

Bioenergia em Revista: Diálogos

ano 11/vol. 11 | n. 1 | jan. 2021 /jun. 2021 | ISSN: 2236-9171



Bioenergia em Revista: Diálogos

ISSN: 2236-9171

Bioenergia em Revista: Diálogos | publicação semestral | Piracicaba
ano 11/vol. 11 | n. 1 | jan. / jun. 2021

Governador do Estado de São Paulo

João Doria Jr.

Secretario de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia

Patrícia Ellen da Silva

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

Profª Drª Filomena Maria Formaggio – Fatec Piracicaba

Prof. Dr. Luis Fernando Sanglade Marchiori – ESALQ-USP e Fatec Piracicaba

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

Prof. Msc. Fabio Augusto Pacano – Fatec Piracicaba, CNEC Capivari-SP

Profa Msc. Luciana Fischer – Fatec Piracicaba e PUCCampinas-SP

Profª Dra. Érika Gutierrez – Fatec Piracicaba

Profª Msc. Angela de F. Kanesaki Correia – Fatec Piracicaba, UNIMEP

Bel. e Tecnólogo 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

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: bionergia.r.dialogos@gmail.com
www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Sumário

- 06** Apresentação
- 08** Chamada de Artigos
- 09** O impacto da tecnologia aplicada ao processo de colheita de cana-de-açúcar na eficiência do setor sucroenergético em uma empresa paulista
GONÇALVES, Eloy Peres; SOARES, Sabrina Stefani; MAZZONETTO, Alexandre Witier
- 31** Cultivo *in vitro* de diferentes genótipos de pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*)
SILVA, Gabriel Henrique Ribeiro da; NASCIMENTO, Daniela Defávani do
- 46** Utilização de subproduto da indústria artesanal cervejeira como substrato para a produção de amilase por fermentação em estado sólido
RODRIGUES, Eliana M. G.
- 58** Avaliação do potencial energético dos resíduos orgânicos de um restaurante de TIETÊ/SP – um estudo de caso
MAZZONETTO, Alexandre Witier; CARNIEL, Renata Brandolise; CATALA, Luíza Brabo; PEDRO, Alexandre da Costa
- 78** Potencial de geração de energia a partir do resíduo sólido domiciliar (RSD) de Piracicaba: estimativas por rotas anaeróbias e térmicas
MAZZONETTO, Alexandre Witier; SANTOS, Maria Vilma dos
- 99** Revisão: leveduras utilizadas na produção de etanol de segunda geração
ALMEIDA, de Souza Cássio; NASCIMENTO, Daniela Defávani do

- 120** **Determinação de metais em biodiesel: importância e desafios**
GONÇALVES, Vinícius Oliveira; BORTOLETO, Gisele Gonçalves
- 139** **Eficiência energética em aterros sanitários: uma breve revisão**
SANTANA, Jeferson Santos; GONÇALO, Alexia Sabino; SILVA, Amanda Emily Barreto; ABREU, Karoline; LIMA, Sara Fen de
- 163** **Projeto, construção e funcionamento de um fermentador-destilador: fermentexpress**
DIAS, Gustavo Daniel Da Silva; MARQUES, Taden Alcides
- 178** **Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor**
MARQUES, Danilo Medeiros; BERNARDO, Maria Helena
- 200** **Análise da implementação de melhorias no fluxo de processo em uma empresa metalmeccânica – estudo de caso**
BELLATO, Julia Campos; MAZZONETTO, Alexandre Witier

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 e B5 no sistema Qualis/CAPES e encontra-se associada aos indexadores Latindex, IBICT, Sumários.org e CNEN60.

A presente edição conta com quatro seções: AGRONOMIA que apresenta os artigos “O impacto da tecnologia aplicada ao processo de colheita de cana-de-açúcar na eficiência do setor sucroenergético em uma empresa paulista” e “Cultivo *in vitro* de diferentes genótipos de pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*)”.

A segunda seção ALIMENTOS apresenta o artigo “Utilização de subproduto da indústria artesanal cervejeira como substrato para a produção de amilase por fermentação em estado sólido”

A terceira seção, ENERGIA apresenta os artigos “Avaliação do potencial energético dos resíduos orgânicos de um restaurante de TIETÊ/SP – um estudo de caso”; “Potencial de geração de energia a partir do resíduo sólido domiciliar (RSD) de Piracicaba: estimativas por rotas anaeróbias e térmicas”; “Revisão: leveduras utilizadas na produção de etanol de segunda geração”; “Determinação de metais em biodiesel: importância e desafios”; “Eficiência energética em aterros sanitários: uma breve revisão” e “Projeto, construção e funcionamento de um fermentador-destillador: fermentexpress”.

E, a quarta seção, GESTÃO apresenta os artigos “Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor” e “Análise da implementação de melhorias no fluxo de processo em uma empresa metalmeccânica – estudo de caso”

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**.

O impacto da tecnologia aplicada ao processo de colheita de cana-de-açúcar na eficiência do setor sucroenergético em uma empresa paulista

MAZZONETTO, Alexandre Witier
GONÇALVES, Eloy Peres
SOARES, Sabrina Stefani

Resumo

Este trabalho mostra a evolução do processo de colheita de cana-de-açúcar com o avanço tecnológico. A cana é uma matéria prima muito importante para o Brasil, dela pode-se extrair produtos como: açúcar, álcool e energia - elétrica e térmica. Apresenta-se uma contextualização histórica expondo os três métodos de colheita, tendo como foco a colheita mecanizada, cujo processo se destacou pela alta produtividade, contribuindo para a redução de perdas no campo e para a qualidade da matéria prima encaminhada a indústria. Esse artigo analisou as tecnologias implementadas ao longo dos anos que contribuíram e supriram as necessidades de uma empresa em suas atividades no campo e mostra os resultados que essa empresa do setor sucroenergético obteve, em um período de oito anos, com melhorias implementadas nas máquinas colhedoras de cana, atestando que essas alterações elevaram o patamar da empresa no setor. A produtividade efetiva das usinas analisadas apresentou um aumento médio de 40,13% durante o período estudado, além disso a empresa paulista alcançou uma redução média de 38,20% das impurezas no processo de colheita. Estes números demonstram que a tecnologia melhorou a eficiência da organização, gerando melhor produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: eficiência na colheita; setor sucroenergético; colheita da cana-de-açúcar, impurezas.

Abstract

This paper shows the evolution of the sugarcane harvesting process seen over technological advances. Sugarcane is a very important raw material for Brazil, from which products such as sugar, alcohol and energy can be produced. A historical contextualization is presented, exposing the three harvesting methods, focusing on mechanized harvesting, whose process stood out for its high productivity, contributing to the reduction of losses in the field and to the quality of the raw material sent to the industry. This article analyzed the technologies implemented over the years that contributed to and met the needs of a company in its activities in the field and shows the results that this company in the sugar-energy sector obtained, over an eight-year period, with improvements implemented in the harvesting machines. cane, attesting that these changes have raised the company's level in the sector. The effective productivity of the analyzed plants showed an average increase of 40.13% during the period studied, in addition the company from São Paulo achieved an average reduction of 38.20% of impurities in the harvesting process. These figures demonstrate that technology has improved the organization's efficiency, generating better productivity and quality of the raw material.

Keywords: harvest efficiency; sugar-energy sector; sugarcane harvest, impurities.

Resumen

Este trabajo muestra la evolución del proceso de cosecha de la caña de azúcar visto por los avances tecnológicos. La caña de azúcar es una materia prima muy importante para Brasil, de la cual se pueden extraer productos como el azúcar, el alcohol y la energía. Se presenta una contextualización histórica, exponiendo los tres métodos de cosecha, centrándose en la cosecha mecanizada, cuyo proceso se destacó por su alta productividad, contribuyendo a la reducción de pérdidas en el campo y a la calidad de la materia prima enviada a la industria. Este artículo analizó las tecnologías implementadas a lo largo de los años que contribuyeron y cubrieron las necesidades de una empresa en sus actividades en el campo y muestra los resultados que obtuvo esta empresa en el sector de la energía azucarera, durante un período de ocho años, con mejoras implementadas en las máquinas cosechadoras. Caña, que acredita que estos cambios han elevado el nivel de la empresa en el sector. La productividad efectiva de las plantas analizadas mostró un aumento promedio de 40.13% durante el período estudiado, además la empresa de São Paulo logró una reducción promedio de 38.20% de impurezas en el proceso de cosecha. Estas cifras demuestran que la tecnología ha mejorado la eficiencia de la organización, generando una mejor productividad y calidad de la materia prima.

Palabras clave: eficiencia de cosecha; sector de energía azucarera; cosecha de caña de azúcar; impurezas.

INTRODUÇÃO

O processo de colheita da cana-de-açúcar vem sofrendo grandes modificações ao longo dos anos. Até a década de 1950, o corte da cana era totalmente manual. Junto ao aumento do cultivo da cana-de-açúcar após 1950, introduziu-se a queimada da palha da cana-de-açúcar antes da colheita, o que aumentou o rendimento diário do cortador. A partir da década de 1980, ingressaram no processo de colheita da cana-de-açúcar as “colhedeiras de cana”, que são máquinas mecanizadas gerando uma elevação fantástica na eficiência do processo de colheita da cana (LOPES, 2016).

A tecnologia em conjunto com a inovação, pode proporcionar às indústrias sucroalcooleiras aumentos da produtividade e redução dos custos de operação e manutenção. Ripoli (2014) afirma que as novas tendências para o setor dependem da tecnologia e que ainda há melhorias a serem implementadas para que o processo de colheita se torne ainda mais eficiente.

A indústria, de modo geral, se preocupa com as perdas nos seus processos e a agroindústria não foge dessa realidade. O processo de colheita da cana-de-açúcar ocasiona perda de matéria-prima no campo.

O objetivo desse trabalho foi analisar o impacto que as inserções de tecnologias utilizadas na colheita da cana-de-açúcar trouxeram melhoras nos índices de produtividade, redução das perdas da cana-de-açúcar (matéria-prima no campo), e melhorando a qualidade da matéria-prima entregue na indústria.

REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar

De acordo com Silva, Alves e Freitas (2017), os maiores estados produtores de cana-de-açúcar são: São Paulo com 51,7% da área cultivada, Goiás com 9,3%, Minas Gerais com 8,9%, Mato Grosso do Sul com 7,4%, Paraná com 6,7%, Alagoas com 4,7%, e Pernambuco com 3,2%; esses estados são responsáveis por 91,9% da produção nacional.

A cana é cultivada em locais de clima tropical ou subtropical. Os pés de cana-de-açúcar são da mesma família de plantas como o milho, o arroz e a cevada. É conhecida por suas características particulares, sendo uma planta fina, de formato cilíndrico, com folhas grandes e pode alcançar até seis metros de altura (PARAIZO, 2013).

Thomas (2016) relata que o estabelecimento de lavouras ocorre a partir de segmentos do colmo denominados “toletes”. Que é composto por nós e espaço entrenós. No nó estão presentes

a gema (tecido meristemático), a zona radicular com primórdios radiculares, o anel de crescimento, a cicatriz da inserção da bainha da folha no colmo e a zona cerosa.

Produtos da cana-de-açúcar

Para Marques et al. (2018), o cultivo da cana-de-açúcar proporciona a produção de uma fonte de energia renovável e que permite a redução na emissão de gases poluentes com o grande potencial de produção de etanol. Os mesmos autores ainda afirmam que a área cultivada na safra 2017/18 deve ser estimada em torno de 10,2 milhões de hectares, e que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância econômica e social para o agronegócio brasileiro.

Segundo UNICA (2018), o Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo, com 38,6 milhões de toneladas produzidas e 27,8 milhões de toneladas exportadas no ciclo 2017/2018 – quantias equivalentes a 20% da produção global e 45% da exportação mundial. Também é o segundo maior produtor e exportador global de etanol (ranking liderado pelos Estados Unidos). Na safra 2017/2018, o volume produzido atingiu 27,9 bilhões de litros. Outro produto importante da cana-de-açúcar é a bioeletricidade, uma energia limpa e renovável gerada a partir da biomassa da cana.

Bartaburu e Cunha (2014) apontam que os coprodutos da colheita e do processamento da cana, como o bagaço, as folhas e a palha tornaram-se a mais nova peça-chave da revolução sucroenergética. O bagaço também se apresentou como uma alternativa eficaz para a produção de etanol celulósico, isso significa a transformação da celulose em etanol.

Colheita da cana-de-açúcar

Miranda, Vasconcellos e Landell (2008) afirmam que o processo de colheita da cana-de-açúcar é subdividido em três processos – corte, carregamento e transporte, e também pode ser classificado em três modalidades:

- Sistema manual: os subsistemas de corte e de carregamento se processam manualmente podendo haver um subsistema de transporte intermediário, por tração animal ou transbordo com dispositivos específicos. Utilizados em áreas declivosas que não permitem a mecanização.
- Sistema semimecanizado: Envolve a operação de corte manual e de carregamento, nas unidades de transporte, por carregadoras mecânicas, onde o relevo não ultrapassa 20 a 25% de declividade.

- Sistema mecanizado: é utilizado cortadoras de cana inteira ou colhedoras de cana picada (colhedoras que cortam, picam, limpam parcialmente a matéria-prima e carregam na unidade de transporte) com a operação de carregamento mecânico, conforme ilustrados nas Figuras 2 e 3 (MIRANDA, VASCONCELLOS e LANDELL, 2008).

A Figura 1 ilustra o processo mecanizado, no qual a própria colhedora corta a cana-de-açúcar e carrega o transbordo.

Figura 1 - Colhedora de cana picada e transbordo



Fonte: Canal rural (2016).

A Figura 2 mostra o processo do transbordo tracionado por um trator carregando o reboque do caminhão.

Figura 2 - Processo de transbordo de cana



Fonte: Google Imagens (2016).

O processo de corte manual é caracterizado por uma série de eventos que o trabalhador braçal, de posse de uma ferramenta denominada de “folha” ou “podão”, utiliza para cortar a base

do colmo e eliminar o material vegetal sem interesse para produção de álcool ou açúcar (MIRANDA, VASCONCELOS e LANDELL, 2008). A Figura 3 mostra o processo de carregamento da cana-de-açúcar através da máquina denominada carregadeira.

Figura 3 - Carregadora de cana



Fonte: Lexicar Brasil (2014).

Delgado (1985) apud Vieira (2003), relatam que a queima da cana teve início em 1950. Nesse período com a substituição da despilha manual pela queima da cana, aumentou consideravelmente a produtividade do trabalhador braçal, ou seja, sem queima, o cortador que cortava de 1 a 2 toneladas/dia, passou a cortar entre 4 a 6 toneladas/dia.

De acordo com Silva, Alves e Freitas (2017), a introdução da colheita mecanizada de cana picada ocorreu nos anos 1960. Ela era utilizada somente em área com queima prévia da cana-de-açúcar, até o início da restrição ao procedimento pela Lei Federal n. 11.241/2002. Com melhorias nos equipamentos utilizados no processo de colheita, como a colhedora de pneus que foi alterada para as colhedoras de esteiras, os caminhões foram retirados das lavouras e adotado os transbordos, adequação da bitola do trator e transbordo e o espaçamento entre linhas para minimizar problemas com pisoteio e compactação do solo.

Ramos (2013) afirma que o sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar foi desenvolvido a partir da necessidade de se realizar a colheita com maior capacidade operacional, melhorando a logística do corte e do carregamento e sua compatibilização com o ritmo da indústria.

Ramão, Schneider e Shikida (2007) realizaram um estudo de caso comparando a produtividade (toneladas colhidas) entre os métodos de colheita manual e mecanizado. Uma colhedora de cana-de-açúcar pode substituir até 56 cortadores manuais visto que os trabalhadores

braçais atingiram uma média de 0,805 toneladas/hora de corte, enquanto as colhedoras cortaram até 46,16 toneladas/hora de cana, a Tabela 1 mostra os resultados deste estudo.

Tabela 1. Evolução das toneladas colhidas por tipo de corte, Safras 1999/2000 a 2005/06

Safr	Corte Manual		Corte Mecanizado	
	Toneladas	%	Toneladas	%
1999/2000	850.360,88	70,95	348.115,32	29,05
2000/01	294.921,85	36,53	512.402,85	63,47
2001/02	371.476,58	37,14	628.782,48	62,86
2002/03	460.459,20	37,09	780.937,10	62,91
2003/04	565.484,23	38,84	890.590,53	61,16
2004/05	715.175,68	41,96	989.218,52	58,04
2005/06	556.790,15	42,89	741.480,60	57,11
Taxa de Crescimento	3,35%		15,08%	

Fonte: Ramão, Schneider e Shikida (2007).

Perdas na colheita da cana-de-açúcar

As perdas no processo de colheita da cana-de-açúcar podem ser ocasionadas por: variedade, tratos culturais, má preparação do solo, ineficiente manutenção da colhedora, técnicas inapropriadas do operador etc. (BENEDINI e SILVA, 2010).

As perdas no processo mecanizado de colheita da cana podem ser classificadas em visíveis e não visíveis:

- As perdas visíveis são aquelas que podem ser quantificadas no campo e que são constituídas por: canas inteiras, rebolos e tocos.
- As perdas invisíveis são aquelas que não podem ser quantificadas no campo e que são caracterizadas em forma de: caldo, serragem e estilhaços de cana.

As perdas invisíveis ocorrem devido as operações de corte e limpeza da cana-de-açúcar por meio dos equipamentos rotativos das colhedoras durante o processamento (NEVES, 2003).

Torres (2014) realizou um estudo analítico das perdas no processo de colheita mecanizada durante as safras 2012/2013 e 2013/2014 e constatou os seguintes resultados:

- Safra 2012/2013: analisou-se cinco frentes de colheita, sendo que a média de perda total se situou entre 2,7 e 3,0 t.ha⁻¹. A frente de colheita que atingiu o nível maior de perda (frente 5) constatou-se uma perda de 3,9 t.ha⁻¹ e tal resultado foi atribuído a falta de habilidade técnica dos operadores, mas principalmente a defasagem tecnológica das colhedoras utilizadas nessa frente de

colheita, pois as mesmas não contavam com o dispositivo de controle automático de altura do corte de base.

- Safra 2013/2014: foi analisado novamente as cinco frentes de colheita e constatou-se uma média de perda semelhante corresponde entre 2,9 e 3,1 t.ha⁻¹. A frente cinco obteve uma redução nas perdas devido a mescla de maquinário utilizada na safra.

De modo geral, o estudo apontou uma redução em 20% nas perdas do tipo toco e 40% do tipo rebolo estilhaço. Entretanto, ocorreu um aumento de aproximadamente 13% nas perdas do tipo pedaço solto mais fixo.

Qualidade da cana-de-açúcar

Segundo Drudi (2017), a operação de colheita é a responsável por grande parte dos custos e pela qualidade do produto entregue na indústria, sendo que o sistema mecanizado de colheita proporciona uma redução de custos por tonelada colhida quando comparado com o sistema manual, por ser muito mais eficiente, visto que a comparação da quantidade colhida em toneladas de cana dia de uma máquina é maior do que a de um trabalhador.

Para Delgado, Cesar e Silva (2018), as usinas que ainda não adotam o sistema mecanizado estão procurando aderir, pois uma das vantagens com relação a qualidade do processo está sendo no método de limpeza da cana, a colheita mecanizada reduziu a quantidade de impurezas minerais e orgânicas levadas para as indústrias, podendo-se estimar uma taxa de impurezas, variando de 2 a 10%. Razão pela qual, estão abandonando a utilização dos tanques de decantação da água de lavagem, o que contribui para a diminuição dos custos da usina e dos problemas ambientais. Um outro problema no processo manual é a utilização de carregadeiras, que tem um volume maior de impurezas que acompanham as canas recém-cortadas e dispostas no solo. Junto com as canas também são carregados terra, pedras, raízes, tocos, parafusos, pedaços de facões etc. O impacto das impurezas que acompanham a cana-de-açúcar na sua moagem pode produzir consequências como: aumento do consumo de energia no preparo da cana; diminuição da capacidade de extração de moagem; diminuição da capacidade de processamento dos difusores; diminuição da pureza do caldo; aumento do desgaste de equipamentos; dificuldades para tratamento do caldo; dificuldade para fabricação de açúcar de qualidade e redução do rendimento da fermentação. Gerando um aumento nos custos de produção agroindustrial.

De acordo com Martins (2016), cada vez mais estão realizando desenvolvimento nas colhedoras de cana-de-açúcar para a otimização do processo de colheita, agregando tecnologia de

ponta, dessa forma simplificando a operação de colheita. A variação da velocidade de deslocamento e a rotação do extrator primário também influenciam na qualidade da colheita, como nas impurezas e perdas vegetais, demonstrando assim, a importância de uma configuração ideal para a colheita mecanizada.

Tecnologia no processo de colheita

Segundo Giachini et al. (2016), o setor sucroalcooleiro no Brasil tem ganhado espaço no mercado em função da diversificação tecnológica e melhoria de produtividade no setor agrícola. Afirmam que um grande avanço tecnológico para a produção da cultura da cana-de-açúcar foi a substituição do sistema de colheita manual para o sistema mecanizado. A colheita mecanizada passa a suprir a escassez de mão de obra para o corte, além de possibilitar maior rendimento na colheita e menor agressão ao ambiente, ao evitar a queima da palha.

Bartaburu e Cunha (2014) afirmam que, na safra 2013/2014, 83% dos canaviais de São Paulo foram colhidos de maneira mecanizada, e ainda afirmam que uma máquina faz o trabalho de 80 cortadores.

Ripoli (2014) diz que as melhorias tecnológicas estão sendo ampliadas e que as colhedoras trazem o Controle Integrado da Altura do Corte de Base (CICB), um sistema inteligente que controla eletronicamente a pressão de apoio dos divisores de linha flutuantes, em função das irregularidades do solo. As movimentações dos divisores são captadas por sensores de posição, que irão coordenar a variação da altura do corte de base em função do alvo pré-estabelecido pelo operador, o que minimiza as perdas.

Para Drudi (2017), a qualidade do corte de base interfere no melhor aproveitamento da lavoura, com menos perdas de matéria-prima industrializável em campo, diminuindo a contaminação do material colhido com matéria estranha mineral e, ainda, garantindo as melhores condições agronômicas para a rebrota do canavial, sem reduzir a produtividade das próximas safras.

2. METODOLOGIA

Realizou-se uma entrevista com um profissional, que disponibilizou parte de uma tarde para tal, de uma empresa do setor sucroenergético, localizada no Estado de São Paulo. A entrevista informou e levantou-se as tecnologias implementadas nas colhedoras para se obter uma melhor eficiência. Além da entrevista, foram cedidos dados relativos a colheita e qualidade da matéria-prima aos pesquisadores.

Dentre os dados obtidos estão: números referentes à colheita e à qualidade da matéria-prima industrial nos últimos 8 anos, tais como índices de produtividade, avanços tecnológicos que influenciaram na melhora produtiva, etc.

Foram fornecidos dados históricos dos últimos oito anos referentes à eficiência na colheita da cana de três usinas do Estado de São Paulo, bem como resultados no tocante à qualidade da matéria-prima entregue à indústria. Esses dados foram analisados, assim avaliaram-se as melhorias obtidas pela implementação de novas tecnologias na colheita.

A empresa estudada foi mantida anônima, pelo acordo com os pesquisadores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tecnologias implementadas no processo mecanizado de colheita

De acordo com as informações obtidas, no início das operações agrícolas a empresa trabalhava com poucas colhedoras, e, conforme foi aumentando a quantidade de máquinas, foi fundamental estudar formas de medir o desempenho operacional.

Antes das implementações tecnológicas, o processo de medição dos índices produtivos era feito de forma manual. Realizavam acompanhamentos e anotações das horas de corte em folhas de papel, porém havia muitas falhas nos resultados devido a erros nesse processo.

Para acompanhar o avanço tecnológico, iniciaram a implantação de computadores de bordo nas colhedoras, contabilizando as horas de corte por meio de sensores que identificavam o momento em que o motor e os implementos do equipamento estavam ligados e desligados. No início foi observado que os dados obtidos ainda não eram confiáveis para espelhar a operação do campo, pois nem todo momento em que o equipamento estava com o motor e os implementos ligados significava que a colhedora estava cortando cana.

Após algumas pesquisas, a empresa em questão encontrou uma tecnologia do computador de bordo mais avançada, originada do Canadá, a qual se mostrou mais eficiente e eficaz diante do cenário. Essa tecnologia funciona por meio de comunicação via GPRS. Com a possibilidade de novas funcionalidades que ampliaram a visualização das operações no campo, com melhoria nas soluções existentes (FUT – Fila Única de Transbordos e CDC – Certificado Digital de Cana) e uma melhor interface com a operação, espelhando de forma automática tudo que o equipamento está realizando, proporcionando assim, um monitoramento em tempo real. Tais recursos possibilitaram o aumento de produtividade com a previsibilidade e antecipação de situações que pudessem impactar na eficiência da operação. Assim, a análise dos resultados tornou-se mais confiável,

eliminando falhas operacionais e padronização de processos, resultando em redução de tempo perdido durante a operação de colheita no campo.

Com isso, foi criada uma central com uma equipe responsável por validar, acompanhar e fornecer “*inputs*” da visão geral da operação no campo para os gestores responsáveis pelo processo de corte de cana, como por exemplo: redução do tempo de manobra, utilização do RTK, ajuste de velocidade dos equipamentos, entre outros. Tais informações contribuíram para o aumento de produtividade e qualidade nas operações de colheita.

Segundo entrevista com o especialista da empresa do setor sucroenergético, as tecnologias agregadas podem ser divididas da seguinte maneira: Tecnologias que contribuíram para melhorar a produtividade e as que contribuíram para melhorar a qualidade e a redução de perdas.

Tecnologias que contribuíram no aumento da produtividade

Primeiro foi a implantação das máquinas alternadas (colhem 2 linhas de cana ao mesmo tempo), o que gerou um aumento de 35 a 40% de produtividade de toneladas de cana/ hora (ton/hra).

O computador de bordo (concebido há 13 anos), que foi usado para monitorar tempos, movimentos, velocidade, o que gerou um aumento de 15% de produtividade por gestão do tempo.

Em seguida foi realizada a implantação do FUT (fila única de transbordo - concebido há 4 anos), que melhorou o tempo operacional das colhedoras. É um sistema que utiliza algoritmos e sensores para otimizar o uso dos equipamentos durante a colheita. Essa tecnologia garante o fluxo constante dos tratores para as colhedoras, evitando a parada destas por falta de tratores. É uma solução implantada que tem detecção automática da percentagem de enchimento dos caixotes dos transbordos, e assim informa via computador de bordo o próximo trator na fila para se deslocar até a máquina. O sistema otimizou o manejo dos transbordos, aumentando o nível de serviço dos transbordos em média de 94% para 97%. Obteve-se um aumento na produtividade, de 500 toneladas de cana máquina para 700 ton/maq, com a utilização do FUT e a gestão de velocidade.

Mesmo após a implantação dessas tecnologias, como cada usina recebia os relatórios de vários dias e existia um monitoramento de forma descentralizada, cada uma tomava uma estratégia diferente. Para resolver esse problema, em 2016 foi criado a CIA (Central de Integração Agroindustrial) em um prédio administrativo, onde há vários analistas que fornecem *inputs* para o campo das informações em tempo real, para uma melhor tomada de decisão, atuando no momento e na causa do problema. A CIA utilizou as tecnologias existentes para agir em cima da informação

prontamente. O que conseqüentemente contribuiu para o aumento de uma média de 10 horas de corte/máq/dia para 15 horas de corte/máq/dia. Evolução essa em virtude da melhor utilização da tecnologia.

Tecnologias que contribuíram na melhora da qualidade e redução de perdas

O Copiador automático de corte de base (CACB) mede a altura adequada do corte do tolete da cana de açúcar, pois o solo é diferente em cada local, portanto há uma variação e desnivelamento. O foco é garantir a altura do toco, que contribui para redução de perdas e de impureza mineral.

O Copiador inteligente do Corte de Base (CICB) é complementar ao CACB. Além de copiar a altura do corte, também copia os divisores de linhas, ajusta os divisores de linha, diminuindo a quantidade de cana perdida.

O VORTEX é uma tecnologia implantada no extrator primário. Reduz a quantidade de cana perdida por estilhaços.

O Posicionamento Cinemático em Tempo-Real é uma técnica de posicionamento relativo utilizada por sistemas como GPS (RTK: *Real-time Kinematic*), é um "GPS" de navegação que mostra as linhas de cana para a colhedora cortar, fornece um posicionamento com precisão, tem um erro de 2 cm. Tal precisão é obtida medindo os tempos de envio do sinal e depois calculando o tempo que ele leva para fazer a viagem de volta. Essa tecnologia implantada nas colhedoras reduziu o pisoteio. O pisoteio representa uma perda de 15 a 20% de TCH (tonelada de cana por hectare).

Já o RTX determina uma margem de erro de 6 a 8 cm e não precisa de uma base fixa, enquanto no sistema RTK são utilizados dois receptores, sendo um deles estacionário e chamado de "estação base" (geralmente fica em um ponto de coordenadas conhecidas), o outro é o "rover", que fica junto ao usuário executando a coleta de dados.

Eficiência produtiva na colheita

No decorrer da última década, a empresa paulista realizou grandes investimentos tecnológicos no campo para maximizar a sua eficiência na colheita. Os dados apresentados na Tabela 2 contemplam a evolução da produtividade (tonelada de cana colhida por máquina no dia – tc/máq/dia) e o índice de crescimento de três usinas do grupo sucroenergético.

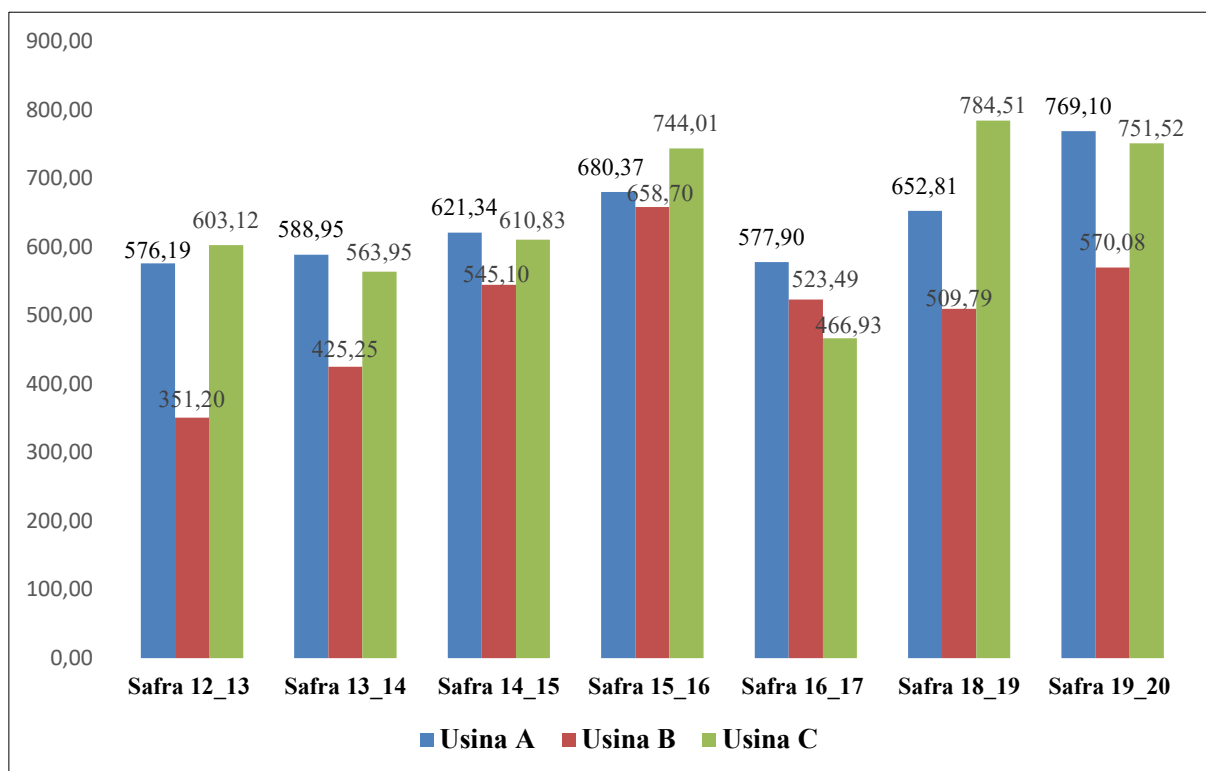
Tabela 2 - Evolução da produtividade efetiva (tc/máq/dia) pelas Usinas A, B e C

Usinas	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Inicial e Final (%)
Usina A	576,19	588,95	621,34	680,37	577,90	652,81	769,10	33,48
Usina B	351,20	425,25	545,10	658,70	523,49	509,79	570,08	62,32
Usina C	603,12	563,95	610,83	744,01	466,93	784,51	751,52	24,60

Fonte: Autores.

O Gráfico 1 apresenta a evolução da produtividade (tonelada de cana colhida por máquina no dia – tc/máq/dia) de três usinas do grupo sucroenergético no período de abril a novembro entre as safras 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 1 - Evolução da produtividade efetiva (tc/máq/dia) pelas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

O Gráfico 1 mostra que no decorrer das últimas 7 safras ocorreu uma melhora na produtividade efetiva das usinas da empresa, porém com uma oscilação na safra 2016/17. Isso deve-se ao fato de que a empresa paulista deu início à safra no mês de março e, além disso, a seca da safra contribuiu para essa baixa.

A partir da safra 2012/13 passaram a ser utilizadas em campo as máquinas alternadas, as quais podem colher duas linhas de cana ao mesmo tempo. Essa implementação tecnológica elevou os níveis de produtividade efetiva das colhedoras, fazendo com que ocorresse um aumento gradativo do índice produtivo. Além disso, no ano de 2013 foi implementado nas colhedoras o computador de bordo para gerir as horas de corte de cana-de-açúcar com análises de corte, movimento, velocidade etc.

Levando em consideração as duas extremidades do gráfico, temos os seguintes resultados:

- Usina A: sua colheita na safra 2012/13 era de 576,19 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 769,10 toneladas/máquina/dia. Ou seja, com todas as implementações tecnológicas nesse período a Usina A elevou a produtividade efetiva em 33,48%.

- Usina B: sua colheita na safra 2012/13 era de 351,20 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 570,08 toneladas/máquina/dia, uma elevação da produtividade efetiva em 62,32%.

- Usina C: sua colheita na safra 2012/13 era de 603,12 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 751,52 toneladas/máquina/dia, ou seja, a tecnificação elevou a produtividade efetiva em 24,61%.

De modo geral, as três usinas elevaram o seu índice produtivo efetivo, sendo que a usina que apresentou maior ganho percentual foi a Usina B. A empresa paulista alcançou um aumento médio na somatória das usinas analisadas de 40,13% de acordo com o índice de crescimento apresentado na Tabela 2.

A Tabela 3 mostra a evolução de horas de corte das máquinas no dia (hrs/dia) e o índice de crescimento das três usinas estudadas.

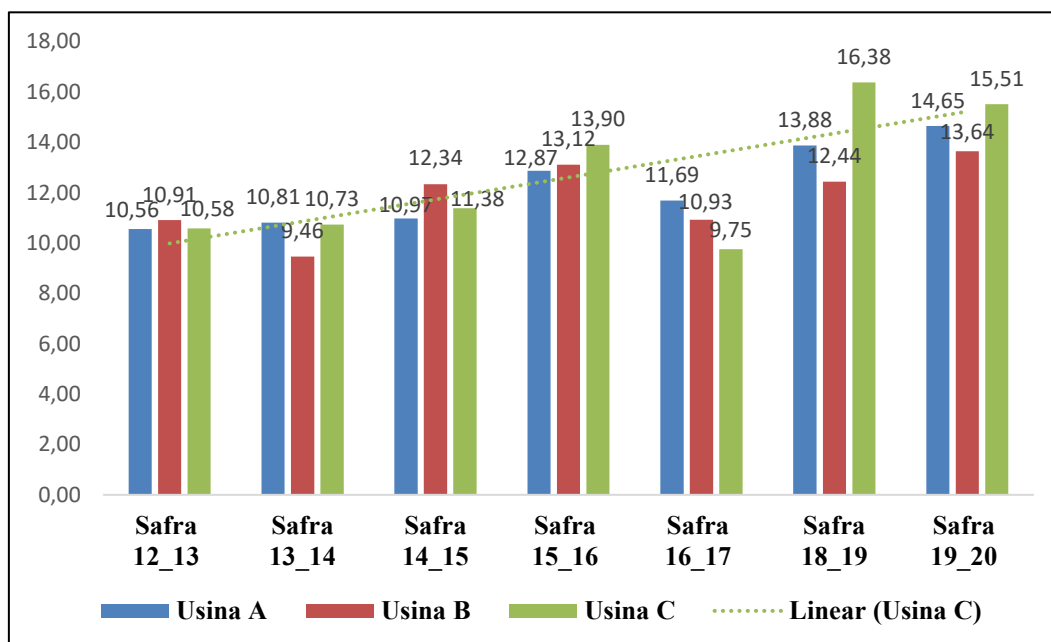
Tabela 3 - Evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Inicial e Final (%)
Usina A	10,56	10,81	10,97	12,87	11,69	13,88	14,65	38,73
Usina B	10,91	9,46	12,34	13,12	10,93	12,44	13,64	25,02
Usina C	10,58	10,73	11,38	13,90	9,75	16,38	15,51	46,60

Fonte: Autores.

O Gráfico 2 apresenta a evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 2 - Evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

Uma máquina ociosa é considerada sinônimo de ineficiência, logo, a empresa paulista se preocupou em manter as colhedoras trabalhando sem que houvesse paradas desnecessárias durante a colheita. Para isso, a empresa adotou a tecnologia FUT, que se trata de um sistema de algoritmos e sensores que otimizaram o uso dos equipamentos durante a colheita. Ele garante o fluxo constante dos tratores para as máquinas colhedoras, evitando assim, as paradas indesejadas.

Além do FUT, a empresa paulista desenvolveu a CIA, uma central de integração que avalia o tempo de máquina parada, seja ela por problema operacional ou manutenção, e realiza toda a gestão desse tempo ocioso para mantê-lo o menor possível.

O Gráfico 2 mostra um crescente desde a safra 2012/13 das três usinas analisadas, embora a safra 2016/17 tenha sido mais seca e iniciado um mês antes – motivo este da oscilação na safra em questão.

- A Usina A com a implementação do FUT e da CIA obteve um aumento de 4,09 horas/dia de corte por máquina no campo analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 38,73% que influencia diretamente no índice produtivo da usina.
- A Usina B aumentou a operação das suas máquinas em 2,73 horas/dia analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 24,66%.
- A Usina C alcançou a marca de 4,93 horas/dia de corte por máquina no campo

analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 46,60%, ou seja, o maior saldo positivo entre as três usinas.

De acordo com os dados, a empresa obteve um aumento médio de 36,78%, portanto, evidencia-se que esse aumento de operação de corte em horas/dia das máquinas contribuiu diretamente para o aumento da produtividade da empresa paulista.

A Tabela 4 apresenta a evolução do nível de serviço dos transbordos e o índice de crescimento em percentual de três usinas do grupo sucroenergético.

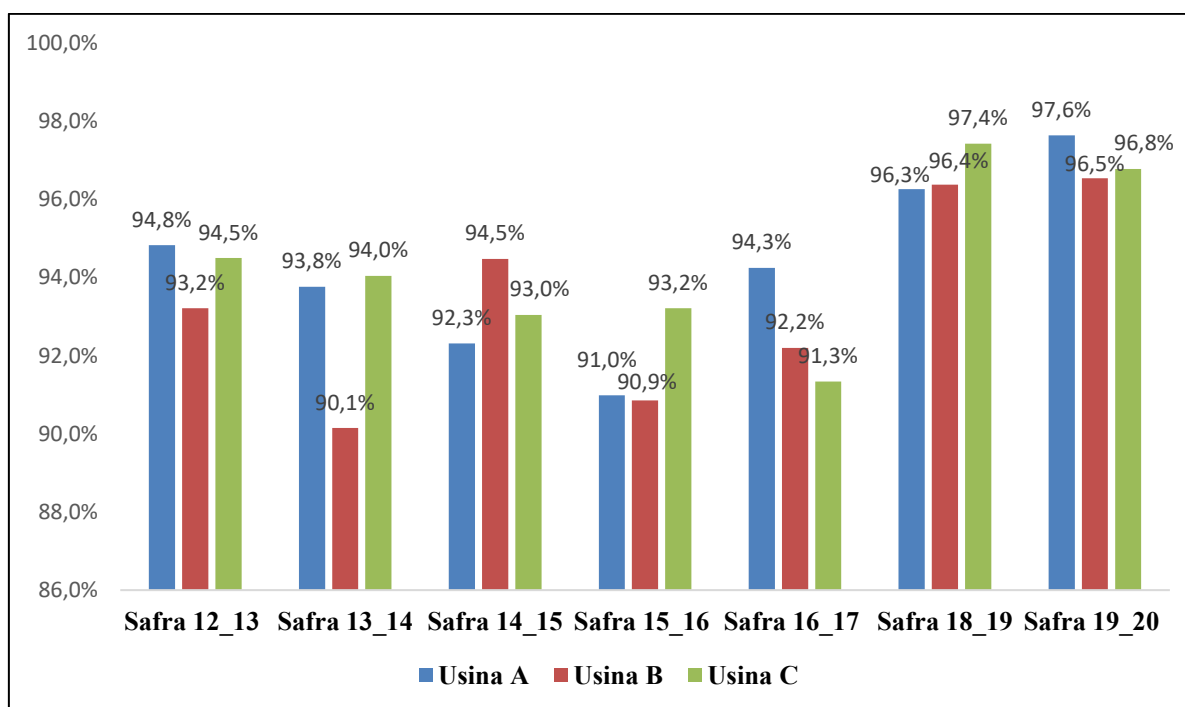
Tabela 4 - Evolução do nível de serviço dos transbordos das Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Média do período (%)
Usina A	94,8%	93,8%	92,3%	91,0%	94,3%	96,3%	97,6%	2,95
Usina B	93,2%	90,1%	94,5%	90,9%	92,2%	96,4%	96,5%	3,50
Usina C	94,5%	94,0%	93,0%	93,2%	91,3%	97,4%	96,8%	2,43

Fonte: Autores.

O Gráfico 3 mostra a evolução do nível de serviço dos transbordos (%) das Usinas A, B e C no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 3 - Evolução do nível de serviço dos transbordos (%) das Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

O nível de serviço do transbordo é de extrema importância para a eficiência da colheita, pois se uma colhedora parar por falta de transbordo, isso pode impactar diretamente na produtividade efetiva da máquina.

A empresa paulista adotou a tecnologia conhecida como FUT, para que esse nível se manteve elevado, trabalhando próximo de 100%.

De modo geral esse índice sempre foi alto (acima 90%) nas três usinas analisadas, porém a empresa buscou a elevação desse índice para próximo do 100% de utilização.

- A Usina A aumentou em 2,8% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.
- A Usina B aumentou em 3,3% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.
- A Usina C aumentou em 2,3% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.

Apesar de uma variação numérica baixa, esse nível contribuiu para a elevação da produtividade efetiva da empresa paulista pois as usinas apresentaram um aumento médio de 2,96% de disponibilidade de transbordo para as colhedoras em campo.

Diminuição de impureza mineral na matéria-prima

As melhorias tecnológicas implementadas pela empresa paulista, também focaram na redução das impurezas geradas no campo que por consequência chegava à indústria. Foi constatada pelos dados abaixo a redução de impureza mineral (kg/tc) no período entre as safras 2012/13 e 2019/20 (de abril a novembro) nas três usinas analisadas no artigo conforme apresentado na Tabela 5.

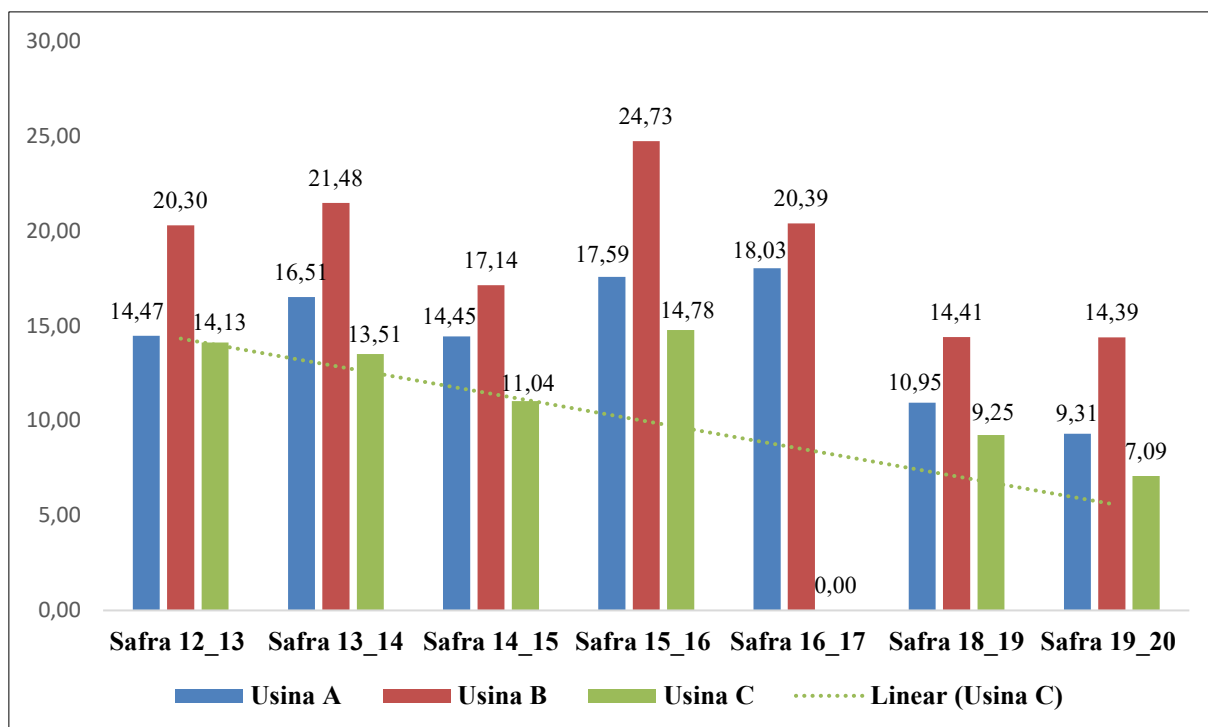
Tabela 5 - Diminuição de impureza mineral (kg/tc) no campo pelas Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Diminuição média (%)
Usina A	14,47	16,51	14,45	17,59	18,03	10,95	9,31	35,66
Usina B	20,30	21,48	17,14	24,73	20,39	14,41	14,39	29,11
Usina C	14,13	13,51	11,04	14,78	0,00	9,25	7,09	71,67

Fonte: Autores.

