a floração só ocorreu uma vez por ano devido à baixa disponibilidade hídrica do solo.

O início do ciclo reprodutivo também é coordenado pelos eventos ambientais e características genéticas da planta (MAES et al, 2009; WU et al., 2011), podendo ocorrer já aos seis meses de idade como encontrado no estado de Alagoas (SANTOS et al., 2010) ou iniciando aos dez meses, como sugerido por Arruda et al. (2004).

Além dos estudos moleculares, bioquímicos e ambientais favorecerem o manejo floral das espécies, o uso de substâncias sintéticas também pode modificar o comportamento vegetativo e reprodutivo das plantas, constituindo um importante meio de interferir no ciclo dos vegetais. Tendo isso como premissa, experimento realizado em estufa no município de Colombo – Paraná, com mudas de origem seminal de dois genótipos de *J. curcas* com a aplicação de diferentes concentrações do regulador vegetal PBZ (Paclobutrazol), obteve redução das características biométricas altura, diâmetro e número de folhas (ZUFFELLATO-RIBAS, WITT e LAVIOLA, 2016). No entanto, o regulador não antecipou a floração, resultado semelhante ao encontrado por Ghosh et al (2010), os quais apontam que não há resposta de florescimento com a aplicação de PBZ durante o primeiro ciclo reprodutivo. Já no ano seguinte, ocorre maior produtividade com o uso desta anti-giberelina.

Portanto, a nível das pesquisas nacionais, percebe-se variedade de estudos com o pinhão-manso com foco nas zonas mais quentes do país e tratando a problemática regional que é a disponibilidade de água, a qual, apesar de não ser limitante, altera o crescimento e desenvolvimento e o ciclo reprodutivo da espécie. Já para a região sul, onde o fator limitante comumente é a

temperatura, pouco se estuda o desenvolvimento do pinhão-manso, não sendo uma área natural de interesse para o cultivo de *J. curcas*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características físico-químicas do óleo de *J. curcas* e a produtividade por hectare como biocombustível de segunda geração se demonstra uma forma viável, econômica e que pode contribuir com o meio ambiente no Brasil. Além disso, por não competir como um recurso de alimento, o elevado teor de óleo por semente e certa rusticidade da espécie (resistência ao déficit hídrico e a solos pobres) são favoráveis para o seu cultivo. Todavia, ainda são necessárias pesquisas que se proponham a entender o manejo e as características agronômicas de *J. curcas* no Brasil e nas diferentes regiões com potencial de produção, visando assim, o desenvolvimento de sistemas de produção eficientes e sustentáveis.

Estudos que versem sobre o crescimento e desenvolvimento com foco nas características fenológicas da espécie, com vistas ao aumento da floração e consequente frutificação poderão aumentar a produtividade da planta e consequentemente, promover melhoria para a economia do país, inclusive em áreas onde existem escassez de recursos como as áreas do sertão.

O aumento do conhecimento e produção do *J. curcas*, poderão colocar o cultivo desta planta em patamar economicamente mais atrativo, podendo ser comparadas com outras já comumente utilizadas no Brasil, como é o caso da soja, do óleo de palma/dendê e girassol, as quais além de maior exigência hídrica e de nutrientes, são fontes de alimentos, o que pode fazer com que estas reduzam a produtividade de biocombustível. Ainda, para além das características agronômicas, o aproveitamento integral de resíduos e o uso de recursos tecnológicos são considerados importantes quando se pensa a viabilidade econômica, social e ambiental da cadeia de produção de *J. curcas*.

Por fim, para além do potencial agronômico da espécie, o cultivo de pinhão-manso também deve ser visto como uma alternativa mais ecológica para o uso de combustíveis reduzindo assim o impacto antrópico nas mudanças climáticas ocasionadas pela queima de combustível fóssil.

REFERÊNCIAS

ANP. *Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. 2011. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 15 dez. 2022.

ANP. *Resolução ANP nº 45, 25 de agosto de 2014*. Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADAMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

que comercializam o produto em todo o território nacional. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ANP. *Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*, 2015. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 15 dez. 2022.

ANP. *Resolução de Diretoria RD N° 248/2021*. Nota Técnica Conjunta n° 10/2021/ANP que apresenta a proposta de novo modelo de comercialização de biodiesel para atendimento da mistura obrigatória ao Diesel B, elaborada pelo Grupo de Trabalho instituído pela Portaria ANP n° 292/2020, de forma a atender o disposto na Resolução CNPE n° 14/2020. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/composicao/diretoria-colegiada/reunioes-da-diretoria-colegiada/pautas-atas-e-calendario-de-reunioes-da-diretoria-colegiada/2021/ata-1046-2021.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino. *Revista de Oleaginosas e Fibras*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ARAÚJO, E. C. E.; RIBEIRO, A.M.B. Avaliação Fenológica de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.) no Município de Teresina-PI. Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 5, 2008, Lavras-MG. *Anais [...]* Lavras-MG, UFLA, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45058/1/a5310.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

BATISTA, L. R. L. *Características radiculares e fisiológicas de pinhão-manso (Jatropha curcas L.) propagado por semente e por estaca cultivados sob diferentes condições hídricas*. 2012. 47f. Dissertação. Mestrado em Agronomia Produção Vegetal, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2012.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. C. (Org.). *Fenologia ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos*. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. p. 291-310.

BRASIL. *Lei n° 11.097*, 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Brasília, 2005a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.097%2C%20DE%2013%20DE%20JANEIRO%20DE%202005.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20introdu%C3%A7%C3%A3o%20do,2002%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 15 dez. 2022.

BRASIL. *Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNPB)*. Brasília, 2005b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>. Acesso em: 15 dez. 2022.

BRASIL. MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. *Plano Nacional de Agroenergia*. Brasília, 2005. 120p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos/pna-2ed-portugues.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADAMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

BULHÃO, C. F.; FIGUEIREDO, P. S. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 25, n. 3, p. 361-369, 2002.

CARIOCA, J.O.B; HILUY FILHO, J.J.; LEAL, M.R.I.V; MACAMBIRA, F.S. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. *Biotechnology Advances*. n. 27. p. 1043-1050, 2009.

CARNIELLI, F. O combustível do futuro: UFMG e governo de Minas firmam parceria para implantar unidades produtoras de biodiesel. *Boletim UFMG*, n. 1413, ano 29, 2003. Disponível em: <https://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CUNHA, R. L.; LUNZ, A. M.; ADAMS, M. Avaliação do crescimento vegetativo e reprodutivo em plantas de pinhão manso sob condições de campo. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão Manso, 1, 2009, Dom Eliseu-PA. *Anais [...]*. Dom Eliseu: Embrapa, Amazônia oriental, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43535/1/243.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DEMIRBAS, A. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress In Energy and Combustion Science*. n. 31. p. 466-487, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2005.09.001>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DHILLON, R. S. et al. Clonal propagation and reproductive biology in *Jatropha curcas* L. *Indian Journal Agroforest*, v. 8, n. 2, p. 18-27, 2006.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. *Cultivo de pinhão-manso (Jatropha curcas L.) para produção de óleo combustível*. V. 1. Viçosa: Editora UFV, 2007.

DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; LAXMIPATHI GOWDA, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, v. 87, p. 732-742, 2010.

DUARTE, V. H.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B. dos; NADALETTI, W. C.; VIEIRA, B. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 4, n. 2, p. 50-68, 2022. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/185>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS, J. P. & SILVA, J. R. P. Fenologia e produção do pinhão-manso cultivados com diferentes fontes de adubação. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 339- 346, 2013.

FISCH, S. T. V.; NOGUEIRA JR., L. R.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de *Euterpe edulis* Mart. na mata atlântica (reserva ecológica do Trabiju, Pindamonhangaba – SP). *Revista de Biociências de Taubaté*, v. 6, n. 2, p. 31- 37, 2000.

GAVILANES, F. Z.; ANDRADE, D. S.; SILVA, H. R.; CRUZATTI, L. G.; PALACIOS, C. C. Avaliação do potencial do uso de pinhão-manso para a geração de biocombustíveis. *UNESUM-Ciências: Revista Científica Multidisciplinária*, v. 5, n. 3, p. 33-46, 2021. Disponível em:

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADAMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

<https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/download/113/332/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

GHOSH, A., CHIKARA, J., CHANDHARI, D. R., PRAKASHI, A. R., BORICHA, G. AND ZALA, A. Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 29, p. 307-315. 2010.

GLOBAL Biodiversity Information Facility. GBIF.org. GBIF Occurrence Download. 2022.

Disponível em: <https://www.gbif.org/occurrence/download/0218982-220831081235567>.

Acesso em: 15 dez. 2022. <https://doi.org/10.15468/dl.3yh87a>.

GOMES, F. P.; OLIVEIRA, P. S. de; SANTANA, T. A. de; SILVA, L. D. da. Ecofisiologia de *Jatropha curcas*. In: LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V. (org.) *Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas*. Brasília: Embrapa, 2019. p.154-175.

HELLER, J. PHYSIC NUT. *Jatropha curcas* L. 1996, 66p. Tese. Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, Gatersleben, Alemanha, International Plant Genetic Resource Institute, Roma, Itália. 1996.

HENNING, R. K. *The Jatropha Manual: A guide to the integrated exploitation of the Jatropha plant in Zambia*. GTZ-ASIP-Support-Project Southern Province, 2000.

HENNING, R. K. *The Jatropha System*. An integrated approach of rural development. 2009.

JAIN, S & SHARMA, M.P. Biodiesel production from *Jatropha curcas* oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 9, p. 3140-3147, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.047>. Acesso em: 15 dez. 2022.

KAUR, K.; DHILLON, G. P. S.; GILL, R. Floral biology and breeding system of *Jatropha curcas* in north-western India. *Journal of Tropical Forest Science*, v. 23, n. 1, p. 4-9, 2011.

KUMAR A., SHARMA S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*. v. 28, n. 1, p. 1-10, 2008.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B.G. Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-manso para produção de biodiesel. In: LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V. (org.) *Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas*. Brasília: Embrapa, 2019. p.16-21.

MACHADO, A. B. 2010. 180f. Tese. Doutorado em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MAES, W. H.; TRABUCCO, A.; ACHTEN, W. M. J.; MUYS, B. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass Bioenerg*, v. 33, p. 1481-1485, 2009.

MATOS, F. S.; ROCHA, E. C.; CRUVINEL, C. K. L.; RIBEIRO, R. A.; RIBEIRO, R. P.; TICONO, C. F. Desenvolvimento de mudas de pinhão-manso irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 947-954, 2013.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADAMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

MENG, Y. et al. Current situation and prospects of *Jatropha curcas* as a multipurpose tree in China. *Agroforestry Systems*, v. 76, n. 2, p. 487-497, 2009. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-009-9226-x>. Acesso em: 15 dez. 2022.

MIRANDA, J. C. de C. *Criação do banco de dados, simulação e análise energética do processo de produção do biodiesel de soja, mamona e pinhão manso*, 2011, 162f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional (BEN), Relatório Síntese 2022, Ano base 2021*. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 15 dez. 2022.

MONTEIRO, J. M. G. *Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas*. 302f. Tese. Doutorado em Ciência de Planejamento Energético, Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MOREIRA, E. R. *Métodos de propagação do pinhão manso (Jatropha curcas L.)*, 2013, 118f. Tese. Doutorado em Agronomia. Faculdade de Engenharia, sistemas de produção. UNESP, Ilha Solteira, 2013.

NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R. DA; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 551-558, 2009.

NUNES, C. F. *Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão manso (Jatropha curcas L.)*, 2007, 78f. Dissertação. Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 19, p. 1-15, 2000.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; FLUMIGNAN, D. L.; ZOLIN C. A.; BARBOSA JÚNIOR C. R. A.; PIEDADE, S. M. S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p.3 7-46, 2011.

PETINARI, R. A.; SORATTO R. P.; SOUZA-SCHLICK G. D. DE; ZANOTTO, M. D.; BERGAMASCO, S. M. P. P. Custos de produção e lucratividade de cultivares de mamona em diferentes arranjos de plantas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 2, p. 143-149, 2012.

QUEIROZ, M. F. de; FERNANDES, P. D.; NETO, J. D.; ARRIEL, N. H. C.; MARINHO, F. J. L.; LEITE, S. F. Crescimento e fenologia de espécies de *Jatropha* durante a estação chuvosa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 17, n. 4, p. 405-411, 2013.