O Gráfico 4 mostra a redução de impureza mineral em kg/tc no campo pelas três usinas estudadas no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 4 - Redução de impureza mineral (kg/tc) no campo pelas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

A empresa paulista durante o período analisado adotou a tecnologia CACB – Copiador Automático de Corte de Base que é um dispositivo que mede a altura de corte e faz a adequação do mesmo. A partir da safra 15/16 a tecnologia CICB – Copiador Inteligente do Corte de Base se tornou mais eficiente. O equipamento ao realizar o ajuste de corte, contribui para a redução de impurezas levadas junto com a matéria-prima.

Nas últimas duas safras o índice de impurezas minerais foi reduzido nas três usinas da empresa, mantendo um nível baixo em relação as demais safras analisadas no gráfico, visto que:

- Usina A: houve uma redução de 39,27% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.
- Usina B: houve uma redução de 29,33% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.
- Usina C: houve uma redução de 37,42% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.

Verificou-se através dos dados obtidos que a empresa paulista atingiu um nível médio de redução de 45,48% das impurezas no processo de colheita das usinas em destaque no estudo.

As tecnologias influenciaram e contribuíram de modo eficaz para a redução das impurezas minerais, visto que as três usinas analisadas alcançaram reduções acima de 25% do que era encaminhado a indústria em um curto período, visto que, a análise realizada foi em um intervalo de dois anos de safras.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a implementação de tecnologias foi importante para elevar a eficiência da empresa paulista, pois os resultados obtidos comprovam o aumento de produtividade e a redução das impurezas.

A introdução das máquinas com o computador de bordo, trouxe maior benefício produtivo, aumentando em 40,14% a produtividade das usinas analisadas.

A implementação do FUT, e da CIA, aumentou o tempo de operação das máquinas/hora/dia em 36,66%.

A tecnologia que mais contribuiu para a diminuição das impurezas foi o CACB junto com o CICB, diminuindo em 35,34% as impurezas minerais nas usinas A, B e C.

As inserções de tecnologias utilizadas na colheita da cana-de-açúcar trouxeram melhoras nos índices de produtividade, redução das perdas da cana-de-açúcar e melhoram a qualidade da matéria-prima entregue na indústria. Os impactos das tecnologias implantadas foram positivos, tanto para a colheita como para a indústria sucroenergética.

REFERÊNCIAS

BARTABURU, Xavier; CUNHA, Valdemir. *Cana-de-açúcar - Sugarcane*: 1 ed. São Paulo: Origem, p. 40-44, 2014.

BENEDINI, M.S.; SILVA, A. L. Perdas de cana na colheita mecanizada. *Canavieiros: a força que movimenta o setor*. Sertãozinho, v. 5, n. 48, p. 28-31, 2010.

DRUDI, Fernanda Scaranello. *Parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedora de cana-de-açúcar para avaliação de seu desempenho Energético*. Dissertação (Mestrado), 2017 - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151676>. Acessado em: 24 abr. 2019.

GIACHINI, Camillo Ferrarezi; RAMOS, Carlos Renato Guedes; LYRA, Gabriel Albuquerque de; GAMERO, Carlos Antonio; LANÇAS, Kleber Pereira. Consumo de combustível e perdas de cana-

de-açúcar durante a colheita diurna e noturna. *Revista Energia na Agricultura*, v. 31, n. 1, 2016. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/864>. Acessado em: 18 abr. 2019.

LOPES, Cláudio Hartkopf (Org). *Tecnologia de Produção de Açúcar de Cana*. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

MARQUES, Tadeu Alcides; MELO, Bruno de Lima; JÚNIOR; Antonio Fluminhan; SILVA, Paulo Antonio da. Biofábricas de mudas de cana-de-açúcar. *Bioenergia em revista: Diálogos*, Piracicaba, v. 8, n. 2, 2018. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/263/pdf>. Acessado em: 18 abr. 2019.

MARTINS, Murilo Battistuzzi. *Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário*. Dissertação (Mestrado), 2016 - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137867>. Acessado em: 24 abr. 2019.

MIRANDA, Leila Luci Dinardo; VASCONCELOS, Antonio Carlos Machado; LANDELL, Marcos Guimarães de Andrade. *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 671 – 673, 2008.

NEVES, J. L. M. *Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução*. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PARAIZO, Diego. Cana-de-Açúcar - tudo sobre esta versátil planta. *Nova Cana*, 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/busca?query=Cana-de-A%C3%A7%C3%BAcar%20%E2%80%94%20Tudo%20sobre%20esta%20vers%C3%A1til%20planta>. Acessado em: 09 abr. 2019.

RAMÃO, Fernanda Pamplona; SCHNEIDER, Iara Elisa; SHIKIDA, Pery Francisco Assis. Padrão Tecnológico no Corte de Cana-de-Açúcar: Um estudo de caso no Estado do Paraná. São Paulo: *Revista de Economia Agrícola*, 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/REA-0607n8_000fxevywp02wyiv80soht9h5cv03gh.pdf. Acesso em: 22 nov. 2019.

RAMOS, Carlos Renato Guedes. *Desempenho operacional da colheita mecanizada de Cana-de-açúcar (saccharum spp.) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora*. Dissertação (Mestrado), 2013 - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90618/ramos_crg_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 20 nov. 2019.

RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. *O Desenvolvimento tecnológico na mecanização da colheita da cana-de-açúcar*. 2014. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/cana/maquina-agricola/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814>. Acessado em: 08 abr. 2019.

SANTIAGO & CINTRA Geo-Tecnologias. *Como funciona o sistema RTK (Real Time Kinematic)*. Disponível em: <https://www.santiagoocintra.com.br/blog/geo-tecnologias/como-funciona-o-sistema-rtk-real-time-kinematic-y>. Acessado em: 20 nov. 2019.

SILVA, Fábio Cesar; ALVES, Bruno José Rodrigues; FREITAS, Pedro Luiz. *Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos* – Brasília, DF: Embrapa, p. 350, 531 e 559, 2017.

THOMAS, Andre Luis. *Desenvolvimento da planta de cana-de-açúcar*. UFRGS Lume Repositório Digital, p. 55 e 56, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147567>. Acessado em: 18 abr. 2019.

TORRES, Luma Stefania. *Controle estatístico de processo aplicado ao monitoramento de perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado), 2014 - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113782/000801679.pdf>. Acessado em: 16 nov. 2019.

UNICA – *União da indústria de cana-de-açúcar* (2018). Fotografia do setor sucroenergético. Disponível em: <http://www.unica.com.br/documentos/documentos/cana-de-acucar/>. Acessado em: 19 abr. 2019.

VIEIRA, Gilberto. *Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte de cana-de-açúcar, manual e mecanizado, com e sem queima prévia*. Dissertação (Mestrado), 2003 - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90605/vieira_g_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 20 nov. 2019.

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 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).

2 GONÇALVES, Eloy Peres é graduado em Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Na graduação desenvolveu pesquisas sobre processos agrícolas aspirando compreender as tecnologias aplicadas durante o decorrer dos anos, evidenciando os bons resultados dessas aplicações. É eletricista de manutenção na Hyundai Motors Brasil.

3 SOARES, Sabrina Stefani possui graduação em Logística pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – Fatep, na qual se envolveu em pesquisa para análise dos processos da gestão de estoque e suprimentos da Fitassul, uma loja *in company*. Graduada em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” desenvolvendo pesquisas sobre os processos de colheita visando compreender o impacto das tecnologias aplicadas no decorrer dos anos, evidenciando os bons resultados dessas aplicações. Atua como analista de desenvolvimento logístico da Raízen.

Cultivo *in vitro* de diferentes genótipos de pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*)

SILVA, Gabriel Henrique Ribeiro da
NASCIMENTO, Daniela Defavari do

Resumo

O uso das energias renováveis é uma das alternativas mais difundidas para enfrentar o aquecimento global. O biodiesel é uma das principais opções, em especial o uso da cultura do Pinhão-Manso (*Jatropha curcas L.*), espécie com forte resistência a seca e viável para pequenas propriedades rurais com mão-de-obra familiar. Um desafio a ser vencido é a produção e obtenção de mudas selecionadas a partir de plantas matrizes superiores, e o objetivo deste trabalho foi propor um protocolo para obtenção de mudas-clones e calos de variedades de pinhão-manso. Para isso, foram utilizados embriões de pinhão-manso, extraídos de sementes fornecidas pela EMBRAPA (253-II-4, 183-I-2 e 170-II-1) e doadas para a Fatec Piracicaba. Os embriões zigóticos foram extraídos das sementes em câmara de fluxo laminar, com o auxílio de bisturi. A assepsia foi realizada com solução de hipoclorito de sódio comercial por 5 minutos, seguida de lavagem em solução de etanol 70% por 2 minutos. Os explantes foram enxaguados em água autoclavada e inoculados nos meios de cultura. Todos os tratamentos foram suplementados com sacarose (30 g.L⁻¹) e agente solidificante phytigel (2,4 g.L⁻¹): T1 – 50% dos sais do meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962); T2 – 50% dos sais do meio MS + 0,2mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; T3 – 50% dos sais do meio MS + 0,3mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; T4 – 50% dos sais do meio MS + 0,4mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA. O pH dos meios foi aferido para 5,7±1 antes da autoclavagem por quinze minutos. O genótipo 253-II-4 apresentou melhor resultado para produção de calos, plantas e raízes, sendo o mais indicado para o cultivo *in vitro*, enquanto os genótipos 138-I-1 e 183-I-2 foram os que mais oxidaram e menos responderam à indução. A melhor formulação para induzir a germinação de embriões é T1, enquanto que T3 foi o meio que os genótipos desenvolveram mais calos.

Palavras chave: Pinhão-Manso; biodiesel; genótipo; explante.

Abstract

The use of renewable energies is one of the most widespread alternatives to confront global warming. Biodiesel is one of the main options, especially the use of the *Jatropha curcas L.*, a species with strong resistance to drought and viable for small rural properties with family labor. A challenge to be overcome is the production and obtaining of selected seedlings from superior mother plants, and the objective of this work was to propose a protocol for obtaining cloned seedlings-clones and calluses of varieties of *Jatropha curcas*. For that, *Jatropha* embryos were used, extracted from seeds provided by EMBRAPA (253-II-4, 183-I-2 and 170-II-1) and donated for Fatec Piracicaba. The zygotic embryos were extracted from the seeds in a laminar flow chamber, with the aid of a scalpel. Asepsis was performed with a commercial sodium hypochlorite solution for 5 minutes, followed by washing in a 70% ethanol solution for 2 minutes. The explants were rinsed in autoclaved water and inoculated into the culture media. All treatments were supplemented with sucrose (30 g.L⁻¹) and phytigel solidifying agent (2.4 g.L⁻¹): T1 - 50% of the salts of the MS medium (MURASHIGE; SKOOG, 1962); T2 - 50% of the salts of the MS medium + 0.2mg.L⁻¹ of BAP + 0.2mg.L⁻¹ of NAA; T3 - 50% of the salts of the MS medium + 0.3mg.L⁻¹ of BAP + 0.2mg.L⁻¹ of NAA; T4 - 50% of the salts of the MS medium + 0.4mg.L⁻¹ of BAP + 0.2mg.L⁻¹ of NAA. The pH of the media was adjusted to 5.7 ± 1 before autoclaving for fifteen minutes. The genotype 253-II-4 showed the best result for the production of buds, plants and roots, being the most suitable for *in vitro* cultivation, while the genotypes 138-I-1 and 183-I-2 were the ones that most oxidized and least responded to induction. The best formulation to induce germination of embryos is T1, while T3 was the medium which genotypes developed more calluses.

Keywords: jatropha; biodiesel; genotype; explante.

Resumen

El uso de energías renovables es una de las alternativas más extendidas para enfrentar el calentamiento global. El biodiesel es una de las principales opciones, especialmente el uso de Piñon-Manso (*Jatropha curcas* L.), una especie con fuerte resistencia a la sequía y viable para pequeñas propiedades rurales con mano de obra familiar. Un desafío a superar es la producción y obtención de plántulas seleccionadas de plantas de matriz superior, y el objetivo de este trabajo fue proponer un protocolo para obtener plántulas-clones y callosidades de variedades de *Jatropha*. Para este propósito, se extrajeron embriones de nuez física de semillas provistas por EMBRAPA (253-II-4, 183-I-2 y 170-II-1) y se donaron para Fatec Piracicaba. Los embriones cigóticos se extrajeron de las semillas en una cámara de flujo laminar, utilizando un bisturí. La asepsia se realizó con solución comercial de hipoclorito de sodio durante 5 minutos, seguido de lavado en solución de etanol al 70% durante 2 minutos. Los explantes se enjuagaron en agua esterilizada en autoclave y se inocularon en los medios de cultivo. Todos los tratamientos se complementaron con sacarosa (30 g.L⁻¹) y agente solidificante de phytigel (2.4 g.L⁻¹): T1 - 50% de las sales del medio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962); T2 - 50% de las sales del medio MS + 0.2mg.L⁻¹ de BAP + 0.2mg.L⁻¹ de NAA; T3 - 50% de las sales del medio MS + 0.3mg.L⁻¹ de BAP + 0.2mg.L⁻¹ de NAA; T4 - 50% de las sales del medio MS + 0.4mg.L⁻¹ de BAP + 0.2mg.L⁻¹ de NAA. El pH de los medios se midió a $5,7 \pm 1$ antes de esterilizar en autoclave durante quince minutos. El genotipo 253-II-4 mostró el mejor resultado para la producción de callos, plantas y raíces, siendo el más adecuado para el cultivo in vitro, mientras que los genotipos 138-I-1 y 183-I-2 fueron los más oxidados y menos respondido a la inducción. La mejor formulación para inducir la germinación de embriones es T1, mientras que T3 fue el medio en el que los genotipos desarrollaron la mayor cantidad de callos.

Palabras clave: Piñon-Manso; biodiesel; genotipo; explante

INTRODUÇÃO

O estímulo ao uso das energias renováveis, com destaque para os biocombustíveis em substituição aos combustíveis de origem fóssil, tornou-se uma das alternativas frente à questão do aquecimento global. Dentre essas destaca-se o biodiesel, principalmente com o uso da cultura de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas L.*), apontado como planta de iminente sucesso no Brasil, em particular no que se refere à inclusão de pequenos agricultores.

O pinhão-manso chega à região semiárida como alternativa economicamente viável aos pequenos agricultores e grandes empresários. Espécie da família das Euforbiáceas, exigente em insolação e com forte resistência a seca, é uma cultura viável para pequenas propriedades rurais com mão de obra familiar, sendo mais uma fonte de renda e emprego para a região. Configura-se uma alternativa atraente para produção de óleo para fins energéticos. No entanto, um desafio a ser vencido é a produção e obtenção de mudas selecionadas de pinhão manso a partir de plantas matrizes superiores. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver cultivo in vitro para obtenção de mudas- clones e calos de variedades de pinhão-manso.

REVISÃO DE LITERATURA

O centro de origem do pinhão-manso é incerto, mas acredita-se ser o México ou a América Central (HELLER, 1996). Foi introduzido nas ilhas de Cabo Verde em 1783, onde foi disseminado para todas as regiões tropicais, ocorrendo em vários países como Índia, Cabo Verde, Malásia, Tailândia e Filipinas, além de algumas regiões do Brasil (CORTESÃO, 1956).

No Brasil, o pinhão-manso adaptou-se às diferentes condições edafoclimáticas e sua distribuição geográfica ocorreu principalmente nos estados do Nordeste, Goiás e Minas Gerais (DRUMMOND et al., 1984; EPAMIG, 2003). No Nordeste, o pinhão-manso cresce espontaneamente, principalmente nas regiões mais secas do semiárido, sendo considerado uma opção agrícola por ser uma espécie com resistência à seca (ARRUDA et al., 2004).

A principal matéria-prima para produção de biodiesel são plantas oleaginosas, dentre as quais está o pinhão-manso. Sua utilização como matéria-prima vem sendo amplamente discutida e avaliada, podendo ser implantada em todas as regiões brasileiras (HEIFFIG; CÂMARA, 2006). Estima-se que existem cerca de 50 mil hectares plantados com pinhão-manso no Brasil, sendo 30 mil hectares controlados por grandes e médios produtores e 20 mil hectares cultivados por meio de agricultura familiar (DURÃES et al., 2009).

O ciclo produtivo do pinhão-manso muda de acordo com a forma de plantio, podendo ser propagado via sementes ou vegetativamente. Na propagação com sementes as plantas têm maior

variabilidade genética em relação à planta mãe e são mais vigorosas, mesmo que iniciem a produção mais tardiamente. Em condições adequadas de produção, a planta propagada por sementes pode alcançar cerca de 30 a 50 anos (CORTESÃO, 1956).

Segundo pesquisas realizadas por Jocker e Jepsen (2003), as sementes de pinhão-manso, quando armazenadas em temperatura ambiente, podem manter-se viáveis por pelo menos um ano. No entanto, não é recomendado um armazenamento prolongado porque as sementes oleaginosas são mais suscetíveis ao ataque de patógenos e pode ocorrer a rancificação dos ácidos graxos que compõem o óleo. Saturnino et al. (2005) explicam que a diminuição da capacidade germinativa, que ocorre durante o período de armazenamento à temperatura ambiente, é devido a um processo de deterioração que ocorre gradativamente durante o tempo de estocagem.

Algumas sementes não germinam mesmo quando colocadas sob condições ambientais favoráveis. Tais sementes são classificadas como dormentes, fenômeno que ao mesmo tempo que se constitui um mecanismo eficiente para garantir a sobrevivência e a perpetuação da espécie pode levar ao atraso e a desuniformidade na germinação, uma vez que as sementes apresentam algum tipo de restrição (CARDOSO, 2004; MARCOS FILHO et al., 1987).

A propagação vegetativa ou assexuada é uma técnica utilizada para reproduzir uma planta geneticamente idêntica à planta matriz. Isso ocorre porque as células contêm, em seus núcleos, a informação necessária para gerar uma nova planta (GRAÇA et al., 2000). É considerada a técnica de maior viabilidade econômica para o estabelecimento de plantios clonais, pois permite a multiplicação dos genótipos selecionados em curto período e a baixo custo (PAIVA; GOMES, 2005). Essa técnica faz com que ocorra a eliminação ou redução da fase juvenil das plantas cultivadas, possibilitando maior uniformidade e número de mudas produzidas a partir de uma planta matriz (BORÉM, 1997).

Como o pinhão-manso ainda não passou por processo de melhoramento intenso, a propagação assexuada é a solução para contornar o problema da desuniformidade genética. A utilização da reprodução vegetativa facilita o trabalho do melhorista, pois, uma vez identificada uma planta considerada superior, ela pode ser propagada, mantendo a sua identidade genética (BORÉM, 1997). O sucesso dessa técnica depende da facilidade de enraizamento de cada espécie, da qualidade do sistema radicular formado e do desenvolvimento posterior da planta (OLIVEIRA et al., 2001).

Técnicas modernas de biotecnologia, como a micropropagação, a manipulação genética e a biologia molecular, estão sendo utilizadas para o melhoramento genético de plantas, permitindo o desenvolvimento de novas variedades (PEREIRA, 2004). A micropropagação utiliza pequenos

fragmentos de tecido *in vivo* (explante) que são utilizados assepticamente em meio nutritivo, onde em cada fragmento de planta, ainda que pequeno (inclusive células individuais), permanecem todos os elementos que em condições apropriadas podem reconstruir todo o organismo (TORRES et al., 1998).

A primeira aplicação comercial da micropropagação foi feita por Morel no ano de 1960 ao multiplicar orquídeas. Mediante cultura de ápices caulinares e regeneração de protocormos, diminutas estruturas se diferenciavam e davam origem a embriões (CARVALHO et al., 2006).

No Brasil, a micropropagação vem sendo muito utilizada, permitindo um acesso mais rápido dos agricultores a mudas de melhor qualidade, especialmente das variedades tradicionais e as desenvolvidas pelos programas de melhoramento genético. A técnica envolve o crescimento *in vitro* a partir de gemas (ápices caulinares ou florais), nos quais é induzida a formação de novas gemas em condições controladas de cultivo.

Além da produção de mudas em qualquer época do ano e com economia de tempo e espaço, as principais vantagens da micropropagação incluem a uniformidade no crescimento das mudas, o que permite a uniformização do plantio e sincronização da colheita, e a obtenção de plantas com características genéticas idênticas à matriz, evitando a disseminação de pragas e doenças.

Um dos princípios básicos para o sucesso da micropropagação depende, em parte, de medidas de controle e prevenção da contaminação microbiana (LEIFERT et al., 1994; SILVA et al., 2003) devido a essa técnica proporcionar um ambiente favorável para o crescimento de bactérias, leveduras e fungos (DANTAS et al., 2002). Os microrganismos contaminantes competem com os explantes pelos nutrientes do meio de cultivo, eliminando no meio metabólitos tóxicos, podendo ocasionar a morte da plântula (PEREIRA et al., 2003).

Na desinfestação do explante, a maior dificuldade é obter a descontaminação sem conduzi-los à morte quando isolados. Para isso, várias substâncias com ação germicida são utilizadas na desinfestação dos explantes. Os mais comuns são o etanol e os compostos a base de cloro, tais como o hipoclorito de sódio e de cálcio (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1998). Diversos fatores são determinantes, entre eles a concentração dos agentes desinfetantes, o tempo de exposição dos explantes, que pode variar muito os índices de contaminação de acordo com a espécie, e a sensibilidade do tecido a ser desinfetado (CHAVES et al., 2005; FERREIRA et al., 2009).

Segundo Fermino Júnior et al. (2009) o sucesso da micropropagação tem como ponto de partida a recomendação de um protocolo de assepsia e estabelecimento *in vitro* com o maior número de explantes assépticos, menor produção de compostos fenólicos (oxidação) e maior

sobrevivência dos explantes para as etapas seguintes. Mudanças micropropagadas tendem a sobreviver mais no campo e crescer mais rapidamente nos primeiros estágios de desenvolvimento, do que as mudas convencionais.

A técnica de micropropagação tem como principais vantagens a multiplicação rápida de indivíduos e a possibilidade de conservação de germoplasma, garantindo a manutenção da biodiversidade (ECHEVERRIGARAY et al., 2001). Pode ser dividida em três fases: a primeira é a etapa de estabelecimento do cultivo inicial ou primário; a segunda é de multiplicação das brotações; e a terceira é a do enraizamento (MURASHIGE, 1974). Uma etapa anterior ao isolamento, que compreende a seleção da planta-matriz fornecedora de explantes e pré tratamentos para promover uma determinada resposta *in vitro*, pode ser considerada como mais uma fase desse processo e outra posterior ao enraizamento, denominada aclimatização, que compreende a transferência para o meio ambiente (KRIKORIAN, 1991).

Para o crescimento e desenvolvimento da planta *in vitro* utiliza-se meio de cultivo constituído de água, sais inorgânicos, fonte de carbono e energia, vitaminas e fitorreguladores (GUERRA; NODARI, 2006). Essas substâncias suprem as necessidades metabólicas, energéticas e estruturais das células (ARAUJO et al., 2005). O crescimento e a morfogênese *in vitro* são fatores regulados pela interação e balanço dos reguladores de crescimento existentes no meio de cultivo, principalmente auxinas e citocininas (GEORGE; SHERRINGTON, 1984).

As citocininas são utilizadas para quebra da dominância apical dos brotos e aumento da taxa de multiplicação. Desse modo, obtém-se grande número de brotações por meio do crescimento de meristemas laterais (SRISKANDARAJAH et al., 1982). Entre as citocininas o BAP (6-benzilaminopurina) tem sido muito eficiente na multiplicação de partes aéreas e indução de gemas adventícias em diversas espécies (HU; WANG, 1983). Para multiplicação em meio de cultivo, em geral, suas concentrações variam de 0,1 a 5 mg.L⁻¹ (TOMBOLATO; COSTA, 1998).

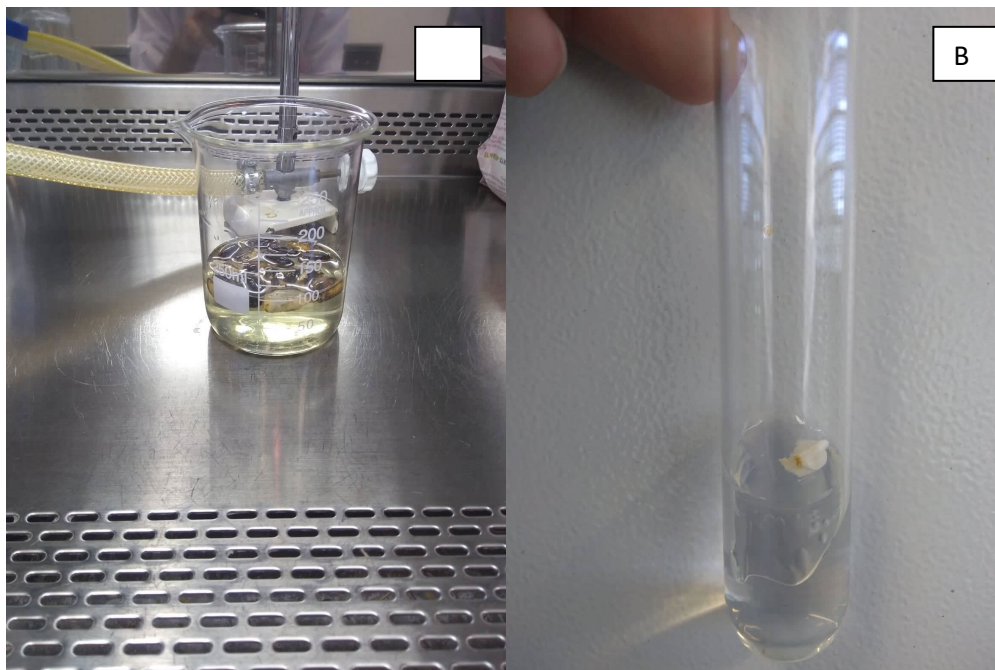
MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados embriões de pinhão-manso, extraídos de sementes fornecidas pela EMBRAPA e doadas para a Fatec Piracicaba. Esses genótipos são codificados pelas seguintes nomenclaturas: 253-II-4, 183-I-2 e 170-II-1.

Os embriões foram coletados das sementes em câmara de fluxo laminar, com o auxílio de bisturi, e armazenados em recipientes com água até coletar todo o material. No laboratório, as sementes obtidas foram lavadas com detergente neutro durante cinco minutos e transferidas para recipiente com água destilada autoclavada. Após a lavagem, as sementes foram levadas para a

câmara de fluxo laminar para realização da assepsia com solução de hipoclorito de sódio comercial por cinco minutos, seguida de lavagem em solução de etanol 70% por dois minutos (Figura 1a). Os explantes foram, então, enxaguados em água autoclavada e inoculados nos meios de cultura (Figura 1b).

Figura 1. (a) Assepsia de sementes e; (b) Inoculações de embriões de pinhão-mansão



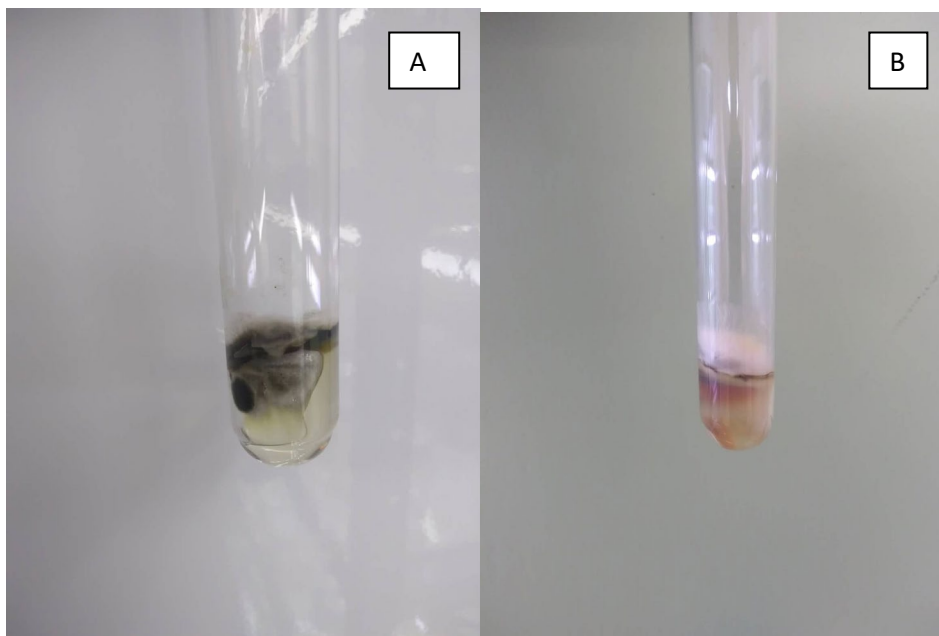
Fonte: Autores.

Os tratamentos foram baseados em ensaios pilotos (SOUZA et al., 2017; SOUZA; NASCIMENTO, 2018) para a germinação *in vitro* dos embriões de pinhão-mansão, e com isso foi realizado os seguintes tratamentos: T1 – 50% dos sais do meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962); T2 – 50% dos sais do meio MS + 0,2mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; T3 – 50% dos sais do meio MS + 0,3mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; T4 – 50% dos sais do meio MS + 0,4mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA. Todos tratamentos foram suplementados com sacarose (30 g.L⁻¹) e agente gelificante phytigel (2,4 g.L⁻¹). O pH foi aferido para 5,7±1 antes da autoclavagem (esterilização) a 120°C e 1 Kgf.cm⁻² por quinze minutos. A incubação foi realizada em sala climatizada de crescimento com temperatura 25 ± 3 °C, sob fotoperíodo de 16 horas de luz.

As variáveis avaliadas foram o percentual de embriões de pinhão-manso germinados e desenvolvidos, determinados através da avaliação visual do desenvolvimento e formação de raízes e partes aéreas.

Os explantes foram avaliados a cada 15 dias, contados da inoculação. Nesse período também foram verificadas as possíveis contaminações dos explantes. Em caso de contaminação (Figura 2(a) e (b)), os explantes foram descartados. Os tubos contaminados foram submetidos à autoclavagem a 120°C e 1 Kgf.cm⁻² por 15 minutos para eliminação por completo dos microrganismos em desenvolvimento. Todo o conteúdo dos tubos foi descartado.

Figura 2 (a) e (b): Exemplos de contaminação



Fonte: Autores.

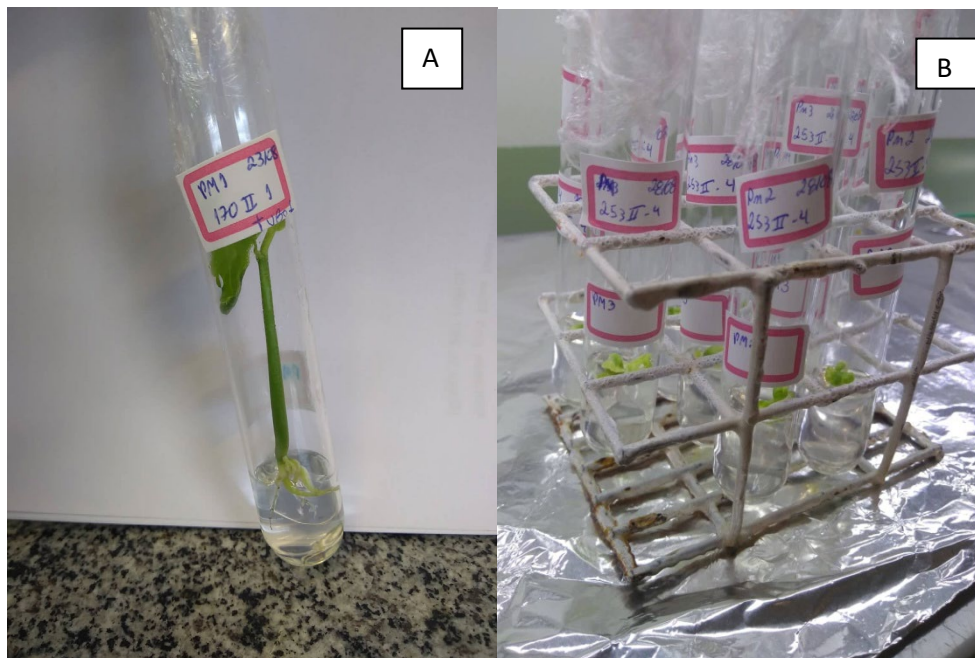
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas inoculações de embriões em três datas diferentes, que geraram cerca de 48 tubos de ensaio, e mais três inoculações de explantes diferentes (folhas, segmentos de caule e segmentos de raiz, provenientes de plantas germinadas em meio T1, que geraram cerca de 70 tubos. A taxa de contaminação nesse procedimento foi muito baixa, menor que 10%, indicando que o processo de assepsia das sementes e manipulações foram adequados.

Nove dias após inoculação dos embriões, notou-se que a germinação do genótipo 170 II 1 em meio de cultura T1 foi mais acelerada que os demais genótipos e meios, com caules já formados

e perto de dois a três centímetros, além da ausência de quaisquer sinais de contaminação (Figura 3 a e b).

Figura 3. Comparação do meio T1 (a) com os demais (b)



Fonte: Autores.

Esse mesmo genótipo (170 II 1), quando inoculado em meio T2, apresentou germinação dos embriões - ainda que um pouco mais lento que em T1 -, não apresentando raiz em nenhum dos frascos. Em meio T3, o desenvolvimento dos embriões se mostrou similar ao ocorrido em meio T1, com caules em torno dos três centímetros, folhas verdes e raízes. Nenhum apresentou sinal de contaminação e um dos tubos, neste meio T3, apresentou início de formação de calo após 30 dias de inoculação.

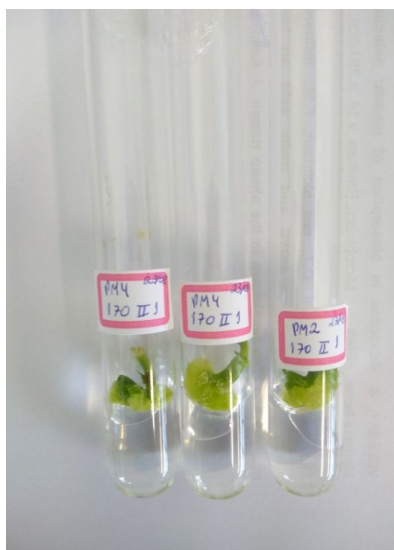
Já embriões do genótipo 183 I 1 inoculados em meio T1 apresentaram crescimento mais lento em comparação ao genótipo 170 II 1 no mesmo T1, com poucas folhas, caules com menos de um centímetro e sem calos nem raízes. No meio T2, os embriões desse genótipo (183 I 1) apresentaram um leve sinal de crescimento, com caules pequenos e sem raízes. Metade dos embriões 183 I 1 germinados em T3 apresentaram caules formados, sendo que um dos tubos apresentou crescimento um pouco mais lento que os demais. Nenhum aparentou sinal de contaminação. Apenas 50% dos embriões desse genótipo inoculados em T4 apresentaram sinais de crescimento, mesmo que devagar.

Os embriões do terceiro genótipo avaliado, 253 II 4, inoculados em qualquer das quatro formulações de meios (T1 a T4), apresentaram os piores resultados. Nenhum tubo apresentou sinal de crescimento ou contaminação 13 dias após a inoculação.

Nas observações, realizadas a cada 15 dias, foi constatado que não ocorreram grandes mudanças, apenas alguns tubos contaminados. T1 se manteve melhor, em termos de desenvolvimento do broto, em relação aos demais, que apresentaram crescimento um pouco mais lento em relação às suas datas de inoculação.

Ao final das observações, ficou evidente que o meio de cultura T1, sem adição de fitorreguladores, permitiu melhor germinação dos embriões, apresentando caule bem verde, folhas verdes e raízes (Figura 4). Além disso, o genótipo 253 II 4 teve melhores resultados em comparação aos demais, apresentando mais calos (meios T2, T3 e T4), mais plantas e raízes (meio T1), embora tenha sido o genótipo mais lento a iniciar, de fato, a germinação, o que corrobora com resultados obtidos por Souza e Nascimento (2018) ao avaliarem este genótipo. O genótipo 170 II 1 foi o que mais apresentou contaminações. Isso pode ter ocorrido devido a assepsia realizada de forma deficiente em algum momento, embora mesmo protocolo tenha sido seguido para todos, ou o genótipo pode ser mais suscetível à contaminação, já que Souza et al. (2017) relatam problemas de contaminação similar. Vale lembrar que esse genótipo apresentou germinação melhor e mais rápida logo após inoculação, porém praticamente todas as plantas obtidas acabaram contaminando com o passar do tempo.

Figura 4: Meios do genótipo 170 II 1 com formação de calos em meios de cultura contendo fitorreguladore (T2, T3 e T4).



Fonte: Autores.

Aproximadamente 30 dias após a inoculação, as plantas desenvolvidas nos meios de cultura T1 foram usadas como fonte de explantes (folhas, caules e raízes) para reinoculação nos tratamentos (T1 a T4). Os calos obtidos de embriões germinados em meios T2, T3 e T4 foram transferidos para meio T1, visando regeneração de plantas a partir dos calos.

Após 20 dias da reinoculação dos explantes, alguns frascos já apresentaram caules, raízes e folhas. Em uma das últimas observações, realizada quatro meses após inoculação dos embriões, as plantas se mostraram em constante desenvolvimento, algumas com caules de dois centímetros, folhas e caules bem verdes e raízes grandes. Os genótipos 170 II 1 e 253 II 4 apresentaram melhor crescimento. Com relação a formação de calos, o meio de cultura T3 foi o mais efetivo. Entretanto, os calos obtidos, quando transferidos para o meio sem fitorreguladores (T1), não tiveram capacidade regenerativa, evoluindo para oxidação e morte.

A tabela 1 a seguir, demonstra resumidamente o comportamento de cada genótipo em cada meio de cultura (tratamentos) avaliado.

CONCLUSÃO

Sementes do genótipo 253-II-4 se sobressaíram em todas as etapas, provando estarem mais aptas do que demais genótipos para o cultivo *in vitro*.

Formulação de meio T1 – 50% dos sais do meio MS, é a mais adequada para germinação de embriões.

Os meios T2 – 50% dos sais do meio MS + 0,2m.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; T3 – 50% dos sais do meio MS + 0,3mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA; e T4 – 50% dos sais do meio MS + 0,4mg.L⁻¹ de BAP + 0,2mg.L⁻¹ de NAA, levam à formação de calos, sendo o meio T3 o mais efetivo para a calogênese.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, J.S.; PASQUAL, M.; DUTRA, L. F.; LUIZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. R.; FERREIRA, A. L.; MYIADA, L. Y. Influência de cinetina e ácido indolbutírico na indução de calos em anteras de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Plant Cell Cult. Micropropag.* v. 1, n. 2, p. 66-71. 2005.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

BORÉM, A. *Melhoramento de plantas: sistemas reprodutivos das espécies cultivadas (reprodução assexual)*. Viçosa: UFV, 1997. p. 36-37.

CARDOSO, V. J. M. Dormência: estabelecimento do processo. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F.. *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre-RS: Artmed, 2004. p. 95-108.

CARVALHO, J. M. F. C.; SILVA, M. M. A.; MEDEIROS, M. J. L. *Fatores inerentes à micropropagação*. Campina Grande: Embrapa, 2006. p. 11-25. (Documentos, 148).

CHAVES, A. da C.; SCHUCH, M. W. ; ERIG, A. C. Estabelecimento e multiplicação in vitro de *Physalis peruviana* L. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1281-1287, 2005.

CORTESÃO, M. *Culturas tropicais: plantas oleaginosas*. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.

DANTAS, S.; OLIVEIRA, S.; CÂMARA, T. Contaminação microbiana no cultivo in vitro de plantas. In: LUZ, W. C. (org.) *Revisão anual de patologia de plantas*. 10. ed. Passo Fundo: RAPP, 2002. v. 10, p. 391-407.

DRUMMOND, O. A.; PURCINO, A. A. C.; CUNHA, L. H. S.; VELOSO, J. M. *Cultura do pinhão manso*. Belo Horizonte: Epamig, 1984. 99p.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; SUNDFELD, E.; MENDONÇA, S.; BHERING, L. L. *Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-manso para produção de biocombustíveis*. Brasília: EMBRAPA, 2009.

ECHEVERRIGARAY, S.; ANDRADE, L. B.; DELAMARE, A. P. L.; ZENI, A. L. B.; CARRER, R. Cultura de tecidos e micropropagação de plantas aromáticas e medicinais. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. *Biotecnologia na agricultura e na agroindústria*. Guaíba: Agropecuária, p. 257-276, 2001.

FERMINO JUNIOR, P. C.; NAGAO, E. O.; PEREIRA, J. E. S. Estabelecimento, germinação e multiplicação in vitro de teca (*Tectona grandis* L. f.) a partir de genótipos da Amazônia SulOcidental. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 427-435, 2009.

FERREIRA, M. G. R.; SANTOS, M. R. A.; BRAGADO, A. C. R. Propagação in vitro de cupuaçuzeiro: desinfestação de explantes florais. *Saber Científico*, Porto Velho, v. 2, n. 2, p. 37- 44, 2009.

GEORGE, E. F. and SHERRINGTON, P. D. (1984). *Plant Propagation by Tissue Culture - Handbook and Directory of Commercial Laboratories*. Eastern Press.

GRAÇA, M. E. C.; COOPER, M. A.; TAVARES, F. R. CARPANEZZI, A. A. *Estaquia de erva-mate*. Curitiba: Embrapa Florestais, 2000, 6 p. (Circular Técnica, 18).

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Ed.). *Cultura de tecidos e transformação genética de plantas*. Brasília, DF: SPI/Embrapa-CNPq, 1998. v. 1, p. 183-260.

GUERRA, M. P; NODARI, R. O. *Apostila de Biotecnologia 1-Cultura de tecidos vegetal*. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2006). 41 p.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S. Potencial da cultura do pinhão-manso como fonte de matéria-prima para o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. In: CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. (Coord.) *Agronegócio de Plantas Oleaginosas: matérias-primas para biodiesel*. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2006. p. 105 – 121.

HELLER, J. *Physic nut. Jatropha curcas L.* Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 1996.

HU, C. Y.; WANG, P. J. Meristem, shoot tip and bud culture. In: EVANS, D. A.; SHARP, W. R.; AMMIRATO, P. V.; YAMADA, Y. (Ed.). *Handbook of plant cell culture*. New York: MacMillan, p. 117-227, 1983.

LEIFERT, C.; MORRIS, C. E.; WAITES, W. M. Ecology of microbial saprophytes and pathogens in tissue culture and field grown plants: reason for contamination problems in vitro. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Netherlands, v. 13, n. 2, p. 139-183, 1994.

MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba-SP: Fealq, 2005. 495p.

MURASHIGE, T. 1974. Plant propagation through tissue cultures. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 25, 135 - 66.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 15, n. 1, p. 473-479, 1962.

OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; RIOS, M. N. S.; REZENDE, M. E. *Enraizamento de estacas para produção de mudas de espécies nativas de matas de galeria*. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001. 4 p. (Recomendação Técnica, 41).

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. *Propagação vegetativa de espécies florestais*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 40 p.

PEREIRA, G. A. *Uso do gene xylA – xilose isomerase como agente de seleção na transformação genética de citros*. 2004. 38 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2004.

PEREIRA, J. E. S.; MATTOS, M. L. T.; FORTES, G. R. L. Identificação e controle com antibióticos de bactérias endofíticas contaminantes em explantes de batata micropropagadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 7, p. 827-834, 2003.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*). *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SILVA, J. T. S.; NHUT, D. T.; TANAKA, M.; FUKAI, S. The effect of antibiotics on the in vitro growth response of chrysanthemum and tobacco stem transverse thin cell layers (tTCLs). *Scientia Horticulture*, Netherlands, v. 97, n. 3, p. 397-410, 2003.

SOUZA, B. F. de; FREGUGLIA, R. M. O.; NASCIMENTO, D. D. do. Avaliação de microrganismos contaminantes da micropropagação de pinhão manso. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente* (Online), v. 6, n. 1, p. 56-61, 2017.

SOUZA, B. F. de; NASCIMENTO, D. D. do. Cultivo in vitro de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Bioenergia em Revista: Diálogos*, v. 8, n. 1, p. 7 - 18, jan./jun. 2018.