RIJSSENBECK, W. *Jatropha Handbook: first draft. Jatropha planting manual*. FACT Foundation, 2006. p. 14-23. Disponível em: <https://pt.calameo.com/read/001365632ebcc58ed3d51>. Acesso em: 15 dez. 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADAMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

SANTOS, C. M.; ENDRES, L.; WANDERLEY FILHO, H. C. L.; ROLIM, E. V.; FERREIRA, V. M. Fenologia e crescimento do pinhão-manso cultivado na zona da Mata do estado de Alagoas, Brasil. *Scientia Agraria*, v. 11, p. 201-209, 2010.

SATO, M.; BUENO, O. DE C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): Uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. *Revista Varia Scientia*, v. 07, p. 47-62, 2009.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). *Informe Agropecuário*, v. 26, p. 44-78, 2005.

SEVERINO, L.V.; LIMA, R. de L. S. de.; BELTRÃO, N. E. de M. Avaliação de mudas de pinhão manso em recipientes de diferentes volumes. Embrapa, Campina Grande-PB. *Boletim de Pesquisa e desenvolvimento*, n. 81, p. 16, 2007.

SILVA, P. H. M. *Sistemas de propagação de mudas de essências florestais*. Instituto de pesquisas e estudos florestais (IPEF), 2005.

SILVA, P. R. F. da; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 843-851, 2008.

SILVA, M. B. R.; FERNADES, P. D.; DANTAS NETO, J.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIEGAS, R. A. Crescimento produção do pinhão manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 621-629. 2011.

TAGLIANI. *Propagação de pinhão manso (Jatropha curcas L.) por sementes e miniestacas*, 2011, 96f. Dissertação. Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TAPANES, N. C. O.; ARANDA, D. A. G.; CARNEIRO, J. W. M. Produção de Biodiesel do óleo de Pinhão Manso. Modelagem da Cinética. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2, 2007. *Anais [...]* Brasília: ABIPTI, 2007.

YAQOOB, H.; TEOH, Y. H.; SHER, F.; ASHRAF, M. U.; AMJAD, S.; JAMIL, M. A.; JAMIL, M. M.; MUJTABA, M. A. *Jatropha Curcas Biodiesel: A Lucrative Recipe for Pakistan's Energy Sector*. *Processes*, v. 9, n. 7, 1129, p.1-36, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9071129>. Acesso em: 15 dez. 2022.

WITT, N. G. P. M. *Uso de Paclobutrazol no crescimento e florescimento de mudas de Pinhão-Manso (Jatropha curcas L.)*, 2015, 104f. Dissertação. Mestrado em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

WU J. L. Y.; TANG L.; ZHANG F.; CHEN F. A study on structural features in early flower development of *Jatropha curcas* L. and the classification of its inflorescences. *African Journal Agricultural Research*, v. 6, n. 2, p. 275–284, 2011.

ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WITT, N. G. P. M.; LAVIOLA, B. G. Uso de Paclobutrazol no crescimento e florescimento de mudas de pinhão-manso. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 6, Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 9, 2016. *Anais [...]* Natal, 2016.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 88-109.

Pinhão-manso (jatropha curcas) e biodiesel: potencialidades e desafios

WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques; WARNAVIN, Larissa; ATTADEMO, Fernanda Löffler Niemeyer; PAZ, Otacílio Lopes de Souza da

ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Enraizamento de miniestacas de pinhão-manso: propagação e anatomia. In: LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V. (org.) *Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas*. Brasília: Embrapa, 2019. p. 136-152.

1 WITT, Nicole Geraldine de Paula Marques. Graduada em Ciências Biológicas (licenciada e bacharela) pela Universidade Federal do Paraná (2010), especialista em Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento pela mesma instituição (2012) e em Inovação e Tecnologia na Educação pela UTFPR (2020). Mestra em Agronomia (Produção Vegetal) pela UFPR (2015). Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Fisiologia Vegetal, atuando principalmente na propagação vegetativa de espécies de interesse para a conservação de áreas degradadas e de interesse medicinal. Trabalhou também, com peixes e aves marinhas, os quais constituíram a sua pesquisa monográfica. Atualmente é professora do curso de Pedagogia e integrante do corpo docente da Área de Geociências (cursos de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas e Geografia) do Centro Universitário Internacional - UNINTER, dentro do qual compõe o Grupo de Pesquisa ATLAS Geociências: mudanças globais, planejamento, saúde e ambiente. Atua também com produção e edição de materiais didáticos para a educação básica, ensino superior e pós graduação. E-mail: nicole.w@uninter.com

2 WARNAVIN, Larissa. E-mail: larissa.w@uninter.com

3 ATTADEMO, Fernanda Löffler Niemeyer. E-mail: niemeyerattademo@yahoo.com.br

4 PAZ, Otacílio Lopes de Souza da. E-mail: otacilio.p@uninter.com

Produção de biogás a partir da água residual de mandioca (manipueira) utilizando diferentes métodos e inóculos

MARTINS, Diego Fernando
KEWITZ, Felipe Senna
MAZZONETTO, Alexandre Witier
ALONSO, Luis Felipe Toro

Resumo

O presente trabalho foi motivado pela preocupação ambiental acerca dos transtornos causados por certo efluente agroindustrial, com potencial para geração de energia. A agroindústria tem um papel importante no cenário nacional brasileiro. Com o crescimento de seus negócios, aumentam os resíduos produzidos, e a biodigestão anaeróbia pode ser uma alternativa para tratar efluentes orgânicos. A energia elétrica brasileira é uma das mais caras da América do Sul, sendo muitas vezes o dobro do valor da Argentina e quase o triplo do valor da Paraguai. Buscou-se avaliar a geração de biogás a partir da manipueira, analisando a influência de inóculos e correção do pH na biodigestão anaeróbia, dando lugar ao tratamento biológico de tal efluente, resultando em um biofertilizante estabilizado. Foram montados seis biodigestores (de cinco litros cada) com a manipueira, sendo que quatro deles receberam correção de pH, além da utilização de dois diferentes inóculos (de origem bovina e suína). Os biodigestores foram acondicionados para que a biodigestão anaeróbia ocorresse de maneira satisfatória por cinquenta dias (tempo de retenção hidráulica). Os resultados foram comparados com as análises iniciais realizadas na manipueira bruta (antes da biodigestão anaeróbia) para comprovar a eficácia do processo. O procedimento realizado se mostrou bastante satisfatório quando utilizado de inóculo bovino e correção do pH, resultando em geração de biogás e um biofertilizante estabilizado, com características primárias bastante interessantes.

Palavras chave: biodigestão anaeróbia, efluente agroindustrial, correção de pH, tempo de retenção hidráulica, biofertilizante.

Abstract

The present paper was motivated by the environmental concern about the damage caused by certain agro-industrial effluents with energy generation potential. The agro-industry plays an important role in the Brazilian national scenario. With the growth of its business, the waste produced increases, and anaerobic biodigestion can be an alternative for treating organic effluents. Brazilian electricity is one of the most expensive in South America, often twice the value found in Argentina and almost triple the value in Paraguay. We sought to evaluate the generation of biogas from manipueira (cassava flour wastewater), analyzing the influence of inocula and pH correction on anaerobic biodigestion, giving rise to the biological treatment of such effluent, resulting in a stabilized biofertilizer. Six biodigesters (of five liters each) were assembled with the addition of manipueira, four of which received pH correction, in addition to the use of two different inoculums (bovine and swine origin). The biodigesters were encased so the anaerobic digestion could take place satisfactorily for fifty days (hydraulic retention time). The results were compared with the initial analyses of raw manipueira (before the anaerobic biodigestion) to prove the efficiency of the process. The procedure proved to be quite satisfactory when using the bovine inoculum and pH correction, resulting in the generation of biogas and a stabilized biofertilizer, with very interesting primary characteristics.

Keywords: anaerobic biodigestion, agroindustrial effluent, pH correction, hydraulic retention time, biofertilizer.

Resumen

El presente trabajo fue motivado por la preocupación ambiental por las perturbaciones que ocasiona cierto efluente agroindustrial, con potencial para la generación de energía. La agroindustria juega un papel importante en el escenario nacional brasileño. Con el crecimiento de sus negocios, los residuos producidos aumentan, y la digestión anaeróbica puede ser una alternativa para tratar los efluentes orgánicos. La electricidad brasileña es una de las más caras de América del Sur, a menudo duplica el valor de Argentina y casi triplica el valor de Paraguay. Buscamos evaluar la generación de biogás a partir de manipueira, analizando la influencia del inóculo y la corrección del pH en la biodigestión anaerobia, dando lugar al tratamiento biológico de dicho efluente, resultando en un biofertilizante estabilizado. Se instalaron seis biodigestores (de cinco litros cada uno) con manipueira, cuatro de los cuales recibieron corrección de pH, además del uso de dos inóculos diferentes (bovino y porcino). Los biodigestores se acondicionaron para que la digestión anaeróbica pudiera ocurrir satisfactoriamente durante cincuenta días (tiempo de retención hidráulica). Los resultados fueron comparados con los análisis iniciales realizados sobre la manipueira cruda (antes de la digestión anaeróbica) para probar la efectividad del proceso. El procedimiento realizado resultó bastante satisfactorio al utilizar inóculo bovino y corrección de pH, resultando en la generación de biogás y un biofertilizante estabilizado, con características primarias muy interesantes.

Palabras clave: digestión anaerobia, efluente agroindustrial, corrección de pH, tiempo de retención hidráulica, biofertilizante.

INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente, bem como o impacto ambiental dos resíduos agroindustriais andam juntas. Melhorar a produção e reduzir os custos da produção agroindustrial não deve gerar prejuízo ao meio ambiente. A escolha por rotas e processos mitigadores tem sido cada vez mais um fator decisivo no meio industrial.

A agroindústria tem um papel importante no cenário nacional e, com o crescimento dos negócios, aumentam os resíduos produzidos. A biodigestão anaeróbia pode ser uma alternativa para tratar efluentes orgânicos e, ainda, gerar novos produtos para agroindústria: biofertilizante e biocombustível, que pode alimentar um motorizador ou uma caldeira para produção de vapor.

A energia elétrica brasileira é uma das mais caras da América do Sul, o dobro do valor da Argentina e quase o triplo do valor da Paraguai. Segundo o International Energy Agency (IEA), no ano de 2017, os valores da energia elétrica na Argentina, Brasil e Paraguai eram de US\$ 87,00/MWh, US\$ 200,00/MWh e US\$ 67,00/MWh, respectivamente.

Um exemplo de efluente proveniente da indústria alimentícia é a manipueira: água residual do processamento da mandioca em fábricas farinheiras. Tal dejetos é bastante nocivo ao meio ambiente, por conter além de alta carga de matéria orgânica e ácido cianídrico, tornando o efluente ainda mais perigoso, levando plantas e animais à morte.

Quando tais efluentes são tratados, não são aproveitados na sua totalidade, mas com investimentos relativamente pequenos, poderiam gerar produtos rentáveis, tanto para geração de energia, alimentando a própria indústria ou comercializada para as concessionárias de energia elétrica.

O presente trabalho estuda o uso de um efluente agroindustrial (manipueira), para geração de biogás, um biocombustível que pode ser utilizado na geração de energia elétrica ou térmica. Por consequência, o tratamento de biodigestão anaeróbia proporcionaria um tratamento adequado para o efluente, resultando também em um biofertilizante estabilizado, a ser utilizado na própria agroindústria, reduzindo assim custos com adubação.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Mandioca e Manipueira

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é uma raiz originária do Brasil, difundida muito antes da colonização portuguesa e seu nome varia de acordo com as regiões no território nacional: aipim, castelinha, uaipe e macaxeira. A mandioca é um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo,

com sua maior demanda nas regiões tropicais, em países menos desenvolvidos e mais populosos. Destaca-se em produção por sua fácil adaptabilidade ao solo e clima, sua rusticidade, e várias utilizações como alimentação humana, animal e industrial (CONAB, 2017).

A manipueira é um líquido obtido no processo de prensagem da mandioca. Esse processo gera um líquido com alta toxicidade e elevado teor de ácido cianídrico, altamente prejudicial à saúde e ao meio ambiente, porém ao se depositar esse líquido em locais de descanso por 15 dias, torna-se uma boa opção e suplemento alimentar para animais e defensivo agrícola (EMBRAPA, 2011).

Em uma indústria farinheira, o volume gerado de manipueira bruta chega a 300 litros por tonelada de mandioca processada, o poder contaminante de tal efluente (apenas de uma tonelada de mandioca processada) pode ser comparado ao esgoto doméstico de cerca de 200 pessoas/dia (BOTELHO et al., 2009).

Os problemas ocasionados pelo grande volume produzido do efluente são diversos e impactam nas atividades econômicas; por vezes, produtores de farinha reduzem suas atividades pela impossibilidade de descarte. Outro problema são os imensos lagos formados no armazenamento da manipueira (SANTOS, 2009). A composição química do efluente pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas da manipueira

Parâmetro	Teor
Sólidos sedimentáveis (ml L ⁻¹)	17,20
pH	4,08
Nitrogênio (ml L ⁻¹)	980,0
Fósforo (ml L ⁻¹)	740,0
Potássio (ml L ⁻¹)	1970,0
Sódio (ml L ⁻¹)	460,0
Cálcio (ml L ⁻¹)	240,0
Magnésio (ml L ⁻¹)	360,0
Zinco (ml L ⁻¹)	2,60
Cobre (ml L ⁻¹)	2,80
Manganês (ml L ⁻¹)	20,0
Ferro (ml L ⁻¹)	10,0

Fonte: Duarte et al (2011).

1.2 Questões Ambientais Envolvendo a Manipueira

O maior problema da manipueira é seu descarte “*in natura*” no meio ambiente, o rejeito possui altas cargas de ácido cianídrico (HCN). O ácido é altamente volátil e pode trazer riscos ambientais, na maioria das vezes sendo relacionados à morte de animais que o consomem. O responsável pela liberação do ácido cianídrico é a linamarina, que é o β -glicosídeo de acetonicianidrina, que é muito solúvel em água, aumentando a contaminação. Uma tonelada de

raízes mandioca resulta em um poder poluente equivalente à de cerca de 200 pessoas (quando não tratada devidamente). Outro problema encontrado no descarte sem tratamento é a elevada carga orgânica da manipueira, que acaba possibilitando o desenvolvimento de microrganismos facultativos que consomem o oxigênio livre das águas (OLIVEIRA, 2013).

O decreto n.º 8.468/76 (CETESB, 1976) estabelece que efluentes possam ser descartados desde que (entre outros parâmetros pré-estabelecidos) a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em 5 dias deve ser de no máximo 60 mg/L, ou que o tratamento para redução da mesma tenha uma eficiência de pelo menos 80%, onde esse último caso acaba beneficiando descartes industriais que, mesmo tratando seus efluentes, estes são lançados com altos valores de DBO no meio ambiente.

A biodegradabilidade do efluente se torna dificultosa por causa dos altos valores de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), onde tais valores para o efluente são de 14.000 a 34.000 mg/L para DBO; e de cerca de 40.000 mg/L para DQO (TSCHOEKE et al., 2017).

1.3 Biofertilizante

O fluido que se encontra no interior dos biodigestores e que é deslocado para fora destes (após o tempo de retenção hidráulica (TRH) preestabelecido) é considerado um biofertilizante. É um produto bioestabilizado, rico em matéria orgânica, nutrientes e umidade. Depois da biodigestão anaeróbia, os dejetos fermentados não são mais poluentes, não competem com as plantas, não tem cheiro desagradável e seus nutrientes são mais facilmente absorvidos (Centro de Produções Técnicas - CTP, 2019).

Embora as quantidades de nutrientes presentes nos biofertilizantes sejam relativamente modestas, apresentam diversas vantagens quando aplicadas adequadamente ao solo: mobilização de nutrientes no solo, liberação de nutrientes em velocidades mais lentas, manutenção da umidade do solo e auxílio na prevenção de erosões (PORTAL DO BIOGÁS, 2013).

1.4 Biogás

Para Quevedo (2016), o biogás é considerado como um dos combustíveis renováveis obtido a partir da digestão anaeróbica, onde em um ambiente sem a presença do oxigênio as bactérias realizam essa transformação. O biogás é encontrado na forma gasosa e composto por cerca de 60% do hidrocarboneto metano (CH₄), 35% de dióxido de carbono (CO₂) e 5% de outros

compostos como hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas e oxigênio. Dependendo das condições de como foi produzido, o biogás pode conter cerca de 40 a 80% de metano. Naturalmente, o biogás é obtido na ocorrência da fermentação em ecossistemas como mares, pântanos, lagos, jazidas de petróleo, aterros sanitários e minas de carvão. De modo geral, as características do biogás podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Possíveis percentuais dos componentes do biogás

Gases componentes do Biogás	Percentual
Metano (CH₄)	50% a 75%
Dióxido de carbono (CO₂)	25% a 40%
Hidrogênio (H₂)	1% a 3%
Nitrogênio (N₂)	0,5% a 2,5%
Oxigênio (O₂)	0,1% a 1%
Gás Sulfídrico (H₂S)	0,1% a 0,5%
Amônio (NH₃)	0,1% a 0,5%
Monóxido de Carbono (CO)	0% a 0,1%
Água (H₂O)	Variável

Fonte: Lima & Passamani (2012).

A energia produzida a partir do biogás entrou recentemente na fase de maturidade. Ainda que seus números absolutos sejam pequenos, a capacidade instalada tem crescido substancialmente. Em 2016, o Brasil alcançou quase 120 MW de capacidade instalada de geração elétrica a partir de biogás, o que é um volume seis vezes superior ao registrado em 2007, sendo que 95% desse valor se referem às plantas que utilizam resíduos sólidos urbanos (RSU). Isso demonstra que o biogás de resíduos urbanos já é uma realidade e deve continuar crescendo (BNDES, 2018).

Há alguns anos, o segmento de obtenção de biogás a no Brasil praticamente não existia. O país tem pouca tradição na produção e utilização de biogás; comparando-se ao restante do mundo, a participação do biogás como fonte energia é de 0,05% aproximando-se a energia solar. No processo de obtenção de biogás também se tem como subproduto o biofertilizante, sendo este biologicamente estabilizado. De 2000 a 2015, cresceu 87% a demanda de fertilizante no país, onde se aumentou a produtividade dos grãos em 150%. O Brasil em uma grande demanda de fertilizantes, onde do total utilizado no país, 75% acaba sendo importado. Somente com os resíduos provenientes das cadeias de avicultura, suinocultura e a produção de cana-de-açúcar, há potencial de geração de 14% de toda demanda de biofertilizante do País. Isso equivale a um mercado anual de US\$ 1 bilhão (DALLACORTE, 2018).

1.5 Fases da Degradação

O processo de biodigestão anaeróbia passa obrigatoriamente por quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese; sendo o biogás produzido apenas na última etapa. Na hidrólise, as moléculas complexas (carboidratos, proteínas e gorduras) são quebradas em moléculas mais simples (aminoácidos, açúcares e ácidos graxos) por um grupo específico de bactérias. Existem diversos tipos de hidrólise, que variam de acordo com a matéria orgânica utilizada. Tal processo é fundamental para se dar início ao processo de biodigestão (ARAÚJO, 2017).

Na etapa de acidogênese, as moléculas provenientes da hidrólise são transportadas para o meio reacional, onde então serão transformadas em ácidos graxos voláteis, dióxido de carbono e gás hidrogênio. A formação desses produtos depende efetivamente da concentração de hidrogênio, a concentração deste deve ser baixa para ser mais rentável (CASTRO & MATEUS, 2016).

A terceira fase é compreendida pela acetogênese, onde os produtos gerados na fase anterior (ácidos orgânicos) são oxidados em substratos para os microrganismos metanogênicos, que correspondem à fase posterior a esse processo da biodigestão anaeróbia (MATOS, 2016).

Por fim, na metanogênese, o ácido etanóico, o dióxido de carbono e o hidrogênio são convertidos pelas bactérias metanogênicas em metano e gás carbônico. Tais bactérias são divididas em acetoclásticas e hidrogenotróficas. As acetoclásticas convertem o acetato em metano através da quebra, sendo responsável por 70% do metano produzido. Já as hidrogenotróficas, fazem a redução do gás carbônico pelo gás hidrogênio, formando assim 30% do metano produzido no processo (CASTRO & MATEUS, 2016).

1.6 Biodigestores por Batelada

Os biodigestores são equipamentos relativamente simples, classificados de acordo com sua construção e tipo de operação. Os de sistema contínuo, onde os biodigestores são alimentados periodicamente (contínuo); e por batelada (intermitente), onde o sistema é fechado e alimentado uma única vez (GONÇALVES, 2018).

Biodigestores por batelada são sistemas simples e de fácil operação. Podem ser constituídos por apenas um reator ou por vários ligados em série. O substrato é adicionado uma única vez no reator, mantendo-se no seu interior por vários dias (tempo que deve ser previamente definido, de acordo com o desejado). Depois de terminado o processo, o biodigestor então é aberto e tem-se o lodo (ou biofertilizante) resultante, que é retirado. Após isso, se dá novamente o processo, abastecendo-o com o substrato novo (JUNQUEIRA, 2014).

Os reatores podem ser dispostos horizontalmente ou verticalmente; devem ser enterrados para melhor controle da temperatura (tendo menores variações) e devem, como qualquer outro biodigestor anaeróbico, estar devidamente vedado. Além do mais, os substratos utilizados nesses tipos de biodigestores podem contêm restos palhas e areia, proveniente dos manejos das culturas (XAVIER, 2010).

1.7 Inoculação

A inoculação, nada mais é que, a introdução de microrganismos em um meio, seja ele qual for. No caso da utilização em biodigestores anaeróbicos, um material é previamente preparado, para que as bactérias responsáveis pela produção do biogás estejam ativas (bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas). Diversos são os manejos utilizados para se obter uma boa produção de biogás em reatores anaeróbicos. Um dos principais é a utilização de inóculos (material contendo carga microbiológica ativa), previamente preparados, aumentando assim a quantidade produzida, a velocidade de produção de combustível, em comparado a substrato não inoculado. As proporções de inóculos utilizadas podem ser diversas, estudos mostram que a utilização de 20% de inóculos teriam os melhores resultados (LIMA JÚNIOR et al; 2018), enquanto outros estudos apontam para a utilização de 5% do volume total (OLIVEIRA et al; 2012) e até mesmo 40% de inóculos previamente preparados (XAVIER, 2010).

Resumidamente, para haver um início rápido e seguro de produção de biogás, o recomendado é que se tenha uma comunidade bacteriana já estabelecida (inóculo), além de estar adaptada ao substrato utilizado (KARLSSON et al, 2014).

1.8 Condição de pH

Os microrganismos envolvidos no processo de biodigestão anaeróbia necessitam de valores corretos de pH para seu melhor desenvolvimento e produção de metano. Dependendo do processo da biodigestão, os valores de pH mudam: na hidrólise, os valores devem estar entre 5,2 a 6,3 (onde as bactérias “aceitam” valores um pouco mais elevados); já nas fases acetogênica e metanogênica, o pH deve estar na faixa de 6,5 a 8,0. Portanto, em sistemas de biodigestores simples, a faixa de pH deve respeitar tais valores para uma melhor biodigestão anaeróbia e melhor produção de biogás (ROHSTOFFE, 2010, p. 23).

Segundo Gonçalves (2018) os microrganismos presentes no processo de biodigestão anaeróbia necessitam de pH próximo ao neutro (entre 6,5 e 7,5), pois quando tal parâmetro está abaixo de 6,0 ou acima de 8,3, o processo pode ser severamente inibido.

1.9 Biogás na Matriz Energética Brasileira

Apesar das inúmeras vantagens, a produção de biogás no Brasil representa apenas 0,05% da matriz energética no país (SEBRAE, 2018). Segundo o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS), em 2015 existiam apenas 127 usinas de biogás no Brasil, produzindo cerca de 1,6 milhão de m³ do combustível diariamente. Desse total, 47% utilizavam de substratos agrícolas e 34% utilizavam de substratos da indústria. A produção para fins energéticos, porém, concentrava 43% a partir de aterros sanitários, 29% provenientes da agricultura e 22% da indústria. Outro fator importante do combustível renovável é poder suprir parte da energia consumida no Brasil. A CIBIOGÁS (2016) estima, que em 2026, a demanda por energia brasileira cresça cerca de 50%, necessitando assim de outros meios como fonte de energia.

A Associação Brasileira de Biogás (ABIOGÁS) estima que a produção brasileira tenha potencial de geração de 70 milhões de m³ por dia, utilizando-se de substratos do setor de saneamento (6 milhões m³/dia), setor de alimentos (14 milhões m³/dia) e setor sucroenergético (50 milhões m³/dia) (EMBRAPA, 2017).