SRISKANDARAJAH, S.; MULLINS, M. G.; NAIR, Y. Induction of adventitious rooting in vitro in difficult to propagate cultivars of apple. *Plant Science Letters*, Limerick, v. 24, n. 1, p. 1-9, 1982.

TOMBOLATO, A. F. C; COSTA, A. M. M. *Micropropagação de plantas ornamentais*. Campinas: Instituto Agronômico, p. 15-17. (Boletim Técnico, 174). 1998.

TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. M. *Cultura de tecidos e transformação genética de plantas: meios nutritivos*. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPQ, v. 1, p. 87-116. 1998.

1 SILVA, Gabriel Henrique Ribeiro da. Possui graduação em Tecnologia em Biocombustíveis pela Fatec Piracicaba Dep. "Roque Trevisan". Experiência na área de Química.

2 NASCIMENTO, Daniela Defavari do. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo (1997), graduação em Licenciatura Em Ciências Agrárias pela ESALQ/USP (1998), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela ESALQ/USP (2000) e doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela ESALQ/USP (2005). Especialista (MBA) em Agronegócios pelo PECEGE/ESALQ/USP (2012). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, atuando principalmente nos seguintes temas: cultura de tecidos, micropropagação de plantas, clonagem gênica, transformação genética de plantas (Tabaco, Arabidopsis, Eucalipto e cana-de-açúcar), análises moleculares. Desde 2010 é professora concursada por prazo indeterminado para as disciplinas: Biotecnologia e Bioetanol do curso de Graduação em Biocombustíveis; e Biotecnologia e Bioquímica de Alimentos do curso de Graduação em Alimentos, todos da FATEC Piracicaba "Deputado Roque Trevisan".

Utilização de subproduto da indústria cervejeira como substrato para a produção de amilase por fermentação em estado sólido

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

Resumo

A utilização de enzimas aumenta a especificidade e eficiência de processos industriais resultando em ganhos econômicos. As enzimas são naturais, não tóxicas e específicas. Uma das alternativas para a produção de enzimas a baixos custos está no emprego de subprodutos agroindustriais como substratos para o cultivo de microrganismos em estado sólido. A sustentabilidade cada vez mais atrai a atenção das indústrias de alimentos e bebidas, como por exemplo na indústria cervejeira, a qual produz toneladas de subprodutos anualmente. O descarte inadequado destes subprodutos pode criar uma série de problemas ambientais. Das tecnologias empregadas para reduzir ou minimizar esses subprodutos, a utilização de processos biológicos é uma das alternativas viáveis, como exemplo temos o uso de biomassa para cultivo de fungos na produção de enzimas. Das várias enzimas produzidas, as amilases são amplamente estudadas devido à importância na hidrólise do amido. O fungo *Aspergillus niger* tem sido utilizado para produção de amilase. Ele apresenta como vantagem facilidade de manipulação e habilidade de fermentar uma grande variedade de matérias-primas de baixo custo, com rendimentos elevados. Partindo deste contexto, o presente trabalho teve o objetivo estudar a produção da enzima amilase por fermentação em estado sólido utilizando o fungo *Aspergillus niger* e subprodutos oriundos da indústria artesanal cervejeira como substrato. A metodologia aplicada foi a de produção de enzimas amilolíticas por fermentação em estado sólido, utilizando como substrato bagaço de malte de cevada adicionado de solução de sais (sulfato de amônio 3,3 g/L e fosfato de potássio 1,5 g/L). A determinação da atividade amilolítica foi feita pelo método descrito por Okolo *et al.* (1995) e os resultados foram analisados estatisticamente 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 da produção da amilase por fermentação em estado sólido demonstraram através das análises, que o modelo se ajusta a um linear, tendo como variável significativa a umidade, sendo as melhores condições de trabalho umidade de 50%, tempo de fermentação de 120h e ausência de agitação.

Palavras-chave: *Aspergillus niger*, bagaço de malte, amilase, bioprocessos

Abstract

The use of enzymes increases the specificity and efficiency of industrial processes resulting in economic gains. Enzymes are natural, non-toxic and specific. One of the alternatives for the production of enzymes at low costs is the use of agro-industrial by-products as substrates for the cultivation of microorganisms in solid state. Sustainability is increasingly attracting the attention of the food and beverage industries, such as the beer industry, which produces tons of by-products annually. The improper disposal of these by-products can create a series of environmental problems. Of the technologies used to reduce or minimize these by-products, the use of biological processes is one of the viable alternatives, as an example we have the use of biomass for the cultivation of fungi in the production of enzymes. Of the various enzymes produced, amylases are widely studied due to their importance in the hydrolysis of starch. The fungus *Aspergillus niger* has been used to produce amylase. It has the advantage of easy handling and the ability to ferment a wide variety of low-cost raw materials with high yields. From this context, the present work aimed to study the production of the enzyme amylase by solid state fermentation using the fungus *Aspergillus niger* and by-products from the craft beer industry as a substrate. The methodology applied was the production of amylolytic enzymes by fermentation in solid state, using as substrate barley malt bagasse added with a solution of salts (ammonium sulfate 3.3 g / L and potassium phosphate 1.5 g / L). The determination of amylolytic activity was carried out by the method described by Okolo et al. (1995) and the results were analyzed statistically through the Action Stat Program, where estimates of the effects of the variables and their interactions were made, considering a significance level of 95%. The results of the production of amylase by fermentation in solid state demonstrated through the analyzes, that the model adjusts to a linear one, with moisture as the significant variable, with the best working conditions being 50% humidity, fermentation time of 120h and absence stirring.

Keywords: *Aspergillus niger*, malt bagasse, **amylase**, bioprocesses

Resumen

El uso de enzimas aumenta la especificidad y la eficiencia de los procesos industriales dando como resultado ganancias económicas. Las enzimas son naturales, no tóxicas y específicas. Una de las alternativas para la producción de enzimas a bajo costo es el uso de subproductos agroindustriales como sustratos para el cultivo de microorganismos en estado sólido. La sostenibilidad atrae cada vez más la atención de las industrias de alimentos y bebidas, como la industria de la cerveza, que produce toneladas de subproductos anualmente. La eliminación inadecuada de estos subproductos puede crear una serie de problemas ambientales. De las tecnologías utilizadas para reducir o minimizar estos subproductos, el uso de procesos biológicos es una de las alternativas viables, como ejemplo tenemos el uso de biomasa para el cultivo de hongos en la producción de enzimas. De las diversas enzimas producidas, las amilasas se estudian ampliamente debido a su importancia en la hidrólisis del almidón. El hongo *Aspergillus niger* se ha utilizado para producir amilasa. Tiene la ventaja de su fácil manejo y la capacidad de fermentar una amplia variedad de materias primas de bajo costo con altos rendimientos. Desde este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la producción de la enzima amilasa por fermentación en estado sólido utilizando

como sustrato el hongo *Aspergillus niger* y subproductos de la industria cervecera artesanal. La metodología aplicada fue la producción de enzimas amilolíticas por fermentación en estado sólido, utilizando como sustrato bagazo de malta de cebada más solución salina (sulfato de amonio 3.3 g / L y fosfato de potasio 1.5 g / L). La determinación de la actividad amilolítica se llevó a cabo mediante el método descrito por Okolo et al. (1995) y los resultados fueron analizados estadísticamente a través del Action Stat Program, donde se realizaron estimaciones de los efectos de las variables y sus interacciones, considerando un nivel de significancia del 95%. Los resultados de la producción de amilasa por fermentación en estado sólido demostraron a través de los análisis, que el modelo se ajusta a uno lineal, con la humedad como variable significativa, siendo las mejores condiciones de trabajo 50% de humedad, tiempo de fermentación de 120h y ausencia de agitación.

Palabras clave: *Aspergillus niger*, bagazo de malta, amilasa, bioprocesos

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações mundiais é o destino incorreto de resíduos industriais, que muitas vezes são responsáveis por agressões ao ambiente, além de representarem perdas de matérias-primas e energia, e exigirem investimentos em tratamentos para controlar a poluição. O reaproveitamento desses resíduos industriais, em especial os sólidos, é uma alternativa que pode ser utilizada para a diminuição ou eliminação dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado (BORGES e NETO, 2009; PELIZER et al. 2007).

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 do grão de cevada malteado. Sua utilização vem sendo estudada nos processos biotecnológicos, empregando-os como substratos ou suportes para fermentações e produções de enzimas. Esse bagaço de malte constitui uma boa opção, pois se encontra disponível o ano todo, em grande quantidade e a baixo custo, o que o torna um substrato atrativo para a produção de enzimas (SOCCOL e VANDENBERGHE, 2003).

As amilases compreendem um grupo de enzimas hidrolíticas que atuam na catálise do amido em cadeias menores, convertendo as moléculas de amilose e amilopectina em moléculas menores, como dextrinas, maltoses e glicoses. A obtenção das amilases, a partir do bagaço de malte gerariam um produto de alto valor agregado e dariam um destino adequado ao subproduto da indústria cervejeira (SANTANA et al., 2012).

Sendo assim, no presente trabalho, foram realizados ensaios com o intuito de verificar a influência das variáveis umidade, tempo de fermentação e agitação sobre a produção de enzimas amilolíticas, a partir da fermentação em estado sólido, utilizando o fungo *Aspergillus niger* para produção de amilase. Esse fungo apresenta como vantagem facilidade de manipulação e habilidade de fermentar uma grande variedade de matérias-primas de baixo custo, além de apresentar rendimentos elevados (COUTO e SANDROMAN, 2005; SINGHANIA et al., 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

Microrganismo

O microrganismo utilizado neste trabalho foi uma cepa de *Aspergillus niger* que foi inoculada em meio PDA (*Potato Dextrose Agar*) e incubada a 30°C em estufa bacteriológica durante 7 dias.

Bagaço de Malte de Cevada

Esse subproduto da indústria artesanal cervejeira foi utilizado no experimento após ser obtido numa indústria local em Piracicaba – SP. O bagaço foi seco em estufa a 60 °C por 48h e então utilizado como substrato para a produção de amilase.

Produção de amilase

Os ensaios foram realizados em erlenmeyers de 250 mL, contendo dez gramas do bagaço de malte de cevada. Ao substrato foi adicionado solução de sais contendo 3,3 g/L de sulfato de amônio e 1,5 g/L de fosfato de potássio. Em seguida foi feita a esterilização em autoclave a 121°C por 15 minutos. Posteriormente, adicionou-se uma suspensão de esporos e foi feita a incubação na temperatura de 30°C, sendo o tempo e a agitação determinado pelo experimento. Após o tempo de fermentação, adicionou-se 100 mL de tampão acetato de sódio 0,1M (pH 5,0) e manteve-se em agitação por 150rpm em incubadora de agitação orbital (“shaker”) durante 20 minutos e realizou-se a filtração em papel de filtro, obtendo-se o caldo enzimático cuja concentração foi determinada.

Determinação da atividade enzimática

A atividade da α -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 consistiu em 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.

Delineamento Experimental utilizado na Produção de Amilase

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

O delineamento experimental para verificação das variáveis que influenciam na produção da amilase utilizando o fungo *Aspergillus niger* foi realizado 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 = 120); C = Agitação (rpm) (-1 = 0; 1 = 100)

Análise Estatística

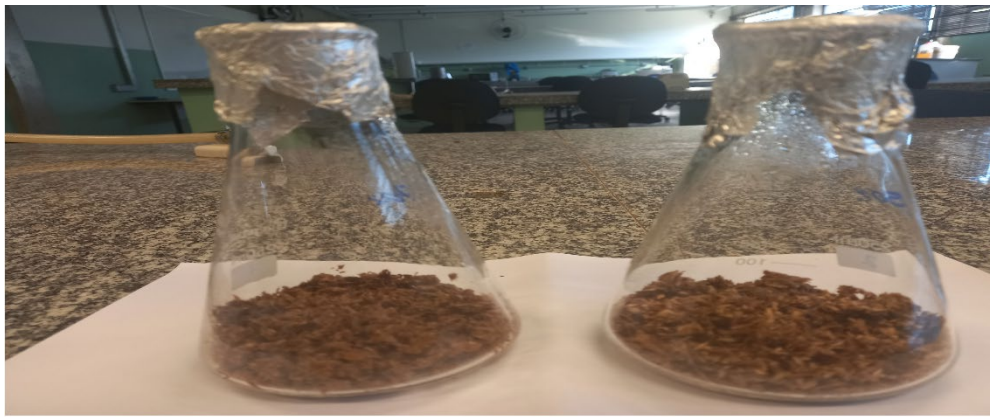
Os dados experimentais foram analisados estatisticamente, de acordo com planejamentos predeterminados, para verificar o nível dos efeitos dos fatores em estudo.

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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

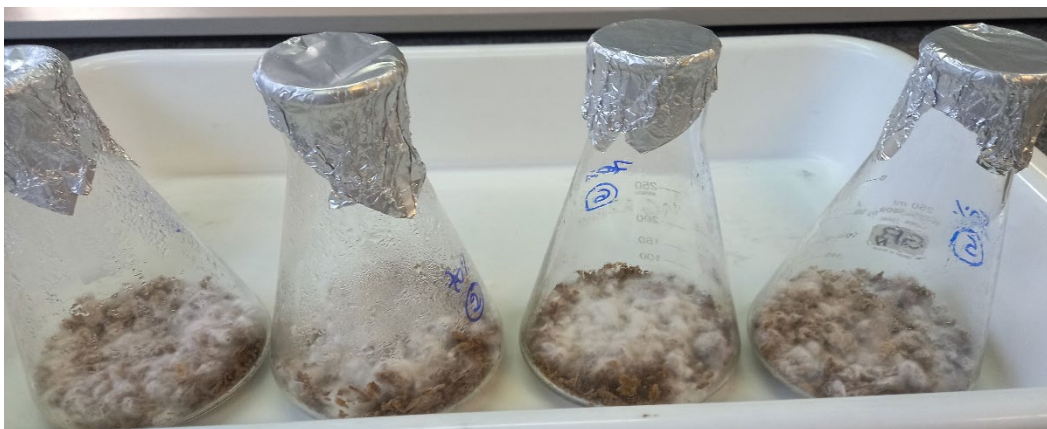
Foram utilizados frascos erlenmeyers de 250 mL contendo dez gramas do substrato, o qual foi formado pelo bagaço de malte de cevada. Foram adicionados ao substrato proporções de solução de sais para alcançar a umidade de 50 e 70%. Em seguida foram esterilizados, para posterior inoculação com os esporos do fungo *Aspergillus niger* (Figura 1). A fermentação ocorreu em 30 °C, por um período de 72 e 120 horas e a agitação variou de 0 e 100 rpm (Figura 2). Após o tempo de fermentação, acrescentou-se 100 mL de tampão acetato de sódio 0,1M pH 5,0, em seguida deixou-se em agitação por 150 rpm 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 composto por bagaço de malte de cevada e sais.



Fonte: Autora.

Figura 2: Meio de cultura fermentado composto por bagaço de malte de cevada, sais e *Aspergillus niger*.



Fonte: Autora.

Tabela 2: Matriz do planejamento fatorial completo 2³

Ensaio	A	B	C	Resultado em Atividade Enzimática (U/mL)
1	-1	-1	-1	13,2
2	+1	-1	-1	3,6
3	-1	+1	-1	15,8
4	+1	+1	-1	5,1
5	-1	-1	+1	11,7
6	+1	-1	+1	3,5
7	-1	+1	+1	11,2
8	+1	+1	+1	6,7

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 120); C = Agitação (rpm) (-1 = 0; 1 = 100)

Ao analisar a Tabela 2, os resultados que tiveram o maior e o menor valor em Atividade Enzimática, foram os ensaios 3 e 6, respectivamente. Todas as variáveis alteraram o seu valor, passando a umidade (A) e a agitação (C) do seu menor (-1) para maior nível (+1), ou seja, a umidade indo de 50 para 70% e a agitação de sem agitação para 100rpm. Já o tempo de fermentação (B) do maior para o menor, ou seja, de 120 para 72 horas. Entretanto, ao observar a Tabela 3, notamos que somente a variável Umidade (A) foi significativa dentro da faixa de valores estudados.

Tabela 3: Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” obtidos no planejamento fatorial completo 2³

Efeitos e interações	Estimativas	T	P
Média	8,8375	-	-
A	-4,0875	4,7391	0,0306*
B	0,8625	1	0,4094
C	-0,5375	0,6231	0,5886
AB	0,2875	0,3333	0,7665
AC	0,9375	1,0869	0,3764
BC	-0,2125	0,2463	0,8254
ABC	0,6125	0,7101	0,5419

A = Umidade (%) (-1 = 50; 1 = 70); B = Tempo (horas) (-1 = 72; 1 = 120); C = Agitação (rpm) (-1 = 0; 1 = 100);
 *Significativos ($t_{4,0,95} = 2,77$)

A variável significativa, umidade (A) apresenta sinal negativo, o que indica que, para haver aumento da atividade enzimática, será necessário diminuir o valor desta variável. Esta observação pode ser comprovada através da Tabela 4.

Tabela 4: 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	133,66	48,362	0,0022
B	5,95	2,153	0,2161
C	2,31	0,836	0,4122

R² = 0,93; A = Umidade (%); B = Tempo de fermentação (h); C = Agitação (rpm); QM = Média Quadrática;
*Significativos ao nível de 95% de confiança

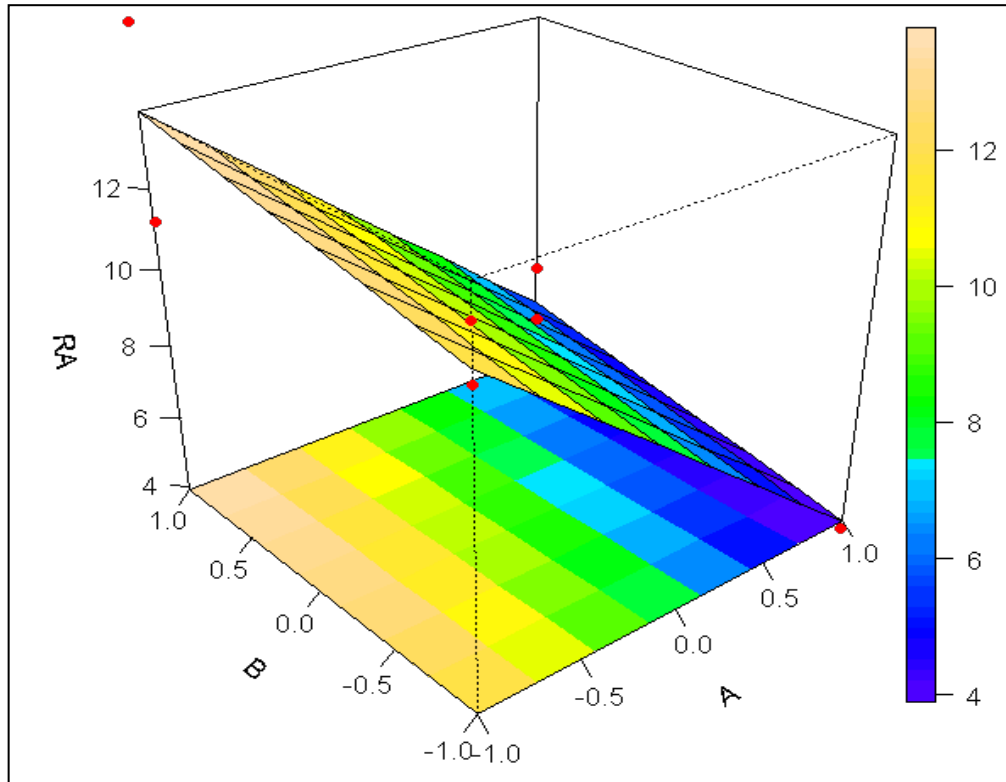
Como os resultados das análises demonstraram que o modelo se ajusta a um linear, então pode-se representar o processo de produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *A. niger* considerando os termos que mais influenciam no rendimento em atividade, conforme a Equação 1:

$$Y = 8,84 - 4,09A \quad (1)$$

Sendo que Y representa o rendimento em atividade e A representa a Umidade (%).

A metodologia da superfície de resposta foi utilizada para otimizar as condições de produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *A. niger*, fornecendo um modelo matemático adequado para a resposta em rendimento em atividade. 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 1, que representa a produção de amilase por fermentação em estado sólido usando o fungo *A. niger*



CONCLUSÃO

Através do estudo da metodologia da superfície de resposta, foi possível determinar as condições de recuperação da enzima amilase utilizando o fungo *Aspergillus niger* em fermentação em estado sólido tendo como substrato bagaço de malte de cevada e sais, e obteve-se um modelo matemático linear adequado para a resposta de atividade enzimática, onde a variável significativa foi a umidade. As melhores condições para a produção da enzima foram temperatura de 30°C, umidade de 50%, e tempo de fermentação 120h sem agitação.

REFERÊNCIAS

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.

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

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.

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.

SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P. S. Overview of applied solid-state fermentation in Brazil. *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, p. 205-218, 2003.

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 Dep. 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 líquido-líquido.

Avaliação do potencial energético dos resíduos orgânicos de um restaurante de Tietê/SP – um estudo de caso

MAZZONETTO, Alexandre Witier
CARNIEL, Renata Brandolise Foltran
CATALA, Luiza Brabo
PEDRO, Alexandre da Costa

Resumo

A matriz elétrica brasileira é composta por aproximadamente 75,0% de fontes renováveis, das quais a energia hidráulica responde por 64%, sendo sujeita à sazonalidade. Além disso, a irregularidade das chuvas tem proporcionado crises no abastecimento das cidades e na geração de energia. A diversificação da matriz energética é fundamental para a estabilidade da oferta de energia e se trata de uma boa opção para diversificar com sustentabilidade. Concomitantemente, cuidar do ambiente é destinar os resíduos sólidos urbanos para a produção energética, de modo que isto proporcionaria algumas vantagens adicionais tais como: proteger a sociedade da proliferação de enfermidades, não imobilizar grandes áreas para o depósito destes resíduos e ainda oferecer um destino e tratamento aos resíduos próximo do local de sua geração. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) propõe alterar as práticas de descarte e destinação dos resíduos. Tendo em vista que os restaurantes são grandes geradores de resíduos orgânicos, este trabalho teve como objetivo a caracterização do potencial energético desses resíduos, tanto *in natura* quanto os processados, através das Análises Imediata, Elementar e Poder Calorífico, discutindo as possíveis rotas tecnológicas para geração de energia e tratamento dos resíduos. As rotas tecnológicas disponíveis foram estimadas e comparadas a fim de se obter o maior rendimento – a maior produção de energia com menor massa de rejeitos dos processos. Os resíduos processados demonstraram melhor resultado quando comparados à literatura, proporcionando a melhor opção para geração de energia. O aproveitamento energético dos resíduos apresentou contribuição significativa para suprir uma fração da demanda de energia elétrica do município de Tietê – SP, origem das amostras, podendo ocasionar uma economia média de cento e setenta mil reais por mês (R\$ 170.000,00/mês), dependendo do processo térmico a ser utilizado.

Palavras-chave: Resíduo orgânico, biomassa, energia elétrica, biogás, processos térmicos.

Abstract

The Brazilian energy matrix is composed of 75.5% from renewable resources, which hydraulic energy is responsible for 64%, being subject to seasonality. In addition to this, irregular rainfall has caused crises in the water supply of cities as well as problems in power generation. The diversification of the energy matrix is critical to the stability of energy supply and a great option to diversify with sustainability. At the same time, protect the environment, is to destinate solid waste to energy production, so this would provide some additional advantages such as: protecting society from the proliferation of diseases, not immobilizing large areas for waste disposal and still offer a destination and treatment of waste close to the source where it is produced. The National Policy on Solid Waste (PNRS) proposes to change the waste disposal practices and procedures. Given that restaurants are great generators of organic waste, this study aimed to characterize the energy potential of this waste, both *in natura* as well as processed, through Immediate, Elementary and Calorific Value Analyses, discussing the possible technological routes to power generation and waste treatment. Technological routes available were estimated and compared in order to obtain the highest yield - the process with highest output power with less mass waste. The processed waste showed better results when compared to the literature, and provided the best option for generating energy. The energy recovery

from waste presented significant contribution to supply a fraction of the electricity needs of the city of Tietê - SP, where our samples came from, what may lead to saving an average of one hundred and seventy thousand reais per month (R\$ 170,000.00/month) depending on the thermal process used.

Keywords: organic waste, biomass, electricity, biogas, thermal processes.

Resumen

La matriz eléctrica brasileña está compuesta por aproximadamente un 75,0% de fuentes renovables, de las cuales la energía hidráulica representa el 64%, estando sujeta a la estacionalidad. Además, la irregularidad de las lluvias ha provocado crisis en el suministro de las ciudades y en la generación de energía. La diversificación de la matriz energética es fundamental para la estabilidad del suministro energético y es una buena opción para diversificar con sostenibilidad. Paralelamente, cuidar el medio ambiente es disponer de los residuos sólidos urbanos para la producción de energía, por lo que esto aportaría algunas ventajas adicionales como: proteger a la sociedad de la proliferación de enfermedades, no inmovilizar grandes áreas para el depósito de estos residuos y seguir ofreciendo un destino y tratamiento de residuos cerca del lugar de su generación. La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) propone cambiar las prácticas de disposición y disposición de residuos. Teniendo en cuenta que los restaurantes son grandes generadores de residuos orgánicos, este trabajo tuvo como objetivo caracterizar el potencial energético de estos residuos, tanto in natura como procesados, a través del Análisis de Poder Inmediato, Elemental y Calorífico, discutiendo las posibles vías tecnológicas de generación, tratamiento de energía y residuos. Se estimaron y compararon las rutas tecnológicas disponibles para obtener el mayor rendimiento: la mayor producción de energía con la menor masa de residuos de proceso. Los residuos procesados mostraron mejores resultados en comparación con la literatura, proporcionando la mejor opción para la generación de energía. El aprovechamiento energético de los residuos contribuyó de manera significativa a abastecer una fracción de la demanda eléctrica en el municipio de Tietê - SP, origen de las muestras, lo que puede ocasionar un ahorro promedio de ciento setenta mil reales mensuales (R \$ 170.000,00 / mes), dependiendo del proceso térmico a utilizar.

Palabras-clave: Residuo orgánico, biomasa, energía eléctrica, biogás, procesos térmicos.

INTRODUÇÃO

A biomassa, como fonte de energia renovável, desempenha um papel fundamental no contexto energético, ambiental e socioeconômico. As biomassas são provenientes de resíduos urbanos, da madeira, de culturas agrícolas, de plantas aquáticas, algas, animais, processamento de alimentos e seus resíduos (GUEDES et al., 2010). A crescente geração de resíduos, falta de espaços próximos às grandes cidades, necessidade de tratar esses resíduos bem como o aumento da demanda por energia, faz com que o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos (RSU) passe a ser uma alternativa a ser estudada para acrescentar energia ao sistema elétrico e resolver inúmeros problemas.

O aumento da população é mais um fator agravante nesse cenário, pois como consequência a produção de resíduos. Os Estados, municípios e União, estão se adequando a nova Lei 12.305 que foi regulamentada em 2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).

Vários setores contribuem para a geração de resíduos em um município, dentre eles estão os restaurantes, que são grandes geradores de resíduos orgânicos, cujo destino final desses resíduos, normalmente, são aterros sanitários. E há cada vez menos disponibilidade de áreas para esta finalidade próximas aos grandes centros urbanos.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar e analisar os resíduos de alimentos, *in natura* e processados. Além disso, estimar o potencial energético (kW) considerando-se as tecnologias disponíveis. Sendo assim, neste trabalho foram abordados dois tipos de resíduos orgânicos, os processados dos quais passaram por processos térmicos e os “*in natura*” que são verduras, frutas, legumes que não tiveram sua composição alterada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS prevê a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, sendo o seu processo no Decreto no. 7.404/2010, que a regulamentou. Cabe à União, por intermédio da coordenação do Ministério do Meio Ambiente, elaborar o Plano Nacional de Resíduos Sólidos num amplo processo de mobilização e participação social (MMA, 2012).

Todos os geradores de resíduos sólidos são responsáveis pelo transporte, armazenamento, reciclagem, tratamento e disposição final dos seus resíduos, podendo encaminhá-los às unidades receptoras desde que estejam licenciadas pelo órgão ambiental competente para manipular, reciclar e tratar, além disso, cabe aos geradores a recuperação das áreas degradadas (BRASIL, 2010).

De acordo com relatório divulgado pela FAO (2013), o volume de alimentos desperdiçados anualmente chega a 1,3 bilhões de toneladas, valor considerado inaceitável, pois isso acarreta em prejuízos à população e aos recursos naturais. O mesmo destaca que o volume de água gasto nos alimentos produzidos, porém não consumidos. Dentre os alimentos, as frutas e hortaliças, em média, são produzidas 16,85 milhões de toneladas, porém 5,45 milhões de toneladas são desperdiçadas.

Alheira (2014) realizou um estudo, totalizando 28 dias, no qual foram avaliados dez restaurantes no município do Rio de Janeiro, os resultados encontrados da quantia total do resíduo alimentar foram de 2811,75 kg sendo uma média diária por restaurante de 100,42 kg. Para avaliar o cenário, foi considerada a possibilidade de desperdício de comida em três etapas do manuseio do alimento sendo estes no armazenamento, produção e pelos clientes que são os consumidores finais. Os resultados obtidos nesta pesquisa foram de 5%, 15% e 80% de desperdício respectivamente.

Biomassa

“Biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente mais consciente” (Rossilo-Calle et al., 2005).

De acordo com Cortez et al. (2008) um dos maiores pontos para a motivação da utilização de biomassa é a necessidade de mudar a postura da sociedade, alterando sua matriz energética e tornando-a menos dependentes do uso de derivados de petróleo e conseqüentemente reduzirem a dependência dos países exportadores de petróleo, com isso a emissão dos gases que promovem o efeito estufa, grande problema encontrado no cenário atual.

Como disse Rossilo-Calle et al. (2005, p. 26) “quando produzida de forma eficiente e sustentável, a energia da biomassa traz inúmeros benefícios ambientais e sociais em comparação com os combustíveis fósseis”. Os benefícios proporcionados são inúmeros, sendo os principais a redução da emissão de CO₂, melhor manejo da terra e reciclagem de nutrientes.

Tecnologias Disponíveis

Os principais métodos considerados para conversão termoquímica da biomassa são: pirólise, gaseificação e a combustão. Para definir melhor qual o processo e método a ser utilizado, é necessário caracterizar da biomassa por meio da análise imediata, análise elementar e análise de poder calorífico (FIGUEIREDO, 2009).

O processo de incineração envolve a combustão das substâncias orgânicas presentes nos resíduos. Em outro aspecto, pode-se considerá-lo como um processo de reciclagem energética, pois a energia contida nos resíduos é liberada na queima e, conseqüentemente, reaproveitada em outros processos. Neste processo os resíduos são transformados em cinzas que são formadas pelos constituintes inorgânicos, gases de combustão os quais necessitam de tratamento para reduzir a emissão de alguns gases poluentes e o calor. Alguns dos fatores limitantes deste processo são as variações de umidade e a quantidade de materiais presentes nos RSU; além disso, este processo gera substâncias tóxicas de alto poder cancerígeno (SANTOS, 2011).

Segundo Sánchez (2010), gaseificação é a conversão de qualquer combustível sólido em um gás energético, pela oxidação parcial a temperaturas elevadas (800° - 1000° C). O autor ainda completa que as vantagens de se realizar a gaseificação de biomassa é permitir a redução da dependência de regiões e países às flutuações nos preços dos combustíveis importados além da geração de eletricidade em pequena escala apenas pela queima do gás em um motor interno.

Cortez et al. (2008) dizem que “ao processo de gaseificação são supridas quantidades restringidas de oxigênio, na forma de oxigênio puro ou simplesmente ar atmosférico, dependendo, principalmente, do uso final do gás obtido”. Os autores ainda destacam que este material carbonoso sólido, quando se tem o objetivo de produzir gás de síntese que é rico em hidrogênio e monóxido de carbono, é gaseificado por vapor de água superaquecido sendo incorporado ao agente de gaseificação.

Pode-se definir pirólise como a decomposição térmica de matéria orgânica na ausência de ar ou de oxigênio. Cortez et al. (2008) completam que a pirólise é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas consideradas baixas (280° C - 800° C) em atmosfera não oxidante, formando carvão que é rico em carbono e uma fração volátil que é composta por gases e vapores orgânicos condensáveis.

Caracterização da Biomassa

Há quatro classes de procedimentos para realizar a caracterização da biomassa quanto suas características físicas e químicas: a Granulometria, Análise Imediata, Análise Elementar e Poder Calorífico (SANCHÉZ, 2010).

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados encontrados por Mazzonetto et al. (2012) de resíduos de poda, capina e serragem urbana; de Miller & Tillman (2008) com Resíduo de Poda Urbana; resíduo alimentício de uma churrascaria por Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018); resíduo

sólido urbano de dez bairros de Piracicaba/SP feito por Vessalli, Favarin Neto, Oliveira (2013); e resíduo vegetais do CEAGESP de Piracicaba/SP por Silva (2019).

Tabela 1: Composição Imediata de várias biomassas residuais

Biomassas	Análise Imediata (B. S.) [%]			
	Umidade [%]	Voláteis [%]	Carbono Fixo [%]	Cinzas [%]
Capina Urbana e Rodoviária ¹	63,66±0,06	86,42±0,62	6,78±0,62	6,80±0,09
Serragem Urbana (Garapeira e Peroba) ¹	11,85±2,38	84,05±0,44	9,00±0,69	6,95±0,82
Resíduo de Poda Urbana ¹	60,30±1,41	82,37±1,10	11,17±1,06	6,46±0,43
Resíduo de Madeira Urbana ²	30,80	76,00	18,10	5,9
Resíduo de churrascaria de Piracicaba ³	68,27	83,41	11,77	4,41
RSU Piracicaba ⁴	-	-	-	-
Ceagesp Piracicaba ⁵	85,82	76,68	15,42	7,90

Fonte: Adaptado de 1- Mazzonetto *et al.* (2012); 2- Miller & Tillman (2008); 3- Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018); 4- Vessalli, Favarin Neto, Oliveira (2013); 5- Silva (2019).

Tabela 2: Composição Elementar e Poder Calorífico [MJ.kg⁻¹] de várias biomassas residuais

Biomassas	Análise Elementar (B. S.)				PCS [MJ.kg ⁻¹]
	Carbono [%]	Hidrogênio [%]	Nitrogênio [%]	Oxigênio [%]	
Capina Urbana e Rodoviária ¹	41,70	5,90	1,15	44,45	17,80
Serragem Urbana (Garapeira e Peroba) ¹	42,87	5,67	0,38	44,13	19,07
Resíduo de Poda Urbana ¹	42,73	5,86	1,34	43,61	18,47
Resíduo de Madeira Urbana ²	48,00	5,50	1,40	39,20	18,28
Resíduo de churrascaria de Piracicaba ³	57,19	6,10	0,35	29,66	17,71

RSU Piracicaba⁴	46,57	6,32	2,05	35,00	18,64
Ceagesp Piracicaba⁵	40,85	5,79	3,63	49,23	13,37

Fonte: Adaptado de 1- Mazzonetto *et al.* (2012); 2- Miller & Tillman (2008); 3- Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018); 4- Vessalli, Favarin Neto, Oliveira (2013); 5- Silva (2019). * O Oxigênio foi determinado pela diferença de C, H, N e cinzas.

METODOLOGIA

Este projeto se aplica na cidade de Tietê que está localizada a 121 km da capital paulista, com aproximadamente 40 mil habitantes atualmente. Possui 404 km² de área, sendo 52 km² de zona urbana e 352 km² zona rural. Dentre os restaurantes situados no município de Tietê, optou-se pelo restaurante M. A. Cancian, localizado no bairro São Pedro, para o fornecimento dos resíduos, uma vez que a localização é a de mais fácil acesso e maior disponibilidade no fornecimento de todas as amostras. Os tipos de resíduos encontrados são resto de ingesta, cascas de frutas e legumes, guardanapos de papéis, lata e plástico. Computa-se uma média de 50 kg por dia de resíduos orgânicos.

Foram coletadas nove (9) amostras de cada tipo de resíduo (processado e *in natura*), pois o restaurante escolhido tem uma variância de nove (9) cardápios.

Análise Imediata

“A análise imediata fornece as frações, em peso, de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo de uma amostra de biomassa” (Sánchez, 2010).

Análise de Umidade

A determinação de umidade é a primeira análise a ser realizada seguindo o roteiro da norma ASTM E1756-08 (2020). A amostra foi submetida à estufa, sob temperatura entre 104 a 110° C, de modo que o tempo é variável uma vez que este depende de cada tipo de material a ser analisado. O cálculo do porcentual de umidade é dado pelas Equações 1 e 2:

$$\%sólidos = \left[\frac{(Pf - Pc)}{(Pi - Pc)} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$\%umidade = 100\% - \%sólidos \quad (2)$$

Onde:

Pi = peso inicial da massa úmida com o cadinho tampado;

Pf = Peso final da amostra seca e estabilizada com o cadinho tampado;

Pc = peso do cadinho vazio e tampado.

Voláteis

A amostra é aquecida por 6 minutos a 950° C. Esta análise segue roteiro adaptado da norma ASTM E872-82 (ASTM, 2019). O cálculo do percentual de voláteis é dado pelas Equações 3 e 4:

$$\% \text{ voláteis} = A - B \quad (3)$$

$$A = \left[\frac{(Pf - Pc)}{(Pi - Pc)} \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

Pi = peso inicial da massa desumidificada na análise de umidade e com o cadinho tampado;

Pf = peso final da amostra volatilizada com o cadinho tampado;

Pc = peso do cadinho vazio e tampado;

B = valor % de umidade calculando na norma ASTM E871-82 (ASTM, 2019).

Análise de Cinzas

A determinação de cinzas segue roteiro da norma ASTM E1755-01 (ASTM, 2020). O cálculo do percentual de cinzas é dado pela Equação 5:

$$\% \text{ cinzas} = \left[\frac{(Pf - Pc)}{(Pi - Pc)} \right] \times 100 \quad (5)$$

Onde:

Pc = peso do cadinho vazio e tampado

Pi = peso inicial da massa volatilizada com o cadinho tampado

Pz = peso do cadinho tampado com as cinzas

Determinação do Teor de Carbono Fixo

A determinação do carbono fixo foi feita por diferença entre a soma dos teores (%) de umidade, matéria volátil e cinzas e 100%. O cálculo para esta análise é dado pela Equação 6:

$$\% \text{ carbono fixo} = 100\% - \% \text{ umidade} - \% \text{ voláteis} - \% \text{ cinzas} \quad (6)$$

Poder Calorífico

O poder calorífico de combustíveis sólidos foi determinado através de ensaio de bomba calorimétrica seguindo a norma ASTM E711-87 (ASTM, 2004). Essa técnica determina o poder calorífico superior a volume constante, que pode ser convertido em poder calorífico inferior. Essa

conversão pode ser realizada através da Equação 7, retirada da norma ASTM E711-87 (ASTM, 2004):

$$PCI = PCS - 23,96 (9H) \quad (7)$$

Onde:

- PCI: Poder calorífico inferior (kJ/kg);
PCS: Poder calorífico superior (kJ/kg);
H: Teor em massa de Hidrogênio no combustível (%).

Em algumas aplicações, como em dimensionamentos preliminares de sistemas, é suficiente conhecer o poder calorífico a partir das equações empíricas. Porém, para uma melhor precisão e aplicação real do combustível é imprescindível o teste em bomba calorimétrica. Para se calcular o Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI) das amostras, segundo Lopes (2007) podem ser utilizadas as equações de Mendeleev (Equação 8) e a equação de Dulong (Equação 8).

Equação de Mendeleev:

$$PCI = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25,2 W \text{ [kJ/kg]} \quad (8)$$

Equação de Dulong:

$$PCS = 33774C + 141744[H - (O/8)] + 9238 S \text{ [kJ/kg]} \quad (9)$$

Onde:

- PCI = poder calorífico inferior [kJ/kg];
PCS = poder calorífico superior [kJ/kg];
C = teor de Carbono (kg de Carbono/ kg de combustível);
H = teor de Hidrogênio (kg de Hidrogênio/ kg de combustível);
O = teor de Oxigênio (kg de Oxigênio/ kg de combustível);
S = teor de Enxofre (kg de Enxofre/ kg de combustível);
W = umidade ou teor de água (kg de água/ kg de combustível).

Análise Elementar

A análise elementar fornece frações, em peso, dos elementos constituintes da biomassa, sendo os principais elementos carbono, nitrogênio, hidrogênio e oxigênio. O ensaio é destrutivo e a análise, realizada com os gases provenientes da pirólise da amostra (SÁNCHEZ, 2010).

O resíduo desta análise é considerado como cinzas. Entretanto, a porção deste resíduo não se iguala a concentração de cinzas determinada pela análise imediata. Entretanto, de qualquer modo, a amostra com alto teor de cinzas possui também alto teor de resíduos.

Análise Imediata

A Análise Imediata foi realizada com a finalidade encontrar as taxas de umidade, o teor de voláteis, cinzas e carbono fixo de cada amostra.

A princípio foram utilizados cinco cadinhos de porcelana para cada uma das amostras. Os cadinhos foram pesados na balança analítica, e seus valores anotados; em seguida, preenchidos até 2/3 do seu volume, e pesados novamente. Após este procedimento, os cadinhos foram transferidos para a estufa, onde ficaram expostos a uma temperatura de 105° C, por 24 horas. Após o tempo de secagem, os cadinhos são transferidos para o dessecador, com o auxílio de uma pinça, por meia hora; e, em seguida, pesados. Após isso, voltam-se os cadinhos na estufa por mais uma hora, e se repete o procedimento anterior, comparando os valores para avaliar a estabilização da umidade - não ocorrer variação dos valores até a segunda casa decimal. A partir desse processo de secagem, foi possível descobrir as taxas de umidade das amostras através da comparação entre a primeira pesagem e a última.

Em continuação à Análise Imediata, os cadinhos já secos seguiram para a mufla a uma temperatura de 950° C, por 6 minutos, para a determinação da fração de voláteis. Para esse processo, utilizaram-se luvas térmicas e pinça para colocar e retirar os cadinhos da mufla. Saindo da mufla, os cadinhos devem ser resfriados no dessecador. Após o resfriamento, os cadinhos foram pesados novamente e seus novos pesos anotados. Com base nos dados encontrados, podemos calcular o tamanho da chama que a biomassa atingirá representada pelos hidrocarbonetos e gases hidrogênio, monóxido de carbono e metano.

A última análise realizada no laboratório foi a determinação da quantidade de cinzas da amostra. Para isso, os cadinhos voltaram para a mufla sob uma temperatura de 575° C \pm 20° C, onde ficaram expostas ao calor por duas horas. Em seguida, os cadinhos foram transferidos para o dessecador por mais uma hora para resfriamento. Por fim, foram pesados os cadinhos e anotados os valores finais - ASTM E1755-01 (ASTM, 2020).

Para encontrar o valor do carbono fixo não foi necessário um experimento; ele foi determinado através da diferença de peso.

Análise Elementar

A análise elementar é baseada na combustão da amostra para a determinação de seus principais elementos. A técnica fornece os valores de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio (o Oxigênio é obtido por diferença). Esta análise foi realizada na Central Analítica do Instituto de Química (IQ) da Universidade de São Paulo (USP), no Campus de São Paulo/SP.

Poder Calorífico

De acordo com a norma ASTM E711-87 (ASTM, 2004), o poder calorífico de combustíveis sólidos pode ser determinado através de ensaio em bomba calorimétrica. Porém, como não foi possível obter resultados através deste ensaio, foi determinado através das equações de Mendeleev (Equação 8) e Dulong (Equação 9).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se obter o potencial energético dos resíduos processados e *in natura* do restaurante estudado, foi necessário obter inicialmente a composição Imediata, Elementar, além de seu Poder Calorífico através das equações de Medeleev e Dulong (Equações 8 e 9, respectivamente).

A Tabela 4 e o Gráfico 1 apresentam os valores médios obtidos na Análise Imediata dos resíduos alimentícios *in natura* e processados, os quais foi comparado com dados da literatura para o resíduo de poda urbana (Tabelas 1 e 2). Notou-se que todos os valores destacados na Tabela 4 estão entre o intervalo dos valores da literatura.

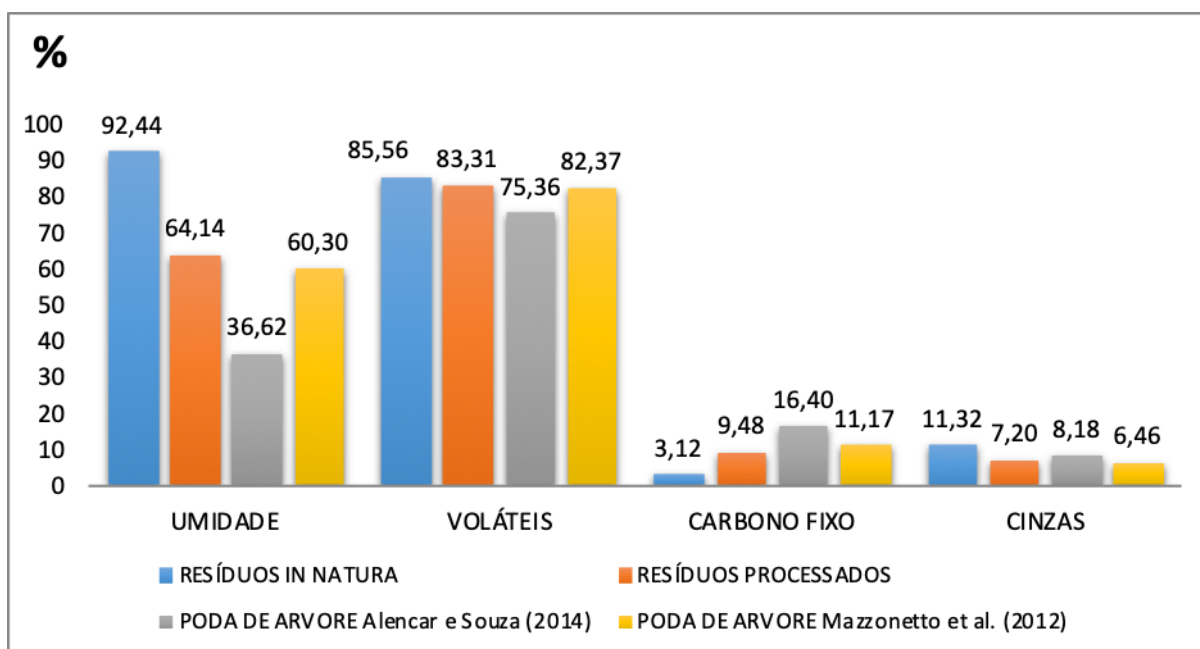
Tabela 3: Comparação dos valores obtidos pela Análise Imediata comparando-se com outros trabalhos

Biomassas	Análise Imediata (B. S.) [%]			
	Umidade [%]	Voláteis [%]	Carbono Fixo [%]	Cinzas [%]
<i>Alimentos In Nataura</i>	92,44	85,56	3,12	11,32
Resíduos				
Alimentícios	64,14	83,31	9,48	7,20
Processados				
Capina Urbana e Rodoviária ¹	63,66±0,06	86,42±0,62	6,78±0,62	6,80±0,09
Serragem Urbana (Garapeira e Peroba) ¹	11,85±2,38	84,05±0,44	9,00±0,69	6,95±0,82

Resíduo de Poda Urbana¹	60,30±1,41	82,37±1,10	11,17±1,06	6,46±0,43
Resíduo de Madeira Urbana²	30,80	76,00	18,10	5,9
Resíduo de churrascaria de Piracicaba³	68,27	83,41	11,77	4,41
RSU Piracicaba⁴	-	-	-	-
Ceagesp Piracicaba⁵	85,82	76,68	15,42	7,90

Fonte: 1- Mazzonetto et al. (2012); 2- Miller & Tillman (2008); 3- Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018); 4- Vessalli, Favarin Neto, Oliveira (2013); 5- Silva (2019).

Gráfico 1: Comparação de resultados referentes às análises imediatas



Fonte: Autores e adaptação de Alencar & Souza (2014); Mazzonetto et al. (2012).

Como é possível observar na Gráfico 1, a umidade encontrada através das análises realizadas nos resíduos *in natura* é bem superior àquela encontrada nos resíduos processados e nas podas de árvores dos autores Alencar e Souza (2014) e Mazzonetto et al. (2012). Isso também foi observado nas demais variações e inversões dos valores esperados de voláteis, cinzas e carbono fixo. Segundo Mazzonetto et al. (2012), a determinação de voláteis é importante para uma previsão do comprimento da chama a ser gerada, pois, através da devolatilização ocorre o desprendimento de gases combustíveis formados durante a elevação da temperatura. Portanto, como os valores do teor de voláteis para ambos os resíduos estudados neste trabalho se encontram na média em comparação com as podas de árvore, isso significa que todos os resíduos processados e *in natura*

do restaurante de Tietê/SP possuem formação da chama. Para os resíduos *in natura*, os valores de carbono fixo estão abaixo de todas as comparações realizadas; e os teores de cinzas estão elevados, comparados às demais amostras. Já para os resíduos processados, os valores encontrados para o teor de carbono fixo estão abaixo dos valores expressos por ambos os autores - Alencar e Souza (2014) e Mazzonetto et al. (2012); e os teores de cinzas desses resíduos estão abaixo dos valores do Mazzonetto et al. (2012) e acima dos encontrados por Alencar e Souza (2014).

De acordo com Mazzonetto et al. (2012), as cinzas são os materiais residuais da oxidação completa do combustível sólido sendo composta basicamente por constituintes inorgânicos, sendo estes: óxido de alumínio (Al_2O_3); óxido férrico (Fe_2O_3); óxido de silício (SiO_2); óxido de potássio (K_2O); óxido de cálcio (CaO); óxido de magnésio (MgO), entre outros. Desta forma, os resíduos “*in natura*” possuem maior teor de impurezas. É importante lembrar que as cinzas de biomassa são sempre um ótimo adubo, pronto para uso; portanto, as cinzas não precisam ser dispostas em aterros, antes podem adubar qualquer produção agrícola ou jardim.

Devido ao alto teor de voláteis, ambos os tipos de resíduos – *in natura* e processados - proporcionam maior facilidade de ignição, ou seja, são de fácil combustão. Todavia, já quanto à geração de calor e sua manutenção da combustão, os resíduos processados são mais indicados devido ao maior teor de “carbono fixo” do que o encontrado nos resíduos *in natura*.

Ainda sobre o Gráfico 1, fica evidente que os valores obtidos pelos autores estão “próximos” ou o intervalo obtido compreende os valores encontrados por Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018) e Silva (2019). Percebeu-se que os teores de carbono fixo presentes nas amostras estão compreendidos entre os valores encontrados para capina e serragem urbana fornecidos pela literatura.

A Tabela 5 e o Gráfico 2 apresentam valores médios obtidos e estimados na Análise Elementar dos resíduos *in natura* e processados dos resíduos alimentícios *in natura* e processados, os quais foram comparados com dados da literatura (Tabelas 1 e 2). A Tabela 5, ainda, apresenta os resultados da Análise do Poder Calorífico estimado pelas equações de Mendeleev e Dulong (Equações 8 e 9, respectivamente) para os resíduos estudados e sua comparação com os valores fornecidos pela literatura. É possível notar que os valores destacados estão entre o intervalo dos valores encontrados em outros trabalhos.

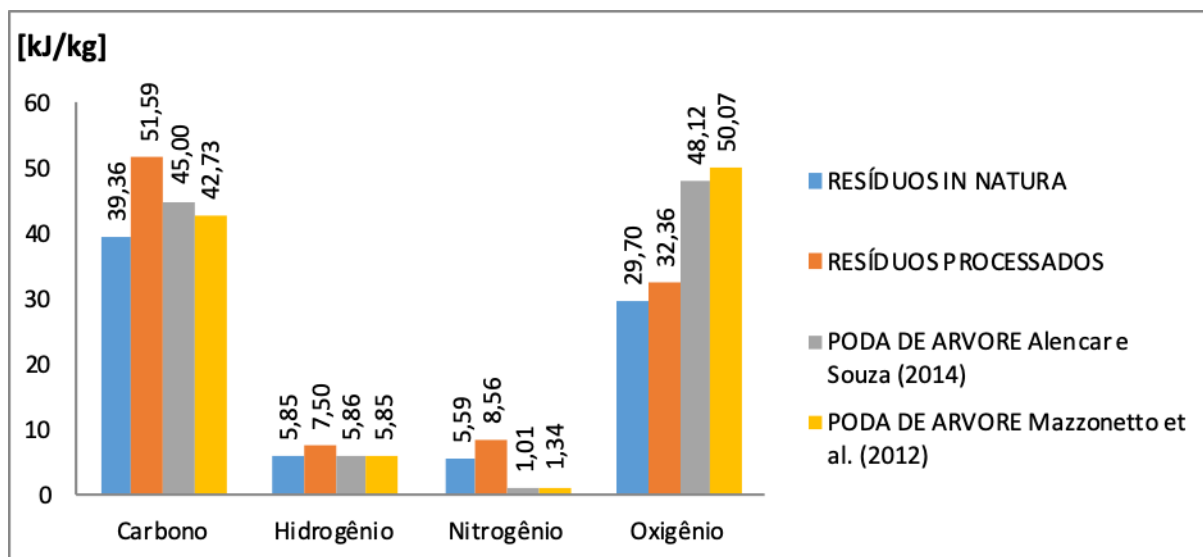
Tabela 4: Comparação dos valores obtidos pela Análise Elementar e estimativas do Poder Calorífico Superior (PCS – MJ.kg⁻¹) comparando-se com outros trabalhos

Biomassas	Análise Elementar (B. S.)				PCS [MJ.kg ⁻¹]
	Carbono [%]	Hidrogênio [%]	Nitrogênio [%]	Oxigênio [%]	
<i>Alimentos In Nataka</i>	39,36	5,85	5,59	29,70	13,09 - 17,86
Resíduos Alimentícios Processados	51,59	7,50	8,56	32,36	19,31 – 23,64
Capina Urbana e Rodoviária ¹	41,70	5,90	1,15	44,45	17,80
Serragem Urbana (Garapeira e Peroba) ¹	42,87	5,67	0,38	44,13	19,07
Resíduo de Poda Urbana ¹	42,73	5,86	1,34	43,61	18,47
Resíduo de Madeira Urbana ²	48,00	5,50	1,40	39,20	18,28
Resíduo de churrascaria de Piracicaba ³	57,19	6,10	0,35	29,66	17,71
RSU Piracicaba ⁴	46,57	6,32	2,05	35,00	18,64
Ceagesp Piracicaba ⁵	40,85	5,79	3,63	49,23	13,37

Fonte: Autores e adaptado de 1- Mazzonetto et al. (2012); 2- Miller & Tillman (2008); 3- Mazzonetto, Oliveira e Lopes (2018); 4- Vessalli, Favarin Neto, Oliveira (2013); 5- Silva (2019).

* O Oxigênio foi determinado pela diferença de C, H, N e cinzas.

Gráfico2: Comparação de resultados referentes a Análise Elementar



Fonte: Autores e adaptação de Alencar & Souza (2014); Mazzonetto et al. (2012).

Conforme dito por Cortez et al. (2008), a composição elementar é a característica técnica mais importante do combustível e constitui a base para análise dos processos de combustão. Os valores obtidos apresentaram apenas baixa variação na quantidade de hidrogênio, sendo que o resíduo *in natura* se igualou aquela encontrada por Mazzonetto et al. (2012). Em relação ao nitrogênio, ambos os resíduos estudados possuem valores significativamente superiores aos trabalhos de Alencar e Souza (2014) e de Mazzonetto et al. (2012). No caso do oxigênio, os valores obtidos para ambos os resíduos se encontraram inferiores; já na quantidade de carbono, o valor com maior discrepância foi para o resíduo processado, enquanto que para o resíduo *in natura* o valor é menor e próximo aos valores comparados.

Os valores encontrados de Poder Calorífico Superior para os resíduos *in natura* e processados são 13,86 e 22,51 MJ.kg⁻¹, respectivamente. Para os resíduos *in natura*, em ambas as equações os valores obtidos são inferiores aos dos demais trabalhos. Já os resíduos processados obtiveram resultados superiores, porém em ambos os casos as diferenças encontradas são relativamente pequenas. Esses resultados não são utilizados na prática, pois, segundo Cortez et al. (2009), em indústrias a temperatura dos gases de saída é maior que a temperatura de condensação.

O potencial de aproveitamento energético pode ser calculado através dos valores apresentados por Henriques (2004) e por Young (2011). A Tabela 6 apresenta as estimativas de geração de energia utilizando-se rotas térmicas, escolhidas pela eficiência energética, por ter processos mais rápidos em relação ao anaeróbio (horas ao invés de dias), oferecerem um tratamento

sanitários aos resíduos simultaneamente à produção de energia; e atendem a PNRS – reduzindo, tratando e dando outro uso.

Tabela 6: Energia potencial calculada em MWh

Processo Térmico	Taxa [kWh/ton RSU]	RSU/dia [ton]	MW.h dia	R\$/dia	MW.h mês	R\$/mês
Incineração	493	25,858	13	4.665,26	382	139.957,68
Pirólise	518	25,858	13	4.901,83	402	147.054,92
Pirólise / Gaseificação	621	25,858	16	5.876,52	482	176.295,57
Gaseificação Convencional	621	25,858	16	5.876,52	482	176.295,57
Gaseificação com arco de plasma	740	25,858	19	7.002,62	574	210.078,46

Considerando-se R\$ 365,96/MW.h (segundo CCEE).

Observa-se que, caso o reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos fosse implantado, o aproveitamento energético ocasionaria, em média, uma economia de aproximadamente 170.000 reais por mês. Além disso, o melhor processo térmico a ser aplicado é da gaseificação, desconsiderando a gaseificação com arco de plasma, uma vez que os custos com implantação deste último são elevados.

CONCLUSÃO

Com as amostras analisadas foi possível determinar o potencial energético dos resíduos orgânicos do restaurante. Os resultados das amostras demonstraram potencial para geração de energia.

As rotas térmicas possibilitam a rápida geração de energia, atendem a PNRS e não geram rejeitos, pois as cinzas de alimentos (biomassas residuais) podem ser usadas como adubo.

O estudo mostra a possibilidade de geração de energia, uma opção para a destinação de resíduos orgânicos e a diminuição da necessidade de aterros sanitários para essas biomassas residuais.

Foi possível perceber que os valores encontrados nesse estudo estão de acordo com a literatura, com pouca variação em relação as amostras dos resíduos processados; porém, para as

amostras *in natura* houve maior variação principalmente nos valores de umidade e carbono fixo, tornando-o mais difícil de se trabalhar. Por demonstrarem melhores resultados e mais próximos ao comparado pela literatura, os resíduos processados proporcionam, portanto, melhor opção para geração de energia.

O aproveitamento energético dos resíduos, como apresentado, demonstra contribuição significativa para suprir a demanda de energia elétrica do município de Tietê, ocasionando uma economia, em média, de cento e setenta mil reais por mês (R\$ 170.000,00/mês), de modo que este valor podendo variar de acordo com o tipo de processo térmico a ser utilizado. Além disso, os valores de resíduos gerados não sofrem com sazonalidade, é um volume em média constante ao longo do ano, considerando-se a união de todos os locais da geração dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E711-87: *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter*. West Conshohocken, 2004. 8 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E871-82: *Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken, 2019. 2 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E872-82: *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken, 2019. 3 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E1755-01: *Standard Test Method for Ash in Biomass*. West Conshohocken, 2020. 3 p.

ALENCAR, L. S.; SOUZA, N. R. D. de. ***Análise de potencial energético das podas de árvores de Piracicaba***. 50 f. TCC (Graduação) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”, Tecnologia em Biocombustíveis, Piracicaba -SP, 2014.

ALHEIRA, F. V. Avaliação do desperdício de alimentos em restaurantes comerciais do município do Rio de Janeiro: UNEP - Planeta Orgânico. In: *GREEN RIO*, 2014. Rio de Janeiro: Senac, 2014.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 13 ago. 2014.

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

FIGUEIREDO, F. A. B. **Pirólise e gaseificação de casca de castanha de caju**: avaliação da produção de gás, líquidos e sólidos. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e Fluidos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

GUEDES, C. L. B.; Adão, D. C.; Quessada, T. P.; Borsato, D.; Galão, O. F. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786. 2010. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol33No4_781_02-AR09092.pdf. Acesso em: 28 fev. 2017.

HENRIQUES, R. M. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos*: uma abordagem tecnológica. 2004. 204 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

LOPES, A. A. *Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na Bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)*. 2007. 370 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MAZZONETTO, A. W.; OLIVEIRA, J. C. S. de; LOPES, J. P. V. Potencial energético do resíduo alimentício de um restaurante – estudo de caso. *Bioenergia em Revista: diálogos*, v. 8, n. 1, p. 48-68. 2018. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/273>. Acesso em 31.03.2020.

MAZZONETTO, A. W.; VISSOTTO, J. P.; NEVES, R. C.; SÁNCHEZ, E. M. S.; SÁNCHEZ, C. G. Caracterização de resíduos de poda, capina e serragem urbana para geração de energia. In: *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 7., 2012*. São Luís, Maranhão: ABCM, 2012.

MILLER, B. G.; TILLMAN, D. A. *Combustion engineering issues for solid fuels*. San Diego, California: Elsevier, 2008. 502 p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. Brasília, DF: ICLEI, 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf. Acesso em: 25 ago. 2014.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. ***Desperdício de alimentos tem consequências no clima, na água, na terra e na biodiversidade.*** 2013. Disponível em: <https://www.fao.org.br/daccatb.asp>. Acesso em: 26 jan. 2015.

ROSSILO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (Org.). ***Uso da biomassa para produção da energia na Indústria brasileira.*** Campinas, SP: Unicamp, 2005. Tradução de: José Dilcio Rocha e Maria Paula G. D. Rocha.

SANTOS, G. G. D. dos. ***Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros.*** 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SÁNCHEZ, C. G. (Org.). ***Tecnologia da Gaseificação de Biomassa.*** Campinas, SP: Átomo, 2010. 430 p.

SILVA, Kaio Pereira de Freitas. ***Potencial energético dos resíduos do CEAGESP de Piracicaba/SP comparação de biogás e processos térmicos.*** TCC (Graduação – Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”, Tecnologia em Biocombustíveis, Piracicaba - SP, 2019.

YOUNG, G. C. ***Municipal solid waste to energy conversion processes: economic, technical, and renewable comparison.*** Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2010. 396 p.

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 CARNIEL, Renata Brandolise Foltran é graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Técnica em Química pela ETEC Piracicaba. Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba. Pós-Graduada em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário de Maringá - UNICESUMAR. Desde o técnico atuando em pesquisas com reaproveitamento de resíduos e buscando as melhores fontes de destinação para os mesmos. Auxiliar de escritório, exercendo funções administrativas e financeira. Durante a graduação estagiando no laboratório de Biotecnologia.

3 CATALA, Luiza Brabo é graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Atualmente é doutoranda em Gestão e Sustentabilidade na University of Waikato, Nova Zelândia. Sua pesquisa de doutorado é sobre intervenções e políticas públicas para erradicar a pobreza energética no país, possuindo experiência prévia em pesquisa na área de produção de biocombustíveis e bioprodutos a partir de resíduos agroindustriais. Possui mestrado em Sustentabilidade Global (com concentração em Energia Sustentável) e especialização em Mudança Climática e Sustentabilidade, ambos pela University of South Florida, Estados Unidos. É graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela Fatec – Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

4 PEDRO, Alexandre da Costa possui graduação em Engenharia Química pela Fundação Armando Álvares Penteado - FAAP (2015). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Energia e Biocombustíveis. Recentemente premiado como melhor aluno do curso de Engenharia Química da FAAP em 2015 (CREA-SP).

Potencial de geração de energia a partir do resíduo sólido domiciliar (RSD) de Piracicaba: estimativas por rotas anaeróbias e térmicas

MAZZONETTO, Alexandre Witier
SANTOS, Maria Vilma dos

Resumo

Na última década a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) sofreu uma marcante evolução, em virtude do desenvolvimento industrial, crescimento de áreas urbanas, avanços econômicos e modificação do sistema de consumo, houve uma ampliação demasiada na geração de resíduos por todo o mundo. Desde 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) atua com mudanças no descarte, tratamento e destinação dos resíduos gerados por toda a sociedade, com isto os aterros sanitários recebem uma boa parte desses insumos os quais podem ser um grande gerador de biogás, sendo um dos grandes desafios para a sociedade moderna é a destinação adequada para os resíduos provenientes das atividades humanas, pois o consumo cresce junto com o desenvolvimento econômico e demográfico. Pela Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (2010), o resíduo passará a ser um problema com custo para seus geradores, pois os geradores serão responsáveis pelo tratamento e destinação adequada do resíduo para os 30% que não forem recicladas ou tratadas. Este artigo teve por objetivo estimar e comparar o potencial de geração de energia a partir do resíduo sólido urbano (RSU) de Piracicaba/SP pelas tecnologias anaeróbias e térmicas – incineração, pirólise e gaseificação. Esses oferecem um aproveitamento energético, mas apenas os processos térmicos fazem tratamento, reduzem volume, eliminam riscos sanitários e geram energia. Foram usados os dados históricos da secretaria de meio ambiente de Piracicaba/SP para estimar pelas equações do IPCC e USEPA para estimar a produção de biogás e taxas de conversões de tonelada de RSU para kW.h obtidas na literatura. O resultado mostrou maior produção de energia pelas tecnologias térmicas de gaseificação.

Palavras-chaves: resíduos sólidos, biomassas residuais, potencial energético, tratamento de resíduo, energia.

Abstract

In the last decade, the management of municipal solid waste (RSU) has undergone a marked evolution, due to industrial development, growth of urban areas, economic advances and modification of the consumption system, there has been a significant expansion in waste generation worldwide. Since 2010 the National Solid Waste Policy (PNRS), works with changes in the disposal, treatment and disposal of waste generated by society throughout society, with this landfills receive a good part of these sources which can be a major generator of biogas, being one of the major challenges for modern society is the proper disposal for waste from human activities, as consumption grows along with economic and demographic development. By the National Solid Waste Policy (PNRS (2010), the waste will become a problem with cost for its generators, because the generators will be responsible for the treatment and proper disposal of the waste for the 30% that are not recycled or treated. This article aimed to estimate and compare the potential of energy generation from the urban solid waste (US) of Piracicaba/SP by anaerobic and thermal technologies – incineration, pyrolysis and gasification. These offer an energy use, but only thermal processes are treated, reduce volume, eliminate health **risks** and generate energy. Historical data from the Environment Secretariat of Piracicaba/SP were used to estimate the IPCC and USEPA equations to estimate biogas production and conversion rates of Ton of RSU to kW.h obtained in the literature. The result showed higher energy production by thermal gasification technologies.

Keyword: solid waste, residual biomass, energy potential, waste treatment, energy.

Resumen

En la última década la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) ha experimentado una marcada evolución, debido al desarrollo industrial, el crecimiento de las áreas urbanas, los avances económicos y la modificación del sistema de consumo, hubo una expansión excesiva en la generación de residuos en todo el mundo. Desde 2010, la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) trabaja con cambios en la disposición, tratamiento y destino de los residuos generados por la sociedad en su conjunto, con esto, los rellenos sanitarios reciben buena parte de estos insumos, que pueden ser un gran generador de biogás. Uno de los grandes desafíos de la sociedad moderna es el destino adecuado de los residuos de las actividades humanas, ya que el consumo crece junto con el desarrollo económico y demográfico. De acuerdo con la Política Nacional de Residuos Sólidos - PNRS (2010), los residuos se convertirán en un problema costoso para sus generadores, ya que los generadores serán los encargados del tratamiento y disposición adecuada de los residuos del 30% que no sean reciclados ni tratados. Este artículo tuvo como objetivo estimar y comparar el potencial de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) en Piracicaba / SP mediante tecnologías anaeróbicas y térmicas: incineración, pirólisis y gasificación. Estos ofrecen aprovechamiento energético, pero solo los procesos térmicos los tratan, reducen volumen, eliminan riesgos para la salud y generan energía. Los datos históricos del departamento ambiental de Piracicaba / SP se utilizaron para estimar mediante las ecuaciones del IPCC y USEPA para estimar la producción de biogás y las tasas de conversión de toneladas de RSU a kW.h obtenidas en la literatura. El resultado mostró una mayor producción de energía mediante tecnologías de gasificación térmica.

Palabras clave: residuos sólidos, biomasa residual, potencial energético, tratamiento de residuos, energía.

INTRODUÇÃO

Na última década a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) sofreu uma marcante evolução, em virtude do desenvolvimento industrial, crescimento de áreas urbanas, avanços econômicos e modificação do sistema de consumo, houve uma ampliação demasiada na geração de resíduos por todo o mundo.

No Brasil, partes significativas dos resíduos sólidos e líquidos produzidos são lançados em rios, córregos, bacias hidrográficas urbanas, terrenos baldios e demais áreas que com o passar do tempo tem gerado impactos ambientais negativos de diferentes magnitudes. Uma possibilidade adequada em aterros sanitários é o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, que após a separação de matéria inorgânica e orgânica, o material orgânico pode se tornar insumo para a produção de biogás, uma fonte renovável de energia. A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Pereira Neto (1993) constatou que apenas 0,01% é incinerado, 1,0% tratado em usinas de compostagem, 9,0% são destinados a aterros sanitários, 12% são dispostos em aterros controlados e 78,0% são lançados em lixões.

Segundo Mota et al (2009), os resíduos são gerados a partir de lixo classificados em: lixo doméstico (gerados em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais); lixo comercial (gerados em estabelecimentos comerciais); lixo público (resíduos presentes em logradouros públicos); lixo domiciliar especial (entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas e pneus); e lixo de fontes especiais como o lixo industrial; lixo radioativo; lixo de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários; lixo agrícola (gerados a partir de restos de embalagens impregnados com pesticidas e fertilizantes químicos, etc.); e resíduos de serviços de saúde (farmácias, hospitais, clínicas, laboratórios, dentre outros).

De acordo com a responsabilidade em gerenciamento, agrupam-se em dois extensos grupos. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): denominam-se domésticos ou residenciais; comerciais e públicos e Resíduos Especiais: entendem-se como os de caráter industriais; da construção civil; radioativos; de portos; aeroportos; serviços de saúde; agrícolas e rodoferroviários (ABNT NBR 10004, 2004). No Brasil, os resíduos sólidos urbanos são constituídos, basicamente, por umidade, matéria orgânica putrescível, plástico, papel e papelão. Para Leite et al (2009) o percentual de umidade gira em torno de 50% (em peso), dependendo da época do ano e dos hábitos e costumes da população, enquanto os 50% restantes que correspondem à fração sólida, estão presentes nos

demais constituintes físico-químicos. Conforme Augusto (2007), a biodigestão anaeróbia é definida como processo biológico onde a matéria orgânica é degradada em ambiente anaeróbio e sem luz, e transformada em metano e dióxido de carbono.

Para Chernicharo (1997), a digestão da matéria orgânica em ambientes anaeróbios se dá por processos metabólicos complexos de fermentação e respiração, que ocorrem em etapas sequentes com pelo menos três grupos de microrganismos, bactérias acidogênicas, bactérias acetogênicas, e microrganismos metanogênicos, onde que as bactérias fermentativas acidogênicas convertem por hidrólise e fermentação os compostos orgânicos complexos em compostos mais simples. Os produtos resultantes do processo de hidrólise, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, são metabolizados no interior das células, por fermentação, produzindo diversos compostos mais simples como ácidos orgânicos, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células bacterianas. Os compostos orgânicos intermediários são oxidados pelas bactérias acetogênicas e convertidos de propionato e butirato, por exemplo, por substratos apropriados para os organismos metanogênicos, como acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, os microrganismos metanogênicos anaeróbios estritos convertem estes compostos em metano

Para Augusto (2007), a digestão anaeróbia é natural de diversos ambientes, pântanos, sedimentos de rios, lagos e mares, minas, trato digestivos e esta pode ocorrer dentro de reatores onde apresenta maiores taxas de geração de metano e maior facilidade operacional para recuperação do biogás (AMARAL, 2004). De acordo com Filizola, Leite e Prasad (2006), biodigestão anaeróbia da fração orgânica putrescível em biodigestores, quando bem operados, não causa problemas com odores e fornece melhores condições operacionais, quando comparados aos aterros sanitários.

Este trabalho realizou uma estimativa do potencial energético do resíduo sólido produzido pelo município de Piracicaba/SP, comparando os processos anaeróbios (produção de biogás) e térmicos – incineração, pirólise e gaseificação. Também observando as vantagens e desvantagens de cada processo, de acordo com a política nacional de resíduo sólido (PNRS) – reduzindo a necessidade de aterro sanitário.

REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 10.004:2004, resíduos sólidos são resultados das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também são incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água (ETA), aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu

lançamento na rede pública de esgotos (ETE) ou corpos de água. Os resíduos sólidos são aqueles em estado sólido e semissólido resultantes de atividades de origem doméstica, industrial, hospitalar, agrícola, comercial de serviços e varrição, bem como os lodos resultantes do tratamento de água, equipamento e instalações de controle de poluição e alguns líquidos cuja propriedade torne viável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou cursos de água.

A Lei nº 12.305/2010, que instrui a Política Nacional de Resíduos Sólidos os resíduos sólidos têm a seguinte classificação (MMA, 2010):

- a) Resíduos Domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de Limpeza Urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos Sólidos Urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) Resíduos Industriais;
- g) Resíduos De Serviços De Saúde;
- h) Resíduos Da Construção Civil;
- l) Resíduos Agrossilvopastoris;
- j) Resíduos De Serviços De Transportes;
- k) Resíduos De Mineração.

Os resíduos podem ser classificados de acordo com suas características, conforme a NBR 1004, como apresenta Quadro 1.

Quadro 1. Classificação dos resíduos sólidos

Característica Física		Característica Química	
Secos	Molhados	Orgânico	Inorgânico
Papeis	Restos de comida	Restos de alimentos	Plástico
Plásticos	Casca de frutas	Ovos	Vidro
Espuma	Verduras	Ossos	Borracha
Tecido	Legumes	Cabelos	Tecido
Vidro	Alimentos estragados	Pó de café	Metal
Madeira	Ovos	Podas de Jardim	Isopor

Fonte: Adaptado da NBR 1004 (ABNT 2004).

Desde 2010, o Brasil possui uma Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece o prazo até 2020 para que o país tenha toda estrutura necessária para destinação adequada dos resíduos sólidos, conhecido como lixo. Para isso será preciso agir nas áreas políticas, econômicas ambientais, culturais e sociais, para que essa meta seja cumprida. Com isso, a palavra lixo, não serve mais para definir o material descartado pelas residências, empresas e órgãos públicos, passando a ser chamado atualmente de resíduo sólido (SEBRAE, 2017).

Gestão dos Resíduos no Brasil

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), em 2017 o Brasil coletou 71,6 milhões de toneladas de resíduos sólido, com um índice de cobertura de 91,2% para o país; cerca de 42,3 milhões de toneladas de RSU, ou 59,1% do coletado foram dispostos em aterros sanitários. O restante, que corresponde a 40,9% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados, assim, mais de 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, sem sistemas e medidas para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

A geração de RSU aumentou 1% em relação a 2016 e passou para uma geração de RSU per capita de 1,035 kg/hab/dia. A maior parte dos órgãos públicos já implementa ações que estão se inserindo no projeto Coleta Seletiva Solidária, conforme o Decreto nº 5940, de 25 de outubro de 2006, que estabelece a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, constituindo-se em exemplo na busca da inclusão social de cidadãos brasileiros, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2017).

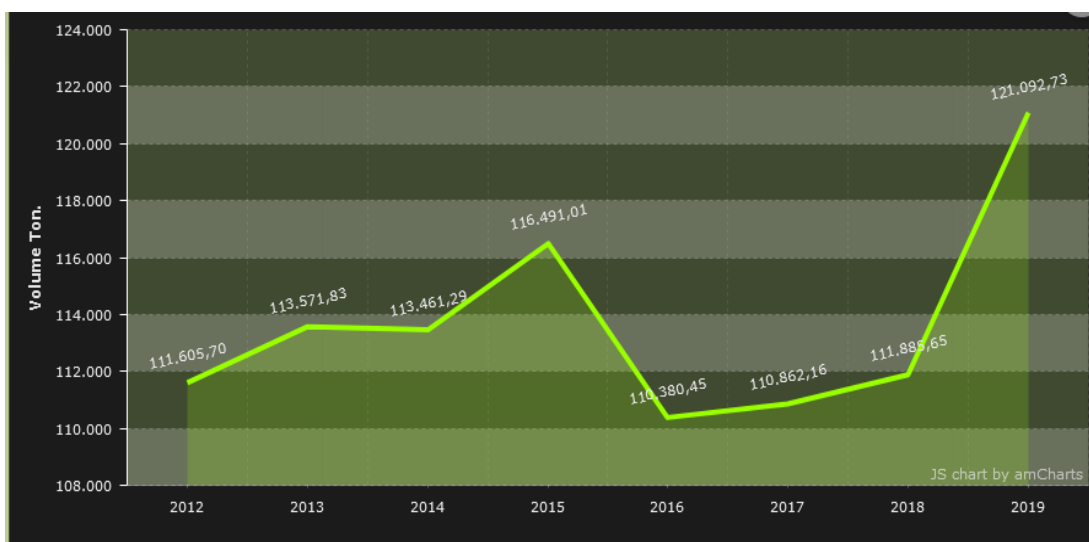
De acordo com dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), apesar de 30% de todo o lixo produzido no Brasil ter potencial de reciclagem, apenas 3% de fato é reaproveitado. Coleta e logística reversa Atualmente em Piracicaba a coleta é destinada para área de transbordo no antigo Aterro Sanitário do Pau Queimado e encaminhada para Aterros licenciados pela CETESB, e o Aterro Sanitário do Município de Rio das Pedras. Conforme o CADRI do Aterro do Município de Rio das Pedras, Piracicaba pode encaminhar até 60 ton/dia, sendo o restante encaminhado para o Aterro em Paulínia (PMGIRS, 2014).

Composição dos resíduos sólidos

Vessalli, Favarin Neto e Oliveira (2013), coletaram amostras de resíduos sólidos de dez bairros do município de Piracicaba/SP, a fim de caracterizar a composição do resíduo sólido desses bairros e, com isso, terem uma estimativa da composição do resíduo sólido municipal. Como apresentado a maior parte do resíduo sólido é orgânico com 62,498%; os recicláveis totalizam 28,534%, lembrando-se que os recicláveis precisam de coleta seletiva para poder usar papéis, e que os polímeros podem gerar energia e/ou serem reciclados. As frações de materiais orgânicos, papel, plásticos (polímeros) e têxteis podem gerar energia. As características qualitativas e quantitativas dos resíduos sólidos podem variar em função de vários aspectos, tais como: sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si, NUCASE (2007). O crescimento das cidades brasileiras não foi acompanhado pela provisão de infraestrutura e de serviços urbanos, entre eles os serviços públicos de saneamento básico, que envolvem o abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto sanitário, estrutura para a drenagem urbana e o sistema de gestão e manejo dos resíduos sólidos (MMA, 2011).

De acordo com a SEDEMA (Secretaria Municipal de Defesa do Meio Ambiente, 2020), Piracicaba/SP gera cerca de nove mil toneladas de resíduos doméstico por mês, enquanto no ano de 2019 foi de 121.092,73, conforme a Figura 1.

Figura 1. Evolução dos resíduos domiciliares coletados em Piracicaba/SP, de 2012 a 2019



Fonte: SEDEMA (2019).

Incineração

A incineração transforma os RSU basicamente em cinzas, gases da combustão e calor. O calor gerado pode ser aproveitado para geração de eletricidade (BRITO, 2013). Para a recuperação energética dos RSU via processo de incineração, é importante conhecer o poder calorífico inferior (PCI) (SILVA et al., 2014; ZHOU et al., 2014).

Geralmente, o PCI é obtido a partir de relações matemáticas, do poder calorífico superior (PCS), do teor de umidade e da fração mássica de hidrogênio. O PCS é obtido experimentalmente com auxílio de um calorímetro, no entanto esse método requer mais tempo para obtenção do poder calorífico e apresenta custo elevado (MAZZONETTO et al, 2019).

Assim, faz-se necessário o uso de modelos matemáticos para a estimativa do PCI dos RSU (LIU; PAODE; HOLSEN, 1996; SHU et al., 2006; CHANG et al., 2007). Podendo destacar algumas vantagens da incineração dentre elas: redução da massa e do volume dos resíduos; não exige grandes áreas (só a área da usina) e maior potencial de recuperação energética em comparação às tecnologias de biodigestão anaeróbia e aterro sanitário (Mazzonetto et al, 2019), não deixando de lado as desvantagens da incineração: emissão de poluentes (como CO₂, CO, SO_x, NO_x, entre outros); o custo de implantação e operação elevado (principalmente por ter que controlar a emissão de poluentes); e necessidade de pré-tratamento de resíduos com elevado teor de umidade (SILVA et al., 2019).

A incineração é bastante difundida pelo mundo, onde a tecnologia de aproveitamento do resíduo urbano para a geração de energia via incineração, tendo em vista a União Europeia, onde a participação deste tratamento no resíduo doméstico e similar passou de 13,5% em 1996 para 22% em 2010, segundo a agência europeia de estatísticas Eurostat (EUROSTAT, 2014).

Pirólise

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica de qualquer material orgânico sólido na ausência total de um agente oxidante, ou em uma quantidade tal que a gaseificação não ocorra totalmente (FIGEUIREDO, 2011). A pirólise é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas de (500° - 800° C) em atmosfera não oxidante, para a formação de três produtos principais: um resíduo sólido rico em carbono (carvão), os licores pirolenhos ou bio-óleo, e gases voláteis não condensáveis (SOUZA, ALENCAR e MAZZONETTO, 2016).

A biomassa em processos de conversão termoquímica como liquefação, gaseificação, pirólise e combustão (ZANG, et al., 2010). A pirólise também pode ser utilizada como um método de reciclagem, porque permite a conversão de resíduos de plástico em produtos químicos de valor

acrescentado, combustíveis de transporte e óleos lubrificantes (HAMIDI et al., 2013). No caso dos resíduos sólidos urbanos Martins et al. (2007), consideram a pirólise como alternativas promissora de tratamento, em virtude das enormes quantidades de resíduos sólidos urbanos gerado mundialmente e do indesejável impacto ambiental.

A pirólise de biomassa forma carvão, gases, líquidos leves e pesados e água em quantidades variadas, sendo que, é importante destacar que a decomposição da biomassa através da pirólise gera produtos como biocarvão, bio-óleo e também gases contendo H₂, syngas (H₂ + CO) e hidrocarbonetos gasosos leves. A produção depende particularmente do material pirolisado, das dimensões do material, da taxa de aquecimento, da temperatura, tempo de reação e do tipo de processo (PÉREZ, 2004).

Gaseificação

Por sua vez, a gaseificação de biomassa é uma rota tecnológica promissora para se converter biomassa nesses produtos (IRENA, 2019). A gaseificação é a conversão de biomassa, ou de qualquer combustível sólido em um gás energético ou de síntese, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (700° C a 1000° C) conforme Sánchez (2010).

Já para Lora et al (2008), a gaseificação é o processo termoquímico de converter um insumo sólido (a biomassa) em um gás apresentando vantagens significativas sobre os demais processos de geração de energia, por que dispensa o ciclo a vapor, podendo o gás ser queimado diretamente em motor de combustão interna.

Geração de resíduos sólidos urbanos

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública – ABRELPE, entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia, conforme Abrelpe/IBGE estima que 79 milhões de toneladas de resíduos foram geradas em 2018, e 380 kg/ano foi a geração média de RSU por pessoa, isto é, de resíduos sólidos urbanos entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. O volume coletado cresceu mais que a geração, atingindo 199.311 toneladas por dia. Houve expansão em todas as regiões do Brasil, com exceção do Nordeste, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil

Regiões	RSU 2017 [ton/dia]	População 2018	RSU 2018 [ton/dia]
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
BRASIL	196.050	208.494.900	199.311

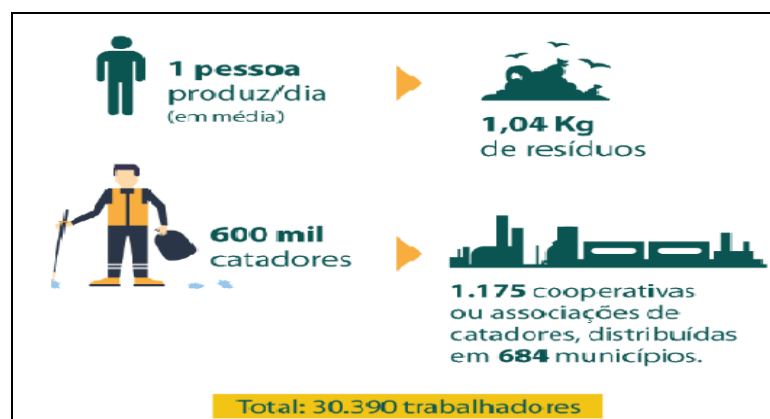
Fonte: Abrelpe/IBGE (2018).

Conforme Abrelpe (2018/2019), a destinação adequada em aterros sanitários recebeu 59,5% dos resíduos sólidos urbanos coletados: 43,3 milhões de toneladas, um pequeno avanço em relação ao cenário do ano anterior de 2017 para 2018. O restante (40,5%) foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios. Ou seja, 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados.

Tratamento e disposição final de RSU coletados no Brasil

Os mercados de limpeza urbana demonstram evolução em todas as regiões, e movimentaram recursos que superaram a casa dos R\$ 26,5 bilhões. Isto é notado, pois em 2015 cresceu em todas as regiões, em comparação aos dados de 2014. A região sudeste continua respondendo por mais de 50% dos RSU coletados e estão com o maior percentual sobre as demais regiões, com um total de 52,6%, aferidos em Kg/habitante/dia, relativos a 2014 e 2015, mediante os cálculos baseados na população de cada município (Figura 2).

Figura 2. Situação dos trabalhadores de RSU



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2015).

Aterros

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada IPEA (2012), o aterro controlado tratou – se de uma solução imediata encontrada para dar resposta à extensa massa de resíduos gerada e que os municípios não conseguiam extinguir. Essa solução retrata uma espécie inadequada para a disposição final dos resíduos. O grande problema inicia - se quando o chorume alcançar os lençóis freáticos e resultarem epidemias nas cidades onde essa solução foi implantada. O termo aterro controlado, começou a ser usado durante os últimos anos para denominar os aterros “não sanitários”, os quais apresentam algumas imperfeições ou equívocos, tais como impermeabilização do fundo, não recolhimento e tratamento do percolato, não coleta dos gases produzidos e resultante queima ou aproveitamento, não recobrimento com camada de terra ao final da trajetória diária de trabalho, entre outros aspectos.

Para Mazzonetto e Dario (2017), aterro sanitário trata-se de um espaço físico, planejado e tecnicamente preparado para receber resíduos sólidos, cujas características recaem sobre a necessidade de tratamento dos gases e líquidos gerados, bem como a proteção do solo.

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) existem diferentes tipos de disposição dos resíduos sólidos: aterro sanitário, aterro controlado e lixão. Os lixões são locais onde o lixo coletado é lançado diretamente sobre o solo sem qualquer controle e sem quaisquer cuidados ambientais, poluindo tanto o solo, quanto o ar e as águas subterrâneas e superficiais das vizinhanças.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos promove a contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de vetores de doenças, influenciando negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população (LEITE et al., 2003).

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considera que a destinação final adequada dos resíduos sólidos seja o aterro sanitário, que faz uso de técnicas apropriadas, não causando danos à saúde pública e à segurança das pessoas que trabalham no local, utiliza princípios de engenharia para confinar e reduzir o volume dos resíduos, sendo ao final coberto por camada de terra e o solo completamente impermeabilizado, evitando infiltrações ou escoamento do chorume.

Gases Metano (CH₄) e Biogás

O biogás é gerado como resultado do processo fermentativo da digestão anaeróbia, podendo servir com energia limpa a fim de reduzir as emissões e substituir uso de fontes de energia fósseis que são utilizadas em atividades domésticas ou comerciais (RAMOS-SUAREZ et al., 2019).

O biogás é composto por 65% a 70% de CH₄, 25% a 30% de CO₂ e uma pequena fração de outros gases, chamados de “gases traços”, sendo eles N₂, H₂, H₂S, NH₃, entre outros. O gás metano, principal componente do biogás, é 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono, para o aquecimento global. A sua queima favorece a redução das emissões de gases de efeito estufa (Ministério do Meio Ambiente, 2014).

Sendo que aproveitamento energético desse biogás pela degradação dos resíduos e transformando numa forma de energia necessária, podendo ser em eletricidade, vapor e combustível, conforme a sua natureza química do seu potencial empregado ou do biogás produzido no aterro, onde será possível transportar para um sistema que destina a condução, em tratamento, purificação e também a queima desse metano em flare, que garanta uma eficiência desejada (MMA, 2015).

METODOLOGIA

Foram levantadas as produções de RSD (resíduo sólido domiciliar) do município de Piracicaba/SP, pelos sites oficiais do município. 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.

Para ao desenvolvimento deste trabalho foram coletadas informações referentes aos resíduos sólidos urbanos de Piracicaba/SP, disponibilizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEDEMA) e literaturas acadêmicas.

De acordo com a Tabela 2, metodologia revisada do IPCC (1996), a determinação da emissão anual de CH₄ para cada país ou região pode ser calculada pela Equação 1.

Equação 1:

$$E = \text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{Taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_f \times F \times 16/12 \quad (1)$$

Onde:

E= Emissão de Metano [GgCH₄/ano];

Pop_{urb}: População urbano (habitantes);

TxRSU: Taxa de resíduos sólidos urbanos por habitantes por dia [Kg de RSU/hab. por dia];

RSU_f: Fração de RSU que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [%];

FCM: Fator de correção do metano [%];

COD: Carbono orgânico degradável [Kg de C/kg de RSU];

COD_f: Fração de COD que vira metano [%];

F: Fração em volume de metano no biogás [%];

(16/12): Fator de conversão de carbono em metano [Kg de CH₄/kg de C];

ρ_{CH₄}: massa específica do metano [kg/m³].

O valor da massa específica (ρ) do metano é 0,740 kg/m³.