O Brasil teve um salto de 87% no consumo de fertilizantes entre os anos de 2000 e 2015, onde mais de 75% do que é consumido é importado. A produção de biogás poderia também suprir parte do consumo de fertilizantes, já que o coproduto produzido é bastante vantajoso para tal (SEBRAE, 2018).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A manipueira, proveniente de mandiocas da espécie *Manihot esculenta Crantz* (vulgo mandioca brava) utilizada para realizar o preparo dos substratos foi coletada na Farinheira Primavera, localizada na cidade de Santa Maria da Serra – SP.

Inicialmente, foi necessário o preparo dos inóculos que seriam utilizados no projeto. Para tal, foram coletados dejetos suínos e bovinos; os quais foram diluídos (conforme Tabela 3) e acondicionados em tambores de polietileno de 50 litros, devidamente vedados, para ocorrer a biodigestão anaeróbia dos substratos. O tempo de retenção hidráulica para os inóculos foi de 50

dias, estabilizando a matéria orgânica e tendo produção de gás – as três fases da degradação da matéria orgânica.

Tabela 3. Diluição dos inóculos preparados

Dejeto	Água	TRH
Bovino – 1 parte	1,25 partes	50 dias
Suíno – 1 parte	2,00 partes	50 dias

Fonte: Autores.

Após a coleta, a manipueira foi armazenada em tambor de polietileno destampado e deixado ao relento, para que o ácido cianídrico pudesse ser evaporado; esse processo levou cerca de 15 dias (BOTELHO et al., 2009).

A manipueira então foi dividida em duas partes (contendo seis litros cada), onde posteriormente seria utilizada: uma parte sem correção e outra com correção de pH. Conforme aponta a bibliografia, o pH ideal de um substrato para que ocorra a biodigestão anaeróbia de maneira satisfatória, deve estar perto de 6,5. Para tal, foram utilizados cerca de 0,25% de NaHCO₃ (bicarbonato de sódio) em relação a massa de manipueira, possibilitando assim um leve aumento do pH para perto do ideal.

Para o preparo dos substratos, foram utilizados seis tambores de polietileno de cinco litros cada (estes então foram denominados biodigestores), onde em cada uma delas foram introduzidos os diferentes substratos preparados. A relação dos substratos preparados pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4. Dados relevantes sobre os substratos preparados para a realização dos experimentos

SUBSTRATOS PREPARADOS (VOLUME DE 2500 ML CADA)				
Biodigestor	% de manipueira	Correção de pH	% de inóculo bovino	% de inóculo suíno
01	100,0	Não	-	-
02	100,0	Sim	-	-
03	80,0	Não	20,0	-
04	80,0	Sim	20,0	-
05	80,0	Não	-	20,0
06	80,0	Sim	-	20,0

Fonte: Autores.

Após a adição dos substratos, cada qual em seu biodigestor devidamente identificado, foram então vedados com auxílio de luvas de látex e fita, para se manter assim o sistema anaeróbio, além da possibilidade de armazenamento dos gases com o auxílio das luvas. Os biodigestores preparados podem ser observados na Figura 1.

Figura 1. Biodigestores com os substratos, cada qual de diferentes características



Fonte: Autores.

Inicialmente os biodigestores foram acondicionados em local seco e ao abrigo do sol por cerca de 10 dias. Após esse período, os biodigestores foram expostos ao relento, para que com a luz e calor solar a temperatura pudesse estar mais próxima do ideal para ocorrer a biodigestão anaeróbia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os 10 primeiros dias de TRH os biodigestores não apresentaram produção de gases da biodigestão anaeróbia; por tal motivo, os mesmos foram expostos ao relento, recebendo assim luz e calor solar para potencializar o processo.

Devido ao fato de que as luvas de látex utilizadas poderiam causar vazamentos (devido a furos, rasgos, etc.), as mesmas foram substituídas no 11º dia do tempo de retenção hidráulica, evitando assim a perda dos gases gerados no processo. Foram então adaptadas torneiras plásticas nas tampas dos biodigestores, onde com elas seria possível a retenção e a liberação dos gases gerados. A adaptação das torneiras nos biodigestores pode ser observada na Figura 2.

Figura 2. Adaptação realizada, possibilitando a retenção e a liberação dos gases gerados



Fonte: Autores.

Durante o decorrer dos dias, todos os biodigestores produziram gases de maneira discreta, onde pôde ser observado que, com a incidência solar sobre os substratos, a produção de gases era maior. Essa característica pôde ser observada pelo estufamento dos biodigestores quando estes eram expostos ao sol. Tal característica pode ser observada na Figura 3.

O tempo de retenção hidráulica (TRH) utilizado para o experimento foi de 50 dias, após esse período, toda a produção possível de biogás já havia sido realizada, e o substrato já estava estabilizado.

Figura 3. Biodigestores expostos ao sol (3A) produzem mais gases do que os não expostos ao sol (3B)



Fonte: Autores.

3.1 Produção de Biogás

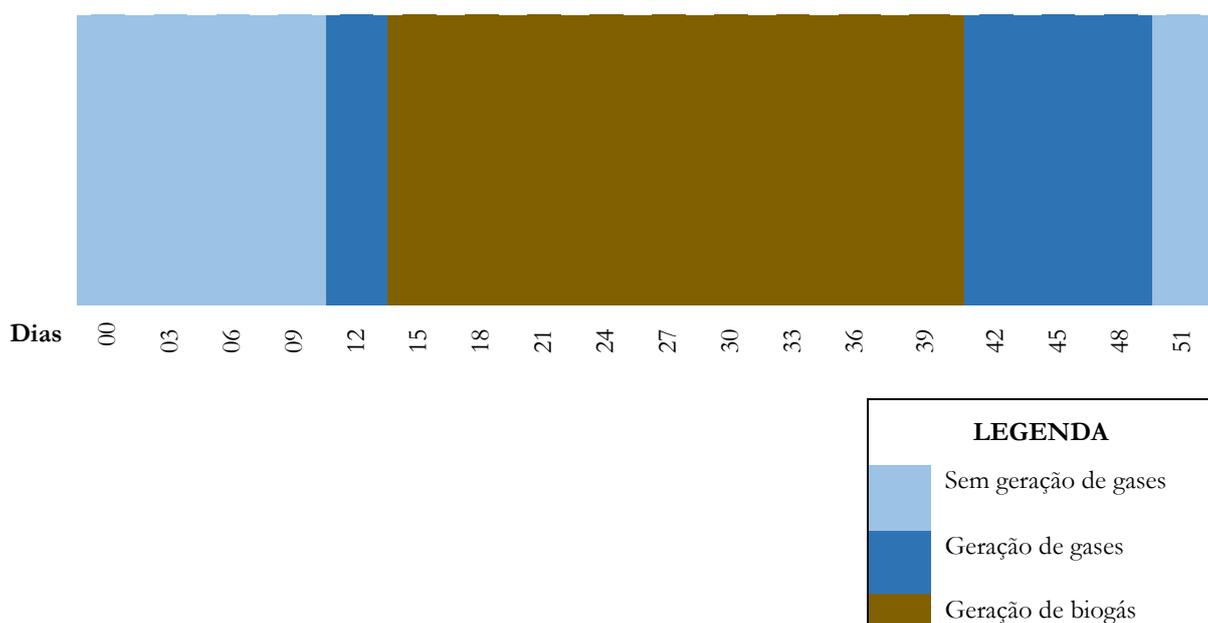
Os biodigestores foram acondicionados em local seco e ao abrigo do sol por cerca de 10 dias; porém nesse período não houve produção de gases. Após esse período, os biodigestores foram expostos ao relento, para que com a luz e calor solar, pudesse haver um aumento da produção dos gases da biodigestão anaeróbia.

Os biodigestores de números 01, 02, 03, 05 e 06 apresentaram produção de gases após o 10º dia de biodigestão anaeróbia, onde a produção de tais gases manteve certa constância até os últimos dias do experimento. Testes foram realizados a cada dois dias em uma tentativa de se obter chamas provenientes dos gases gerados; porém todas essas tentativas foram sem sucesso até o final do tempo de retenção hidráulico estipulado, indicando assim que o processo de biodigestão anaeróbio para tais biodigestores não produziu biogás.

Já o biodigestor de número 04 foi o único a produzir biogás. A produção do biocombustível teve início por volta do 15º dia de biodigestão anaeróbia, se estendendo até o 40º dia de TRH; ou seja, houve produção de biogás por cerca de 25 dias ininterruptamente (foram realizados testes de chamas a cada dois dias). Após esse período, a produção de biogás decresceu bastante, a ponto de que no 50º de TRH já não foram gerados mais gases (biogás). Devido à falta de equipamentos adequados, não foi possível mensurar a quantidade de biogás produzido pelo biodigestor número 04. Uma estimativa da produção de biogás no biodigestor 04 pode ser observada no Gráfico 1.

Gráfico 1. Estimativa da geração de biogás no biodigestor nº 04

Estimativa da produção de gases durante o tempo



Fonte: Autores.

3.2 Análise das Chamas do Biogás

No 30º dia de tempo de retenção hidráulica, foram realizados testes de queima do biogás gerado pelo biodigestor número 04. As chamas produzidas podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4. Queima do biogás gerado na presença de luz (4A e 4B) e na ausência de luz (4C)



Fonte: Autores.

A caracterização das chamas no momento da queima indica a combustão completa do biocombustível resultante. Quando a chama é de cor azul, indica que a combustão está ocorrendo de forma completa, havendo assim um balanceamento entre o combustível e o oxigênio. Quando a chama é de cor amarela ou vermelha, indica que a combustão está incompleta, ou seja, a quantidade de combustível e oxigênio não está balanceada (FARIA, 2017).

Lucas Junior (2003) descreve as chamas provenientes do biogás como “azul clara e rodeada de um azul mais claro”. As chamas provenientes do biodigestor nº04 apresentaram coloração azul intensa, indicando assim uma maior concentração de metano, consequentemente uma temperatura mais alta e um maior poder calorífico.

Observando as imagens obtidas na queima do biogás gerado, é possível observar a cor azul predominante nas chamas, indicando assim que a quantidade de metano gerada na biodigestão anaeróbia foi suficiente para que a combustão ocorresse de maneira completa.

3.3 Análise do Efluente Antes e Após a Biodigestão Anaeróbia

Antes de serem preparados os substratos utilizados para a biodigestão anaeróbia, a manipueira teve alguns parâmetros mensurados para que, após a realização dos experimentos e do

tempo de retenção hidráulica previsto, o efluente pudesse ser novamente analisado para que os valores então pudessem ser comparados. As análises foram realizadas em um laboratório da cidade de Piracicaba – SP. Os resultados das análises iniciais podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5. Dados relevantes sobre Manipueira provinda da espécie *Manihot esculenta* Erantz

Produto	pH (25° C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Umidade (%)
Manipueira <i>(Manihot esculenta</i> <i>Crantz)</i>	4,63	8.540	12.400	4.165	99,58

Fonte: Autores.

Após os 50 dias de tempo de retenção hidráulica, o substrato referente ao biodigestor de número 04 (aquele em que houve a produção de biogás) foi analisado para que os valores pudessem ser comparados com os da manipueira. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6. Dados relevantes sobre o substrato após a biodigestão anaeróbia

Produto	pH (25° C)	DBO	DQO	Sólidos totais (mg/L)	Umidade (%)
Substrato do biodigestor 04 (manipueira + inóculo bovino)	7,50	< 1.032	-	9.350	99,065

Fonte: Autores.

Pode-se observar que a biodigestão anaeróbia praticamente estabilizou o pH da manipueira (mantendo esse pH levemente alcalino), além de proporcionar um aumento dos sólidos totais presentes no biofertilizante e, conseqüentemente, um aumento de nutrientes. A umidade teve uma leve redução, em décimos, os sólidos totais tiveram aumento de 2,49 vezes que a condição inicial.

A análise de DBO apresentou drástica redução (cerca de 88%), indicando que o biofertilizante está apto para ser utilizado no solo. Além disso, a redução de DBO do substrato atende o decreto nº 8.468 da CETESB (1976), onde a eficiência de redução da demanda bioquímica de oxigênio deve ser de, no mínimo, 80% para descarte do efluente.

CONCLUSÕES

Foi perfeitamente possível utilizar a manipueira para geração de biogás, utilizando de inoculação bovina, juntamente com correção do pH do efluente. O biogás gerado pode ser utilizado para geração de energias térmica e elétrica, com o aproveitamento na própria agroindústria.