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, 2002). Nesse sentido, deve ser usado como uma ferramenta primária, e de acordo com a Equação 2 (USEPA, 2002):

Pela USEPA (2002) tem-se a Equação 2 - geração anual de gás metano

$$Q = \text{População} \times \text{Taxa de RSD} \times \text{RSDf} \times 0,45 \times F(2)$$

Onde:

Q = m³ de metano por dia

População = 404.142Hab. (IBGE, 2019) e 407.252 (IBGE, 2020)

Taxa de RSD = produção de resíduo sólido diária por habitante de Piracicaba/SP;

Taxa de RSDf = fração da cidade coleta 95%;

0,45 = adimensional;

F = fração de metano no biogás = 50% = 0,5

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. Segundo Erler (2010), os cálculos são limitados para estimar a geração em aterros, já que foram desenvolvidos para estimar a emissão de gases do efeito estufa nas cidades. Os cálculos são feitos de acordo com as equações (IPCC, 1996):

Equação 3. Emissão anual de gás metano

$$ECH_4 = \frac{(PU * RSD * RSDf * Lo)}{\rho_{CH_4}} \quad (3)$$

Sendo: ECH_4 : emissão de gás metano, em toneladas de CH_4 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 CH_4 por toneladas de RSU;

ρ_{CH_4} : massa específica do metano, em kg por m^3 .

O potencial de geração de metano (Lo) é estimado conforme a Equação 4 (IPCC, 1996):

Equação 4. Potencial de geração de metano

$$Lo = MCF * COD * CODf * F * (16/12) \quad (4)$$

Sendo: Lo: potencial de geração de metano, em toneladas de CH_4 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 quantidade de carbono orgânico degradável (COD) e de carbono disponível para decomposição química (CODf) foram obtidas do SEDEMA (2015) e Mazzonetto et al (2016), conforme a Tabela 2 apresenta. O COD é baseado na composição do resíduo e na quantidade de carbono presente em cada componente (IPCC, 1996).

A estimativa do potencial de produção de energia elétrica por processos térmicos foi baseada nas taxas de Young (2010), para fazer as estimativas energéticas usou-se duas fontes para estimar a composição do resíduo sólido urbano de Piracicaba/SP; SEDEMA (2015).

A Tabela 2 apresenta a composição média do resíduo sólido domiciliar (RSD) de Piracicaba/SP, para este trabalho usou-se o valor médio.

Tabela 2. Composição média do RSD dadas pelo SEDEMA (2015) e Mazzonetto et al (2016) para Piracicaba/SP

	Fonte	Material Orgânico	Metais	Polímeros/ Plásticos	Vidros	Papéis	Outros
Média geral para interior SP [%]	-	60,70	2,73	9,20	4,37	10,53	12,47
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
Média de Piracicaba [%]		62,61	1,70	5,34	10,66	6,81	12,90

Fonte: Adaptada das fontes citadas.

Os valores estimados da produção de energia elétrica pelos processos térmicos e anaeróbios pelos resíduos produzidos por Piracicaba/SP, poderiam suprir um percentual do consumo energético municipal ou de algum setor do município.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o anuário de energéticos por municípios no Estado de São Paulo (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020), Piracicaba é o sexto maior consumidor de energia elétrica do Estado. O consumo total e dos serviços públicos de Piracicaba/SP são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Demanda de energia em cada setor público (fração) e total de Piracicaba/SP

Iluminação Pública [kwh]	Poder Público ¹ [kWh]	Serviço público ² [kWh]	Total [kWh]
40.529.410	35.858.471	84.305.301	2.172.571.731

Fonte: Anuário Energético ESP (2020).

¹ Unidades de administração direta; ² Água, esgoto e Saneamento.

A estimativa de produção de energia elétrica com os resíduos sólidos domiciliares e esgoto do Município de Piracicaba/SP, utilizando-se a geração de biogás (processo anaeróbio) são apresentadas na Tabela 4, para o resíduo sólido domiciliar e esgoto das ETE's.

Tabela 4. Estimativas de geração de eletricidade usando-se as equações do IPCC (1996) e USEPA (2002) para a cidade de Piracicaba, nos anos de 2019 e 2020

Por ano (365 dias)	Piracicaba 2019	Piracicaba 2020
População	404.142,0	407.252,0
IPCC RSU [m ³ CH ₄]	30.736.280	30.194.830
USEPA RSU [m ³ CH ₄]	24.185.370	23.759.320
IPCC ETE [m ³ CH ₄]	1.695.389	1.708.436

IPCC RSU [kW.h]	52.251.677	51.331.210
USEPA RSU [kW.h]	41.115.129	40.390.844
IPCC ETE [kW.h]	2.882.162	2.904.341
IPCC RSU [R\$]	R\$ 29.247.876	R\$ 28.732.645
USEPA RSU [R\$]	R\$ 23.014.193	R\$ 22.608.775
IPCC ETE [R\$]	R\$ 1.613.290	R\$ 1.625.705
USEPA RSU e IPCC ETE [kW.h]	43.997.291	43.295.185
% do consumo total Energia	2,025	1,993
% da iluminação Pública	108,556	106,824
% do serviço Público	52,19	51,36

Fonte: Autores.

Para os valores da energia elétrica foram utilizados R\$ 559,75 (CCEE, 2020). Pelas estimativas apresentadas, mesmo usando-se para os cálculos uma conversão de 1,7 kWh por m³ de biogás (motogerador comercial e médio rendimento), assim dando uma margem de segurança para o caso de implantação – que seria recomendado o uso de motogeradores de alto rendimento, com conversão de 1,93 kWh.m⁻³ de biogás. As estimativas mostram que a iluminação pública pode ser toda suprida apenas pela produção de biogás oriunda dos resíduos municipais – domiciliares e esgoto.

A Tabela 5 apresenta as estimativas de geração de energia elétrica utilizando-se os processos térmicos nos RSD de Piracicaba/SP, segundo Young (2010). Também se avaliou a relevância dos valores estimados comparando-se com o consumo de Piracicaba/SP,

Tabela 5. Estimativas de geração de energia elétrica para a cidade de Piracicaba nos anos de 2019 e 2020

Processo Térmico	TAXA de Conversão de RSU para Energia	RSU/ano [ton] 2019	MWh/ano 2019	R\$/mês ¹ 2019	RSU/ano [ton] 2020	MWh/ano 2020	R\$/mês ¹ 2020
Incineração	493 kWh / ton RSU	121.092,7	59.698,7	33.416.356	118.959,6	58.647,1	32.827.693
Pirólise	518 kWh / ton RSU	121.092,7	62.726,0	35.110.898	118.959,6	61.621,1	34.492.383
Pirólise / Gaseificação	621 kWh / ton RSU	121.092,7	75.198,6	42.092.408	118.959,6	73.873,9	41.350.908
Gaseificação Convencional	621 kWh / ton RSU	121.092,7	75.198,6	42.092.408	118.959,6	73.873,9	41.350.908
Gaseificação com arco de plasma	740 kWh / ton RSU	121.092,7	89.608,6	50.158.425	118.959,6	88.030,1	49.274.833
% do consumo total Energia			3,46			3,40	
% da iluminação Pública			185,54			182,27	
% do Serviço Público			89,20			87,63	

Fonte: Autores.

Adotou-se o sistema de plasma convencional para se fazer as comparações para se ter uma margem de segurança, também cabe lembrar que, o uso de plasma térmico consome mais energia devido as elevadas temperaturas e recomenda-se quando houver presença de metais pesados no material a ser gaseificado.

Os resultados mostram que não apenas a iluminação pública estaria assegurada, como seria possível suprir as unidades de administração direta também, conforme mostrado na Tabela 3 (ou a fração do Poder Público da Tabela 3).

A comparação entre os processos é mostrada na Tabela 6, apenas comparando-se a energia elétrica estimada e possibilidade de atender a demanda municipal.

Tabela 6. Comparação entre os processos anaeróbios e térmicos para geração de energia elétrica com os resíduos sólidos domiciliares de Piracicaba/SP

Processo	kWh/ano 2019	KWh/ano 2020	kWh/ano 2019	KWh/ano 2020
USEPA RSD e IPCC ETE			2.882.162	2.904.341
Gaseificação Convencional	75.198.585	73.873.886		
% do consumo total Energia	3,46	3,40	2,03	1,99
% da iluminação Pública	185,54	182,27	108,56	106,82
% do Serviço Público	89,20	87,63	52,19	51,36

Fonte: Autores.

Os resultados apresentados pela Tabela 6 evidenciam a maior eficiência do processo térmico, que usou menos matéria prima – não se considerou os resíduos das ETE's para o processo térmicos, mas considerou-se a produção de biogás em ETE's para Piracicaba/SP. Além de produzir mais energia por tonelada de resíduo, o processo térmico é mais rápido, horas de processo versus dias do processo anaeróbio, usa uma área menor de processamento e garante o tratamento sanitário do resíduo. Outro fator importante do processo térmico é não precisar mais de aterros sanitário e o resíduo poder ser usado como adubo, cinzas e biochar, desde que não tenha contaminação de metal pesado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estimativas mostraram o potencial para geração de energia elétrica, usando-se os resíduos domiciliares, que não tem essa destinação energética.

A energia produzida poderia suprir frações da demanda de eletricidade de Piracicaba/SP - iluminação pública e as unidades de administração direta também; eliminando riscos de *blackout* de

energia elétrica e a necessidade de grandes áreas para aterros, além de oferecer o tratamento sanitário os resíduos domiciliares, evitando proliferação de pragas (insetos e roedores), odores e risco de contaminação do ambiente ao redor.

A opção do processo térmico alinha-se com a política nacional de resíduo sólido (PNRS, 2010), oferecendo tratamento, reduzindo ou eliminando a necessidade de aterro e dando outra utilização aos resíduos – geração de energia.

REFERÊNCIAS

BRELPE. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil – 2018. São Paulo, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), 2019. Disponível em abrelpe.org.br. Acesso em: 26 out. 2020.

ALVES, Raíza Silva; OLIVEIRA, Louise Antunes de; LOPES, Paloma de Lavor. *Crédito de Carbono: O mercado de crédito de carbono no Brasil*. 2013. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/2018412.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

ALVES, Raíza Silva; OLIVEIRA, Louise Antunes de; LOPES, Paloma de Lavor. Braga e Veiga (2010 p.2) CRÉDITO DE CARBONO: O mercado de crédito de carbono no Brasil: Protocolo de Quioto. 2013. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/2018412.pdf>2017. Acesso em: 24. out. 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Estadual Conveniada (Org.). BIG - Banco de Informação Geral: Capacidade de geração no Brasil. 2017. ANEEL a;b;c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 01 out. 2020.

ANUÁRIO DE ENERGÉTICOS POR MUNICÍPIO NO ESTADO DE SÃO PAULO –2020 - Ano base 2019 Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente Disponível em http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf. Acesso em 28 out 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS (São Paulo). Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (Org.). Normas Brasileiras: Normas Para Resíduos Sólidos Urbanos. 2004. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>. Acesso em: 01 out. 2020.

BERECHE, Reynaldo. Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 347-357, 2019.2014b; 2015c; 2016d. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 2 set. 2020.

CETESB/SMA, Cetesb/sma 2003. Secretaria do Meio Ambiente. *RESOLUÇÃO SMA N° 47 DE 26 DE NOVEMBRO 2003*: Altera e amplia a Resolução SMA 21, de 21/11/2001; Fixa orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências correlatas. 2003. Disponível em:

http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2003_Res_SMA_47.pdf. Acesso em: 29 set. 2020.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (Ed.). *Biomassa para energia*, 2008. Disponível em:
<http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

FRANÇA, Diego (Org.). *Política Nacional de Resíduos Sólidos: Resíduos Sólidos segundo a Lei Brasileira*. 2013. Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 19 set. 2020.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão Regional do Brasília; População de Piracicaba/SP. Resíduos Sólidos Urbano manual; Disponível em
<http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 01 set. 2020.

IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T. G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Diagnóstico da Situação Atual dos Resíduos Sólidos no Brasil: gestão dos resíduos sólidos urbanos*. 2012. Disponível em:
http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 9 out. 2020.

IPPLAP – Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba. Resíduos Sólidos Domésticos toneladas ano; a Resíduos Sólidos Urbanos; b. Saneamento Básico. 2013,2014,2015. Disponível em: <http://ipplap.com.br/site/> Acesso em: 29/10/2020.

MAZZONETTO, A. W; VISSOTTO, J. P; NEVES, R. C; SÁNCHEZ, E. M. S; SÁNCHEZ, C. C. Caracterização de resíduos de poda, capina e serragem urbana para geração de energia. CONEM, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 2012. São Luís 2012. Acesso em: 26 out. 2020.

MAZZONETTO, Alexandre Witier; ROCHA, Diane Caroline; OLIVEIRA, Diego Francis Gonçalves de SILVA, Priscilla Lopes 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, jan./jun. 2016. Acesso em: 20 out. 2020.

MAZZONETTO, A. W & DARIO, M. P. Avaliação do potencial energético do resíduo sólido domiciliar do município de São Paulo Revista eletrônica InSIET: *Revista In Sustentabilidade, Inovação & Empreendedorismo Tecnológico*, São Paulo. V. 4, n. 1, p. 29-63, julho/dezembro de 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/AWM201~1/AppData/Local/Temp/11-18-PB.pdf>. Acesso em 18 Out 2020.

M. M. A. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (Org.). Resíduos Sólidos Urbanos: Resíduos sólidos. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/residuos-solidos>. Acesso em: 19 set. 2020.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2012. Disponível em http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657. Acesso em: 01 out. 2020.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2012. Disponível em http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657. Acesso em: 01 out. 2020.

MOTA, J. C. de; ALMEIDA, M. M. de; ALENCAR, V. C., & CURI, W. F. (2009). Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. *Águas Subterrâneas*, 1. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942>. Acesso em: 01 out. 2020.

MOTA, JOSÉ CARLOS et al. *Características e Impactos Ambientais Causados pelos Resíduos Sólidos: Uma Visão Conceitual*. 2009. Disponível em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/21942/14313>. Acesso em: 14 set 2020.

NUCASE. Resíduos sólidos: plano de gestão de resíduos sólidos urbanos: guia do profissional e treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). –Belo Horizonte: ReCESA, 2007, 96 p.

SÁNCHEZ, C. G. (org.). *Tecnologia da gaseificação de biomassa*. Campinas: Átomo, 2010, 410p.

SEDEMA – Secretaria de Defesa do Meio Ambiente, segregação na fonte 2012. Destinação de Resíduos 2014 - Potencial energético aterro Palmeira 2015, parceria público privado 2016d; coleta de resíduos domésticos. Disponível em <http://www.sedema.piracicaba.sp.gov.br/>. Acesso em: 01 out. 2020.

SOUZA, N. R. D. de; ALENCAR, L. S.; MAZZONETTO, A. W. Potencial energético do resíduo das podas de árvores no município de Piracicaba – SP. *Revista Energia na Agricultura*. Vol. 31, n. 3, p. 237 – 245, julho – setembro de 2016.

USEPA Environmental Protection Agency – *Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*. US.EPA. 2002. Disponível em <https://www.epa.gov/> consultado em 29/10/2020.

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.

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

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 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).

2 SANTOS, Maria Vilma dos é Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

Revisão: leveduras utilizadas na produção de etanol de segunda geração

ALMEIDA, Cássio de Souza
NASCIMENTO, Daniela Defávares do

Resumo

Os biocombustíveis como o etanol e etanol de segunda geração podem ser produzidos por meio da metabolização de açúcares hexoses e pentoses, respectivamente, e surgiram como alternativas para mitigar os efeitos poluentes da combustão dos combustíveis fósseis, como o caso da gasolina. Nesse contexto, as pesquisas buscando microrganismos capazes de fermentar as pentoses presentes nas diversas biomassas lignocelulósicas envolvem práticas de recombinação de linhagens que apresentam características desejáveis para serem aprimoradas, como a capacidade de fermentar D-xilose em etanol ou tolerância por compostos inibidores da metabolização, como o ácido acético, o qual causa grande impacto no consumo da D-xilose, e utilizam a engenharia genética para adicionar genes que possam auxiliar as leveduras durante o processo fermentativo. Os genes SUT4 e SUT6 são transportadores de açúcares, incluindo pentoses, e são provenientes da levedura *Spathaspora arboriae*, ou o gene HAA1, identificado como responsável por garantir resistência ao ácido acético, o gene foi adicionado na levedura *Saccharomyces cerevisiae* GSE-16 T18, e conseguiu realizar produção de etanol em altas concentrações de ácido acético (15 g/L), mostrando a eficiência do novo gene na fermentação da levedura em ambiente estressante. Essa revisão também aborda outros gêneros de leveduras conhecidos por possuírem a capacidade de fermentar as pentoses, como os gêneros *Pichia* e *Spathaspora*, ambos os gêneros possuem diversas espécies que se tornaram foco de estudos que buscaram avaliar suas respectivas eficiências e produtividades fermentativas. É notório que o desenvolvimento de novos microrganismos geneticamente modificados se mostra ser a chave para que seja possível alcançar eficiência na metabolização da D-xilose em etanol lignocelulósico, mesmo que em condições adversas para as leveduras.

Palavras-chave: Engenharia genética, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia spp.*, *Spathaspora spp.*, linhagem recombinante

Abstract

Biofuels such as ethanol and second-generation ethanol can be used through the metabolization of hexoses and pentoses sugars, respectively, they have emerged as alternatives to mitigate the polluting effects of fossil fuel, such as gasoline. In this context, studies that are trying to find microorganisms capable of fermenting pentoses present in several lignocellulosic biomass, involve practices of recombining lines that present desirable characteristics for improvements, such as the ability to ferment D-xylose in ethanol or tolerance for metabolism inhibiting compounds, such as acetic acid, which has a major impact on D-xylose consumption during the process. It is also reported the use of genetic engineering to add genes that can help yeast during the fermentation process. The SUT4 and SUT6 genes are sugar transporters, which includes pentoses, and it is obtained from the yeast *Spathaspora arboriae*. The HAA1 gene was identified as responsible for ensuring resistance to acetic acid, the gene was added in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* GSE-16 T18, and managed to produce ethanol in high acetic acid concentrations (15 g/L), showing the efficiency of the new gene in fermenting yeast while in a stressful environment. This review also addresses other genus of yeasts known for having the ability to ferment pentose, such as the genera *Pichia* and *Spathaspora*, both genres have several species that have become the focus of studies that sought to evaluate their respective fermentative efficiencies and productivity. It is well known that the development of new genetically modified microorganisms is shown to be the key for achieving efficiency in the metabolism of D-xylose present in lignocellulosic ethanol, even under adverse conditions for yeasts.

Key words: Genetic engineering; *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia spp.*, *Spathaspora spp*; recombinant strain.

Resumen

Los biocombustibles como el etanol y el etanol de segunda generación se pueden producir mediante la metabolización de azúcares hexosas y pentosas, respectivamente, y han surgido como alternativas para mitigar los efectos contaminantes de la combustión de combustibles fósiles, como la gasolina. En este contexto, la investigación que busca microorganismos capaces de fermentar las pentosas presentes en las diversas biomásas lignocelulósicas implica prácticas de recombinación de cepas que tienen características deseables para mejorar, como la capacidad de fermentar D-xilosa en etanol y la tolerancia a compuestos inhibidores del metabolismo, como ácido acético, que tiene un gran impacto en el consumo de D-xilosa, y utiliza ingeniería genética para agregar genes que pueden ayudar a las levaduras durante el proceso de fermentación. Los genes SUT4 y SUT6 son transportadores de azúcar, incluidas las pentosas, y provienen de la levadura *Spathaspora arboriae*, o el gen HAA1, identificado como responsable de garantizar la resistencia al ácido acético, el gen se agregó en la levadura *Saccharomyces cerevisiae* GSE-16 T18, y logró producir etanol en altas concentraciones de ácido acético (15 g/L), mostrando la eficiencia del nuevo gen en la fermentación de levadura en un ambiente estresante. Esta revisión también aborda otros géneros de levadura que se sabe que tienen la capacidad de fermentar pentosa, como los géneros *Pichia* y *Spathaspora*, ambos géneros tienen varias especies que se han convertido en el foco de estudios que buscaron evaluar sus respectivas eficiencias fermentativas y productividad. Es bien sabido que el desarrollo de nuevos microorganismos modificados genéticamente es la clave para lograr la eficiencia en el metabolismo de la D-xilosa en etanol lignocelulósico, incluso en condiciones adversas para las levaduras.

Palabras clave: Ingeniería genética; *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia spp.*, *Spathaspora spp*; cepa recombinante.

INTRODUÇÃO

Desde que se iniciou a procura por combustíveis provenientes de fontes alternativas de energia, os biocombustíveis como etanol, biodiesel e biogás receberam grande atenção, com objetivo de gradativamente substituir e mitigar as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) proveniente da combustão de combustíveis fósseis, como o caso da gasolina, têm-se observado uma vasta gama de estudos buscando produzir esses biocombustíveis de forma mais eficiente e menos custosa. Esses biocombustíveis podem ser de primeira (1G), segunda (2G) e terceira geração (3G), sendo diferenciados de acordo com a fonte da matéria-prima a ser fermentada.

O etanol 1G é produzido por meio da fermentação de açúcares hexoses (C6), e recebem esse nome por possuírem 6 carbonos em sua molécula. No Brasil, o microrganismo responsável por fermentar esses açúcares em etanol é a levedura consolidada *Saccharomyces cerevisiae*, e os açúcares são obtidos da cana-de-açúcar, diferente dos Estados Unidos que realizam a hidrólise do amido de milho para realizar a fermentação a etanol. De acordo com a CONAB, em 2019 o Brasil alcançou a marca de 33,14 bilhões de litros de etanol produzidos, mostrando um aumento de 5,9 bilhões de litros, representando 21,7% a mais em relação ao período anterior e foi registrado como maior índice de produção desde a safra 2015/16 (CONAB, 2019).

Por conta da produção de etanol 1G gerar resíduos durante o processo, como o bagaço e palha de cana-de-açúcar, estudos foram iniciados para tentar reaproveitar os açúcares presentes nesses resíduos. Foi verificado que eles possuíam grande teor de material lignocelulósico, com açúcares de 5 carbonos chamados pentoses (C5), os quais a levedura *S. cerevisiae* é naturalmente incapaz de fermentar a etanol. No caso do etanol proveniente de biomassa lignocelulósica, ele passa a ser chamado de etanol de segunda geração (E2G), sendo uma alternativa para o mercado pois a obtenção de sua matéria-prima não compete com o espaço da cultura de cana-de-açúcar.

Diante disso, pesquisas envolvendo microrganismos capazes de fermentar pentoses a etanol vêm sendo realizadas, buscando caminhos na engenharia genética para adição de genes que configurem tal capacidade, com o objetivo de construir linhagens tolerantes aos inibidores produzidos pelo processo e que mesmo assim apresentem eficiência na produção de etanol 2G. Este trabalho tem como objetivo apresentar estudos que buscam leveduras capazes de fermentar os açúcares C5, bem como seu desempenho na fermentação em comparação com outras linhagens de leveduras do mesmo gênero e de gêneros diferentes, sejam ela geneticamente modificadas ou não.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Biocombustíveis

Os biocombustíveis surgiram como alternativa à utilização de combustíveis fósseis (não renováveis), como o petróleo, carvão e gás natural. A iniciativa foi desencadeada em função da primeira Crise do Petróleo, na década de 1970, a qual forçou os países a procurarem meios de implantações de políticas a favor da utilização de fontes alternativas de energia menos poluentes, principalmente contra a emissão de gases poluentes resultantes da queima de combustíveis derivados do petróleo, como o caso da gasolina (LEITE; LEAL, 2007). Na época, o Brasil era fortemente dependente da importação de petróleo, neste contexto, em 1975 foi criado o Proálcool-Programa Nacional do Álcool, como estratégia para abastecer o mercado interno do país com combustíveis alternativos, utilizando o álcool anidro para mistura junto à gasolina, assim, se tornando menos poluente e aos poucos combatendo a dependência do petróleo estrangeiro (BRASIL; RODRIGUES, 2010).

Em função de uma nova crise do petróleo em 1979, incentivou-se a pesquisa e produção de carros movidos a etanol, proporcionando grande avanço na indústria canavieira (LANZOTTI, 2000).

A cultura da cana-de-açúcar se tornou fundamental no Brasil, mesmo com o fim do Proálcool em meados da década de 1980, deixando de existir como programa do governo de incentivo à produção de álcool combustível. Porém, as políticas de apoio a produção de cana-de-açúcar e da utilização do álcool combustível foram mantidas, em função do constante aumento da produção por parte da indústria automobilística de veículos movidos à álcool (CORTEZ et al., 2016).

Classificação dos biocombustíveis

Os biocombustíveis são divididos em dois grupos, convencionais e avançados, e são diferenciados de acordo com sua fonte de obtenção. Os biocombustíveis convencionais são conhecidos como de primeira geração, sua fonte de produção são as culturas alimentares, como milho, soja, cana-de-açúcar etc. Os avançados, por sua vez, são os de segunda e terceira geração. Os biocombustíveis 2G são obtidos de culturas não alimentares, como resíduos agrícolas e florestais, enquanto os biocombustíveis 3G são obtidos por meio da utilização de algas (CGEE 2018). Podem ser citados como biocombustíveis 1G o biodiesel, produzido pelo processamento de óleo vegetal, gordura animal, e o etanol, podendo ser obtido pelo processamento de cana-de-açúcar, milho, beterraba etc. O etanol de segunda geração, por sua vez, é produzido por meio da

hidrólise da biomassa lignocelulósica, a qual pode ser obtida de diferentes fontes de matéria-prima (CARVALHO et al., 2013; CGEE, 2018).

Etanol

O etanol (C_2H_5OH), também chamado de álcool etílico, é um composto orgânico oxigenado. É caracterizado como um combustível líquido, possui elevado teor de oxigênio em sua composição, sendo aproximadamente 35% em relação à massa total, assim, é realizada uma combustão mais limpa, resultando melhor desempenho dos motores e maior redução na emissão de gases poluentes, ainda mesmo quando misturado à gasolina, atuando como aditivo (BNDES; CGEE, 2008).

Para produzir o etanol é necessário que ocorra a ação de microrganismos que atuam na conversão da biomassa vegetal em etanol. O processo de conversão pode ser resumido em três etapas, são elas: (1) conversão da biomassa em açúcares passíveis de fermentação; (2) fermentação dos açúcares em etanol; (3) separação por destilação e purificação do etanol. A etapa de destilação é responsável por retirar grande parte da água na mistura, resultando em aproximadamente 95% de etanol puro, chamado então de etanol hidratado. Quando o restante da água é retirado, obtém-se o etanol anidro, sendo este utilizado como aditivo na mistura com gasolina (ZUURBIER; VOOREN, 2008 apud SILVA; GOMES; NASCIMENTO, 2019).

Seu uso como combustível ocorre de duas maneiras, na forma hidratada, para automóveis movidos exclusivamente a álcool, ou na forma anidra, sendo estabelecido, em 2015, a adição de 27% de álcool anidro na gasolina (BRASIL, 2015).

De acordo com a CONAB, em 2019 o Brasil alcançou a marca de 33,14 bilhões de litros de etanol produzidos, mostrando um aumento de 5,9 bilhões de litros, representando 21,7% a mais em relação ao período anterior. Esse índice de produção de etanol é o maior já registrado para o país, superando o maior índice até então de 30,46 milhões de litros na safra 2015/16 (CONAB, 2019).

Porém, em 2020, o setor sucroalcooleiro sofreu grande impacto devido à crise do novo Covid-19. No mês de abril, o Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE) realizou o décimo corte no preço da gasolina no ano, chegando a custar R\$ 0,99 por litro, registrando o menor valor desde 2005, quando era vendida a R\$1,94 o litro. Essa alteração no preço da gasolina impactou diretamente o etanol, sendo vantajoso apenas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás. Atribui-se a perda de competitividade do etanol aos sucessivos cortes no preço da gasolina em resposta à queda das cotações internacionais do petróleo. Além dos cortes, a ANP

autorizou as distribuidoras de combustíveis a reduzirem a compra de etanol anidro, sem riscos de punição, em razão da queda da demanda por gasolina no país (ANP; CBIE; UDOP, 2020).

Fermentação Etanólica

A fermentação etanólica é definida pela ação de leveduras, principalmente a levedura *S. cerevisiae*, a qual atua nos açúcares passíveis de fermentação em uma solução. É denominada como um processo biológico no qual há o crescimento de leveduras por meio de reações de oxidação parcial, a qual também é utilizada para produção do álcool e gás carbônico (LIMA; MARCONDES, 2002; SILVA et al., 2007).

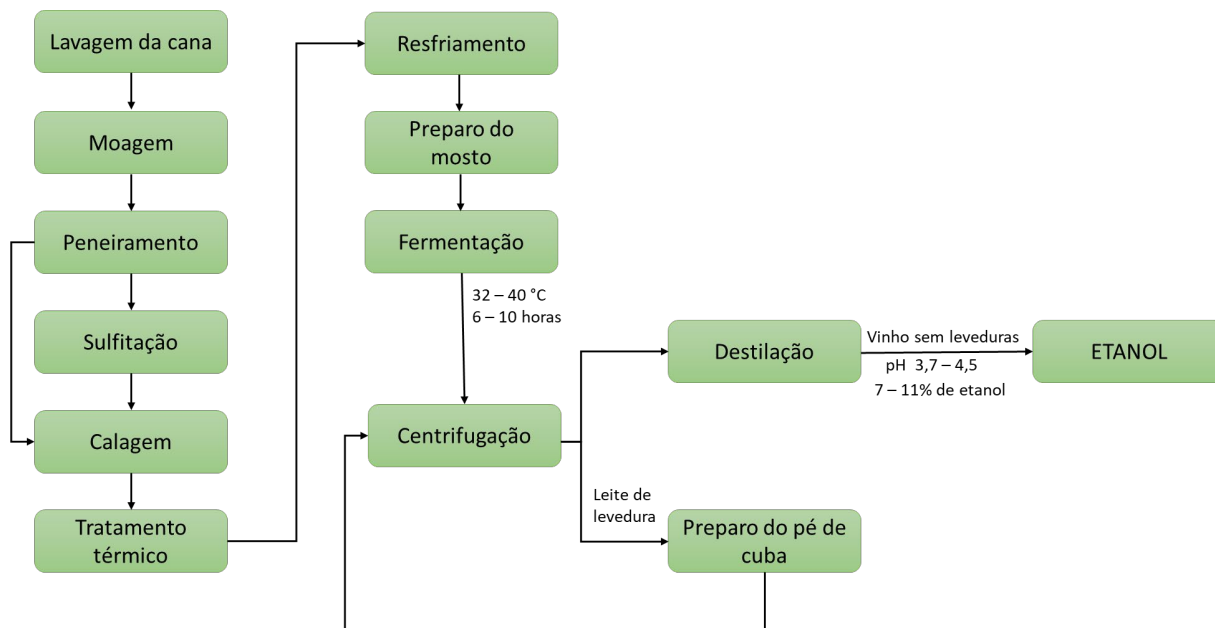
Durante o processo de fermentação, as leveduras produzem a enzima invertase, a qual é responsável por hidrolisar o dissacarídeo sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) em duas moléculas menores de monossacarídeos, possibilitando que a levedura converta esses açúcares em etanol (SOUZA, 2009). A hidrólise da sacarose da origem aos monossacarídeos D-glicose e a D-frutose, ambos possuem a mesma fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$, porém, possuem diferentes fórmulas estruturais.

A fermentação alcoólica tem início a partir de uma molécula de glicose, resultando em duas moléculas de ácido pirúvico ($C_3H_4O_3$) e duas moléculas de adenosina trifosfato (ATP). As duas moléculas de ácido pirúvico produzidas são posteriormente convertidas em duas moléculas de acetaldeído (C_2H_4O) e duas moléculas de CO_2 . Ao final da reação, o acetaldeído é reduzido por duas moléculas de NADH, a fim de produzir duas moléculas de etanol (TORTORA; FUNKE; CASE, 2017).

De acordo com Ceccato-Antonini (2011), o processo de fermentação nas indústrias tem início com a pré-fermentação, etapa na qual as leveduras são adicionadas no mosto previamente preparado, nesta etapa ocorre multiplicação das células como também aumento da temperatura. Após esta etapa, com pouca espuma presente no mosto, inicia-se a fermentação principal, a qual tem duração de nove a dez horas, nela ocorrem o aumento de acidez e queda de densidade do mosto, resultado da conversão de açúcar em álcool.

Ao término da fermentação principal ocorre a pós-fermentação, caracterizada pela diminuição gradual da temperatura do mosto, redução no desprendimento de CO_2 e fim da formação de espumas. Quando o processo é finalizado, obtém-se o vinho, nome dado ao mosto totalmente fermentado. Então, centrifuga-se o vinho para separação das leveduras (leite ou creme de leveduras) que serão reutilizadas nas próximas fermentações, por outro lado, o vinho sem as leveduras é destilado, obtendo etanol e conseqüentemente a vinhaça, resíduo da fermentação etanólica. O processo completo com etapas adicionais é evidenciado na figura 1.

Figura 1. Esquema representativo de produção de etanol nas indústrias



Fonte: Adaptado de Ceccato-Antonini (2011).

Leveduras

As leveduras são fungos, microrganismos cujo crescimento dominante é na forma unicelular, possuem reprodução assexuada, podendo ser por meio fissão ou brotamento multilateral e polar, e na forma sexuada, por meio de ascósporos.

As leveduras, em especial a *Saccharomyces cerevisiae* é o principal microrganismo explorado comercialmente por sua capacidade de obtenção do etanol pelo processo de fermentação alcoólica. Outros microrganismos também são capazes de produzir etanol, como é o caso da bactéria *Zymomonas mobilis*, mas, pela vantagem econômica, as leveduras são os agentes mais utilizados (LIMA, BASSO e AMORIM, 2001). A *Saccharomyces* foi tão estudada que foi o primeiro organismo eucarioto a ter seu genoma completamente sequenciado, o estudo de Goffeau e colaboradores contou com aproximadamente 600 pesquisadores ao redor do mundo, tanto da Europa, América do Norte como do Japão, foi intitulado “Life with 6000 genes” e publicado na revista Science em 25 de outubro de 1996 (GOFFEAU et al., 1996).

Atualmente essa levedura tem sido material de estudo para pesquisas na área da genética. Os principais objetivos destes estudos envolvem a utilização de leveduras geneticamente modificadas para aumentar o rendimento na produção de biocombustíveis na fermentação alcoólica, para o etanol (NEVES; ELEUTHERIO; VILELA, 2014) e na fermentação de pentoses (xilose e arabinose) a etanol de segunda geração (FAPESP, 2015; MILESSI, 2017).

Biomassa Lignocelulósica

Com o intuito de mitigar os efeitos causados pela utilização de combustíveis fósseis, a biomassa lignocelulósica recebeu grande atenção, pois representa cerca de 60% da biomassa vegetal e possui características que a fazem ser uma alternativa para a produção de combustíveis renováveis: sua composição química é principalmente lignina (10-30%), hemicelulose (15-35%) e celulose (30-50%), sendo a hemicelulose e a celulose polissacarídeos que podem ser hidrolisados em açúcar, se tornando então passíveis de fermentação para obtenção de etanol (HAMELINCK; HOOIJDONK; FAAIJ, 2005; RODRIGUES et al., 2016).

A lignocelulose pode ser encontrada em porções menores não comestíveis nas culturas de alimento, como os resíduos de colheita: bagaço de cana, palha de milho, palha de trigo, bagaço de sorgo etc., assim, sua obtenção não compete com a produção de alimentos e também se torna desnecessário o aumento de área plantada para sua obtenção (CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010; MARRIOTT; GOMÉZ; McQUEEN-MASON, 2016), sendo este outro ponto positivo que a torna uma alternativa de matéria prima renovável para a industrial sucroalcooleira. A tabela 1 apresenta diferentes biomassas lignocelulósicas e suas respectivas composições químicas.

Tabela 1. Quantidade (%) de celulose, hemicelulose e lignina em diferentes biomassas lignocelulósicas

Biomassa lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Forragem de milho	38-40	28	7-21
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19

Fonte: Santos (2012).

Porém, para a utilização deste tipo de biomassa é necessário que seja feito um pré-tratamento, o qual é realizado por meio de hidrólise ácida ou enzimática, com objetivo de tornar

os açúcares presentes disponíveis e passíveis de fermentação por parte das leveduras (RODRIGUES et al., 2016).

O pré-tratamento tem como objetivo aumentar o acesso das enzimas a fim de aumentar a digestibilidade da celulose e possui efeitos específicos na hemicelulose, celulose e lignina, para que seja possível prosseguir com as etapas de hidrólise e fermentação (ALVIRA et al., 2010). A quebra da estrutura complexa do material lignocelulósico libera as pentoses D-xilose e L-arabinose, e algumas hexoses como a D-manose, D-glucose e D-galactose, açúcares os quais as leveduras possuem capacidade de fermentar a etanol (TOMÁS-PEJÓ et al., 2014). A lignina, por sua vez, não possui moléculas de açúcar em sua composição e não é utilizada na produção de etanol de segunda geração, ela atua na estrutura do material, garantindo sua rigidez (ANDRADE, 2014).

O processo de pré-tratamento é necessário pois a lignina presente na lignocelulose dificulta a realização da hidrólise por “esconder” a superfície celulósica. Também é importante para quebrar a superfície cristalina da lignocelulose, para que assim seja possível remover a lignina, permitindo que ocorra a ação enzimática nas moléculas de celulose e hemicelulose (OGEDA; PETRI, 2010).

Em função de suas características, a biomassa lignocelulósica foi direcionada para estudos que buscam aumentar a produção de biocombustíveis, como o biogás (WANG et al., 2018; ABRAHAM et al., 2020), biodiesel (KUMAR; SINGH; KORSTAD, 2017; ANANTHI et al., 2019) e principalmente o etanol 2G (da SILVA; ERRICO; RONG, 2018; NDUKWE et al., 2020; MORAIS et al., 2020).

Etanol de Segunda Geração

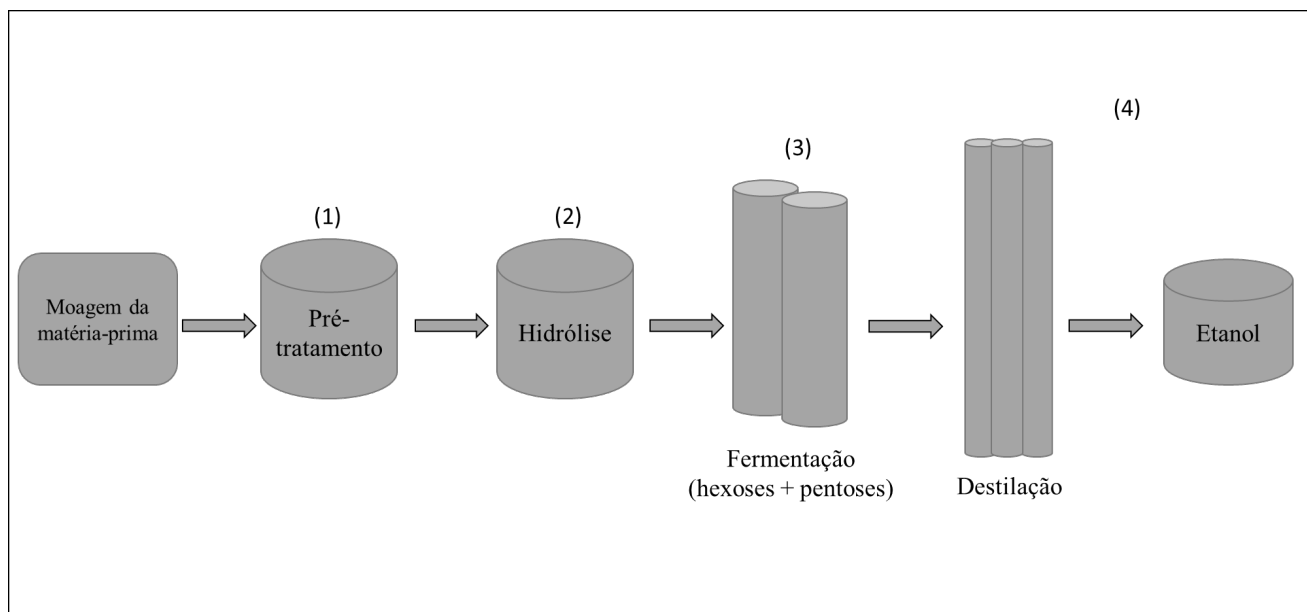
Assim como para o etanol 1G, produzido através da fermentação, por exemplo, da cana-de-açúcar, como para o etanol 2G, o qual é produzido através da fermentação de biomassa lignocelulósica, a via fermentativa é a mais importante para a produção e obtenção do etanol no Brasil. As fontes de obtenção de biomassa lignocelulósica são amplas e de fácil obtenção, principalmente se tratando de resíduos de culturas (BARCELOS, 2012; CGEE, 2018).

A utilização da biomassa lignocelulósica como matéria-prima para produção do etanol 2G pode ocorrer por conversão bioquímica ou termoquímica, sendo a rota bioquímica a mais desenvolvida. Seguindo a rota bioquímica (Figura 2) é necessário que ocorra um pré-tratamento da biomassa, seguido de hidrólises ácida ou enzimática, com o objetivo de quebrar os polissacarídeos em açúcares mais simples, permitindo a fermentação destes em etanol (MUSSATO et al., 2010).

O processo de produção do etanol a partir de biomassa lignocelulósica pode ser resumido em quatro etapas partindo da moagem da matéria-prima (Figura 2), são elas: (1) pré-tratamento, o qual envolve etapas mecânicas para reduzir o tamanho de partículas de celulose e hemicelulose e

etapas químicas, para tornar a biomassa mais digestível para os microrganismos; (2) hidrólise ácida ou enzimática, com o objetivo de quebrar os polissacarídeos em açúcares mais simples; (3) fermentação das hexoses (C6) e pentoses (C5), realizada por microrganismos (na sua maioria leveduras); (4) destilação do etanol e armazenamento (SÁNCHEZ; CARDONA, 2008).

Figura 2 - Processo simplificado da produção de etanol 2G



Fonte: Adaptado de Mussato et al. (2010).

Na etapa de hidrólise pode-se adotar diferentes configurações dos processos enzimáticos para obtenção da glicose. Um dos métodos é o chamado Hidrólise Enzimática Separada da Fermentação (SHF), nele a hidrólise enzimática e a fermentação ocorrem em unidades físicas distintas, otimizando o controle das condições ideais para cada etapa. No método de Hidrólise Enzimática e Fermentação Simultânea (SSF) a hidrólise e a fermentação de açúcares C6 acontecem no mesmo evento, o que permite que a glicose produzida seja imediatamente consumida pelo microrganismo fermentador, reduzindo os efeitos inibidores da glicose. Outro método é o chamado Hidrólise Enzimática e Co-Fermentação Simultânea (SSCF), neste modelo os açúcares C5 e C6 são fermentados pelo mesmo microrganismo, diferente dos dois modelos anteriores. Por último, o método sugerido para ser seguido é chamado de Bioprocesso Consolidado (BPC), o qual realiza em uma única etapa a produção da celulase, hidrólise enzimática e fermentação de pentoses e hexoses pelo mesmo microrganismo (SANTOS, 2012).

Um dos maiores desafios para alcançar eficiência de produção está na fermentação simultânea de açúcares C5 e C6, sendo preciso continuar com a busca por novos microrganismos

ou linhagens geneticamente modificadas de microrganismos já utilizados, como é o caso da levedura *S. cerevisiae*, consolidada na fermentação de hexoses (MILESSI, 2017).

O principal objetivo da utilização do etanol de segunda geração como combustível alternativo é sua capacidade de substituir os derivados de petróleo, permitindo a redução na dependência pelos recursos fósseis e a ajuda na mitigação dos gases de efeito estufa (BNDES; CGEE, 2008). A produção em nível industrial do etanol de segunda geração tem a capacidade de realizar tal substituição, como também aumentar o balanço energético e o rendimento de produção de etanol por hectare cultivado, uma vez que não há competição por área cultivada, além do mais, a possibilidade de redução do custo de produção em função do aproveitamento dos resíduos agrícolas necessários para produzir o E2G (DELLA-BIANCA et al., 2013).

Se concretizada no Brasil, a produção de etanol de segunda geração utilizando palha e bagaço de cana-de-açúcar possui a capacidade de elevar em até 50% a produtividade em relação à produção de etanol no país (MILANEZ et al., 2015). Esta estimativa é possível em função da capacidade energética dos materiais lignocelulósicos, os quais teoricamente permitem a produção de 600 milhões de galões de etanol para cada 10 milhões de toneladas de biomassa seca, isto é, 227,12 L/ton, sendo apenas para a fração celulósica da matéria-prima (SANTOS, 2012). Para o bagaço de cana seco, o rendimento é variável, de 157 L/ton até 335 L/ton. Em comparação com o rendimento na produção de etanol 2G, o rendimento da cana-de-açúcar para produção de etanol 1G é de aproximadamente 90 L/ton (BNDES; CGEE, 2008).

Para que seja possível alcançar um processo eficiente e econômico na produção de etanol lignocelulósico é necessário que os microrganismos utilizados no processo convertam completamente o substrato, isto é, converter todos os açúcares, hexoses e pentoses em etanol. Isso deve ser realizado sob condições de produção em indústrias e usinas (GALBE; ZACCHI, 2002). A fermentação de pentoses em nível industrial depende de algumas características do processo, as quais têm influência no seu valor no mercado, são elas: Economia de água durante o processo, pois ao final toda água deve ser removida, sendo este um processo custoso. Uma alternativa para economia seria a reutilização da água nas etapas de produção; Microrganismos tolerantes aos inibidores de metabolismo gerados no pré-tratamento e hidrólise, como ácidos orgânicos e compostos aromáticos; Rendimento na conversão dos açúcares em etanol; buscando produzir a menor quantidade de subprodutos e maior eficiência na conversão do hidrolisado em etanol; Produção específica de etanol, a qual mede a eficiência da fermentação por massa celular, quanto maior a produção específica, menor será a quantidade da massa celular necessária para realizar a fermentação (WINGREN; GALBE; ZACCHI, 2003).