Gerou-se também biofertilizante: um material bio-estabilizado, com um pH praticamente estabilizado e com maior quantidade de sólidos totais (indicando aumento de nutrientes), que pode atender perfeitamente parte da demanda de fertilizantes na própria agroindústria.

Além disso, houve uma drástica redução de DBO contida inicialmente na manipueira, atendendo o decreto nº 8.468 da CETESB (1976), onde o processo de biodigestão anaeróbia reduziu em mais de 80% a matéria orgânica presente no efluente.

Tal processo pode ser realizado em indústrias farinhas e fecularias, com o intuito de geração de biogás, reduzindo custos com energia elétrica (equipamentos) e combustíveis (para aquecimento), além de possibilitar uma destinação ambientalmente correta aos rejeitos gerados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. P. C. *Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico*. Dissertação (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia: 2017.

BNDES. Biogás: a próxima fronteira da energia renovável. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/biogas>. Acessado em 01 de maio de 2019.

BOTELHO, S. M.; POLTRONIERI, M. C.; RODRIGUES, J. E. L. F. Manipueira: um adubo orgânico para a agricultura familiar. XIII Congresso Brasileiro de Mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, Botucatu, v. 5, p. 1111-1116, jul. 2009.

CASTRO, D. S., MATEUS, V. O. *Produção de biogás a partir de restos de alimentos coletados em um restaurante: uma experiência a ser disseminada*. Artigo Científico (XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica). Universidade Salvador – UNIFACS. Salvador: 2016.

CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS (CTP). *Biofertilizante também é produto do biodigestor*. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/noticias/biofertilizante-biodigestor>. Acessado em 07 de maio de 2019.

CIBIOGÁS. *Relatório do grupo AD HOC de biocombustíveis do Mercosul (GAHB) sobre biogás e biometano*. Disponível em: <https://cibiogas.org/sites/default/files/Relat%C3%B3rio%20GAHB%20Biog%C3%A1s%20e%20Biometano.pdf>. Acessado 27 de outubro de 2019.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 110-128.

Produção de biogás a partir da água residual de mandioca (manipueira) utilizando diferentes métodos e inóculos
MARTINS, Diego Fernando; KEWITZ, Felipe Senna; MAZZONETTO, Alexandre Witier;
ALONSO, Luis Felipe Toro

CETESB. *Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976*. Disponível em:

cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf. Acessado em 21 de outubro de 2019.

DALLACORTE, F. C. *Fontes Renováveis: O grande potencial para o biogás no Brasil*. Disponível em: <https://sebraers.com.br/energia/o-grande-potencial-para-o-biogas-no-brasil/>. Acessado em 19 de abril de 2019.

DUARTE, A. S.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. A. L.; MALHEIROS, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n., p. 262–267, 2012.

DUSOL – ENGENHARIA SUSTENTÁVEL. *Entenda a matriz energética brasileira*. Disponível em: <https://www.dusolengenharia.com.br/post/entenda-a-matriz-energetica-brasileira/>. Acessado em 10 de dezembro de 2019.

EMBRAPA. *Calagem (2019)*. Disponível em:

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_34_711200516717.html. Acessado em 23 de novembro de 2019.

EMBRAPA. *Demanda por fontes de energia renováveis (2017)*. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Painel+1.pdf>. Acessado 27 de outubro de 2019.

EMBRAPA. *Manipueira, um líquido precioso*. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18147209/manipueira-um-liquido-precioso>. Acessado em 19 de novembro de 2019.

FARIA, M. *Biogás produzido em aterros sanitários – aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético*. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo: 2017.

FRAGMAQ. *Biogás no Brasil: Sua importância na matriz energética brasileira*. Disponível em

<https://www.fragmaq.com.br/blog/biogas-no-brasil/>. Acessado em 19 de abril de 2019.

GONÇALVES, M. N. *Os efeitos da temperatura na produção de Biogás em biodigestores*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia: 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Prices High-quality data on end-use energy prices*. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/prices/>. Acessado em 21 de outubro de 2019.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. *Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado*. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro – URFJ. Rio de Janeiro: 2014.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOSH, F. F.; PEDROSO, A.G. *Manual básico do biogás*. Editora Univates, Lajeado 2014, p. 8 - 45.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 110-128.

Produção de biogás a partir da água residual de mandioca (manipueira) utilizando diferentes métodos e inóculos
MARTINS, Diego Fernando; KEWITZ, Felipe Senna; MAZZONETTO, Alexandre Witier;
ALONSO, Luis Felipe Toro

LIMA, A. C. G.; PASSAMANI, F. C. *Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator usab da ete-ufes*. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Vitória: 2012.

LIMA JR, S. R.; PAES, J. L.; ALVES, T. B. S. *Efeito da adição de inóculo no processo de biodigestão anaeróbica de dejetos de bovino*. Artigo Científico (VII Congresso Brasileiro de Energia Solar). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Gramado: 2018.

LUCAS JUNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. *Manual de construção e operação de biodigestores*. 1. Ed. Viçosa: CPT - centro de Produções Técnicas, 2003. V. 1. 40 p.

MATOS, C. F. *Produção de Biogás e Biofertilizante a Partir de Dejetos de Bovinos, sob Sistema Orgânico e Convencional de Produção*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Seropédica: 2016.

OLIVEIRA, M. C. R.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. O.; CALAZANS, G. M.; CRUZ, J. C. *Concentração de inóculo e produção de biogás em reator de batelada alimentado com água residuária de suinocultura*. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas 2012, p. 9 – 18.

OLIVEIRA, R. S. *Avaliação dos impactos ambientais e aplicação das normas regulamentadoras de segurança do trabalho em uma unidade processadora de derivados mandioca na região noroeste do Paraná*. Dissertação (Graduação em Engenharia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campo Mourão: 2013.

PORTAL DO BIOGÁS. *Biofertilizantes*. Disponível em:
<https://www.portaldobiogas.com/biofertilizantes/>. Acessado em 18 de novembro de 2019.

ROHSTOFFE, F. N. *Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização*. Gülzow: Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ), 2010. p. 23.

SANTOS, A. *Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microrregião sudoeste da Bahia-Brasil*. In: Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2009. p. 11-25.

SEBRAE. *O grande potencial para o biogás no Brasil (2018)*. Disponível em:
<https://sebraers.com.br/energia/o-grande-potencial-para-o-biogas-no-brasil/>. Acessado em 19 de abril de 2019.

TSCHOEKE, I. C. P.; SILVA, L. F.; SANTOS, A. F. M. S.; SOUZA, T. B. C. Análise da carga orgânica da manipueira em casas de farinha. *Revista brasileira de agrotecnologia*, v. 7, n. 2 (2017) páginas 228 – 232.

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

1 MARTINS, Diego Fernando. Possui graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Guarapuava(2016), graduação em Administração pela Universidade Estadual do Centro-Oeste(2006), especialização em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Internacional(2009) e ensino-medio-segundo-graupelo Colégio Estadual Padre Chagas(2002). Tem experiência na área de Engenharia Civil.

2 KEWITZ, Felipe Senna

3 MAZZONETTO, Alexandre Witier . Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorado pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leite fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

4 ALONSO, Luis Felipe Toro.

Análise dos impactos gerados pela implantação do sistema ERP SAP no setor de contas a pagar em uma indústria do segmento de alimentos

SANTOS, Cristiane Maria dos
GONÇALVES, Luiz Claudio

Resumo

Atualmente, as organizações têm buscado recursos e novas tecnologias a fim de otimizar seus processos e garantir segurança e confiabilidade aos dados por meio da utilização de novos sistemas de integração. Com essa implementação, as empresas pretendem adequar e padronizar seus processos. O presente artigo objetiva avaliar os impactos gerados com a implantação do sistema SAP S/4HANA na área de contas a pagar de uma indústria alimentícia do estado de São Paulo. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, realizada a partir de um estudo de caso, desenvolvido por meio de entrevista com alguns colaboradores da empresa. Constatou-se que, durante a implantação do *software*, houve grandes melhorias no desenvolvimento das atividades, porém o início da implementação foi um tanto conturbado, por falta de preparação dos colaboradores em relação ao novo sistema.

Palavras Chave: Indústria Alimentícia. Sistema Integrado de Gestão. SAP S/4HANA. ERP.

Abstract

Organizations are currently looking for resources and new technologies in order to optimize their processes, and ensure data security and reliability through the use of new integration systems. With this implementation, companies intend to adapt and standardize their processes. This article aims to assess the impacts generated by the implementation of the SAP S/4HANA system in the accounts payable area of a food industry in the state of São Paulo. It is a qualitative research, carried out from a case study, developed through interviews with some collaborators. It was found that during the implementation of the software there were major improvements in the development of activities, but the beginning of the implementation was somewhat troubled, due to lack of preparation of employees in the midst of the new system

Keywords: Food industry. Integrated Management System. SAP S/4HANA. ERP.

Resumen

Actualmente, las organizaciones han buscado recursos y nuevas tecnologías para optimizar sus procesos y garantizar la seguridad y confiabilidad de los datos mediante el uso de nuevos sistemas de integración. Con esta implementación, las empresas pretenden ajustar y estandarizar sus procesos. Este artículo tiene como objetivo evaluar los impactos generados por la implementación del sistema SAP S/4HANA en el área de cuentas por pagar de una industria de alimentos en el estado de São Paulo. Se trata de una investigación cualitativa, realizada a partir de un estudio de caso, desarrollado a través de entrevistas a algunos trabajadores de la empresa. Se constató que, durante la implementación del software, hubo grandes mejoras en el desarrollo de las actividades, pero el inicio de la implementación fue algo conflictivo, debido a la falta de preparación de los colaboradores en relación al nuevo sistema

Palabras clave: Industria alimenticia. Sistema de manejo integrado. SAP S/4HANA. ERP.

INTRODUÇÃO

Santos e Fenerich (2018) apontam que a empresa que deseje manter vantagem competitiva ou mesmo sua sobrevivência no mercado precisa ter por trás de seus processos um sistema de informação.

Atualmente, o mercado está em constante desenvolvimento; isso faz com que as empresas busquem adaptar-se às novas mudanças e exigências, impulsionadas pela globalização e pela grande demanda de informação geradas por toda sua estrutura organizacional (SANTOS; FENERICH 2018). Esse processo necessita de informações precisas e atualizadas, informações essas que podem ser disponibilizadas por meio de um *software* que contenha e processe dados de todos os setores da empresa, função essa dos sistemas integrados de gestão empresarial.

Para Stamford (2000) o ERP é um sistema integrado, que possibilita um fluxo de informações único, contínuo e consistente por toda a empresa sob uma única base de dados. Um sistema de informação pode ser definido como o conjunto de componentes inter-relacionados que coletam, processam, armazenam e distribuem informações (LAUDON; LAUDON, 2010).

Para o devido embasamento da presente pesquisa, foi realizado um estudo de caso na empresa Panco, uma indústria de alimentos de grande porte localizada na região leste de São Paulo, possuindo cerca de 7 mil funcionários espalhados em suas fábricas e CD's. O estudo foi gerado em sua filial localizada na Zona Sul de São Paulo.

Em conformidade com as ponderações apresentadas, a presente pesquisa propõe analisar os efeitos causados pela implementação do sistema ERP SAP S/4HANA no setor de contas a pagar de uma indústria alimentícia. O estudo também procurou analisar quais foram os impactos positivos e negativos gerados pela implementação dessa tecnologia, com base na experiência de alguns colaboradores do referido setor.

Como justificativa para a realização dessa investigação, considera-se que a mesma é relevante, pois busca avaliar a experiência da empresa com a implantação desse novo sistema, tendo em vista que o ERP SAP S/4HANA é o mais requerido dentre as empresas de médio e grande porte, sendo esse também de suma importância para a otimização de todos os processos e agilidade na tomada de decisão empresarial.

1. METODOLOGIA

Atualmente, muitas empresas possuem uma grande dificuldade em encontrar um ERP que mais se adapte aos processos realizados pelas mesmas. Com base nos argumentos contidos nos

parágrafos anteriores, o presente artigo busca investigar o seguinte problema de pesquisa: Quais são os impactos trazidos pela implantação do sistema ERP SAP S/4HANA no setor de contas a pagar de uma indústria alimentícia?

A partir do problema de pesquisa descrito anteriormente, o objetivo geral da investigação é identificar e avaliar quais impactos trazidos pela implantação do ERP SAP S/4HANA dentro do setor de Contas a Pagar de uma indústria alimentícia.

Em se tratando do tipo de pesquisa utilizada, a investigação foi embasada em uma pesquisa qualitativa, descritiva e bibliográfica, apoiada em um estudo de caso, realizado na empresa PANCO, localizada na cidade de São Paulo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ERP (*Enterprise Resource Planning*)

ERP é uma sigla que vem do inglês, que significa *Enterprise Resource Planning*, ou seja, Planejamento dos Recursos da Empresa. O mesmo também é conhecido como um sistema de gestão empresarial (PORTAL ERP, 2021).

Conceitua-se um sistema ERP como um pacote comercial de *software* que tem como finalidade organizar, padronizar e integrar as informações transacionais que circulam pelas organizações. Na visão de Turban et al. (2010), a utilização de um ERP tem como objetivo principal integrar todos os departamentos e fluxos de uma organização com o uso de um único sistema de computador, visando a eficiência das atividades de uma empresa, de modo que qualidade, produtividade e lucratividade sejam aprimoradas.

Souza e Saccol (2003), afirmam que os sistemas ERP's são adquiridos na forma de pacotes comerciais de *softwares*, que utilizam uma base de dados única, permitindo a integração em tempo real, de vários sistemas de informações transacionais e dos processos de negócios da empresa como um todo, não se restringindo apenas a departamentos isolados, como observado nos pacotes tradicionais.

Corroborando as afirmações anteriormente citadas, Stamford (2000, p. 1), conceitua o sistema ERP como:

[...] um instrumento para a melhoria de processos de negócio, tais como produção, compras ou distribuição, orientado por estes processos e não as funções/departamentos da empresa, com informações on-line e em tempo real. Possui uma arquitetura aberta, a qual viabiliza operar com diversos sistemas operacionais, banco de dados e plataformas de *hardware*. Desta forma, o ERP permite visualizar por completo as transações efetuadas pela empresa, desenhando um amplo cenário de seus processos de negócios.

Figura 1: Processos Integrados



Fonte: Omie (2021).

Para Laudon e Laudon (2010) os sistemas ERP integram processos de negócios de quase todas as áreas de uma organização, garantindo que toda a informação seja armazenada em um único repositório de dados, que pode ser utilizado por todas as áreas.

Esses sistemas exigem a padronização dos processos organizacionais e esses podem ser limitados à restrição de processos selecionados pelos idealizadores dessas ferramentas, que determinam elementos classificados por eles como melhores práticas do negócio (SANTOS, 2013).

Santos, Kaldeich e Silva (2003) mencionam, ainda, que as empresas adotam a utilização de sistemas ERP por alguns motivos:

- a) Padronização de dados: utilização do mesmo formato de informações, facilitando a análise de resultados da empresa;
- b) Padronização de processos: mudanças e modernização dos métodos de trabalho, criando uma sequência lógica para seu ordenamento;
- c) Mudança continuada da organização: processo de melhoria contínua para aprendizagem organizacional.

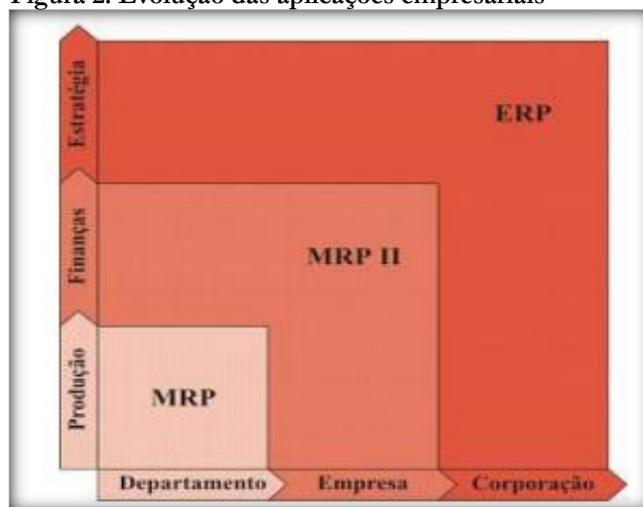
2.2 Estrutura do ERP

Davenport (1998) caracteriza os sistemas ERP como a evolução dos MRP's (*Material Requirement Planning*), cuja função é calcular as necessidades de materiais em manufatura e dos MRP's II (*Manufacturing Resource Planning*), que envolvem o planejamento de recursos de manufatura, abrangendo todos os processos de produção.

O MRP permitia que as empresas calculassem quantos materiais de determinado tipo eram necessários e em que momento. Já o MRP II, não calcula apenas as necessidades de materiais, mas também as necessidades de outros recursos do processo de manufatura (BRANDÃO JUNIOR; FERREIRA, 2006).

Davenport (2012) e Caiçara Junior (2015) destacam que, com essa evolução havia cada vez mais a integração dos sistemas de informação funcionais. A mesma prosseguiu, gerando o conceito de sistema de gestão integrada, o qual integra o processo de transação e outras atividades rotineiras de todas as áreas funcionais de toda a empresa.

Figura 2: Evolução das aplicações empresariais



Fonte: Colangelo Filho (2001).

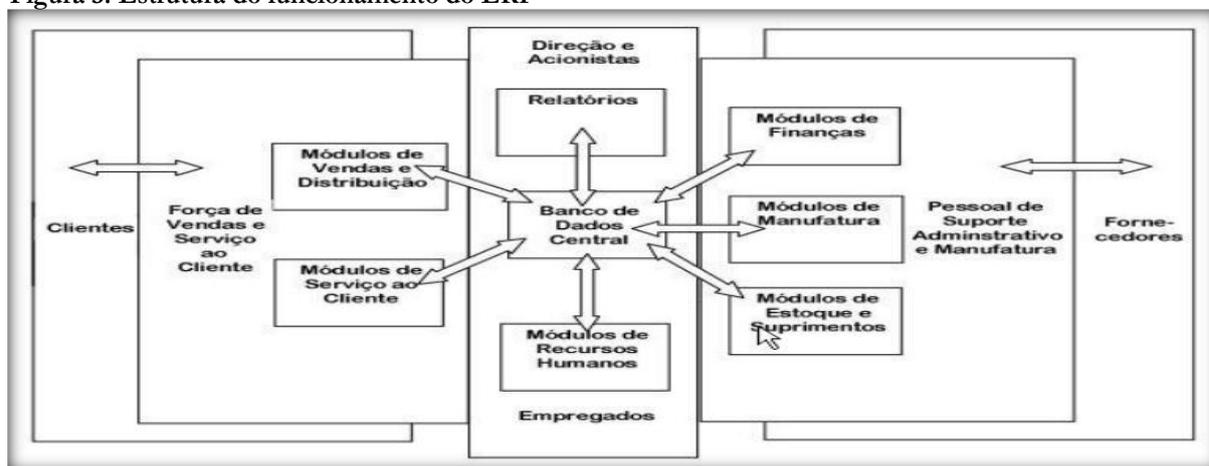
Conforme Caiçara Junior (2015) em virtude de o ERP ser um pacote de *software* adquirido pronto, a empresa que implanta um sistema desse tipo tem que se adaptar às funcionalidades do mesmo e adequar seus processos de negócios à modelagem imposta pelo mesmo.

Para Brandão Junior e Ferreira (2006, p. 7):

Entre as possibilidades de integração oferecidas por sistemas ERP está o compartilhamento de informações comuns entre os diversos módulos, de maneira que cada informação é alimentada no sistema uma única vez, e a verificação cruzada de informações entre diferentes partes do sistema.

Davenport (1998) também destaca o aspecto tecnológico dos sistemas ERP em seu modelo de um sistema empresarial com estrutura integrada, em que as funcionalidades presentes na maioria dos sistemas ERP são divididas em funções internas, compostas por módulos de recursos humanos, manufatura, estoque e finanças; e funções externas, constituídas por módulos de serviços, vendas, distribuição e gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM - *Supply Chain Management*).

Figura 3: Estrutura do funcionamento do ERP



Fonte: Adaptado de Davenport (1998).

2.3 O Sistema ERP da empresa SAP

Segundo SAP (2021a) a *System Analysis Program Development (SAP)* é uma empresa de origem alemã fundada em 1972, criadora de *software* para gestão de empresas SAP R/3, fundada por cinco ex funcionários da IBM, os quais iniciaram a empresa como uma parceria privada. Atualmente, a SAP é líder global de mercado em soluções de *software* para organizações.

O SAP R/3 é um sistema integrado de gestão empresarial (ERP), composto por um conjunto de módulos aplicativos, integrado iterativamente, abrangente e complexo, podendo tratar atividades desde a cadeia produtiva até relacionamentos com clientes, ou seja, toda cadeia de valor (MACHADO; KALDEICH, 2000; ITS CONSULTING, 2021).

Souza (2017) ressalta que o sistema R/3 é um ERP, o qual é uma solução de negócio, capaz de oferecer suporte às empresas de todos os portes em todos os setores produtivos. Segundo

Davenport (2002, p. 112) “o R/3 da SAP mantém todos os sistemas unidos, sendo a espinha dorsal do sistema empresarial”.

Conforme Cardoso e Souza (2003) a implantação de um sistema integrado de gestão, como o SAP R/3, leva em torno de dois anos, desde a fase inicial, de seleção do sistema, até sua parametrização final, que consiste no preenchimento de todos os aspectos customizáveis, de modo que desenvolva a estrutura de funcionamento da empresa.

Para Souza (2017) o sistema de gestão SAP R/3 é referência mundial no tratamento e gestão de custos. Sua *expertise* se encontra, principalmente, na integração entre a Contabilidade Financeira e Contabilidade de Custos, além do processo de tratamento dos dados contábeis-financeiros, com destaque, para procedimentos direcionados ao cálculo de custos e margens de lucro de produtos (MACHADO; KALDEICH, 2000).

2.4 Estrutura do ERP SAP R/3

De acordo com ITS Consulting (2021) o sistema SAP é composto por um conjunto de módulos de *software* integrados interativamente, conforme segue:

- CO (Contabilidade de Custos) – o módulo de contabilidade abrange os movimentos dos custos e das receitas da empresa.
- FI (Contabilidade Financeira) – o módulo de aplicação FI aplica-se à contabilidade principal automática e aos relatórios, à contabilidade de clientes e de fornecedores.
- AM (Contabilidade do Imobilizado) - a aplicação AM destina-se à administração e ao controle dos aspectos do ativo imobilizado.
- PS (Sistema de Projeto) - o módulo de aplicação PS destina-se ao apoio do planejamento, controle e supervisão de projetos complexos em longo prazo com objetivos definidos.
- WF (*Workflow*) – o módulo de aplicação WF liga os módulos de aplicação R/3 integrados do sistema SAP com tecnologias, ferramentas e serviços para todas as aplicações.
- IS (Solução Setorial) - a solução setorial liga os módulos de aplicação do sistema R/3 da SAP com funções adicionais específicas do setor.
- SD (Vendas e Distribuição) - o módulo de aplicação SD apoia a otimização de todas as tarefas e atividades que ocorrem na venda, no fornecimento e no faturamento.
- MM (Gerenciamento de Materiais) - o módulo de aplicação MM apoia as funções de suprimento e de manutenção de estoques necessárias para os processos empresariais diários.

- PP (Planejamento de Produção) - o módulo de aplicação PP aplica-se ao planejamento e ao controle das atividades de produção de uma empresa.
- PM (Plano de Manutenção) - o módulo de aplicação PM apoia o planejamento, o processamento e a execução de tarefas de manutenção.
- QM (Administração da Qualidade) - o módulo de aplicação QM representa um sistema destinado ao controle de qualidade e à informação, apoiando o planejamento de qualidade, o controle de qualidade e o controle de produção e de suprimento.
- RH (Recursos Humanos) - O módulo de RH planeja, registra e avalia todos os dados relativos aos funcionários da empresa.

Santos, Kaldeich e Silva (2003, p. 3) ressaltam que “as aplicações partilham dados de bases comuns aos módulos, as alterações feitas em bases de dados por determinado programa aplicativo não comprometem a funcionalidade de outros módulos do sistema”.

Na visão de Ferreira (2021), o sistema procura abranger as diversas áreas funcionais e administrativas constituintes de uma empresa, dividindo o seu *software* em diferentes módulos. Para Davenport (2002, p. 268), “Os módulos podem intercomunicar-se diretamente ou mediante a utilização de um banco de dados central”.