Atualmente três plantas industriais de etanol de segunda geração estão próximas de alcançar eficiência e viabilidade econômica de produção, duas destas indústrias estão localizadas no Brasil e utilizam palha e bagaço da cana que sobram da produção de etanol 1G, são elas: Raízen, unidade de Piracicaba (SP), e GranBio, localizada em São Miguel dos Campos (AL). A terceira indústria é do consórcio Poet-DSM, em Emmetsburg, no estado norte-americano de Iowa, também utilizam resíduos da produção de etanol 1G, neste caso, do milho (FAPESP, 2018).

Leveduras fermentadoras de pentoses

A metabolização dos açúcares como a glicose, xilose e arabinose em etanol pode ser realizada tanto por bactérias quanto por leveduras, porém, foi verificado que os melhores resultados de produtividade foram obtidos com o uso de leveduras (SREENATH; JEFFRIES, 2000; SCORDIA et al., 2012; MILESSI et al., 2013; RODRIGUES et al., 2016 *apud* FERREIRA, 2016).

Embora a levedura *S. cerevisiae* tenha capacidade de fermentar todos os açúcares C6 presentes na lignocelulose e possuir rendimento de fermentação em etanol de até 0,51 g/g, sua fermentação se resume exclusivamente a hexoses, não sendo o microrganismo ideal para produção de etanol 2G. Neste contexto, linhagens de *S. cerevisiae* estão sendo recombinadas e modificadas geneticamente para alcançar a metabolização dos açúcares C5 como o caso das linhagens KE6-12 e KE6-13i, as quais possuem os genes XYL1 e XYL2 (produzem a enzima xilucinase, metabolizadora de xilose) obtidos da levedura *Pichia stipitis* (TOMAS-PEJÓ, 2014).

Sabe-se que um vasto número de espécies de leveduras é capaz de metabolizar e fermentar a xilose e a arabinose, porém, a capacidade de fermentar a xilose e arabinose em etanol não é ampla, cerca de apenas 1% delas possuem essas características, como é o caso das leveduras *Candida shehatae*, *Pichia stipitis*, *Pichia membranifaciens*, *Pachylozen tannophilus* (HAHNHAGERDAL et al., 2007; CHANDEL et al., 2011; RIBEIRO, 2019).

Leveduras do gênero *Spathaspora* são encontradas no Brasil e possuem diversas espécies capazes de fermentar a D-xilose, são elas: *Spathaspora brasiliensis*, *Spathaspora subii*, *Spathaspora roraimanensis*, *Spathaspora xylofermentans* e *Spathaspora arborariae* (CADETE et al., 2009). Recentemente, em 2018, outra espécie deste gênero foi descoberta no Laboratório de Bioquímica e Tecnologia de Leveduras da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, localizada na cidade de Piracicaba/SP. No estudo orientado pelo Prof. Luiz Carlos Basso, a levedura fermentadora de D-xilose recebeu o nome de *Spathaspora piracicabensis*, em razão da cidade em que foi descoberta (VARIZE et al., 2018).

METODOLOGIA

Para realizar a discussão sobre as leveduras utilizadas na produção de etanol de segunda geração, foram consultados trabalhos realizados em universidades, e em revistas de biotecnologia (Biofuels, Bioproducts & Biorefining) e microbiologia (Antonie van Leeuwenhoek). Os trabalhos foram publicados entre 2008 e 2018 envolvendo palavras-chave como: leveduras fermentadoras de xilose, etanol lignocelulósico, biotecnologia e engenharia genética na fermentação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A engenharia genética é considerada uma das melhores alternativas para obter microrganismos fermentadores de pentoses com alto rendimento a etanol e resistente aos inibidores produzidos, porém, não é possível prever os efeitos inesperados após a adição de novos genes. Estudos utilizando linhagens recombinantes e geneticamente modificadas da levedura *Saccharomyces cerevisiae* foram realizados por Tomás-Pejó et al., (2014), os autores avaliaram os efeitos da adição dos genes XYL₁ e XYL₂ obtidos da levedura *Pichia stipitis*, dando origem às linhagens KE6-12 e KE6-13i cultivadas em meio YPX com 20 g/L de xilose e 10 g/L de glucose e observaram superexpressão da enzima xilucinase, metabolizadora de xilose. A fermentação do hidrolisado lignocelulósico tóxico foi realizada pelas duas linhagens simultaneamente, consumindo 90% da xilose e produzindo etanol com rendimento de 0,4 g/g.

Procurando mais alternativas de modificações genéticas nas leveduras do gênero *Saccharomyces*, Kretzer (2017) utilizou os genes SUT₄ e SUT₆ (transportadores de xilose) obtidos da levedura *Spathaspora arboriae*, em linhagens de *S. cerevisiae*, obtendo-se as linhagens DLGK₁-SUT₄ e DLGK₁-SUT₆. Foi verificado que a linhagem contendo o gene SUT₆ transportou apenas a glicose e não teve influência sobre os outros açúcares. Enquanto a linhagem com gene SUT₄ consumiu cerca de 2 g/L de xilose durante a fermentação, porém, não produziu etanol e apresentou fenótipo de floculação quando a única fonte de carbono foi a xilose, sugerindo condição de estresse para as leveduras. O baixo consumo de xilose pode ser atribuído à remoção do transportador pelo processo de endocitose (HORÁK, 2003).

O estudo de Casey et al. (2010), avaliou o efeito do ácido acético nas concentrações 7,5 e 15 g/L, respectivamente, (faixa de concentração esperada para as diferentes biomassas lignocelulósicas) na co-fermentação de glucose e xilose pela linhagem geneticamente modificada *Saccharomyces cerevisiae* 424A (LNH-ST), com concentração inicial de 4,75 g de células secas/L, e identificou que entre os compostos inibidores presentes na biomassa lignocelulósica, como ácidos orgânicos e compostos fenólicos, o ácido acético é um dos principais inibidores do processo de fermentação de etanol. Os autores observaram que na concentração de 15 g/L de ácido acético

houve a maior redução no consumo de glicose e xilose, maior produção de metabólitos e consequente redução na produção de etanol na presença de ácido acético.

A tolerância aos inibidores é crucial para que as leveduras consigam desempenhar com eficiência a fermentação dos açúcares à etanol. Buscando linhagens resistentes a esses inibidores, Milessi (2017) selecionou as linhagens de *S. cerevisiae* GSE16-T18, GSE16-T18 encapsulada em gel de alginato de Cálcio, para proporcionar maior proteção contra os inibidores, e a linhagem GSE16-T18 HAA₁, a qual possui o gene HAA₁, responsável por garantir tolerância ao ácido acético. As leveduras T18 apresentaram eficiência de fermentação de xilose de 0,02 g_{xilose}/g_{células}.h, enquanto as T18 encapsuladas mostraram maior proteção ao inibidor, fermentando a xilose 0,07 g_{xilose}/g_{células}.h, em concentração de 11 g/L de ácido acético. O maior rendimento foi observado pela T18 (0,47 g/g), não sendo muito diferente dos rendimentos da GSE16-T18 HAA₁ (0,45 g/g) e da T18 encapsulada (0,44 g/g) e maior produtividade da linhagem GSE16-T18 HAA₁, de 4,25 g/L de etanol na presença de 15 mg/L de ácido acético, sendo esta uma concentração alta de ácido acético na fermentação (CASEY et al., 2010).

Silva et al. (2011), avaliaram a fermentação de xilose a etanol pela levedura *Pichia stipitis* linhagem NRRL Y-7124. A fermentação ocorreu em um biorreator com tanque agitador, com concentração (g/L) inicial de células igual a 1 e fontes de carbono composta principalmente de xilose (90,0), glicose (15,0), arabinose (15,0) e ureia (2,3). Foram avaliadas as possíveis influências da aeração nas faixas de 0,25 e 0,75 vvm (volume de ar por volume de meio) e agitação de 150 e 250 rpm (rotações por minuto) e obtiveram melhores resultados quando a agitação acontece a 250 rpm e aeração de 0,25 vvm. A produção de etanol nas condições descritas alcançou 26,7 g/L (84h de fermentação), produtividade de 0,32 g/L.h e eficiência no processo de 63%, valores considerados pelos autores como satisfatórios.

Porém, os valores foram inferiores aos encontrados por Yuangsaard et al (2013), os quais utilizaram uma levedura do mesmo gênero *Pichia*, porém da espécie *kudriavzevii*, linhagem DMKU 3-ET₁₅ isolada em meio YPD contendo 1% de extrato de levedura, 2% peptona e 2% glicose (v/v) a 40°C e pH 5, diferente dos valores ideais de temperatura e pH encontrados por Ribeiro et al. (2019), utilizando a levedura *Pichia membranifaciens* em meio YPD 1% extrato de leveduras, 2% peptona, 1% xilose e 1% glicose, sendo iguais a 32°C e pH entre 4 e 4-5. Foi utilizado como biomassa lignocelulósica amido de mandioca hidrolisado. Os valores de produção de etanol obtidos por Yuangsaard et al. (2013) foram de 7,68% (m/v) após 24h de fermentação, produtividade 3,28 g/L.h, e rendimento de 85,4%. Os valores de produtividade e rendimento são 10,25 vezes e 22,4% mais altos do que os valores encontrados por Silva et al. (2011), respectivamente.

O gênero *Spathaspora* é conhecido por possuir espécies capazes de fermentar a D-xilose em etanol, e muitas espécies foram encontradas no Brasil, isoladas de amostras de madeira em decomposição na região da Floresta Amazônica. De acordo com Stambuk et al. (2008) e Cadete et al., (2009), muitas destas espécies podem fornecer uma fonte de genes fermentadores de D-xilose, enzimas e transportadores para alcançar uma produção eficiente de etanol. Cadete et al. 2013 avaliaram 4 espécies isoladas e cultivadas em meios YP, contendo 1% de extrato de levedura, 2% de peptona e 2% de D-xilose. As espécies receberam o nome de *S. xilofermentans*, *S. brasiliensis*, *S. subii* e *S. roraimensis*. A capacidade de fermentar glicose e xilose em etanol foi avaliada para as 4 espécies. A levedura que apresentou maior eficiência na produção de etanol foi a espécie *S. xilofermentans* (0,37 g/g em glicose e 0,34 g/g em xilose), corroborando com trabalhos anteriores avaliando a capacidade fermentativa da *Staphasphora arborariae* (0,35 g/g em glicose e 0,37 g/g em xilose). Analisando a espécie *S. passalidarum*, Melo (2013), determinou que seu crescimento pode ocorrer entre temperaturas de 38 a 41°C, e que a fermentação da D-xilose em etanol nas temperaturas entre 34 e 39°C. Avaliaram também a fermentação com diferentes tipos de oxigenação, sendo moderada (180 rpm) e limitante (120 rpm), sendo observada maior conversão dos açúcares (0,47 g/g) no modelo de oxigenação moderada e maior produção de etanol no modelo limitante de oxigênio com hidrolisado de casca de soja, chegando a 3,8 g/L de etanol.

Recentemente, uma nova espécie deste gênero foi descoberta, a espécie *S. piracicabensis* (VARIZE et al., 2018), a nova espécie também possui a capacidade de fermentar a D-xilose em etanol. Foi isolada e cultivada em meio líquido estéril YEPX (extrato de levedura 1%, peptona 1%, xilose 2%) e apresentou produção de etanol de 3,48 g/L. Por ser uma espécie recentemente descoberta, ainda há pouca literatura sobre seu desempenho fermentativo em outros meios e condições de crescimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por microrganismos que fermentem naturalmente pentoses, ou até mesmo linhagens recombinantes e geneticamente modificadas de leveduras já consolidadas como o caso da *Saccharomyces cerevisiae* abre novos caminhos e diferentes alternativas para alcançar uma produtividade eficiente de etanol lignocelulósico. A adição de genes que configurem resistência aos inibidores de fermentação ou até transportadores de açúcares são alguns exemplos que demonstram a capacidade da engenharia genética em manipular genes de interesse. Da mesma forma que se descobrem novas linhagens, a pesquisa por microrganismos que fermentem a biomassa lignocelulósica em etanol de uma maneira mais eficaz, resistente a condições estressantes e que apresentem viabilidade de produção em escala industrial deve continuar, para que assim seja

possível acelerar e concretizar a introdução do etanol 2G no mercado e diminuir o consumo de combustíveis derivados de petróleo, reduzindo os danos causados pela emissão dos GEE proveniente dos combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, A. et al. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. V. 301, n. 122725, 2020.
- ALVIRA, P. et al. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*. v. 101, n. 13, p. 4851-4861, 2010.
- ANANTHI, V. et al. Enhanced microbial biodiesel production from lignocellulosic hydrolysates using yeast isolates. *Fuel*. V. 256, n. 115932, 2019.
- ANDRADE, L. F. *Produção de etanol de segunda geração*. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Especialista em Microbiologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Comunicado sobre estoques de etanol anidro. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em 30 mar. 2020.
- BARCELOS, C. A. *Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino*. Tese [*Sorghum Bicolor* (L.) Moench, para a produção de bioetanol]. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- BNDES; CGEE. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: BNDES. 2008. 316 p.
- BRASIL. *Biodiesel: Uma fonte renovável de energia*. 2010. Disponível em <http://www.biodiesel.gov.br>. Acessado em: 9 de abril. 2019.
- BRASIL. Portal Brasil. Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina. 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/adicao-de-27-de-etanol-na-gasolina-e-estabelecida-pelo-governo>. Acesso em: 10 abr 2020.
- CADETE, R. M. et al. *Spathaspora arborariae* sp. nov., a d-xylosefermenting yeast species isolated from rotting wood in Brazil. *Fems Yeast Research*. V. 9, n. 8, p. 1338-1342, 2009.
- CADETE, R. M. et al. *Spathaspora brasiliensis* sp. nov., *Spathaspora subii* sp. nov., *Spathaspora roraimanensis* sp. nov. and *Spathaspora xylofermentans* sp. nov., four novel D-xylose-fermenting yeast species from Brazilian Amazonian forest. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 103, n. 2, p. 421-431, 2013.
- CHANDEL, A. K. et al. Bioconversion of pentose sugars into ethanol: A review and future directions. *Biotechnology and Molecular Biology Review*. V. 6, n. 1, p. 8-20, 2011.
- CARDONA, C. A.; QUINTERO, J. A.; PAZ, I. C. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. *Biosource Technology*. V. 101, n. 13, p. 4754-4766, 2010.

CARVALHO, L. C. et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 16, p. 530, 2013.

CASEY, E.; SEDLAK, M.; HO, N. W. Y.; MOSIER, N. S. Effect of acetic acid and pH on the cofermentation of glucose and xylose to ethanol by a genetically engineered strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Research*. V. 10, p. 385-393, 2010.

CBIE – CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. Gasolina nas refinarias atinge menor patamar em ao menos 15 anos. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/>. Acesso em 25 abr. 2020.

CECCATO-ANTONINI, S. R. *Microbiologia da fermentação alcoólica*. A importância do monitoramento microbiológico em destilarias. São Carlos: EdUFSCar, 2011. (Coleção UAB-UFSCar).

CGEE- Centro de Gestão de Estudo Estratégicos. Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável. Relatório prospecção etanol de segunda geração - E2G 2030 Panorama analítico prospectivo dos biocombustíveis e bioprodutos. Brasília, 2018.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Produção de etanol no Brasil mantém recorde de 33,14 bilhões de litros, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 10 maio. 2020.

CORTEZ, L. A. B et al. *Proálcool, Universidades e Empresas*: 40 anos de ciência e tecnologia para o Etanol brasileiro. 1975-2015. 1 ed. Blucher, 2016, p 223.

DELLA-BIANCA, B. E. et al. What do we know about the yeast stains from the Brazilian fuel ethanol industry? *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 97, n. 3, p. 979-991, 2013.

FAPESP. A Vez da Biotecnologia na biomassa. *Revista FAPESP*. 2015. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/>. Acesso em: 9 mai. 2020.

FAPESP. Obstáculos no caminho. *Revista FAPESP*, 2018. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/>. Acesso em: 9 jul. 2020.

FERREIRA, A. D. *Produção eficiente de Etanol 2G a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar*: otimizando condições de cultivo e operacionais. Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2016.

GALBE, M; ZACCHI, G. A review of the production of ethanol from softwood. *Appl. Microbiol Biotechnol*. V. 59, n. 6, p. 618-628, 2002.

GOFFEAU, A. et al. Life with 6000 genes. *Science*. V. 274, n. 5287, p. 546-567, 1996.

HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. V.; FAAIJ, A. P. C. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*. V. 28, n. 4, p. 384-410, 2005.

HAHN-HÄGERDAL, B. et al. Towards industrial pentose-fermenting yeast strains. *Applied Microbiology Biotechnology*. V. 74, n. 5, p. 937-953, 2007.

HORÁK, J. The role of ubiquitin in down-regulation and intracellular sorting of membrane proteins: insights from yeast. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1614, n. 2, p. 139-155, 2003.

KRETZER, L. G. *Clonagem, expressão e análise de transportadores de açúcares em linhagens recombinantes de Saccharomyces cerevisiae*. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

KUMAR, D.; SINGH, B.; KORSTAD, J. Utilization of lignocellulosic biomass by oleaginous yeast and bacteria for production of biodiesel and renewable diesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 73, p. 654-671, 2017.

LANZOTTI, C. R. *Uma Análise Energética de Tendências do Setor Sucroalcooleiro*. (Dissertação). UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas. 2000, 106 p.

LEITE, R. C. C; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. *Novos estud. - CEBRAP*, São Paulo, n. 78, p. 15-21, 2007. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010133002007000200003&lng=en&rm=iso. Acesso em 2 abr. 2020.

LIMA, L.R.; MARCONDES, A. A. *Alcool Carburante: Uma Estratégia Brasileira*. Curitiba: Editora UFPR, 2002, p. 248.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. In: LIMA, U. A. *Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos*. São Paulo: Edgard Bluche, 2001. p. 1-43. (Biotecnologia Industrial; v. 3).

MARRIOTT, P. E.; GÓMEZ, L. D.; Mc-QUEEN-MASON, S. J. Unlocking the potential of lignocellulosic biomass through plant science. *New Phytologist*. V. 209, n. 4, p. 1366-1381, 2016.

MELESSI, T. S. S. *Produção de etanol 2G a partir de hemicelulose de bagaço de cana-de-açúcar utilizando Saccharomyces cerevisiae selvagem e geneticamente modificada imobilizadas*. (Tese). UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos, 2017, 190 p.

MELO, M. A. *Avaliação da produção de bioetanol por linhagens de Spathaspora passalidarum isoladas da Floresta Amazônica Brasileira*. Dissertação (Mestrado em Microbiologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MILANEZ, A. Y; NYKO, D.; VALENTE, M. S. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*. V. 41, p. 237-294, 2015.

MORAIS, C. G. et al. Production of ethanol and xylanolytic enzymes by yeasts inhabiting rotting wood isolated in sugarcane bagasse hydrolysate. *Fungal Biology*. V. 124, n. 7, n. 639-647, 2020.

MUSSATO, S. I. et al. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances*, 2010, v.28, p.817-830.

NDUKWE, J. K. et al. Mechanisms of weak acid-induced stress tolerance in yeasts: Prospects for improved bioethanol production from lignocellulosic biomass. *Process Biochemistry*. v. 90, p. 118-130, 2020.

NEVES, B. C.; ELEUTHERIO, E. C. A.; VILELA, L. F. *Saccharomyces cerevisiae geneticamente modificada e seu uso*. Depositante: Universidade Federal do Rio de Janeiro. PI 1101427-0 A2. Depósito: 24 mar. 2011. Publicação: 11 fev. 2014.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. *Química Nova*, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

RIBEIRO, N. N. et al. Otimização das condições fermentativas de *Pichia membranifaciens* para produção de etanol de segunda geração. *Química Nova*, v. 42, n. 7, p. 720-728, 2018.

RODRIGUES, C. et al. Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. In: RESENDE, R. R. (Org.). *Biotechnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações*. v. 4. São Paulo: Blucher, 2016. p. 283-314. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2020.

RODRIGUES, L. D. *A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação*. Monografia. 2010. UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora. 64 p.

SÁNCHEZ, O. J; CARDONA, C. A. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from diferente feedstocks. *Bioresource Technology*. v. 99. P. 5270-5295. 2008.

SANTOS, D. S. *Produção de etanol de segunda geração por Zymomonas mobilis naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica*. 2012. 218 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro - RJ, 2012.

SILVA, A. R. G. da; ERRICO, M.; RONG, B. G. Systematic procedure and framework for synthesis and evaluation of bioethanol production processes from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology Reports*. v. 4, p. 29-39, 2018.

SILVA, F. S. G.; GOMES, W. P. C.; NASCIMENTO, D. D. *Avaliação da fermentação de leveduras visando a produção de etanol de segunda geração*. Bioenergia em revista: diálogos. v. 9, n. 2, p. 35-61, 2019.

SILVA, J. P. A. et al. ETHANOL Production from Xylose by *Pichia Stipitis* NRRL Y-7124 in a stirred tank bioreactor. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. V. 28, n. 01, p. 151-156, 2011.

SILVA, J. S; JESUS, J. C; COUTO, S. M. Noções sobre Fermentação e Produção de Álcool na Fazenda. In: SILVA, J. S. *Produção de Álcool na Fazenda e em Sistema Cooperativo*. Minas Gerais: Viçosa, 2007.

SOUZA, C. S. *Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por linhagem de S. Cerevisiae*. Tese. Universidade de São Paulo/Instituto Butantan/IPT. 2009.

STAMBUK, B. U. et al. Brazilian potential for biomass ethanol: Challenge of using hexose and pentose cofermenting yeast strains. *Journal of Scientific and Industrial Research*. V. 67, p. 918-926, 2008.

TOMÁS-PEJÓ, E.; BONANDER, N.; OLSSON, L. Industrial yeasts strains for biorefinery solutions: Constructing and selecting efficient barcoded xylose fermenting strains for ethanol. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. V. 8, n. 5, p. 626-634, 2014.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UDOP – UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA. Com queda de preço da gasolina, 2020.
Disponível em: <https://www.udop.com.br>. Acesso em 30 abr. 2020.

VARIZE, C. S. et al. *Spathaspora piracicabensis* F. A., Sp. Nov., a D-xylose-fermenting Yeast Species Isolated from Rotting Wood in Brazil. *Antonie van Leeuwenhoek, Journal of Microbiology*. V. 111, n. 4, p. 525-531, 2018.

WANG, D. et al. Can hydrothermal pretreatment improve anaerobic digestion for biogas from lignocellulosic biomass? *Bioresource Technology*. V. 294, p. 117-124, 2018.

WINGREN, A.; GALBE, M; ZACCHI, G. Techno-economic evaluation of producing ethanol from softwood: comparison of SSF and SHF and identification of bottlenecks. *Biotechnology Progress*. V. 19, n. 4, p. 1109-1117, 2003.

YUANGSAARD, N. et al. Selection and characterization of a newly isolated thermotolerant *Pichia kudriavzevii* strain for ethanol production at high temperature from cassava starch hydrolysate. *Antonie van Leeuwenhoek*. V. 103, n. 3, p. 577-588, 2013.

1 ALMEIDA, Cássio de Souza é Tecnólogo em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba – Faculdade de Tecnologia Dep. “Roque Trevisan”. Durante a graduação adquiriu conhecimento técnico e acadêmico no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) no qual desenvolveu duas iniciações científicas no Laboratório de Ecotoxicologia e estagiou no Laboratório de Biologia Celular e Molecular. Atualmente atua como Tecnólogo de Processos na Lallemand Soluções Biológicas Ltda.

2 NASCIMENTO, Daniela Defávani do. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo (1997), graduação em Licenciatura Em Ciências Agrárias pela ESALQ/USP (1998), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela ESALQ/USP (2000) e doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela ESALQ/USP (2005). Especialista (MBA) em Agronegócios pelo PECEGE/ESALQ/USP (2012). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, atuando principalmente nos seguintes temas: cultura de tecidos, micropropagação de plantas, clonagem gênica, transformação genética de plantas (Tabaco, Arabidopsis, Eucalipto e cana-de-açúcar), análises moleculares. Desde 2010 é professora concursada por prazo indeterminado para as disciplinas: Biotecnologia e Bioetanol do curso de Graduação em Biocombustíveis; e Biotecnologia e Bioquímica de Alimentos do curso de Graduação em Alimentos, todos da FATEC Piracicaba "Deputado Roque Trevisan".

Determinação de metais em biodiesel: importância e desafios

GONÇALVES, Vinícius Oliveira
BORTOLETO, Gisele Gonçalves

Resumo

Atualmente a produção mundial de biodiesel, um biocombustível alternativo ao diesel de petróleo, vem aumentando significativamente devido às suas interessantes características. Sua qualidade está relacionada a diversos fatores, desde variações moleculares de seus ésteres produzidos, até possíveis contaminações que podem ser oriundas da matéria-prima, do processo de produção ou até mesmo da estocagem do biodiesel. Considerando a contaminação por metais, que podem danificar os motores, normalmente elementos como sódio, potássio, cálcio e magnésio são quantificados, visando checar as concentrações destes perante as especificações da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). O elemento fósforo, mesmo sendo um não metal, também apresenta relevância como possível agente formador de material particulado. De qualquer forma, pouco se sabe sobre a origem desses elementos considerando as diferentes possibilidades de se produzir o biodiesel, assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar trabalhos que determinam a concentração dos analitos fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em biodiesel, empregando as diferentes variáveis de técnicas analíticas que permitem essas quantificações.

Palavras chave: biodiesel, contaminantes, ICP-OES.

Abstract

Currently the world production of biodiesel, a biofuel alternative to petroleum diesel, has been increasing significantly due to its interesting characteristics. Its quality is related to several factors, from molecular variations of its esters produced, to possible contamination that may come from the raw material, the production process or even the storage of biodiesel. Considering the contamination by metals, which can damage the engines, normally elements such as sodium, potassium, calcium and magnesium are determined, in order to check their concentrations against the specifications of the ANP (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels). The phosphorus element, even though it is a non-metal, is also relevant as a possible particulate material-forming agent. Anyway, little is known about the origin of these elements considering the different possibilities of producing biodiesel, thus, the present work aimed to analyze works that determine the concentration of analytes phosphorus (P), sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in biodiesel, employing the different variables of analytical techniques that allow these quantifications.

Key words: biodiesel, contaminations, ICP-OES.

Resumen

Actualmente la producción mundial de biodiesel, un biocombustible alternativo al diesel de petróleo, se ha incrementado significativamente debido a sus interesantes características. Su calidad está relacionada con varios factores, desde las variaciones moleculares de sus ésteres producidos, hasta la posible contaminación que puede provenir de la materia prima, el proceso de producción o incluso el almacenamiento de biodiesel. Considerando la contaminación por metales, que pueden dañar los motores, normalmente elementos como sodio, potasio, calcio y magnesio, son cuantificados, con el fin de contrastar sus concentraciones contra las especificaciones de la ANP (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles). El elemento fósforo, aunque no es un metal, también es relevante como posible agente formador de material particulado. De todas formas, poco se conoce sobre el origen de estos elementos

considerando las diferentes posibilidades de producir biodiesel, por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar trabajos que determinan la concentración de analitos fósforo (P), sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en biodiesel, empleando las diferentes variables de técnicas analíticas que permitan estas cuantificaciones.

Palabras clave: biodiesel, contaminantes, ICP-OES.

INTRODUÇÃO

As consequências do grande desenvolvimento demográfico mundial em paralelo com o desenvolvimento industrial de nossa sociedade têm sido os principais norteadores da busca por combustíveis alternativos aos derivados do petróleo. Atrelado a isso ainda há a necessidade de se reduzir a emissão dos gases causadores do efeito estufa, oriundos principalmente do consumo de combustíveis fósseis pelo setor automotivo e para a geração de energia em unidades fabris. Nesse contexto, os biocombustíveis, quando derivados de matérias-primas renováveis e produzidos por processos de reconhecida sustentabilidade ambiental, surgem como alternativas de amplo interesse social e político, particularmente quando o seu uso não exige adequações significativas na tecnologia atualmente empregada nos motores de combustão.

Considerando a produção de biodiesel, dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis, óleos e gorduras de origem vegetal e animal têm sido largamente investigados como candidatos a programas de energia renovável porque possibilitam a geração descentralizada de energia e um forte apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e socioambientais de difícil solução.

Muitos compostos inorgânicos presentes nos óleos vegetais, utilizados na produção do biodiesel, são provenientes das sementes oleaginosas ou foram introduzidos durante o processo de extração ou estocagem do óleo. No caso da composição mineral das sementes há uma dependência da presença e da disponibilidade do mineral no solo durante o crescimento da planta, além de outros fatores tais como o uso de fertilizantes e pesticidas. Durante os processos de extração os elementos inorgânicos presentes nas sementes são carregados juntamente com o óleo. Assim, elementos procedentes da matéria-prima, tais como o fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) entre muitos outros, podem ser encontrados no biodiesel. O monitoramento de fósforo em óleos vegetais é bastante importante, já que parte deste se encontra na forma de fosfolípido, que quando não removido, aumenta a formação de gomas. Assim, antes da reação de transesterificação para a produção do biodiesel, os óleos vegetais e também a gordura animal, geralmente, passam por um processo de purificação para remoção destes compostos juntamente com outras impurezas, substâncias coloidais e íons metálicos. Este processo quando aplicado à purificação de óleos vegetais é normalmente chamado degomagem. A produção do biodiesel a partir de óleos brutos, sem passar pelo processo de degomagem, pode resultar na redução do rendimento da reação e também na formação de um produto com alto teor de fósforo (CURTIUS, A. J.; PEREIRA, P. A. P., 2011).

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo analisar trabalhos que determinam a concentração dos analitos fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em biodiesel, empregando as diferentes variáveis de técnicas analíticas que permitem essas quantificações.

A ORIGEM DO BODIESEL

Pode-se definir biocombustível como todo produto útil para a geração de energia, obtido total ou parcialmente de biomassa (TOLMASQUIM, 2003).

No fim do século XIX, Rudolph Diesel, inventor do motor diesel, utilizou em seus ensaios petróleo cru e óleo de amendoim. Ele acreditava que esse motor poderia ser alimentado com óleos ou gorduras e contribuir para o desenvolvimento da agricultura nos países que os utilizassem. No entanto, devido ao baixo custo e à alta disponibilidade do petróleo na época, este passou a ser o combustível preferencial nesses motores (SUAREZ e COLS., 2007).

As crises de petróleo incentivaram o desenvolvimento de processos de transformação de óleos e gorduras em derivados com propriedades físico-químicas mais próximas às dos combustíveis fósseis, visando à substituição total ou parcial destes. De fato, o desabastecimento de petróleo no mercado mundial durante a Segunda Guerra Mundial fez com que pesquisadores de diversos países procurassem por alternativas, surgindo, na Bélgica, a ideia de transesterificar óleos vegetais com etanol para produzir um biocombustível conhecido hoje como biodiesel (SUAREZ e MENEGHETTI, 2007). Outros países também desenvolveram pesquisas com essa proposta, como a França e os Estados Unidos. Outro processo estudado foi o craqueamento dos óleos e das gorduras para a produção de um biocombustível chamado de bio-óleo, que chegou a ser usado em larga escala, tendo sido na China a principal fonte substitutiva para o petróleo (CHANG e WAN, 1947).

Segundo a ANP (2016), o biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis que podem ser produzidas a partir de gorduras de animais e espécies vegetais como soja, palma, girassol, babaçu, amendoim, mamona e pinhão-manso. No Brasil, a soja é a principal matéria-prima utilizada. A gordura animal é a origem de cerca de 20% do biodiesel produzido no país. Algodão e óleo de fritura também são fontes significativas para a produção desse biocombustível como podemos ver na Tabela 1 as matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel no Brasil.

Tabela 1 – Matérias primas utilizadas para produção de biodiesel no Brasil de janeiro a abril de 2020.

MATÉRIA-PRIMA	JAN/20	FEV/20	MAR/20	ABR/20
Óleo de Soja	66,27%	68,85%	72,08%	75,20%
Gordura Bovina	12,56%	10,99%	8,40%	8,63%
Óleo de Algodão	1,86%	1,74%	0,97%	0,60%
Outros Materiais Graxos	11,62%	11,78%	11,62%	9,79%
Óleo de Fritura	1,56%	1,82%	1,75%	1,02%
Gordura de Porco	1,86%	2,10%	1,69%	2,56%
Gordura de Frango	0,91%	0,67%	1,06%	0,59%
Óleo de Palma / Dendê	2,64%	1,78%	2,01%	1,12%
Óleo de colza/canola	0,25%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de Amendoim	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de Girassol	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de Mamona	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de Nabo-Forageiro	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Óleo de Milho	0,47%	0,27%	0,42%	0,49%

Fonte: ANP, 2020.

Desde que foi instituído o uso obrigatório do biodiesel na mistura com o diesel fóssil, através da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), observou-se uma rápida evolução para a adição do biocombustível em maiores teores, que se iniciou em 2% hoje é de 12% (ANP, 2020).

ÓLEOS E GORDURAS E SUAS PROPRIEDADES

Óleos e gorduras são substâncias classificadas como lipídeos, sendo encontradas em tecidos animais ou vegetais. São constituídas por uma mistura de diversos compostos químicos, sendo os mais importantes os ácidos graxos e seus derivados, tais como mono-; di- ou tri-acilglicerídeos; e fosfatídios. Os tri-acilglicerídeos são largamente majoritários na constituição dessa mistura, podendo chegar a valores superiores a 95% em massa. A relação entre a quantidade dessas classes de compostos, bem como os tipos de ácidos graxos dos quais são formados, depende da fonte do óleo ou da gordura e da região onde foram produzidas (MORETTO e FETT, 1989).

Os glicerídeos são ésteres formados pela condensação de ácidos graxos e do tri-álcool conhecido popularmente por glicerina ou glicerol (propanotriol). Esses compostos são chamados de mono-, di- ou tri-acilglicerídios, dependendo se uma, duas ou três moléculas de ácido graxo se associam à glicerina. Cabe destacar que os triacilglicerídeos podem ser formados por ácidos graxos iguais ou diferentes (MORETTO e FETT, 1989) e estão intrinsecamente relacionados à sua fonte geradora, as quais destacam-se abaixo.

Óleo de Soja

A soja é considerada uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo. Embora ela tenha origem em clima temperado, atualmente, depois de amplo melhoramento genético, a soja é produzida em condições de climas subtropical e tropical (EMBRAPA SOJA, 2006). Trata-se de um grão muito versátil que dá origem a produtos e subprodutos muito usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos. Na alimentação humana, a soja entra na composição de vários produtos embutidos, em chocolates, temperos para saladas, entre outros. A proteína de soja é a base de ingredientes de padaria, massas, produtos de carne, cereais, misturas preparadas, bebidas, alimentação para bebês e alimentos dietéticos. A soja também é muito usada pela indústria de adesivos e nutrientes, alimentação animal, adubos, formulador de espumas, fabricação de fibra, revestimento, papel emulsão de água para tintas. Seu uso mais conhecido, no entanto, é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto. Nesse processo, também é produzida a lecitina, um agente emulsificante, muito usada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros produtos.

A produção de soja no mundo na safra 2019/2020, foi de aproximadamente 337,298 milhões de toneladas, com uma área plantada de 337,298 milhões de hectares. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial do grão de soja, sendo plantado 36,950 milhões de hectares e produzindo 124,845 milhões de toneladas/ano, sendo o Mato Grosso o principal estado produtor, com cerca de 124,845 milhões de toneladas produzidas (EMBRAPA, 2020).

Óleo de Algodão

O algodão, que é considerado a mais importante das fibras têxteis, é também a planta de aproveitamento mais completo e que oferece os mais variados produtos de utilidade. A produção do biodiesel é a partir do esmagamento do caroço, sendo uma alternativa ainda pouco divulgada, mas que começa a atrair o interesse de grandes empresas (PORTAL DO BIODIESEL, 2006). É recomendado principalmente para as regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (EMBRAPA ALGODÃO, 2006). O Brasil apresentou na safra 2019/20 uma área plantada de aproximadamente 1.665,6 ha, com produção de 4.371,3 milhões de toneladas de algodão em caroço. O Mato Grosso é o principal produtor brasileiro, com cerca de 1.233,5 milhão de toneladas de área plantada e produzindo 5.118,7 milhões de toneladas de algodão em caroço (CONAB, 2020).

PRODUÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL

As discussões e ações para inserção do biodiesel na matriz energética brasileira são reforçadas na década de 1980 como o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo) que, tinha dentre outros objetivos, a intenção de implementar a mistura de até 30% de óleo vegetal ao diesel e incentivar o desenvolvimento tecnológico para promover a produção de óleos vegetais em diferentes regiões do país para substituir o diesel. Nesse momento, a soja era a oleaginosa de maior potencial para cumprir a meta de produzir 1,6 milhões m³ de óleo; porém, o amendoim, a colza, o girassol e o dendê também eram considerados. Além do Próóleo, o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal levou à criação do Programa de Óleos Vegetais (OVEG) que buscava a viabilidade técnica do uso de misturas para motores a diesel com a participação das montadoras, técnicos de órgãos federais, processadoras de óleo vegetal, institutos de pesquisa e transportadoras. Apesar das iniciativas a retomada da estabilidade nos preços do petróleo e a falta de certeza na viabilidade econômica diluíram essas ações (BRUM, et al., 2014).

A retomada das discussões voltadas ao uso de óleos vegetais como combustível ocorre no início dos anos 2000 e estavam pautadas, especialmente, por aspectos referentes à sustentabilidade na produção e uso de energia. Assim, em 2003 foi criado o Grupo de Trabalho Interministerial para analisar a viabilidade da produção e uso de biodiesel no Brasil, por meio da participação de representantes de organizações públicas e privadas ligadas aos vários elos da cadeia de produção. No ano seguinte, as ações concentraram-se no estabelecimento do marco regulatório para a produção considerando: percentuais de mistura de biodiesel no diesel; definição de modelo tributário; especificações físico-químicas; formas de fiscalização e comercialização; mecanismos de promoção da inclusão social; formas de financiamento e incentivo ao desenvolvimento tecnológico.

Em 2005 são iniciadas as ações contidas no PNPB e na Lei nº 11.097/2005 que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira por meio da mistura óleo diesel-biodiesel (BX). Inicialmente o percentual de mistura ficou em 2% (B2), para após oito anos chegar a 5% (B5). Porém, em 2008, a mistura B2 passou a ser obrigatória e em 2009 foi para 4% (B4) e para 5% (B5) em 2010. Em julho de 2014, nova alteração, e a mistura ficou em 6% (B6) e para 7% (B7) a partir de novembro do mesmo ano. O valor inicial foi fixado em 2% em volume, em 2008, alcançando 5% já em 2010, quando o previsto ocorreria somente em 2013. Nos anos subsequentes, houve a elevação gradual dos percentuais mínimos obrigatórios no diesel B 1, chegando a 12% em março de 2022. A Lei nº 13.263/2016 autorizou o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) a elevar o percentual de biodiesel na mistura, até o patamar de 15%, desde que obedecidas as

condicionantes de aprovação de testes nos motores para esse teor (BRASIL, 2016). Nesse contexto, a Resolução CNPE nº 16/2018 propôs um cronograma de aumento do percentual de biodiesel na mistura com o diesel de 1% ao ano, atingindo 15%, em 2023 (CNPE, 2018).

O programa voltado à produção e uso de biodiesel, o PNPB, teve como objetivo implantar a produção e o uso de biodiesel no Brasil de forma sustentável, promovendo a inclusão social, garantindo preços competitivos, qualidade, suprimento e produção a partir de diferentes fontes oleaginosas em regiões diversas. Para isso criou instrumentos visando acomodar um conjunto de incentivos e regras de produção e comercialização.

Para o financiamento da produção foi instituído o Programa de Financiamento a Investimentos em Biodiesel 10 junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) a outras instituições financeiras, para apoiar investimentos em todas as fases da produção de biodiesel: agrícola; produção de óleo bruto e de biodiesel; armazenamento; logística; aquisição de máquinas e equipamentos homologados; e beneficiamento de coprodutos e subprodutos do biodiesel. Os incentivos fiscais foram organizados a partir da diferenciação entre regiões e matérias-primas utilizadas, com destaque para tributos federais como PIS/COFINS, regiões Norte e Nordeste e a mamona. Para a comercialização, em mercado regulado, foi adotado o modelo leilões realizados pela ANP. Desde da adoção desse modelo de compra foram realizados 42 leilões e atualmente está em andamento a terceira etapa do 43º leilão.

Atualmente destaca-se que a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) já contempla a possibilidade de participação do diesel sintetizado a partir de ácidos graxos e ésteres hidroprocessados (HEFA - *Hydro-processed Esters and Fatty Acids*), tendo como combustível fóssil substituto o diesel, através da Resolução ANP nº 758/2018 (ANP, 2018).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2017) o RenovaBio é a nova Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017, cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento do mercado. A partir desta expansão, almeja-se uma importante contribuição dos biocombustíveis na redução das emissões de gases de efeito estufa no país, além de um canal de diálogo mais próximo com o setor privado, o programa vai buscar sua atuação baseado em quatro eixos estratégicos: discutir o papel dos biocombustíveis na matriz energética; desenvolvimento baseado nas sustentabilidades ambiental, econômica e financeira; regras de comercialização e atento aos novos biocombustíveis. Tendo como objetivo buscar ampliar a participação dos combustíveis renováveis de forma compatível com o crescimento do mercado. O que se pretende é a implementação de uma política pública que traga previsibilidade ao mercado de biocombustíveis, em coexistência harmônica com os combustíveis fósseis, através

de um estímulo à constante inovação, que busque a eficiência energética e ambiental de maneira continuada.

A obtenção de biodiesel por transesterificação corresponde a três reações consecutivas e reversíveis, nas quais são formados di- e mono-acilglicerídeos como intermediários. Dentre os vários tipos de catalisadores estudados para a reação de transesterificação, os mais tradicionais são as bases e os ácidos de Brønsted, sendo os principais exemplos os hidróxidos e alcóxidos de sódio ou potássio e os ácidos sulfúrico e clorídrico (SUAREZ e COLS., 2007). Mais recentemente, vêm sendo estudados catalisadores sólidos ácidos de Lewis, tais como óxido e óxidos mistos de estanho, zinco e alumínio (MACEDO e COLS., 2006).

A glicerina produzida como coproduto do biodiesel possui alto valor comercial após a sua purificação, podendo ser aproveitada por indústrias de cosméticos e de produtos de limpeza. Os ésteres metílicos ou etílicos produzidos possuem características físico-químicas semelhantes às do diesel convencional, embora sejam compostos de classes distintas, com a vantagem de serem menos poluentes, biodegradáveis, renováveis e não corrosivos. Por possuírem elevadas viscosidade e densidade, não devem ser utilizados diretamente no motor (SUARES e MENEGHETTI, 2007).

PARÂMETROS DE QUALIDADE DO BODIESEL

A Áustria foi o primeiro país a definir e aprovar os padrões de qualidade para biodiesel, aplicados a ésteres metílicos de colza. Subsequentemente, padrões de qualidade foram sendo estabelecidos em outros países e atualmente o padrão de qualidade americano, elaborado pela ASTM (*American Society of Testing and Materials*), através da norma ASTM D6751, e o estabelecido na União Europeia através da norma EN 14214 do Comitê Europeu de Normalização (CEN) figuram como os mais conhecidos e são geralmente usados como referência ou base para outros padrões.

O biodiesel misturado ao diesel fóssil teve início em 2004, em caráter experimental e, entre 2005 e 2007, no teor de 2%, a comercialização passou a ser voluntária. A obrigatoriedade veio no artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo CNPE até o atual percentual de 12% em março de 2020. A Resolução ANP nº 798/2019- altera a Resolução ANP nº 45/2014, que estabelece as especificações de qualidade de biodiesel, para determinar a obrigatoriedade da aditivação do biodiesel com antioxidante e estabelecer novo limite de especificação da característica estabilidade à oxidação (ANP, 2020).

A qualidade do biodiesel pode sofrer variações conforme as estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes ou devido à presença de contaminantes oriundos da matéria prima, do processo de produção ou formados durante a estocagem do biodiesel. As estruturas moleculares dos ésteres podem variar tanto no tamanho da cadeia carbônica, quanto na quantidade e posição de instaurações ou mesmo devido à presença de agrupamentos na cadeia, a exemplo da hidroxila ligada à cadeia carbônica do alquiléster. Contaminantes procedentes da matéria prima, a exemplo do fósforo, enxofre, cálcio e magnésio, podem também ser encontrados no biodiesel. Dependendo da eficiência do processo de produção do biodiesel, podem estar presentes em maior ou menor quantidade: glicerina livre, glicerídeos não reagidos, sabões, álcool residual, resíduos de catalisadores e água. A absorção de umidade e os processos de degradação oxidativa durante o armazenamento do biodiesel contribuem para a presença de água, peróxidos e ácidos carboxílicos de baixa massa molecular. A partir dos métodos analíticos aplicados na avaliação da qualidade do biodiesel podem-se obter informações importantes a respeito da seleção da matéria prima, do processo fabril e do armazenamento, bem como do desempenho do biodiesel como combustível e da qualidade das suas emissões (LÔBO; FERREIRA; DA CRUZ, 2009).

Na Tabela 2 são apresentadas normas e limites para especificação do biodiesel B100.

Tabela 2 - Especificação do biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	METODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1) (2)	-	-	-
			7148	1298	EN ISO 3675
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850 a 900	14065	4052	EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (3)	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx. (13)	mg/kg	24	15995	-	EN12662 (5)
Ponto de fulgor, mín. (4)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín.	% massa	96,5	15764	-	EN 14103 (5)
Cinzas sulfatadas, máx. (6)	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
					EN ISO 20846
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	EN ISO 20884
			15554		EN 14108 (5)
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15555	-	EN 14109 (5)

Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15556	-	EN 14538 (5)
					EN 14107 (5)
Fósforo, máx. (7)	mg/kg	10	15553	4951	EN 16294 (5)
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx. (6)	-	1	14359	130	EN ISO 2160
				613	
Número Cetano (6)	-	Anotar	-	6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.°C		(9)	14747	6371	EN 116
			14448	664	
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	-	-	EN 14104 (5)
			15771		
			15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	-	-	EN 14106 (5)
			15344	6584 (5)	
Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25	15908 (5)	-	EN 14105 (5)
			15344		
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7	15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15342 (5)		
			15344		
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15342 (5)		
			15344		
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110 (5)
Índice de lodo	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (5)
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (11)	hora	6			EN 14112 (5)
		12	-	-	EN 15751 (5)

Fonte: ANP, 2019.

DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO (P), SÓDIO (Na), POTÁSSIO (K), CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg) EM BIODIESEL

O conteúdo de fósforo no biodiesel é proveniente dos fosfolipídios encontrados tanto nos óleos vegetais como na gordura animal. Antes do processo de produção do biodiesel, o óleo ou gordura deverá passar por um pré-tratamento denominado degomagem, para remoção de grande parte dos fosfolipídios. Neste procedimento são removidas também outras impurezas como ceras, substâncias coloidais e íons metálicos, através da lavagem do óleo aquecido com água. A transesterificação de óleo vegetais brutos, ou seja, sem o tratamento prévio de degomagem, resultará na redução do rendimento da reação, bem como na produção de um biodiesel com alto teor de fósforo. Como consequência, as emissões irão conter grande quantidade de materiais particulados que poderão influenciar na operação de conversores catalíticos automotivos. O fósforo é determinado no biodiesel via espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Tanto a norma europeia (EN 14214) como a brasileira (RANP 07/08) recomendam o método analítico EN ISO 14107. A norma brasileira recomenda ainda os métodos NBR 15553 e ASTM D4951. Este último é também indicado na norma americana ASTM D6751. O valor máximo de fósforo no biodiesel aceito nas três normas é de 10 mg kg⁻¹ (LÔBO; FERREIRA; DA CRUZ, 2009).

Além do P, elementos como Na, K, Ca, Mg, também são controlados em biodiesel e os valores de concentração permitidos são de 5,0 mg kg⁻¹ para Na e K, Ca e Mg. O Na e K são provenientes, principalmente, do catalisador empregado (NaOH e KOH). Esses elementos podem estar presentes no biodiesel na forma de sólidos abrasivos ou de surfactantes insolúveis, o que pode contribuir para a corrosão e danos nas partes do motor. Esse resíduo do catalisador é, então, removido através de sucessivas lavagens do biodiesel com água ou solução ácida, durante o processo de purificação (LYRA et al., 2010). Já, o Ca e Mg podem ser incorporados ao biodiesel principalmente através de lavagem com água dura e também podem formar surfactantes insolúveis, o que pode provocar danos ao motor (LYRA et al., 2010).

Segundo a Norma ABNT NBR 15553: 2008, esta norma especifica um método de espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) para detecção dos teores de cálcio, magnésio, sódio e fósforo iguais ou superiores 1 mg/kg e de potássio igual ou superior 2 mg/kg nos ésteres metílicos/etílicos de ácidos graxos, denominados doravante como biodiesel, visando avaliar a qualidade do biodiesel, em termos dos teores de cálcio, magnésio, sódio, fósforo e potássio, cuja presença acima de certas concentrações podem afetar a sua utilização como combustível. Estes elementos podem advir do processo de obtenção do biodiesel e/ou de eventuais

contaminações. Usualmente cálcio e magnésio são oriundos de água de lavagem, sódio e potássio do catalizador e fósforo de fosfolídeos.

Ministro, em 2009, mostrou que métodos de determinação de teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K) e fósforo (P) em biodiesel, por ICP-OES, podem ser eficaz no controle de qualidade do biodiesel, com a vantagem de proporcionar uma análise multi-elementar, refletindo-se numa diminuição do tempo de análise. Uma vez que o biodiesel é uma das principais fontes de energia renovável e alternativa ao diesel convencional, este tipo de análises revela-se extremamente útil para a sua caracterização (MINISTRO, 2009).

Bortoleto e colaboradores em 2013 determinaram nutrientes e elementos potencialmente tóxicos em sementes de *Jatropha curcas*, óleo e biodiesel usando indutivamente espectrometria de massa de plasma acoplado. O trabalho destaca os resultados do primeiro estudo de elementos altamente tóxicos e nutrientes na cadeia produtiva de óleo-semente-biodiesel de *J. curcas* sendo possível gerar informações importantes sobre o uso deste material para produção de biodiesel na presença de contaminantes acima dos limites especificados pela legislação brasileira, é um fato para aumentar mais as pesquisas nesta área. Problemas ambientais e do motor podem surgir por causa da composição elementar deste biodiesel e embora hoje o pinhão manso ou a *Jatropha curcas* se mostre uma boa matéria-prima para a produção de biodiesel considerando que não é planta comestível e permite gerar um incentivo à agricultura familiar em alguns países como a Índia e outros lugares como Malauí, grande investimento na fabricação desta matéria-prima para produção de biodiesel deve ser melhor avaliada (MACIEL et al., 2013).

Narukawa e colaboradores, em 2016, propôs a determinação de elementos metálicos e não metálicos presentes como impurezas no biodiesel, utilizando a Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) e espectrometria de absorção atômica (AAS) após uma extração com HNO₃ aquoso ou hidróxido de tetrametilamônio. Para a determinação foram empregados padrões de calibração aquosos e realizadas medições precisas, que garantiram sua rastreabilidade. O método foi adequado para Na, K, Mg e Ca para uma variedade de tipos de biodiesel, embora não fosse aplicável ao P, que é uma impureza importante nessas amostras. Em resumo, Na, K, Mg, Ca, Al, Cu, Mn, Cd, Ni e V foram determinados em biodiesel usando extração aquosa. Este protocolo também pode ter aplicação a outros protocolos de preparação de amostras para biodiesel (NARUKAWA et al., 2016).

Barela e colaboradores, em 2017, propuseram com o método por MW-AD (Digestão Assitida por Microondas) utilizando ácido nítrico diluído combinado com peróxido de hidrogênio, sendo adequado para a digestão do biodiesel, determinando simultaneamente teores de metais como: Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V e Zn por SF-ICP-MS (Espectrometria de massa

com setor eletromagnético com plasma indutivamente acoplado). Uma solução composta por uma mistura de 7 mol L 1 HNO₃ e 2 mL H₂O₂ mostrou uma alta eficiência de digestão com baixos valores de RCC e acidez residual. A alta massa da amostra (até 700 mg) pode ser digerida sem exceder a pressão máxima de operação (80 bar) do sistema de microondas, combinando bom desempenho para digestão de biodiesel, segurança e rendimento de amostra relativamente alto (até oito amostras podem ser digerido simultaneamente). Portanto, possíveis interferências na etapa de determinação causada por alta concentração de ácido ou alto teor de carbono residual nas soluções resultantes pode ser evitado. Além disso, o uso de ácido nítrico diluído em vez de concentrado o ácido reduz os valores em branco significativamente e foi possível alcançar melhores LODs. Esses fatos são aspectos importantes sobre determinação de oligoelementos em biodiesel (BARELA et al., 2017).

Lourenço e colaboradores, em 2019, apresentaram um método para a determinação de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) desenvolvido com o objetivo de simplificar o preparo da amostra utilizando a microextração líquido-líquido dispersiva em fase reversa (RPDLLME). A metodologia fornece uma análise rápida e fácil quando em comparação com outros protocolos para amostras de biodiesel, que geralmente empregam digestão exaustiva com ácidos concentrados com grandes volumes, uso de instrumentos de alto custo, diluição de solvente (xileno ou querosene) e preparação de soluções de referência para calibração de alto custo (padrões organometálicos). As características que podem ser destacadas como as principais vantagens do método proposto são pouco tempo no preparo da amostra estágio, simplicidade na execução e consumo reduzido de solventes, uma característica desejável para a preparação de amostras e de acordo com os princípios da química analítica verde (LOURENÇO et al., 2019).

Vieira e colaboradores em 2019 mostraram uma emulsão metaestável classificada como uma nanoemulsão (NANO), sendo sugerida como uma nova preparação de procedimento para a determinação de Ca, Mg, Sr e Na em amostras de petróleo bruto por plasma óptico indutivamente acoplado espectrometria de emissão (ICP-OES), com o objetivo de fornecer uma nova alternativa para a determinação de Ca, Mg, Sr e Na, que estão relacionados aos níveis de salinidade, no petróleo bruto amostras, referido como uma nanoemulsão. Foi mostrado ser rápido e facilmente preparado, evitando perda de analito, contaminação e redução o uso de grandes quantidades de solventes orgânicos de alta toxicidade. Além do que, além do mais, a nanoemulsão exibe boa estabilidade, permanecendo consistente por vários dias, limites de detecção adequados e precisão, sendo um viável alternativa para a determinação de Ca, Mg, Sr e Na em análises de rotina de amostras de óleo, estudos futuros usando nanoemulsões devem ser feitos para expandir para

outros analitos que poderiam ser determinados no petróleo bruto usando o procedimento de nanoemulsão (VIEIRA et al., 2019).

Analisando os trabalhos apresentados é possível constatar que a técnica de ICP-OES é a mais indicada para quantificar os diferentes elementos químicos presentes em biodiesel. O que fica evidente é que ainda existem desafios a serem vencidos principalmente com o preparo de amostras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível constatar que a quantificação de elementos químicos em biodiesel é de grande relevância para o controle de qualidade do biocombustível assim como para o entendimento de possíveis consequências que estes podem provocar ao motor e/ou ao meio ambiente.

A técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente é a mais empregada e indicada para a quantificação de elementos químicos de interesse em biodiesel, no entanto, fica evidente que métodos mais precisos e eficientes de preparo da amostra ainda estão em desenvolvimento.

De qualquer forma, a técnica estabelecida pela ANP atende à legislação vigente, mesmo com os métodos tradicionais de preparo de amostras, para quantificação de fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Novos métodos de preparo de amostras devem surgir principalmente se a ANP passar a exigir a quantificação de outros elementos químicos presentes em biodiesel.

REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. Site oficial: <http://www.anp.gov.br>.

ANP, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos/reservas-nacionais-de-petroleo-e-gas-natural/63-dados-estatisticos/789-producao-de-biodiesel>. Acesso em: 08 set. 2020.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. Site oficial: <http://www.anp.gov.br>.

ANP, 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 08 out. 2020.

ANP. Portaria publicada em 2004, com resolução de 2008. Disponível em: http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp. Acesso em: 08 set. 2020.

ANP. *Resolução ANP nº 758*, de 23 de novembro de 2018. Regulamenta a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis de que trata o art. 18 da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e o credenciamento de firmas inspetoras. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 nov. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 08 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15553. Produtos derivados de gorduras e óleos- Ésteres metílicos/etílicos de ácidos graxos- Determinação de teores de cálcio, magnésio, sódio, fósforo e potássio por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICPOES), 2008.

BARELA, P. S., SILVA, N. A., PEREIRA, J. S. F., MARQUES, J. C., RODRIGUES, L. F., MORAES, D. P. Microwave-assisted digestion using diluted nitric acid for further trace elements determination in biodiesel by SF-ICP-MS, Full Length Article, *Fuel* 204 (2017) 85–90.

BIODIESEL. Portal do Biodiesel. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br>. Acesso em nov. 2011.

BIODIESELBR. Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/biodiesel-propriedades-fisicas-quimicas>. Acesso em nov. 2011.

BRASIL. *Lei nº 11.097*, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 08 out. 2020.

BRASIL. *Lei nº 13.263*, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 março. 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 08 out. 2020.

BRUM, A. L. et al. O mercado de biodiesel no Brasil. In: *52º CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER)*. Goiânia - GO, 27 a 30 de julho de 2014, p. 1-16.

CHANG, C. C. e WAN, S. W. China's motor fuels from tung oil. *Ind. Eng. Chem.* v. 39, p. 1543-1548, 1947.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. *Resolução CNPE nº 16*, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Conselho Nacional de Política Energética. Brasília: Diário Oficial da União. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 nov. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 08 out. 2020.

CONAB ALGODÃO. Acompanhamento da Safra Brasileira. CONAB, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 20 out. 2020.

DE QUADROS, D. P. C.; CHAVES, E. S.; SILVA, J. S. A.; TEIXEIRA, L. S. G.; CURTIUS, A. J.; PEREIRA, P. A. P. Contaminantes em Biodiesel e Controle de Qualidade. *Rev. Virtual Quím*, v. 3, p. 376-384, 2011.

EMBRAPA ALGODÃO. *A cultura do algodão*. Disponível em: <http://algodao.cnpa.embrapa.br>. Acesso em 2006.

EMBRAPA SOJA. *Soja em números safra (2019/20)*. Embrapa Soja, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 20 out. 2020.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; DA CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Quím. Nova*, 32, n. 6, 2009.

LOURENCO, E. C.; EYNG, E.; BITTENCOURT, P. R. S.; F. A. DUARTE, F. A.; PICOLOTO, R. S.; FLORES, E.L.M. A simple, rapid and low cost reversed-phase dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of Na, K, Ca and Mg in biodiesel. *Full Length Article Fuel Talanta* 199 (2019) 1–7.

LYRA, F. H.; CARNEIRO, M. T. W. D.; BRANDÃO, G. P.; PESSOA, H. M.; DE CASTRO, E. V. Determination of Na, K, Ca and Mg in biodiesel samples by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) using microemulsion as sample preparation. *Microchem. J.*, 96, 2010. 180-185.

MACEDO, C. C. S.; ABREU, F. R.; TAVARES, A. P.; ALVES, M. B.; ZARA, L. F.; RUBIM J. C. e SUAREZ, P. A. Z.; New heterogeneous metal-oxides based catalyst for vegetable oil transesterification *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 17, p.1291-1296, 2006.

MACIEL, P. B.; DE BARROS, L. L. S.; DUARTE, E. C. M.; HARDER, M. N. C.; BORTOLETO, G. G.; ABREU JR, C. H.; VILLANUEVA, F. C. A. Determination of nutrients and potentially toxic elements in *Jatropha curcas* seeds, oil and biodiesel using inductively coupled plasma mass spectrometry, *Radioanal Nucl Chem* (2013) 297:209–213.

MINISTRO. A. C. P. *Implementação e Validação do Método de Determinação de Metais e Fósforo por ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) em Biodiesel*. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA Área Departamental de Engenharia Química, 2009.

MORETTO, E. e FETI, R. *Tecnologia dos óleos e gorduras vegetais*. Rio de Janeiro: Varela, 1989.

NARUKAWA, T.; NUMATA, M.; KUROIWA, T. *Elemental Analysis of Biodiesel by Inductively Coupled Plasma – Optical Emission and Flame Atomic Absorption Spectrometries*, 2016.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: origem, histórico e propriedades, *Revista Virtual Quim*, Vol 3, No. 5, 385-405, 2011.

RENOVABIO. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/36224/459914/P%26R+-+RenovaBio.pdf/15053f36-eb31-3ed4-04b4-8b0775fc8e82>. Acesso em 08 out. 2020.

SUAREZ, P. A. Z.; e MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*, v. 30, p. 2068-2071, 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R. e WOLF, C. R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. *Química Nova*, v. 30, p. 667-676, 2007.

SLUSZZ.; e MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar, An. 6. *ENC. Energ. Meio Rural* 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.php?pid=MSC0000000022006000100032&script=sciarttex&tlng=pt>.

SHUKLA, P. C.; GUPTA, T.; LABHSETWAR, N. K.; AGARWAL, A. K. Trace metals and ions in particulates emitted by biodiesel fuelled engine, *Full Length Article Fuel* 188 (2017) 603–609.

TOLMASQUIM, M. T. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

VIEIRA, L. V; T. T. B. MARCHEZI, T. T. B.; DE CASTRO, E. V. R.; BRANDÃO, G.P.; CARNEIRO M.T.W.D. Metals determination in crude oil by inductively coupled plasma optical emission spectrometry using nanoemulsification as sample preparation. *Full Length Article Fuel* 244 (2019) 352–358.

1 GONÇALVES, Vinícius Oliveira é discente do curso de Tecnologia em Biocombustíveis pela Fatec Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Viniciusgoncalves5133@gmail.com

2 BORTOLETO, Gisele Gonçalves é Bacharel em Química pelo IQ- UNICAMP (2001), licenciada em Química pela Faculdade de Educação da UNICAMP (2003), mestre em Química Analítica pelo IQ-UNICAMP (2003) e doutora em Ciências pelo IQ-UNICAMP (2007), realizou pós doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA-USP (2007-2008). É professora dos cursos superiores de Tecnologia em Alimentos e em Biocombustíveis da FATEC Piracicaba - Centro Paula Souza desde 2008. Coordena o Laboratório de Cromatografia da unidade, com foco em controle de processos fermentativos para produção de bebidas, biocombustíveis e bioquímicos. Atualmente é membro do Conselho Técnico do Parque Tecnológico de Piracicaba e presidente da Comissão Técnica do CONTEC, membro do Conselho Municipal de Educação e Representante de Curso do Conselho Regional de Química.

Eficiência energética em aterros sanitários: uma breve revisão

SANTANA, Jeferson Santos
GONÇALO, Alexia Sabino
SILVA, Amanda Emilly Barreto
ABREU, Karoline
LIMA, Sara Feu de

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar o uso do biogás gerado nos aterros sanitários, contribuindo para a redução de gases de efeitos estufa na atmosfera, geração de energia limpa (alternativa), bem como os benefícios sociais, econômicos e ambientais decorrentes disso. Deste modo, com o crescimento de aterros sanitários, e a cada ano o número de resíduos descartados é sempre maior, métodos alternativos de reaproveitamento se fazem necessários afim de diminuir os impactos ambientais e sociais. Em contrapartida, o biogás é fundamental para a geração de energia, é um produto com grande disponibilidade atualmente, e encontrado também no processo de decomposição de aterros sanitários, ele é composto principalmente pelo Metano (CH_4) e Gás carbônico (CO_2), entretanto, para uma obtenção bem-sucedida do biogás no aterro, é necessário o controle de diversos fatores bióticos e abióticos que podem influenciar no processo de geração do biogás. Sendo assim, o sistema de captação do gás estruturado é um dos fatores mais importantes, pois é ele que realiza a captação do percolato até o local de tratamento, e os poços de coleta interligados a tubulações são os responsáveis por cumprir o trajeto do produto até ao local de captação e transformação do biogás, onde poderá ser reaproveitado como fonte de energia. No entanto, não há incentivos financeiros suficientes no Brasil para que a geração de energia através do biogás cresça continuamente.

Palavras-chave: Aterro sanitário. Energia limpa. Impacto ambiental. Biogás.

Abstract

This work aims to analyze the use of biogas generated in landfills, contributing to the reduction of greenhouse gases in the atmosphere, generation of clean energy (alternative), as well as the social, economic and environmental benefits resulting from this. Thus, with the growth of landfills, and each year the number of waste disposed of is always greater, alternative methods of reuse are necessary in order to reduce environmental and social impacts. In contrast, biogas is essential for energy generation, it is a product with great availability today, and also found in the process of decomposition of landfills, it is mainly composed of Methane (CH_4) and Carbon dioxide (CO_2), however, in order to obtain biogas successfully at the landfill, it is necessary to control several biotic and abiotic factors that can influence the biogas generation process. Thus, the structured gas capture system is one of the most important factors, since it is the one that captures the percolate to the treatment site, and the collection wells connected to pipes are responsible for fulfilling the product path until to the biogas capture and transformation site, where it can be reused as an energy source. However, there are not enough financial incentives in Brazil for the generation of energy through biogas to grow continuously.

Keywords: Landfill. Clean Energy. Environmental Impact. Biogás.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo analizar el uso del biogás generado en vertederos, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, generación de energía limpia (alternativa), así como los beneficios sociales, económicos y ambientales que se derivan de esto. Así, con el crecimiento de los rellenos sanitarios, y cada año el número de residuos que se eliminan es siempre mayor, son necesarios

métodos alternativos de reutilización para reducir los impactos ambientales y sociales. En cambio, el biogás es fundamental para la generación de energía, es un producto con gran disponibilidad en la actualidad, y también se encuentra en el proceso de descomposición de los vertederos, está compuesto principalmente por Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), sin embargo, para obtener biogás con éxito en el relleno sanitario, es necesario controlar varios factores bióticos y abióticos que pueden influir en el proceso de generación de biogás. Así, el sistema estructurado de captación de gas es uno de los factores más importantes, ya que es el que capta el percolado al sitio de tratamiento, y los pozos de captación conectados a las tuberías son los encargados de cumplir la trayectoria del producto hasta la captación y transformación del biogás. sitio, donde se puede reutilizar como fuente de energía. Sin embargo, no existen suficientes incentivos financieros en Brasil para que la generación de energía a través del biogás crezca continuamente.

Palabras clave: Vertedero. Energía limpia. Impacto ambiental. Biogás.

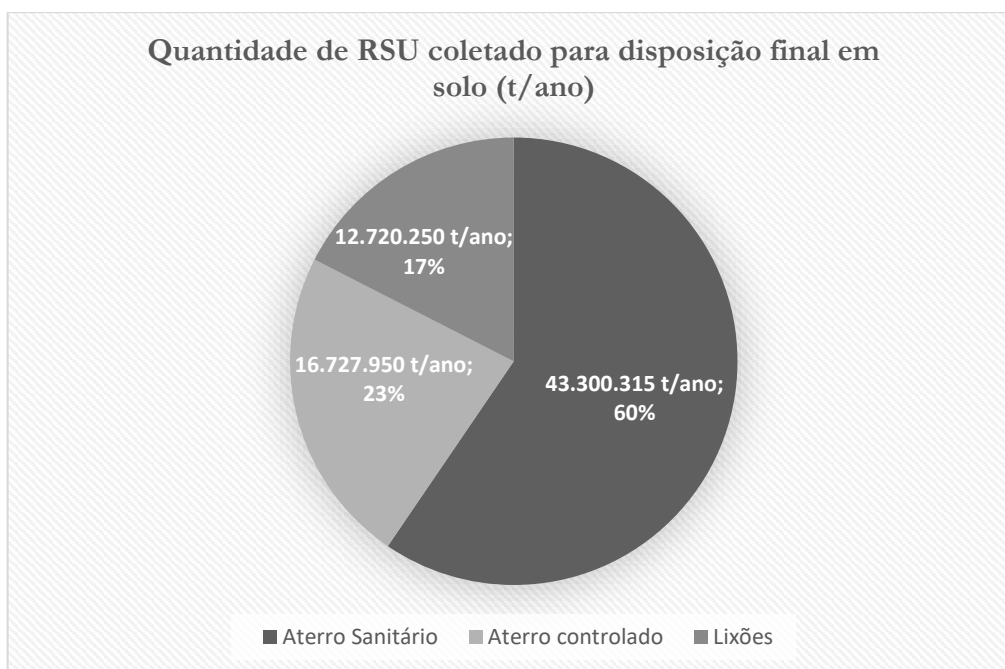
INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos que, ao passar dos anos tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis (SILVA, 2020). Com a destinação correta é possível proteger o meio ambiente e ao mesmo tempo propicia o seu desenvolvimento (FILHO e HUMBERT, 2020).

Muitos dos municípios enfrentam dificuldades para esta destinação correta e os resíduos sólidos gerados são direcionados aos “lixões” como destino final dos mesmos. A partir da instauração da Lei nº 12.305/10 avançou-se no setor direcionando à eliminação desses “lixões”, e sua substituição por sistemas de coleta e tratamento de resíduos ambientalmente adequados, sendo assim, uma das principais alternativas de destinação final para esses resíduos são os chamados aterros sanitários (SOUZA, 2019).

No ano de 2019, verificou-se que 6,3 milhões de ton/ano seguem abandonadas no meio ambiente, com 92% de índice de coleta. Esse acontecimento é devido ao maior consumo e consequentemente ao descarte de matéria, causando maior contaminação das águas, solo, ar e afetando ainda mais a saúde da população que vive no entorno desses locais de descarte a céu aberto (ABRELPE, 2020).

Figura 1: Quantidade de RSU coletados para a disposição final em solo em 2019



Fonte: ABRELPE (2020).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou intervalos menores, se necessário.

Os resíduos direcionados aos aterros são compactados no solo e evitam a contaminação do solo e do lençol freático, eles dispõem das entradas principais as quais são destinadas à resíduos e águas, e as saídas principais que são direcionadas para os gases e chorume (CETESB, 2020). A disposição final desses resíduos tem como subproduto a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico, chamados de biogás. Ele é composto, em sua maioria, por CH₄ e CO₂, os quais são nomeados como Gases de Efeito Estufa (GEE) por serem altamente contribuintes para o aquecimento global, desta forma, a utilização do biogás como fonte renovável de energia é de grande proveito, em razão de ser uma fonte promissora de geração de energia limpa e oferecer a redução dos GEE (FREITAS et al, 2019).

O biogás é uma das possíveis fontes de energia renováveis existentes hoje, podendo ser utilizado para diferentes fins energéticos, e possui grande potencial de eficiência, e retorno de receita como energia, visto que com o significativo crescimento populacional, temos também um sistema de produção e consumo em larga escala, que favorece o índice de resíduos sólidos gerados e levados à aterros (BRASIL, 2015).

Deste modo, o presente estudo tem como objetivo realizar a análise do uso do biogás que são gerados nos aterros sanitários, para possibilitar sua utilização como fonte de energia renovável e limpa, e consequentemente auxiliando na diminuição dos gases de efeito estufa, resultando na diminuição do impacto ao meio ambiente, e trazendo benefícios sociais e econômicos.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico, através de revisões literárias em artigos científicos, livros, monografias e teses, sob as bases eletrônicas dos portais *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e Google acadêmico, como também, o portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), empresa vinculada ao Ministério da Agricultura. Foram consultadas publicações nos períodos de 2016 a 2020, exceto a utilização da NBR 8419 de 1992 e a LEI Nº 12.305 de 2010, sendo que a pesquisa foi efetiva a partir dos seguintes descritores: aterro sanitário; energia limpa; impacto ambiental; e, por fim, biogás. Da mesma forma, temas relevantes foram

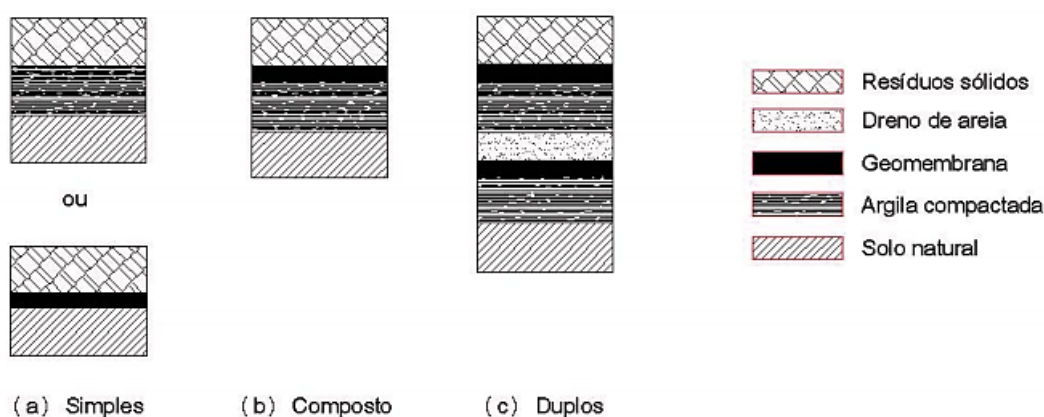
considerados na pesquisa como: produção e coleta de lixo no Brasil, descarte irregular de resíduos, captação de biogás, eficiência energética.

Aterro Sanitário

O aterro sanitário se trata de uma técnica para descarte de resíduos, onde é realizada disposição e compactação dos resíduos no solo, e posteriormente cobertos por uma camada de terra. Para a execução do aterro é necessário a verificação do local de implantação, observando os aspectos técnicos, econômicos, climáticos e ambientais, bem como questões sociais (CETESB, 2020; COLVERO, 2017). Além de solucionar parte dos problemas causados em razão do excesso de lixo gerado, o aterro sanitário tem um menor custo em comparação a outras técnicas, facilidade na operação e contém um plano de monitoramento contínuo (ARAUJO, 2017).

O projeto de um aterro sanitário obrigatoriamente deve conter um sistema de impermeabilização do fundo e das laterais, onde impedirá a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos, essa impermeabilização deve ser efetuada de argila compactada e/ou geomembranas – manta de liga plástica, elástica e flexível – de polietileno de alta densidade, podendo ser simples, contendo somente a geomembrana, composto, com a geomembrana e a argila compactada, ou até mesmo duplo, com duas camadas de argila e geomembranas conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (VIANA et al, 2018; SANTOS e SILVA, 2018 apud REICHERT, 2007).

Figura 2: Sistemas de impermeabilização.



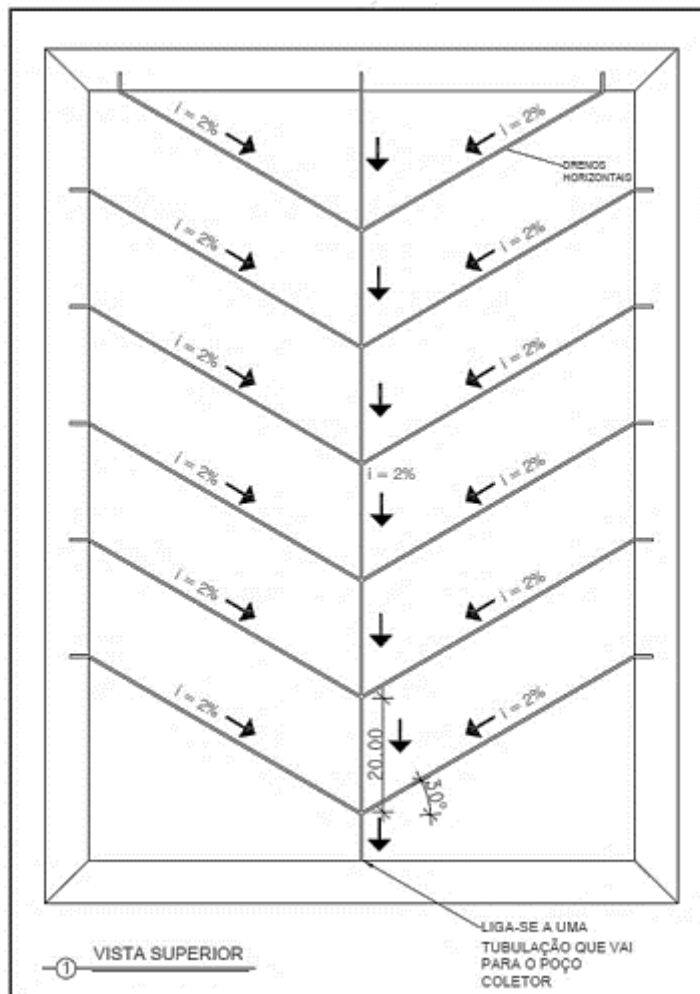
Fonte: SANTOS e SILVA (2018 apud REICHERT, 2007).

Outro ponto obrigatório num aterro, é o sistema de drenagem dos lixiviados/chorumes, os quais sem o devido tratamento podem causar grandes danos nos lençóis freáticos, para isso, não se pode permitir a acumulação dos mesmos, portanto, é preciso uma rede de drenos – tubos

perfurados preenchidos com brita localizados logo acima da camada impermeabilizante e em todos os patamares das células de resíduos – que irão direcionar o lixiviado ao tratamento, normalmente utilizando a disposição em formato de espinha de peixe (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), com inclinação variável (VIANA et al, 2018; GALLI, 2018).

Segundo Galli (2018), a quantidade de chorume é retratada pela percolação em um bloco homogêneo composto por material poroso. A chuva que precipita sobre o aterro pode ser dividida em três partes, onde a primeira parte retorna a atmosfera devido a evaporação e/ou transpiração, a segunda é escoada pela superfície e a terceira se infiltra pelas camadas mais profundas. O fluxo de lixiviado e sua produção no aterro não é totalmente equacionado, assim, seu dimensionamento é baseado em padrões que são internacionalmente aprovados, baseados na lei de Darcy para percolação em meio poroso sendo aplicado a vazão máxima, que deve ser calculada com a partir da precipitação máxima em um determinado tempo de concentração, e um coeficiente de permeabilidade, aplicada no nível de maior área da superfície (SUMI, 2009; ROCHA e CALDEIRA, 2019).

Figura 3: Disposição dos drenos de captação de lixiviados

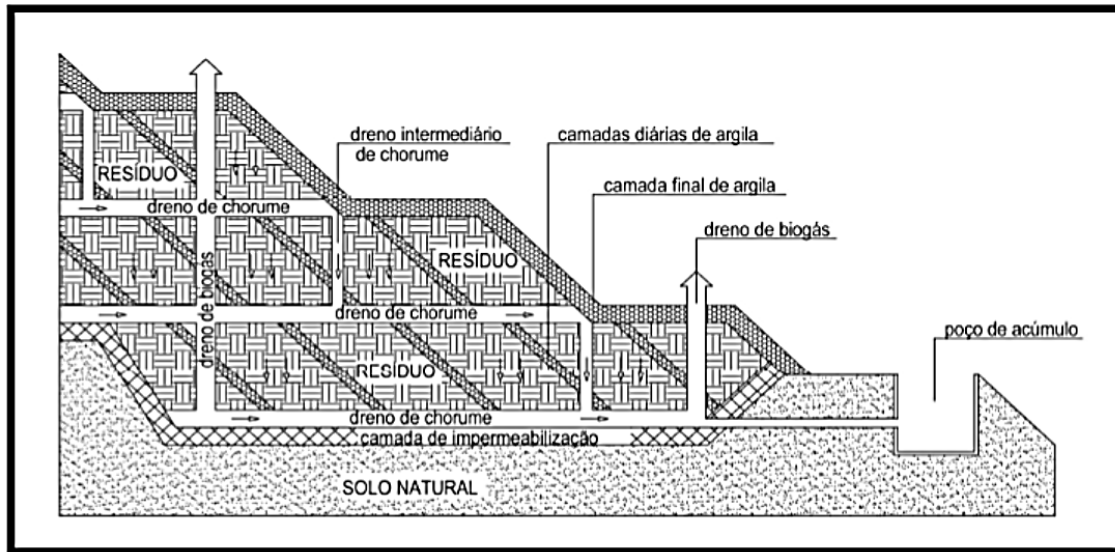


Fonte: VIANA (2020).

Em seguida, o chorume passará pelo sistema de tratamento de lixiviados para atender os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), conforme a Resolução 430/2011, para posterior lançamento, onde poderá ser submetido por tratamentos aeróbios ou anaeróbios e tratamentos físico-químicos, podendo também, o chorume ser removimentado pelo aterro para manter o grau de umidade. Este que funciona como catalisador, necessário no andamento da decomposição dos resíduos, bem como poderá ser enviado para Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) desde que estas suportem o volume (VIANA et al, 2018). O teor de umidade é um dos fatores mais importantes para a produção de biogás, quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção de gás. Em um aterro convencional o teor de umidade muda ao longo do tempo, devido as mudanças na infiltração de águas superficiais que ocorrem nos períodos sazonais de chuva, onde há liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos (PEREIRA, 2018).

No aterro também é necessário um sistema de drenagem dos gases, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, composto por drenos, em sua maioria, tubos verticais perfurados de concreto armado, circundado por brita ou rachão fixados aos tubos por telas metálicas (VIANA et al, 2018).

Figura 4: Modelo de disposição dos drenos de gás e lixiviado em um aterro sanitário



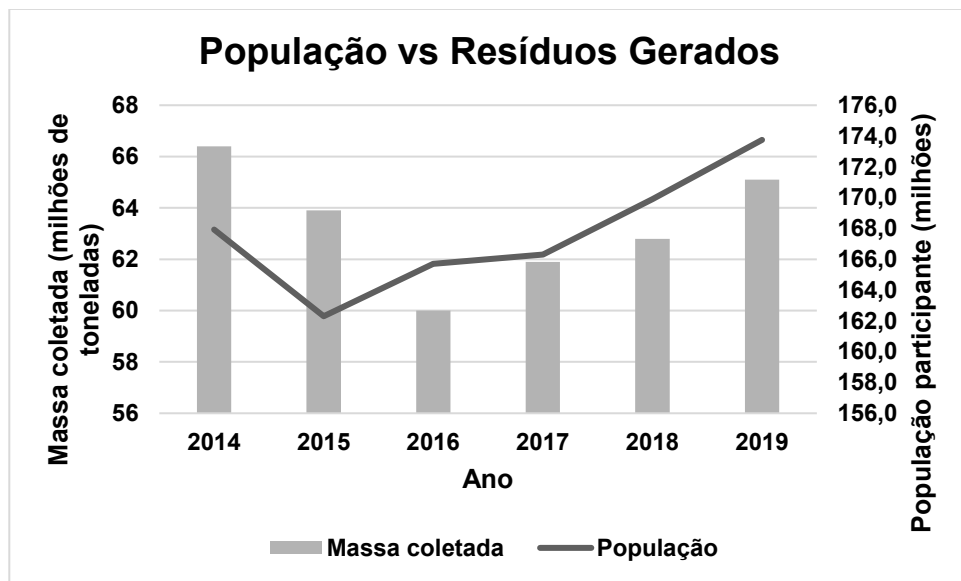
Fonte: GOTARDO (2016 apud QUITUANA, 2010).

Após a disposição dos resíduos, é necessário uma cobertura intermediária e final afim de eliminar a propagação de vetores, diminuir a geração de chorume, reduzir odores e saída em excesso do biogás, onde a cobertura é feita diariamente após o expediente de disposição dos resíduos e ao final da vida útil do aterro. Além desses mecanismos, existem outros segmentos obrigatórios, tais como: impedimento de acesso de pessoas e animais, cinturão verde ao redor do aterro, guarita para controle de entrada e saída, entre outros (VIANA et al, 2018).

De acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), de 2014 a 2019 é notório que a quantidade de resíduos gerados diminuiu em relação a população de cada ano, por exemplo, em 2014 a população participante da coleta de resíduos eram de 167,9 milhões em relação a 66,4 milhões de toneladas de massa coletada, e em 2019 a população de 173,75 milhões descartaram 65,1 milhões de toneladas de resíduos. A causa disso se dá pelas reutilizações e reciclagens dos produtos que já seriam descartados no seu primeiro uso, entretanto, foram reaproveitados, contribuindo positivamente com o meio ambiente. (BRASIL, 2020), outro fator que gera grande impacto neste resultado é a alta da inflação todos os anos se superando, que resulta no aumento dos alimentos, roupas, transporte, aluguel de imóveis, eletrodomésticos e etc., e em

contrapartida não ocorre alterações significativas no salário mínimo da população, que atualmente obteve aumento de R\$12,00, em relação ao ano anterior, e está em R\$1.100,00 (Oliveira, 2020), desta forma o poder aquisitivo da maior parte da população tende sempre a diminuir neste cenário, as pessoas já não podem comprar a mesma quantidade de produtos que compravam antes, com a chegada da pandemia no Brasil, isso foi agravado, visto que a situação de desemprego piorou, e os aumentos da inflação continuaram exorbitantes (FONTANA, 2021).

Figura 5: População participante x Massa coletada



Fonte: BRASIL (2020).

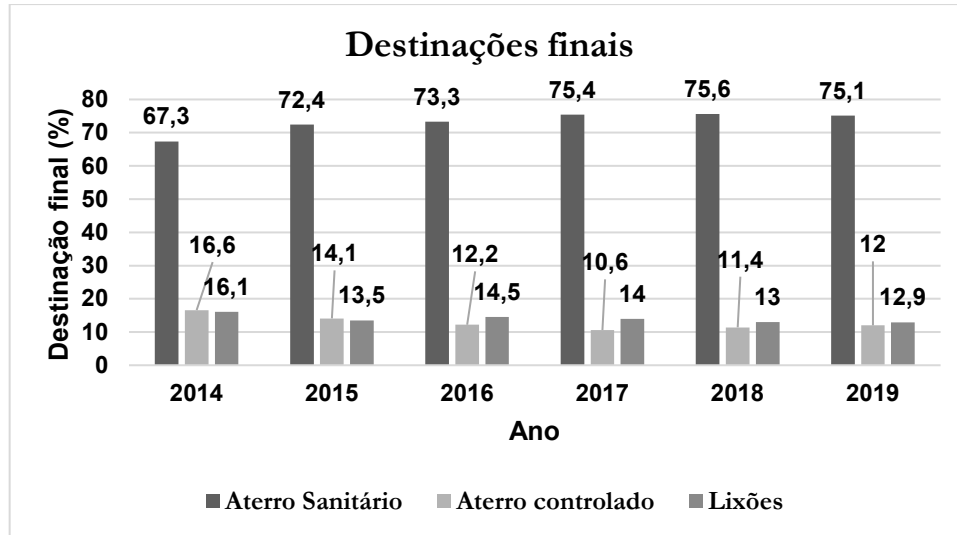
Em um dado mais recente de 2018, segundo a ABRELPE, em 1.600 cidades do Brasil ainda existiam quase 3 mil lixões, sendo que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determinou que em até 2014 fossem eliminados completamente todos lixões e aterros irregulares, no qual essa exigência não foi concedida pela falta de comprometimento dos municípios, com o novo marco do saneamento sendo aprovado, esse prazo foi então postergado, e datas considerando o tamanho da população foram definidos como novo prazo (OLIVEIRA, 2021):

- Capitais e regiões metropolitanas, prazo até 2 de agosto de 2021;
- Cidades com mais de 100 mil habitantes têm até agosto de 2022;
- Cidades entre 50 e 100 mil habitantes têm até 2023

¹ População participante se dá em razão da não participação total da população pois o estudo não abrangeu todos os municípios.

- Municípios com menos de 50 mil habitantes têm até 2024.

Figura 6: Destinação final dos resíduos



Fonte: BRASIL (2020).

Nos gráficos podemos observar o crescimento da população que conseqüentemente acarreta em maior geração de resíduos, com a urbanização em constante evolução, e o consumismo de parte da população que ainda possui grande poder aquisitivo, a geração de resíduos aumenta, entretanto com a falta da melhora da gestão e projetos eficientes de coleta para acompanhar a velocidade desse aumento, temos o declínio da coleta da massa gerada, onde grande parte acaba por ser depositado em lugares impróprios, mesmo com a criação da lei da PNRS em 2010 que já previa a eliminação dos lixões, podemos observar no segundo gráfico também a evolução dessas coletas e que mesmo com o aumento da destinação final para aterro sanitário, o envio para aterro controlado e lixões continuam praticamente constantes ao passar dos anos, pois, conforme já mencionado, não houve a eliminação e permanecem distribuídos pelo Brasil, e como conseqüência da não eliminação desses locais, as práticas de disposições incorretas tendem a aumentar, por isso se faz necessário a criação de projetos que sejam realmente eficazes para a eliminação dos locais inadequados.

Biogás

O biogás é um gás resultante da fermentação anaeróbia (em ausência de oxigênio livre do ar) da matéria orgânica, é composto, em grande parte, variando a porcentagem de acordo com o resíduo depositado, por:

- Metano (CH₄) - 50 a 79%

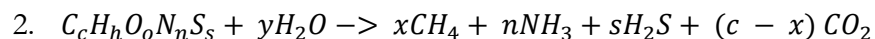
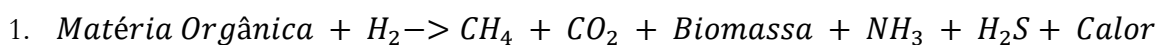
- Gás carbônico (CO₂) - 25 a 50%
- Nitrogênio (N₂) - 0 a 7%
- Hidrogênio (H₂) – 0 a 1%
- Oxigênio (O₂) – 0 a 2%
- Gás sulfídrico (H₂S) – 0 a 3% (CETESB, 2020).

O processo da formação de biogás num aterro sanitário ocorre na segunda etapa da decomposição da matéria orgânica (CETESB, 2020). A primeira etapa é decorrente da decomposição aeróbia de resíduos, e em seguida, ocorre a decomposição anaeróbica onde há redução do gás carbônico presente nos resíduos (FERREIRA et al, 2018).

Para geração do biogás, existem diversos fatores que podem influenciar a fermentação, sendo eles: permeabilidade do solo ao ar, temperatura nas camadas inferiores do aterro, os nutrientes dos resíduos depositados, umidade e substâncias nocivas aos microrganismos (PAINI, 2017).

Através desta fermentação que pode ser realizada em uma lagoa anaeróbia ou em um tanque, ocorre a formação do metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), e matéria orgânica estabilizada (biofertilizantes) devido a presença dos microrganismos e a matéria orgânica e biomassa que são compostas por proteínas, lipídeos e carboidratos. O enxofre fica como resíduo e uma parte do dióxido de carbono (CO₂) que foi produzido se liga a amônia (NH₃) onde resulta em uma composição do biogás de 71% de CH₄ e 29% de CO₂ (ARAUJO, 2017).