Normalmente, tais conjuntos de módulos geralmente correspondem às divisões departamentais das organizações, tais como: Financeiro (Financeiro Contábil), Controladoria, Gestão de Materiais, Vendas e Distribuição, Gestão de Projetos, Gestão de Investimentos (BRANDÃO JUNIOR; FERREIRA, 2006).

2.5 Estrutura Módulo FI SAP R/3

Em um sistema ERP, existem vários módulos que apoiam os diversos processos empresariais de cada departamento de uma empresa. No sistema SAP R/3, o módulo FI é responsável pela contabilidade financeira e apoia os processos de finanças e contabilidade (SILVA, 2017).

Santos, Kaldeich e Silva (2003, p. 5) salienta que “o módulo FI é responsável pela gestão financeira e processa a contabilidade. Trata a contabilidade geral e contas auxiliares sob a forma de submódulos, que se integram por meio de contas de controle”.

Santos, Kaldeich e Silva (2003) destacam também que, no módulo FI incluem-se:

- Livro razão: modelo do plano oficial de contabilidade, plano de países de interesse da empresa e a conseqüente versão de balanços e de contas de resultados.

- Contas a receber: contempla alguns processos automáticos, entre estes a geração de títulos a cobrar, remessas, gestão do risco, gestão de contas de clientes.
- Contas a pagar: contém processo de *workflow* que faz a verificação e controle de gestão de faturas da empresa.
- Tesouraria: relatórios de previsão de liquidez, posição bancária, etc.

2.6 SAP S/4HANA: A evolução do SAP R/3

Com o surgimento de novas tecnologias e oportunidades de negócios, principalmente baseadas na internet, *IoT* (Internet das coisas) e aplicativos para dispositivos móveis, a empresa SAP iniciou a evolução de um dos seus principais produtos, o SAP ERP (SILVA, 2017).

Silva (2017) ressalta que o sistema ERP da empresa SAP, o qual em sua última versão era chamado de SAP R/3, agora passa a receber uma nova denominação SAP S/4HANA, sendo totalmente reescrito para a mais moderna plataforma de *softwares* da empresa SAP, que é o SAP HANA.

De acordo com SAP (2021b) o SAP S/4HANA é um sistema ERP completo, que conta com a disponibilização de dados em nuvem (*cloud*) e também engloba as mais sofisticadas tecnologias inteligentes integradas, incluindo o *Machine Learning* (Inteligência Artificial/IA) e demais funções analíticas avançadas. O mesmo apresenta a proposta de auxiliar as empresas, na adoção de novos modelos de negócios, gerenciar mudanças com rapidez, orquestrar recursos internos e externos e usar o poder preditivo da IA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Apresentação da Empresa Estudada

O objeto de estudo utilizado neste trabalho é a indústria de alimentos Panco, que atua no segmento de produtos alimentícios e panificação, produzindo e comercializando pães, bolos, biscoitos, panetones, salgadinhos, dentre outros itens.

A empresa foi fundada na década de 1980 por Franklin Kiyotero, que nasceu no Japão, mas enxergou no Brasil uma oportunidade de abrir um negócio que se iniciou com uma pequena vitrine de pães na Zona Leste de São Paulo, e hoje se tornou uma empresa de grande porte, possuindo

cerca de 7 mil funcionários, 7 fábricas e 20 Centros de Distribuição, espalhados por São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Minas Gerais (PANCO, 2021).

3.2 Análise dos Dados Coletados na Pesquisa

A presente pesquisa teve como foco avaliar a implantação do sistema ERP da empresa SAP no setor de Contas a Pagar e a Receber do Centro de Distribuição Santo Amaro da empresa Panco, localizado na zona sul de São Paulo. O estudo foi realizado no período de setembro a novembro de 2021, um ano e nove meses, após a implantação do ERP SAP S/4HANA na empresa.

O estudo de caso aqui apresentado buscou avaliar os impactos (positivos e negativos) gerados após a implantação do novo sistema, por meio de entrevistas realizadas com o responsável, pelo setor fiscal da empresa. Cabe explicitar que, além das entrevistas, também foi elaborado um questionário, o qual foi enviado por *e-mail* a outros colaboradores, visando avaliar os pontos de vista relacionados aos desafios enfrentados com a implantação do ERP.

3.2.1 Análise do cenário antes da implantação do ERP SAP

Anteriormente, eram utilizados dois sistemas de informação, os quais não eram totalmente integrados, sendo esses, os sistemas NET TERM e DHELPH:

1) Sistema NET TERM - utilizado para o lançamento e emissão de NF, elaboração de relatórios fiscais e digitação de pedidos de venda. Cabe salientar que esse sistema tinha um bom funcionamento e, mesmo com suas desvantagens, atendia plenamente as necessidades da empresa. Todavia, a operação da empresa evoluiu, acarretando em um grande aumento em seus processos, sendo assim necessária a substituição do sistema. Ressalta-se, também, que o NETTERM foi programado pela linguagem COBOL (*Common Business Oriented Language*), a qual não possibilitou a realização de atualizações.

Esse sistema apresentava algumas ineficiências operacionais como, por exemplo, o lançamento de NF's era efetuado de uma maneira parcialmente manual, havendo a necessidade de inserir e alterar dados da NF, fato esse que, algumas vezes, gerava divergências entre as informações da NF e os dados inseridos.

Outra ineficiência do sistema era a lentidão na execução de determinadas atividades, como por exemplo, a emissão de NF referentes as vendas devolvidas pelos clientes. Cabe explicitar que, essa atividade é considerada de extrema importância para o setor de Contas a Pagar, pois a mesma

abrange o retorno dos produtos ao estoque e permite, que se possa realizar, a baixa dos boletos bancários no sistema.

2) Sistema DHELPH - sistema que era utilizado para lançamentos financeiros, recebimentos e despesas. O mesmo demandava algumas informações geradas pelo NET TERM referente a valores de vendas, para que assim fosse possível fazer os lançamentos financeiros e baixas bancárias. O sistema DHELPH executava com eficiência suas atividades, porém não era integrado aos demais sistemas e, conforme citado anteriormente, com o aumento de processos a empresa necessitava de um único ERP que atendesse suas necessidades.

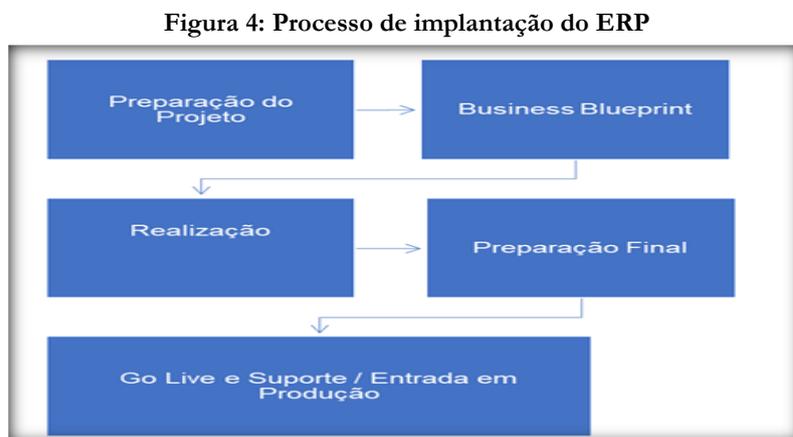
3.2.2 Análise do cenário após a implantação do ERP SAP

Toda implantação de um sistema ERP deve ser bem planejada, tanto na escolha de um ERP que se enquadre nas atividades da empresa, quanto na aplicação de treinamentos e capacitação dos colaboradores, tendo em vista a sua complexidade e diversas transformações realizadas na empresa, como em seus processos, cultura organizacional, forma de trabalho e, principalmente, no perfil dos funcionários.

Os impactos gerados na utilização de um novo ERP, no caso da empresa estudada, o SAP S/4 HANA, ocorrem devido às mudanças na rotina da organização. Os colaboradores deparam-se com uma nova realidade que exige diferentes habilidades das quais não estão devidamente acostumados além de um perfil dinâmico para a execução das tarefas.

Para a preparação da implantação do sistema SAP S/4 HANA, em 2018 a empresa elaborou o projeto INTEGRA, que contou com cerca de 100 colaboradores, além de dois consultores do *software*.

No início da implantação, a empresa seguiu algumas etapas, conforme figura 4:



Fonte: Elaborada pelos autores.

Etapas da implementação:

- 1 Preparação do Projeto - fase que aborda o planejamento e preparação inicial para o projeto.
- 2 *Business Blueprint* - trata-se do desenho do processo, documentação e o registro do processo de negócios da empresa.
- 3 Realização - parametrização do ERP.
- 4 Preparação Final - fase que prepara o ERP para entrar em funcionamento. Elaboração dos manuais de treinamento para os usuários finais, testes integrados das transações, teste das interfaces e relatórios.
- 5 *Go Live* e Suporte/Entrada em operação - entrada do ERP em funcionamento e suporte operacional contínuo.

3.2.3 Impactos positivos gerados com a implantação do ERP SAP S/4 HANA

A migração para o ERP SAP S/4 HANA proporcionou ao setor em estudo, uma redução de tempo para a realização das tarefas, fato esse que ocorreu graças à agilidade com que as informações são processadas. Para a empresa, outro ponto que impactou diretamente na execução das atividades, foi a possibilidade de permitir que mais trabalhos fossem realizados e finalizados simultaneamente, o que agilizou, principalmente, no lançamento de notas de reconhecimento de transporte, pois é um processo que demanda certo tempo para o devido lançamento e processamento de todas as informações no *software*.

Outro ponto importante analisado é a rastreabilidade que o sistema permite, pois existe uma maior segurança nos processos realizados por cada usuário da empresa, tendo em vista a possibilidade de buscas mais claras e precisas por dados lançados no sistema, sendo que essa funcionalidade auxilia em períodos de auditorias.

Com relação aos impactos positivos trazidos pela implantação do módulo FI do ERP SAP S/4 HANA no setor de contas a pagar, foram observadas diversas sensíveis melhorias para o referido processo, conforme dados do quadro 1.

Quadro 1: Melhorias trazidas pela implantação do módulo FI (Lançamento e emissão de NFs)

Atividade	Melhorias trazidas pelo módulo FI
a) Lançamento de NFs de serviço.	Os impostos carregam automaticamente, de acordo com o cadastro do fornecedor.
b) Lançamento dos conhecimentos de transporte.	A ordem de frete carrega todas as informações.
c) Lançamento da NFs de produtos vencidos emitida pelo cliente/Panco.	Carrega informações da NF de origem no lançamento, como valores, descontos e impostos.
d) Lançamento de NFs de remessa de trocas emitidas pelo Panco/cliente.	No monitor é possível visualizar todas as NFs emitidas no dia.
e) Emissão de NFs de devolução recusada pelo cliente	São emitidas individualmente ou em grande escala.

Fonte: Elaborado pelos autores.

- a) No que se refere ao lançamento das notas fiscais de serviços (manutenção de veículo, manutenção de elevador, serviço de descarga, dentre outras), uma das vantagens significativas percebidas foi que, para cada cliente, é possível cadastrar um código de imposto específico, de acordo com o serviço prestado e com a legislação vigente para o prestador. Cabe explicitar que, para o setor fiscal, essa informação é de suma importância no momento de se efetuar as prestações de contas relacionadas com a retenção dos impostos.
- b) No lançamento dos CTE (Conhecimentos de Transporte Eletrônico - transferência de mercadorias entre CD's, distribuição de mercadorias para os clientes, dentre outros), a geração da ordem de frete pelo sistema ERP permite que, no ato do lançamento do CTE, informações relevantes, tais como nome da transportadora, código do imposto, modalidade de frete e valor, sejam carregadas automaticamente. Em função dessa atividade ocorrer diversas vezes durante o dia, é gerada uma quantidade significativa de notas, as quais necessitam serem lançadas, sendo que essa funcionalidade do ERP (geração das ordens de frete), otimiza o tempo necessário para o lançamento dos CTEs.
- c) Para realizar o lançamento da nota de devolução (emitida pelo cliente), deve-se utilizar como referência a nota de venda emitida para o mesmo. Isso permite que as informações da nota de venda sejam replicadas para o lançamento da devolução, contribuindo para que, ao receber as devoluções, a empresa tenha exatamente o mesmo montante para aplicar as devidas restituições dos impostos retidos na operação.
- d) Para as notas devolvidas é necessário indicar o motivo da recusa, que é a justificativa do cliente para o não recebimento da mercadoria. Nesse caso, o sistema permite que essas notas sejam anuladas em massa, ou seja, todas de uma só vez. Essa funcionalidade garante que nenhuma NF fique sem ser anulada, o que torna a transação mais confiável.
- e) No monitor de trocas (tela do sistema, onde são expostas todas as notas de remessa de troca) é possível ter acesso a todas as informações das notas e dos respectivos produtos. Isso facilita o lançamento do retorno das mercadorias, pois basta indicar a quantidade a ser retornada, identificando se o produto é novo ou vencido.

3.2.4 Impactos negativos gerados com a implantação do ERP SAP S/4HANA

Um das grandes barreiras que a empresa teve no início da implantação do ERP, foram as dificuldades dos colaboradores na execução de algumas tarefas, visto que esses não tiveram o

treinamento suficiente e necessário para realização de suas atividades. O quadro 2 apresenta as principais barreiras enfrentadas pelo setor de Contas a Pagar com a implantação do ERP.

Quadro 2: Principais dificuldades ocorridas no processo de implantação do ERP, no setor de Contas a Pagar

Tópicos	Dificuldades
a) Acúmulo de trabalho	Até os colaboradores se adaptarem com o novo sistema, houve um acúmulo de NFs.
b) Treinamento	Foi disponibilizado um treinamento limitado.
c) Disponibilidade de Relatórios	É necessário a elaboração de planilhas para obter documentos de conferência.
d) Dificuldade de acesso	Muitas atividades do ERP SAP demandam a execução de transações específicas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

a) No início da implantação, um dos problemas enfrentados foi o acúmulo de trabalho, considerando que os colaboradores do setor fiscal estavam em processo de aprendizagem e, devido à pouca capacitação, não conseguiam atender a demanda de tarefas que surgiam a cada período do dia.

b) O início do treinamento ocorreu em dezembro de 2019, quando foram separados grupos de colaboradores que eram treinados em conteúdos diferentes do ERP. Essa divisão acarretou uma grande dificuldade no aprendizado do *software*, visto que nem todos os colaboradores tiveram acesso a todas as fases do treinamento, além de que, devido ao curto prazo definido, desde o início do treinamento e a implantação, nem todos tiveram a oportunidade de participar. Como suporte ao treinamento foi também elaborado um manual de 20 páginas, o qual detalhava cada atividade do setor de contas a pagar.

c) Um outro problema detectado pelos colaboradores foi a falta de disponibilidade de alguns importantes relatórios gerenciais no sistema, sendo que, para a realização desses relatórios é utilizado o Excel como *software* complementar, o qual auxilia na consolidação das informações extraídas do ERP.

d) Para acessar algumas telas do ERP, são necessários alguns códigos específicos, que são chamados de transações. A falta de acesso a algumas transações necessita de abertura de um chamado junto ao departamento de TI, que solicita a autorização de alguns gestores de setores específicos, para prosseguir com a liberação. O bloqueio do acesso das transações e o processo burocrático de liberação dificultou a execução de algumas atividades. Por exemplo, no lançamento de notas de devolução, cada etapa é feita por uma transação específica, e a falta de acesso a algumas

dessas transações contribuiu para o acúmulo de tarefas, pois os lançamentos demandavam muito mais tempo para serem concluídos.

Ainda com relação aos problemas ocorridos no processo de implantação do ERP SAP S/4HANA, um dos principais usuários da tecnologia, que é responsável pelo setor fiscal da empresa investigada relatou que, durante início da implantação, houve um relevante auxílio da filial Arica, (CD modelo da Panco), a qual concentra o setor TI em sua sede, sendo essa também a filial que apresentou o melhor desempenho na implantação do mesmo ERP. Nesse sentido, em fevereiro de 2020, alguns colaboradores dos setores de TI, fiscal e financeiro se deslocaram até o CD de Santo Amaro visando dar o devido suporte. Com o suporte fornecido pelos profissionais do CD Arica, os colaboradores do CD Santo Amaro perceberam uma sensível melhoria na execução de diversas tarefas, além de terem sido sanadas muitas dúvidas em relação ao uso do ERP. Os profissionais do CD Arica também buscaram padronizar os processos do CD Santo Amaro, de acordo com os padrões da filial modelo, todavia esse é um outro projeto que ainda não foi concluído, pois demandará mais tempo e recursos, para entrar em operação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo procurou analisar os principais impactos gerados pela implantação do ERP SAP S/4 HANA, dentro do setor de contas a pagar e a receber de uma indústria alimentícia de grande porte. O ERP estudado está sendo cada vez mais aplicado em médias e grandes empresas do mundo. Quando a empresa decide implantar um novo ERP, é preciso avaliar o que se deseja obter com essa implantação e, principalmente, avaliar muito bem a escolha de um ERP adequado, que mais se adapte à estrutura da empresa. Mesmo tomando todos esses cuidados, é necessário que a empresa esteja preparada, pois sempre haverá prós e contras durante o processo de implantação.

Dessa forma, observou-se que a empresa investigada, no início do processo de implantação do ERP passou por muitas dificuldades, com destaque para à limitação de treinamentos para todos colaboradores. Para se ter um bom retorno com a implantação de um sistema tão complexo como o SAP S/4 HANA é necessário preparar os colaboradores, não apenas para entender e executar o sistema, mas também para adaptá-los às novas mudanças organizacionais que a implantação de uma nova tecnologia fatalmente poderá acarretar.

A pesquisa também evidenciou que ocorreram algumas melhorias no processo operacional da empresa com a implantação do ERP, dentre as quais a total integração com os demais departamentos e processos da empresa, gerando assim uma otimização do processo de gestão de informação, agilizando a tomada de decisão.

Atualmente, mesmo com algumas insuficiências no sistema, os colaboradores conseguem obter bons resultados, efetuando as tarefas de maneira mais funcional, devido ao conhecimento que foram agregando neste período de implantação. As eventuais falhas ocorridas no sistema hoje em dia são corrigidas pelos profissionais de TI da empresa que, em grandes ocorrências, possuem o auxílio dos consultores do SAP.

Por fim, apesar das diversas dificuldades enfrentadas no início da implantação, percebe-se que o ERP SAP S/4HANA vem oferecendo grandes melhorias nos processos da empresa, por meio da precisão das informações e no controle de dados. Todavia, tendo em vista os resultados observados na pesquisa, sugere-se que toda empresa que pretenda implantar um ERP em sua operação, deve estar efetivamente preparada, visando minimizar os possíveis impactos que podem ocorrer, bem como deverá investir continuamente na capacitação dos colaboradores.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO JUNIOR, Romeu da Silva; FERREIRA, Leonardo Nunes. (2006). *Avaliação de um sistema ERP-SAP R/3 como Instrumento para gestão financeira na área de contas a pagar em uma empresa de Telecomunicações* Disponível em:

http://www.ifba.edu.br/professores/antoniocarlos/index_arquivos/sigsapr3.pdf. Acessado em: 21 set. 2021.

CAIÇARA JUNIOR, C. *Sistemas Integrados de Gestão ERP: uma abordagem gerencial*. 4. ed. Curitiba: IBPEX Dialógica, 2012.

CARDOSO, D.; SOUZA, A. A. Avaliação de um Sistema ERP como instrumento para a gestão financeira: estudo de caso no setor siderúrgico brasileiro. In: SOUZA, Cesar Alexandre de; SACCOL, Amarolinda Zanela, (Organizadores). *Sistemas ERP no Brasil (Enterprise Resource Planning): teoria e casos*. São Paulo: Atlas, 2003, p. 211-225.

COLANGELO FILHO, Lúcio. *Implantação de Sistemas de ERP*. São Paulo: Atlas, 2001.

DAVENPORT, T. H. Putting the enterprise in to the enterprise system. *Harvard Business Review*, v. 76, n. 4, p. 121-131, jul./ago. 1998.

_____. *Missão Crítica: Obtendo vantagem Competitiva com Sistemas de Gestão*. Porto Alegre: Bookman, 2002.

FERREIRA, Paulo Afonso. *O avanço da tecnologia e as transformações na sociedade*. Portal da Indústria (CNI). Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/artigos/paulo-afonso-ferreira/o-avanco-da-tecnologia-e-as-transformacoes-na-sociedade/>. Acessado em: 20 out. 2021.

ITS CONSULTING. *Quais são os módulos SAP e suas aplicações*. Disponível em: <https://itsconsulting.com.br/quais-sao-os-modulos-sap-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 25 set. 2021.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 129-146.

Análise dos impactos gerados pela implantação do sistema ERP SAP no setor de contas a pagar em uma indústria do segmento de alimentos

SANTOS, Cristiane Maria dos; GONÇALVES, Luiz Claudio

LAUDON, K.; LAUDON, J. *Sistemas de Informação Gerenciais*. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

MACHADO, A. B.; KALDEICH, C. *Sistemas integrados de gestão empresarial: enfoque contábil-financeiro sobre o sistema SAP R/3*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 7., (2000), Recife.

Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/download/3086/3086>. Acesso em: 22 set. 2021.

OMIE. *Sistemas integrados de gestão*: Saiba o que é e seus benefícios. Disponível em:

<https://blog.omie.com.br/blog/sistema-integrado-de-gestao-saiba-o-que-e-e-seus-beneficio>

Acessado em 18 set. 2021.

PANCO. *Quem somos*. Disponível em: <https://www.panco.com.br/>. Acessado em: 22 out. 2021.

PORTAL ERP. *Entenda o que é ERP (SISTEMAS DE GESTÃO EMPRESARIAL)*. Disponível em: <https://portalerp.com/entenda-erp>. Acessado em: 20 set. 2021.

SANTOS, Aldemar; KALDEICH, Claus; SILVA, Luiz Gustavo Cordeiro da. *Sistemas ERP: Um enfoque sobre a utilização do SAP R/3 em contabilidade e custos*. (2003). Artigo publicado pela ABEPRO. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0905_0971.pdf. Acessado em 20 set. 2021.

SANTOS, Conrado Costa; FENERICH, Francielle Cristina. (2018) Implementação do módulo MRP no sistema SAP: um estudo de caso em uma indústria multinacional de alimentos. Artigo publicado pela DEP/UEM. Disponível em:

http://www.dep.uem.br/gdct/index.php/dep_tcc/article/view/1574. Acessado em: 19 nov. 2021.

SAP. *O que é a SAP?* Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/about/company/what-is-sap.html>. Acesso em: 26 nov. 2021a.

_____. *SAP S/4HANA Overview*. Disponível em: <https://learning.sap-press.com/sap-s4hana>. Acessado em: 26 nov. 2021b.

SILVA, Jader. *SAP S/4 HANA: Conheça a nova geração do ERP da SAP. Evoeducação*, (2017).

Disponível em: <https://evoeducacao.com.br/artigos/sap-s4-hana/>. Acessado em: 13 out. 2021.

SOUZA, Cesar Alexandre de; SACCOL, Amarolin da Zanela. *Sistemas ERP no Brasil: Teoria e Casos*. São Paulo: Editora: Atlas, 2003.

SOUZA, C. A. *Sistemas Integrados de Gestão Empresarial – Estudos de Casos de Implementação de Sistemas ERP*. Dissertação (Mestrado). FEA/USP. 2017. São Paulo. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12133/tde-19012002-123639/ptbr.php>.

Acessado em 30 set. 2021.

STAMFORD, P. P. (2000). ERPs: prepare-se para esta mudança. Artigo publicado pela *KMPress*. Disponível em: <http://www.kmpress.com.br/00set02.htm>. Acessado em: 15 nov. 2021.

TURBAN, E.; MCLEAN, E.; WETHERBE, L.C. *Tecnologia da informação para gestão*:

Transformando os negócios na economia digital. 6. ed. São Paulo, SP: Bookman, 2010.

1 SANTOS, Cristiane Maria dos. Graduada no curso de Tecnologia em Logística - Faculdade de Tecnologia da Zona Sul de São Paulo (2021). Atuação Profissional - compradora no setor da construção civil. E-mail - c.cristianesantos@outlook.com.

2 GONÇALVES, Luiz Claudio. Possui Doutorado em Engenharia de Produção; Mestrado em Engenharia de Produção; Mestrado em Administração de Empresas; Mestrado em Turismo Ambiental, sendo graduado em Engenharia Elétrica. Atua como pesquisador e professor em cursos de graduação e pós-graduação. É editor da Revista Científica da Fatec Zona Sul (REFAS). Tem experiência nas áreas de Administração de Empresas e Engenharia de Produção com os seguintes temas: Supply Chain Management, Integrated Logistics Management, Operation Management, Marketing Management, Sustainable Management.