A Equação 1, representa a digestão anaeróbia e a Equação 2 representa a formação do biogás:



Captação do Biogás

Produzido em profundidade do solo no aterro devido a decomposição dos resíduos sólidos, gases com características físico-químicas similares ao CO₂ apresentam alta polaridade, sendo grandemente solúveis em água, portanto, acabam por serem migrados para o sistema de drenagem dos lixiviados. Logo, os demais gases com características semelhantes ao CH₄, com densidade inferior ao do ar e apolares, se movimentam em razão da difusão, ou seja, se transportam de uma região concentrada para uma região menos concentrada. Com isso, para a drenagem e coleta do

gás é necessária uma tubulação de esgotamento que conduzirão o gás para um sistema de drenagem, consistido de coleta, transporte e tratamento (MARQUES, 2019).

De acordo com Moreira (2018) a difusão dos gases é representada pela 1º Lei de Fick conforme a equação abaixo:

$$Jg = -De \frac{\partial c}{\partial z}$$

Onde:

Jg : fluxo difusivo de massa do gás ($M.L^{-2}T^{-1}$);

De : coeficiente de difusão do gás ($L^2.T^{-1}$);

c : concentração de gás ($M.L^{-3}$);

z : distância (espessura, altura, etc.) (L);

$\frac{\partial c}{\partial z}$: gradiente de concentração ($M.L^{-4}$).

O deslocamento é mostrado pelo sinal negativo, onde há a locomoção do espaço de maior concentração para o de menor concentração.

Existem diversos modelos de estimativas de geração de gases num aterro sanitário, sendo o modelo mais utilizado o LANDGEM, o mesmo se trata uma ferramenta elaborada pela *United States Environmental Protection Agency* – USEPA (FREITAS, 2019).

O LANDGEM é uma ferramenta utilizada para estimar o fluxo dos gases gerados no aterro, como o metano (CH_4) e o dióxido de Carbono (CO_2), entre outros, que são gerados em menor quantidade no processo de decomposição dos RSU e que também são poluentes atmosféricos. Pode ser considerado um método de controle e medição dos gases gerados no aterro, e sua estimativa é feita através de uma equação de taxa de decomposição de primeira ordem, estimando a quantidade de emissão gerada de acordo com a quantidade de resíduo que foram depositados no aterro de RSU (MACEDO, 2019).

Essa equação é utilizada para estimar a geração de biogás e usa de base todos os resíduos depositados no aterro até um determinado ano, portanto, esse modelo requer o conhecimento do histórico do local, e das quantidades de resíduos que foram depositados ali ao longo dos anos, desde o início do funcionamento do aterro.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=l}^n \sum_{j=0,1}^l k \cdot Lo \cdot \left(\frac{Mi}{10}\right) \cdot e^{-kt_{ij}}$$

Onde:

Q_{CH_4} = geração anual de metano no ano do cálculo (m^3 /ano)

i = incremento de tempo de 1 ano

n = (ano do cálculo) - (ano inicial de aceitação de resíduos)

j = incremento de tempo de 0,1 ano

k = taxa de geração de metano (ano^{-1})

Lo = potencial de geração de metano (m^3 /mg)

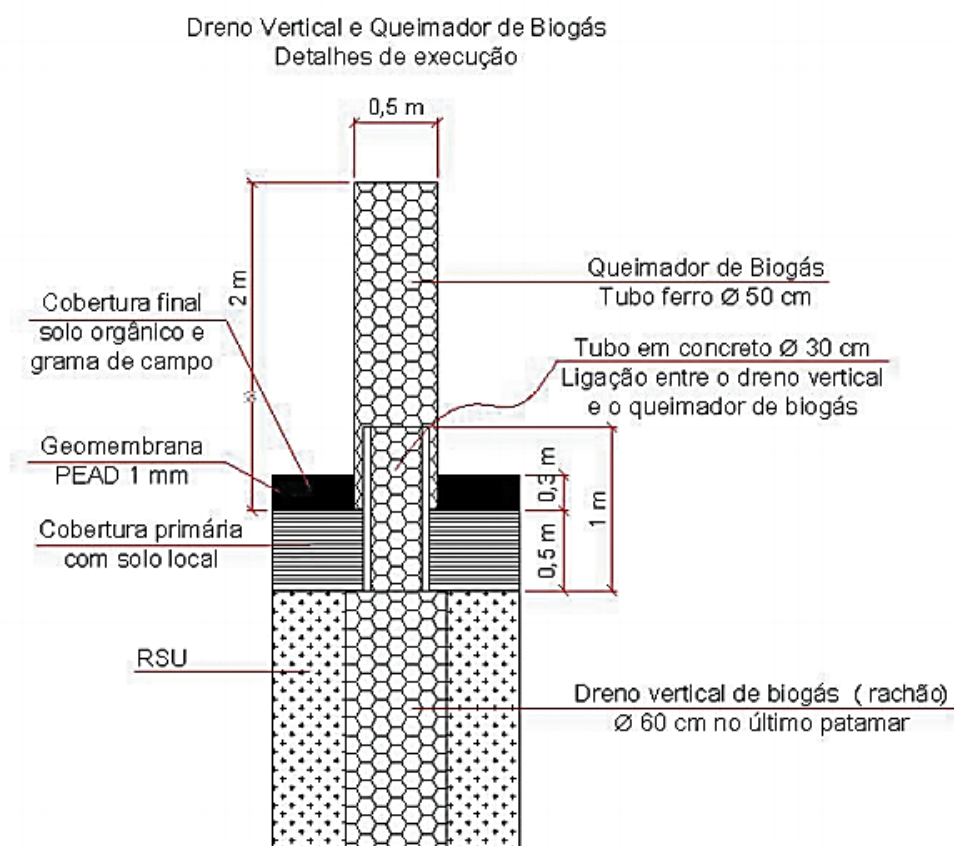
Mi = massa de resíduos aceitos no i -ésimo ano (mg)

ij = idade da j -ésima seção da massa de resíduos Mi aceita no i -ésimo ano (anos decimais, por exemplo, 3,2 anos).

Existem atualmente 2 tipos de instrumentos para a coleta do biogás, poços verticais e valas horizontais, os dois são utilizados para retirada de gases dos aterros, em que os poços verticais são interligados com os drenos horizontais de lixiviados. O diâmetro dos tubos verticais pode variar de acordo com o aterro, sendo a distribuição feita considerando um raio de influência, quanto maior o tubo, menor o raio de influência (SANTOS e SILVA, 2018).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra a estrutura a qual a tubulação de drenagem dos gases deve ter.

Figura 7: Estrutura da tubulação da captação de gases



Fonte: SANTOS e SILVA (2018 apud RSU POMA, 2008).

O sistema de drenagem tem uma grande importância no processo de tratamento dos resíduos, pois permite a coleta e condução do percolato para o devido local possibilitando o reuso para geração de energia e a diminuição dos gases de efeito estufa (NASCIMENTO e CRUZ, 2017).

O objetivo aproveitamento energético do biogás, é convertê-lo em uma forma de energia útil tais como: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade (PINÃS, 2016).

Independente de qual seja a finalidade do biogás produzido no aterro, é necessário que seja projetado um sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e *flare* com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano (PINÃS, 2016).

A captação do biogás se dá logo após ao encerramento de uma célula no aterro com a cobertura final de terra, com isso, os poços de coleta são responsáveis pelo recolhimento do gás e o encaminhamento do mesmo ao sistema de condução, por meio da ligação dos poços ao tubo ligado a uma bomba e a uma casa de regulagem, que irá fazer o controle da quantidade e da qualidade do gás. Já o compressor, puxa o gás dos poços, e também pode comprimir o gás antes

deste entrar no sistema de recuperação energética. O *flare* é um dispositivo para ignição e queima do biogás, podendo ser aberto, o qual não possui câmara de combustão, mantendo sua chama exposta a atmosfera, não sendo altamente eficiente, e pode ser também enclausurado, contendo uma câmara de combustão, de modo que a chama fique protegida de ações externas (SANTANA, 2016; WAGNER, et al, 2017).

Conversão do Biogás

Segundo Silva (2019), a vazão estimada em cada ano é transformada em potência, onde será possível calcular a quantidade de energia elétrica que poderá ser gerada, utilizando o software elaborado pela USEPA.

$$P_{CH_4} = \frac{Q_{CH_4} P_c (\text{metano})}{31.536.000} E_c \frac{k}{1000}$$

Em que:

P_x : Potência disponível a cada ano [kW];

Q_{CH_4} : Vazão de metano a cada ano [$m^3 CH_4$ /ano];

$P_c(\text{metano})$: Poder calorífico do metano [J/ $m^3 CH_4$] sendo igual a 35,53.106;

E_c : Eficiência de coleta de gases [%] sendo sugerido 50%;

31.536.000s = 1 ano;

k : $k=1000$ [adimensional].

Para obtenção dessa estimativa é necessário todo um histórico de dados do aterro em que se quer ter essa informação. Outrossim, a constante de decaimento (k) determina o espaço de tempo de geração do metano a partir da deposição de resíduos. Os valores podem variar de 0,01 ano⁻¹ a 0,09 ano⁻¹, conforme a Tabela 1 (SILVA, 2019).

Tabela 1: Valores sugeridos para k

Precipitação anual (mm)	Relativamente inerte	Decomposição moderada	Decomposição alta
250	0,01	0,02	0,03
250-500	0,01	0,03	0,05
500-1000	0,02	0,05	0,08
1000	0,02	0,06	0,09

Fonte: SILVA (2019 apud WORLD BANK, 2003).

Eficiência Energética

De acordo Dalpaz (2019, apud Silvestre, 2015) o metano apresenta um alto poder calorífico, que pode ser usado em forma de energia. Sendo possível o aproveitamento desse biogás na produção de energia térmica e elétrica, na queima diretamente em fogões, caldeiras e aquecedores e, até, na utilização como combustível após passar por tratamentos para purificação. A energia calorífica tem princípio na queima do biogás, convertendo a energia química do combustível em energia mecânica (KONRAD, 2016; SOUZA, 2016).

Dois tipos de tecnologias são responsáveis pela geração de energia elétrica com a utilização do biogás, sendo elas: motores de combustão interna e microturbinas a gás. O motor de combustão interna adaptado ao biogás atua em quatro etapas: mistura do ar-biogás, compressão no interior dos cilindros, combustão por centelha e emissão dos gases. Já na microturbina a gás, o ar aspirado é forçado para o interior à uma alta velocidade e pressão, se misturando com o biogás para ser queimado na câmara de combustão, e, devido a combustão, os gases quentes movem a turbina que geram energia e podem ser aproveitados para o aquecimento do ar de combustão. Dentre essas duas tecnologias citadas, o motor de combustão interna é mais utilizado visto a maior produtividade elétrica e menor custo em comparação as microturbinas a gás, que necessitam de um capital inicial maior, com alto despesa com operação e manutenção e exigência por um sistema de limpeza do biogás (SANTOS e LIMA, 2016; MONTAGNA, 2016).

Diferentemente da energia eólica, solar e da biomassa proveniente de bagaço de cana-de-açúcar em que há incentivos governamentais, a geração de energia através do biogás não possui incentivos fiscais e financeiros, é considerado inviável tanto no setor público, como no privado, mesmo com as vantagens, o investimento governamental é pouco, fazendo com que esse tipo de energia seja produzido em menor escala. A principal vantagem competitiva desse biocombustível é a isenção do pagamento da taxa de transmissão do fio. O preço pago pela energia gerada por meio da queima do biogás é igual ou minimamente superior ao pago por outras fontes convencionais, por este motivo, ocorre a desmotivação de investidores em aplicar recursos nesse tipo de energia, visto que a mesma se torna mais cara devido à falta de tecnologias acessíveis, fontes de financiamento diferenciadas e, até mesmo, a falta de conhecimento de tal segmento (PEREIRA, 2018).

Aterros Sanitários com Utilização de Biogás para Geração de Energia

A utilização do biogás para geração de energia teve os seus primeiros projetos no início da década de 70, nos Estados Unidos da América (EUA), objetivando uma fonte alternativa de energia em relação ao petróleo e a diminuição e contenção da emissão de metano. Em seguida, a Europa, em alguns países, apresentou projetos para o aproveitamento do biogás em aterros sanitários. Atualmente, o Brasil conta com 22 usinas termelétricas de aterros sanitários em operação, que juntos produzem energia elétrica através do biogás atingindo um potencial outorgado de 180.639,60 kW e potencial fiscalizado de 174.833,1 kW (FIGUEIREDO, 2011 apud ENSINAS, 2003; ANEEL, 2021).

Pode-se destacar os seguintes aterros como grandes projetos positivos que utilizam o biogás para geração de energia, que são o Aterro São João, em São Paulo, Aterro de Caximba, no Paraná, Aterro Salvador, na Bahia, e, por fim, o Aterro Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

O Aterro São João se localiza no município de São Paulo, estrada do Sapopemba, km 33, zona leste. Teve início de suas atividades em 1992 e em 2009 encerrou o recebimento dos resíduos, tendo aterrado aproximadamente 29 milhões de toneladas de RSU. A usina foi implantada pelo consórcio Biogás Energia Ambiental e entrou em operação em 2008, com potência outorgada de 24.640,00 kW, sendo que hoje em dia, tem potência fiscalizada de 21.560,00 kW, que é direcionado ao abastecimento da cidade de São Paulo (TAVARES, 2018; ANEEL, 2021).

Localizado em Salvador, o Aterro Sanitário Metropolitano Centro fica próximo do Aeroporto Internacional de Salvador – Deputado Luís Eduardo Magalhães, na rodovia BA – 526, km 6,5, zona norte. Com início em 1997, o aterro segue até hoje ativo, atendendo aproximadamente 3 milhões de pessoas. A usina termelétrica atua desde dezembro de 2010, tendo tanto sua potência outorgada quanto sua potência fiscalizada o valor de 19.730,00 kW (SANTOS, 2011; ANEEL, 2021).

Conforme Prestes (2019) e ANEEL (2021) o Aterro Sanitário da Caximba está localizado em Curitiba no Paraná. Iniciou suas atividades em 1989 e encerrou elas em 2010 e recebeu resíduos de 14 municípios da região metropolitana. Em janeiro de 2016, a usina iniciou sua operação, e atualmente a potência fiscalizada é de 8.556,00 kW.

Por fim, o Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, iniciou suas atividades em 2003/04, atua até o presente momento e tem capacidade para receber 5 mil toneladas diárias de RSU. A usina de produção de energia através do biogás foi inaugurada em 2019 e tem potência fiscalizada de 16.932,00 kW (ARAÚJO, 2007; ANEEL, 2021; NOVA IGUAÇU, 2019).

Mesmo que sejam de regiões e estados diferentes, a somatória da potência fiscalizada somente desses quatro aterros citados é de 66.778,00 kW em uma hora, ou seja, em um mês é

gerado 48.080,16 MWh. Supondo que uma residência gaste aproximadamente 162 kWh/mês, em um mês, todos esses aterros juntos, podem abastecer aproximadamente 300 mil residências (ARAUJO, 2020; EPE, 2020). A utilização do biogás para geração de energia é de fato extremamente rentável, visto a diminuição da emissão de GEE tanto pelo metano expelido pelo aterro, quanto pela não utilização de outras fontes poluidoras. O atendimento à população do entorno do aterro, que geralmente se trata de uma população mais carente, também é intensamente interessante, pois, dessa forma, se trata de uma resolução a problemas sociais devido à falta e energia elétrica (FIGUEIREDO, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a quantidade de resíduos gerados anualmente pela população brasileira, verifica-se que são emitidas toneladas de GEE todos os anos, gases esses que poderiam ser reaproveitados para geração de energia. Os aterros sanitários crescem em número a cada ano que passa, sendo eles os mais sustentáveis e ecologicamente corretos, em comparação aos “lixões” e aterros controlados, atingindo bem mais que a metade da estimativa de disposição de resíduos sólidos no solo.

Os benefícios da utilização do biogás proveniente dos aterros sanitários para a produção de energia são diversos, podendo sinalizar a ausência de emissão de GEE como um deles, e com a geração de biogás, diminui o consumo de combustíveis fósseis, fazendo com que haja uma redução na dependência de uma única fonte de energia, conseqüentemente minimizando o impacto negativo ao meio ambiente.

Ainda que o Brasil seja um dos principais criadores de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) há poucos investimentos no país, tanto em incentivos como campanhas e fomentos, deste modo, não há atratividade no aproveitamento do biogás no aterro sanitário.

Desta forma, pode-se dizer que, o processo de decomposição de resíduos em aterros para o aproveitamento energético é necessário e ambientalmente adequado, todavia, a geração de energia através do biogás ainda é inviável devido aos poucos incentivos governamentais.

O que também pode ser observado, é que com o uso do biogás, diminui o uso de outros meios de fonte de energia poluentes que utilizam recursos naturais finitos, ou seja, que não sejam fontes energia limpa.

Além disso, como citado anteriormente, já existem 22 aterros termelétricas de aterros sanitários operando e produzindo energia elétrica através do biogás, com grandes potenciais. O

país tem espaço para maior desenvolvimento dessa tecnologia e pode se tornar uma grande referência mundial.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas (1992). *NBR 8419:1992*. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro.

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil* – 2017. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2018. Disponível em: https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

ANEEL. *Matriz por fonte e combustível final*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 08 mai. 2021.

ARAÚJO, A. S. *Aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ): Uma estratégia para a gestão dos resíduos sólidos na baixada fluminense*. Iniciação Científica PUC – Departamento de geografia, p. 1-2, 2007. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2007/resumos/GEO/adelia_santos.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

ARAÚJO, E. *Consórcio solar de 1 MW em Minas Gerais vai atender 50 empresas*. [03 de julho de 2020]. São Paulo: Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/consorcio-solar-de-1-mw-em-minas-gerais-vai-atender-50-empresas/>. Acesso em: 10 mai. 2021.

ARAÚJO, P. S. *Análise do Desempenho de um Solo Compactado Utilizado na Camada de Cobertura de um Aterro Sanitário*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BRASIL. *Lei nº 12.305*, de 02 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=L12305&text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 11 set. 2020.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético de biogás no Brasil* – Probiogás. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-guia-etes.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento*. Painel de informações sobre o saneamento: manejos dos resíduos sólidos urbanos. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 15 mai. 2021.

CETESB. *Biogás*, Definição, 2020. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/biogas/#:~:text=Contudo%2C%20em%20linhas%20gerais%2C%20o,mistura%20gasosa%20composta%20principalmente%20por%3A&text=Metano%20\(CH4\)%3A%2050,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20produzido.&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20\(g%C3%A1s%20carb%C3%B4nico,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20prod](https://cetesb.sp.gov.br/biogas/#:~:text=Contudo%2C%20em%20linhas%20gerais%2C%20o,mistura%20gasosa%20composta%20principalmente%20por%3A&text=Metano%20(CH4)%3A%2050,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20produzido.&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20(g%C3%A1s%20carb%C3%B4nico,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20prod). Acesso em: 12/05/2021.

COLVERO, D. A. et al. *Aterro Sanitário de Goiânia: Uma Identidade Territorial e a Vulnerabilidade e Exclusão Social da População do seu Entorno*. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 2, p. 03-20, jul./dez. 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Aterro Sanitário. Coletânea de textos da Cetesb. Não publicado. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/aterro-sanitario/>. Acesso em: 10 set. 2020.

DALPAZ, R. *Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica*. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Ambientais Sustentáveis) – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <https://univates.com.br/bdu/bitstream/10737/2517/1/2019RicardoDalpaz.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

EPE. *Resenha mensal do mercado de energia elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf. Acesso em: 10 mai. 2021.

FERREIRA, H. G. R.; PEDROSO, G. M.; ALVES, R. G.; CAHLI, G. M.; MELLO, S. C. R. P. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): uma análise do setor energético em ascensão com base no impacto ambiental e na qualidade de vida, 2018. *Formação* (Online), v. 27, n.51, p. 65-83, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/6794/5769>. Acesso em: 26 nov. 2020.

FIGUEIREDO, N. J. V. *Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – estudo de caso*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de pós-graduação em energia, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-092549/publico/NatalieFigueiredo.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2021.

FREITAS, L. C. F. et al. Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas – SP. *Pesquisa, sociedade e desenvolvimento*, v. 08, n. 06, mar. 2019. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/788>. Acesso em: 11 set. 2020.

FONTANA, Guilherme. et al. *G1 mostra a queda do poder de compra de R\$ 200 em um ano – G1*, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/03/25/g1-mostra-a-queda-do-poder-de-compra-de-r-200-em-um-ano.ghtml>. Acesso em: 10 maio 2021.

GALLI, D. P. *Sistema de captação de chorume em aterro sanitário*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo Grande. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/02/PAULA-DIAS-GALLI.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

GOTARDO, O. C. *Avaliação da influência do tempo de aterramento dos resíduos domiciliares com a vazão e a composição dos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro – SP*. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

HUMBERT, G. L. H.; FILHO, F. K. A parceria pública privada (PPP) na gestão e destinação final de resíduos sólidos: alternativa juridicamente válida, eficiente e sustentável. *Fórum de Contratação e Gestão Pública*, Belo Horizonte, ano 19, n. 219, p. 24-35, mar. 2020.

KONRAD, O. et al. *Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano*. Lajeado: Ed. da Univates, 2016. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/176/pdf_176.pdf. Acesso em: 12 nov. 2020.

MACEDO, M. B. P. *Avaliação do potencial de geração de biogás no aterro controlado do jôquei clube de Brasília/DF*. 2019. Tese de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: https://www.bdm.unb.br/bitstream/10483/22675/1/2019_MariaBeatrizDePaulaMacedo_tcc.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

MARQUÊS, M. S. *Qualidade ambiental e estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido pelo aterro sanitário de Palmas – TO*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Campus universitário de Palmas, Universidade Federal do Tocantins, Palmas. Disponível em: <http://200.129.179.47/bitstream/11612/1059/1/Marcel%20Sousa%20Marques%20-%20Disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

MONTAGNA, B. T. Biogás oriundo de aterro sanitário como fonte alternativa e renovável de energia. *Revista técnico-científica do CREA-PR*, 4º ed., jun. 2016. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/85>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MOREIRA, F. G. S. *Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de tecnologia e recursos naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/1593/FRANCISCO%20GLERSON%20DOS%20SANTOS%20MOREIRA%20-%20e2%80%93%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20-%2028PPGEEI%29%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NASCIMENTO, C. M. T.; CRUZ, M. L. B. Resíduos sólidos: presença e ameaça no espaço geográfico. *GeoTextos*, v. 13, n. 2, p. 183-206, dez. 2017. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/24581/15461>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NETO, F. G.; GELINSKI, C. R. O. G.; JUNIOR, E. G. *A contribuição catarinense para a redução de gases de efeito estufa: lei do biogás*. *Revista catarinense de economia*, v. 3, n. 1, p. 56-73, 2019. Disponível em: <http://www.apec.pro.br/rce/index.php/rce/article/view/60/42>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NOVA IGUAÇU, *Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu inaugura usina de produção de energia do lixo*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.novaiguacu.rj.gov.br/semadetur/2019/08/22/nova-iguacu-inaugura-usina-de-producao-de-energia-do-lixo/>. Acesso em: 08 mai. 2021.

PAINI, V. *Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies*. 2017. Tese de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <https://univates.br/bdu/bitstream/10737/1914/1/VINICIUS%20PAINI.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

OLIVEIRA, Kainã et al. Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios. *Jornal da USP*, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/#:~:text=A%20principal%20mudan%C3%A7a%20feita%20pelo,de%202022%20co mo%20prazo%20final>. Acesso em: 10 maio 2021.

OLIVEIRA, Kelly. *Salário mínimo passa a valer R\$ 1,1 mil a partir desta sexta-feira*. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-01/salario-minimo-passa-valer-r-1100-partir-desta-sexta-feira#:~:text=Sal%C3%A1rio%20m%C3%ADnimo%20passa%20a%20valer,desta%20sexta%20Dfeira%20%7C%20Ag%C3%Aancia%20Brasil>. Acesso em: 10 maio 2021.

PEREIRA, C. S. *Análise de viabilidade econômica na utilização de biogás para geração de energia e obtenção de créditos de carbono em um aterro sanitário do estado de Rondônia*. 2018. Tese de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Cacol. Disponível em: <https://ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2356/1/CAIQUE%20SANTANA.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2020

PINÃS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *R. Bras. Est. Pop.*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 175-188, jan./abr. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbepop/v33n1/0102-3098-rbepop-33-01-0175.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

PRESTES, J. G. *Avaliação da Eficácia do Tratamento do lixiviado produzido no aterro sanitário da Caximba usando indicadores biológicos de *Diplodon parodizi* e *Corbicula fluminea**. 2019. Dissertação (Especialização em Ecologia e Conservação) – Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/61879/R%20-%20D%20-%20JULIANI%20GISELLI%20PRESTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 mai. 2021.

ROCHA, C. P.; CALDEIRA, M. V. M. Avaliação da sustentabilidade do processo construtivo dos aterros sanitários no estado do Tocantins. *Semana acadêmica – Revista científica*, 2019. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_avaliacao_na_sustentabilidade_da_construcao_de_aterros.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

SANTANA, M. S. A. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos do futuro aterro sanitário sediado no município de Arapiraca/AL*. 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. Disponível em: <http://200.17.114.109/bitstream/riufal/5331/1/Aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20dos%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20do%20futuro%20aterro%20sanit%C3%A1rio%20sediado%20no%20munic%C3%ADpio%20de%20ArapiracaAL.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SANTOS, A. C. *Geração de metano devido à digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso do aterro sanitário metropolitano centro, Salvador – BA*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/10079/1/Atila.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2021.

SANTOS, A. P.; SILVA, E. A. *Análise e dimensionamento para implantação de um aterro sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesópolis e São Francisco de Goiás*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Unievangélica, Anápolis. Disponível em: http://45.4.96.19/bitstream/aee/813/1/20182_TCC_Adrielle%20e%20Eliane.pdf. Acesso em: 23 set. 2020.

SANTOS, R. B.; LIMA, A. K. C. Análise comparativa do biogás: processo em biodigestores e de aterro sanitário. *Revista Eletrônica de Energia*, v. 6, n. 1, p. 48-57, jan./dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/viewFile/4285/3062>. Acesso em: 12 nov. 2020.

SILVA, A. L. F. *Potencial de aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário metropolitano de Natal*. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro de tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, G. et al. Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos de um município de pequeno porte mediante os critérios técnicos e ambientais. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S.l.], v. 08, n. 61, 2020. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/articloe/viewFile/2414/2239. Acesso em: 19 nov. 2020.

SOUZA, D. T. et al. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e lodo de fossa séptica com emprego de geobag: estudo de laboratório e de campo. *Eng. San. Amb.*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1127-1137, nov./dez. 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000601127&lang=pt. Acesso em: 10 set. 2020.

SOUZA, S. N. M. *Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural*. Cascavel, Paraná: Unioeste, 2016.

SUMI, E. M. *Estudo hidrogeológico de um aterro sanitário instalado em uma antiga área de disposição irregular de resíduos sólidos*. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-08092009-142956/publico/EMS.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2021.

TAVARES, R. O. *Estudo do potencial energético nos aterros sanitários do Brasil*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7213/1/CP_COELT_2018_2_23.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

OLIVEIRA, Kaynã et al. *Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios*. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/#:~:text=A%20principal%20mudan%C3%A7a%20feita%20pelo,de%202022%20com%20prazo%20final>.

VIANA, F. L. et al. Proposta de pré-projeto de dimensionamento de aterro sanitário para o município de Esperantinópolis – MA. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 06, n. 03, p. 11862-11891, mar. 2020.

VIANA, J. A. R. et al. *Manual de fiscalização de aterros sanitários*. Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH (Org.), Pernambuco, 2018. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Manual_de_Fiscalizacao_de%20aterros_sanitarios_CPRH.pdf;4901;20181011.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

WAGNER, L. G. et al. *Avaliação da eficiência da queima de biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um queimador enclausurado*. In: Congresso ABES, 2017, São Paulo. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/09/biogas-ratamento-esgoto-queimador-enclausulado.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

1 SANTANA, Jeferson Santos. E-mail: jeffquimico@gmail.com;

2 GONÇALO, Alexia Sabino. E-mail: alexiasabino@hotmail.com;

3 SILVA, Amanda Emilly Barreto. E-mail: amanda.emillybs@gmail.com;

4 ABREU, Karoline. E-mail: karool.abreeu@hotmail.com;

5 LIMA, Sara Feu de. E-mail: sara.feu@hotmail.com

Projeto, construção e funcionamento de um fermentador-destilador: Fermentexpress

DIAS, Gustavo Daniel Da Silva
MARQUES, Tadeu Alcides

Resumo

O projeto “Fermentexpress” consistiu na concepção e elaboração de um dispositivo que visou acelerar a produção de bebidas destiladas, após a fermentação das leveduras, obtendo resultados mais rápidos e proporcionando a produção caseira de bebidas finas e variadas em sabor, cor e características organolépticas. O equipamento visou acelerar a fermentação biológica (levedura) para a fabricação de bebidas alcoólicas. Após concluído o processo de fermentação, o mesmo equipamento executou o processo de destilação de baixo teor alcoólico. O aparelho apresentou-se como inovação de mercado de bebidas, de forma a possibilitar uma ruptura na forma tradicional de produção e abriu um novo nicho de mercado com vendas de sachês de diferentes características organolépticas. O princípio do equipamento proporcionou a produção de bebidas fermentadas e destiladas em casa ou em pequenos estabelecimentos, de forma automática, semelhante a máquinas de café expresso. É possível a venda do fermentador-destilador e principalmente dos sachês produzidos. O projeto foi desenvolvido nas dependências da FATEC-Piracicaba a partir de matérias-primas e reagentes fornecidos pela própria instituição e adquiridos pelos pesquisadores. Ao final do projeto, foram realizados os testes de confirmação do funcionamento deste protótipo. Algumas melhorias em sua aparência e na praticidade de funcionamento, como a inserção e formato dos sachês podem ser executadas para um produto mínimo viável (MVP) comercial.

Palavras-chave: Bebidas, Fermentação, Destilação, Expresso.

Abstract

The “Ferment express” project consisted of the conception and elaboration of a device that aimed to accelerate the production of distilled beverages, after fermentation of the yeasts, obtaining faster results and providing the homemade production of fine and varied drinks in flavor, color and organoleptic characteristics. The equipment aimed to accelerate biological fermentation (yeast) for the manufacture of alcoholic beverages. After the fermentation process was completed, the same equipment carried out the low alcohol distillation process. The device presented itself as a beverage market innovation, in order to allow a break in the traditional way of production and opened a new market niche with sales of sachets with different organoleptic characteristics. The principle of the equipment enabled the production of fermented and distilled beverages at home or in small establishments, automatically, similar to espresso machines. It is possible to sell the fermentor-distiller and mainly the sachets produced. The project was developed on the premises of FATEC-Piracicaba using raw materials and reagents supplied by the institution itself and acquired by the researchers. At the end of the project, tests to confirm the functioning of this prototype were carried out. Some improvements in its appearance and practicality of operation, such as the insertion and format of sachets. can be performed for a commercial minimum viable product (MVP).

Keywords: Drinks, Fermentation and Distillation.

Resumen

El proyecto “Fermentexpress” consistió en la concepción y elaboración de un dispositivo que tenía como objetivo acelerar la producción de bebidas destiladas, luego de la fermentación de las leveduras, obteniendo

resultados más rápidos y proporcionando la producción casera de bebidas finas y variadas en sabor, color y características organolépticas. El equipo tenía como objetivo acelerar la fermentación biológica (levadura) para la fabricación de bebidas alcohólicas. Una vez finalizado el proceso de fermentación, el mismo equipo llevó a cabo el proceso de destilación de bajo contenido alcohólico. El dispositivo se presentó como una innovación del mercado de bebidas, con el fin de permitir una ruptura con la forma tradicional de producción y abrió un nuevo nicho de mercado con ventas de sobres con diferentes características organolépticas. El principio del equipo permitió la producción de bebidas fermentadas y destiladas en el hogar o en pequeños establecimientos, de forma automática, similar a las máquinas de café espresso. Es posible vender el fermentador-destilador y principalmente los sobres producidos. El proyecto se desarrolló en las instalaciones de FATEC-Piracicaba utilizando materias primas y reactivos suministrados por la propia institución y adquiridos por los investigadores. Al final del proyecto se realizaron pruebas para confirmar el funcionamiento de este prototipo. Algunas mejoras en su apariencia y practicidad de funcionamiento, como la inserción y formato de sobres, se puede realizar para un producto comercial mínimo viable (MVP).

Palabras claves: Bebidas, Fermentación y Destilación.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o processo fermentativo utilizado é com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como inóculo ou pé de cuba, devidamente adicionado com um líquido açucarado (mosto) (ALCARDE, 2006). Este processo é intrigante e nas tentativas de melhor compreendê-lo muitos pesquisadores conseguiram importantes avanços tecnológicos, os quais ajudaram no melhor conhecimento da natureza deste processo e assim poder otimizar e utilizar de seus benefícios, como no caso da produção de bebidas alcoólicas (AMORIM, 2005).

A fermentação é um termo geral que denota a degradação anaeróbia da glicose ou de outros nutrientes orgânicos em vários produtos. O objetivo dos agentes fermentativos é obter energia na forma de ATP (LEHNINGER, NELSON & COX, 2002). Este processo depende dos microrganismos (bactérias, fungos e leveduras), da composição do meio, como teores de umidade ou atividade de água onde são colocados (SCHMIDELL, 1986), usando mecanismos físicos ou químicos para a formação do produto desejado (COONEY, 1981).

As leveduras utilizam tanto a respiração como a fermentação para prover a energia necessária para o metabolismo (GAVA, 1984). A fermentação ocorre quando a levedura não contempla a organela mitocôndria, em seu interior. Dessa forma passam a empregar unicamente o mecanismo de fermentação, esta ausência pode ocorrer por alguns fatores, sendo que a concentração elevada de açúcar no meio (acima de 0,3%) e as leveduras capturando estes açúcares para seu citoplasma promove a inibição de enzimas que produzem a mitocôndria (LCAZ, MINANI & PURCHIO, 1970). Sem as leveduras seria difícil fazer pão e promover o crescimento das civilizações humanas, pois bebidas alcoólicas estiveram sempre presentes nas diferentes civilizações (GAVA, 1984).

O aparelho “Fermentexpress” é um produto minimamente viável, elaborado nas instalações da FATEC PIRACICABA. O objetivo do artigo foi o desenvolvimento de um equipamento que possa promover uma ruptura no modo de produção e comercialização de bebidas fermento-destilladas. Para tanto, alterações no tempo de fermentação e processo de destilação foi necessário além de um estudo no *design* do “Fermentexpress” para facilitar o seu transporte.

1. REVISÃO DE LITERATURA

Leveduras

As leveduras são encontradas na natureza e algumas delas realizam o processo de fermentação para muitas bebidas comerciais (TRABULSI, ALTERTHUM & GOMPERTZ, 1999), (LACAZ, PORTO & MARTINS, 1991).

As leveduras são encontradas na natureza e são essenciais na degradação e reciclagem da matéria orgânica, contudo não possuem movimentação, logo o contato microrganismo com o substrato, fator necessário para a ocorrência do processo fermentativo deve ser inicialmente artificial, e durante a fermentação tumultuosa também pode auxiliar (BROOKS, VOEUX & BUTEL, 2000). Os mesmos autores relatam que os produtos oriundos do processo fermentativo, principalmente etanol e gás carbônico, podem diminuir a velocidade da fermentação.

Importância do Monitoramento Microbiológico no Processo Fermentativo

A preocupação com a melhoria da eficiência do processo de fermentação é de grande importância, seja nas unidades produtoras de etanol, sejam nas unidades produtoras de bebidas. Fermentações lentas podem promover o crescimento de bactérias que levam a diminuição da produtividade e da eficiência, podendo também alterar as características organolépticas, no caso de bebidas (ALCOOLBRÁS, 2010), (CECCATO-ANTONINI, 1998).

A fermentação realiza-se em três fases distintas: pré-fermentação ou preliminar, fermentação principal e pós-fermentação ou complementar. A pré-fermentação inicia-se quando o fermento (leveduras) é adicionado ao mosto devidamente preparado e caracteriza-se por ativar a multiplicação das células e elevação lenta e gradual da temperatura do meio. Essa fase pode ser reduzida se forem utilizadas quantidades ideais de levedura de qualidade no início da fermentação. A fase de fermentação principal deve ocorrer nas faixas ideais de concentração de células, pH, temperatura e concentrações de substrato. Nessa fase deve-se controlar adequadamente a temperatura e a produção de espuma, que podem acarretar situação indesejada para o bom desempenho das leveduras. A fase de pós fermentação também pode ser reduzida, caso seja interessante a presença de pequenas quantias de açúcar no vinho final (AMORIM, 2005).

Ao término do processo fermentativo, o vinho é então centrifugado, retirando-se as leveduras (leite ou creme de leveduras), as quais são tratadas com água e ácido sulfúrico (H₂SO₄) para o ajuste do pH, retornando às dornas para outro ciclo fermentativo. O tratamento ácido tem como objetivo, a redução da carga bacteriana (GALLO & CANHOS, 1991).

Processo de fermentação alcoólica predominante no Brasil é o de batelada alimentada, sendo computado para o tempo total de fermentação o período de enchimento das dornas. O reciclo das leveduras pode promover morte das células devido toxinas acumularem-se no meio e ainda proporcionar crescimento de bactérias contaminantes (BOVI & MARQUES, 1983) e (ALTHERTUM et al., 1984).

As fermentações alcoólicas no Brasil são robustas para a produção de etanol combustível, mas para etanol potável muitas melhoras necessitam ser criadas (AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS, 2010).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração inicial do equipamento ocorreu em pranchetas de desenho e com o estudo de movimentações de líquido em estado de turbulências, bem como o estudo da possibilidade de um único equipamento contemplar as necessidades de um produzir fermentado e atuar como destilador.

2.1. Material

Cilindro acrílico de 48cm Largura x 45,5 cm2 Altura,1 Base de plástico 18 cm2,1 Cotovelo de PVC,1 Registro PVC,1 Cano de PVC 12,5 cm, 2 Anéis de PVC, 4 Arames de aço, esquema na Figura 1 e imagem na Figura 2.

2.2. Métodos

a) Montagem

Após a primeira montagem e realização dos testes iniciais foram constatadas necessidades de mudanças no *design* do equipamento e novas peças foram adquiridas e moldadas neste novo desenho. As principais mudanças abordaram as seguintes dimensões: formato, vedação do compartimento de fermento e açúcar e adequação da tampa do recipiente fermentativo - destilado.

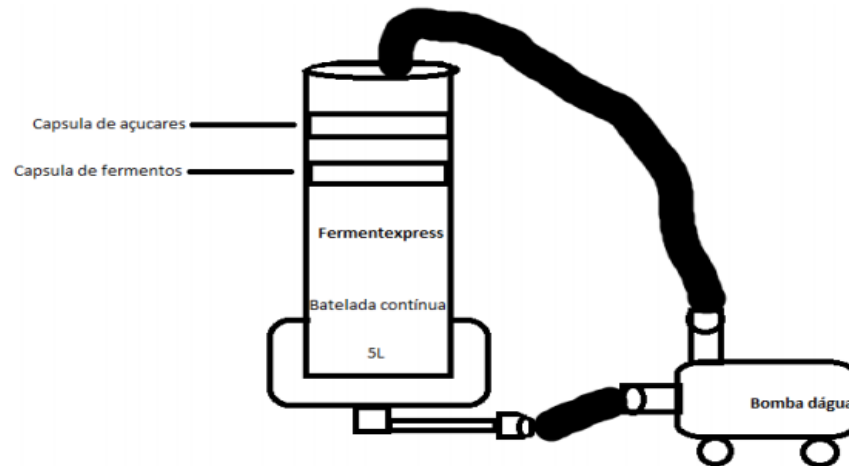
Para a montagem utilizou-se os seguintes materiais:

b) Funcionamento do Fermentador

Ao misturar água com o conteúdo dos sachês (levedura e açúcar), promove-se a fermentação. A movimentação do líquido inicia-se através da mangueira localizada na parte de inferior do equipamento, que faz a retirada do mosto fermentado e o leva até a bomba de circulação. Posteriormente, o líquido passa por outra mangueira que irá fazer o retorno ao equipamento, proporcionando inicialmente a dissolução dos conteúdos dos sachês e

posteriormente a agitação do líquido em fermentação promove a aceleração da retirada dos gases produzidos e permite maior possibilidade de contato entre levedura e substrato, acelerando o processo fermentativo (Figura 1), (Figura 2).

Figura 1 – Esquema de montagem do Fermentexpress



Fonte: Autor.

c) Plano de operação

Etapa de fermentação: Adiciona-se água pura no fermentador, sachê com açúcar e aromas de interesse (no compartimento adequado) e sachê com microrganismo liofilizado (no compartimento adequado). Aciona-se a bomba de recirculação do líquido contido no fermentador. No início o líquido em movimentação é constituído de água pura, no entanto esta água transpassa os dois sachês, sendo que um contém açúcar e aromas de interesse e o segundo contém a levedura desejada liofilizada. Durante esta etapa, de fermentação alcoólica, o líquido contido no interior do fermentador (Fermentexpress) é reciclado através de bombeamento. A vazão da bomba é calculada de forma que o tempo necessário para drenar conteúdo total do fermentador, seja considerado como um Reciclo (R). Após vinte (R) os sachês com microrganismos (leveduras) e com substratos (açúcar) ficam descarregados. Este procedimento ocorre com o equipamento assentado sobre uma célula de carga, para determinar a variação de massa, a qual ocorre devido a liberação de gás carbônico oriundo da fermentação alcoólica, principalmente. O bombeamento com agitação para dissolver açúcares e leveduras promove aceleração na cinética fermentativa, desta forma consegue-se reduzir a velocidade específica de consumo de açúcares (μ_s), por possibilitar maior contato entre microrganismo e substrato, e conseqüentemente aumenta-se a velocidade específica de produção de etanol(p)

d) Procedimentos de uso do Fermentador

Etapa 1

1. Colocar sachê de levedura na entrada inferior.
2. Colocar sachê de mosto (açúcares odorizados e saborizados) na entrada superior.
3. Adicionar água na dorna até os volumes determinados, de acordo com as massas de açúcar e de leveduras nos sachês.

Etapa 2

1. Limpar as mangueiras onde é realizada a circulação da fermentação.
2. Ajustar a bomba com vazão adequada (aproximadamente $1,2\text{L s}^{-1}$).
3. Com o equipamento carregado (água, fermento e açúcar), ligar o bombeamento (Figura 2).

Figura 2 – Vaso fermentativo e bomba de circulação, Fermentexpress



Fonte: Autor.

Testes de hidrostático e hidrodinâmico

Os testes hidrostáticos iniciais aferiram as capacidades do equipamento, através do enchimento com água. Este teste permitiu a observação e correção de vazamentos (Figura 3).

Após o teste hidrostático (colocou-se 5 litros medidos em proveta no interior do equipamento, fez-se o isolamento completo da parte superior para evitar a evaporação e deixou-se por dois dias, realizando observação visual e posterior anotação volumétrica), realizou-se os testes hidrodinâmico com água (de forma semelhante ao teste hidrostático fez-se a colocação de água no interior do aparelho e acionou-se a bomba por dois dias para teste de funcionamento e de

vazamento), para aferir vazamentos durante a circulação e aferir as velocidades de recirculação no equipamento.

Figura 3 - Suporte adaptado



Fonte: Autor.

e) Teste Fermentativos

Foram realizados testes fermentativos com o objetivo de verificar a eficiência da fermentação e tempo. A eficiência da fermentação foi calculada com base no total de etanol produzido (gramas) do total de açúcar fornecido (gramas), quando comparado com os valores teóricos de Gay Lussac, considerado Eficiência de 100% (100g de glucose produz 51,11 g de etanol). O tempo de fermentação, ou seja, a produtividade, foi determinada quando a célula de força não detectava variações com diferenças de duas casas decimais (0,1). Pode-se inferir que durante o processo de fermentação, caso seja acoplado um sistema de acompanhamento automático, pode-se realizar a construção de gráficos de redução de massa devido a liberação de CO₂ que poderá ser equacionada e derivada para determinação de valores das velocidades de produção de CO₂, que no caso de fermentação alcoólica está intimamente ligada a produção de etanol.

Utilizou-se a fórmula de Proust (REDEOR, 2019), para determinar o teor de Brix adequado ao grau alcoólico de vinho desejado, desta forma calculou-se a massa de açúcares a serem adicionados nos saches e a massa de levedura liofilizada, que se manteve ao redor do valor de dez por cento do volume em fermentação.

Para o processo de destilação ocorrer a temperatura do vinho após a fermentação deve ser elevada até 90 °C, uma fonte externa de calor deve ser utilizada.

f) Reconstrução

A partir dos primeiros testes fermentativos, conseguiu-se detectar vazamentos e conexões inadequadas, posições de válvulas de difícil controle e planejou-se o aquecimento do equipamento para a destilação do vinho. Com isso foram alteradas algumas posições de válvulas e curvas no novo modelo e um aquecedor foi forjado no corpo do aparelho, bem como alguns tubos através de aberturas e fechamentos de válvulas se transformam em uma longa e captel. Um sistema de resfriamento dos vapores obtidos no processo de destilação foi incorporado ao equipamento (Figura 4).

g) Novos componentes

Termômetro digital, aquecedor para 100°C, Válvulas para controle do vapor, sistema de resfriamento de vapores da destilação.

Figura 4 - Modelo Novo do Fermentador (Fermentexpress)



Fonte: Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo do Fermentador “Fermentexpress” contém funções no processo de acelerar a fermentação que durou entre seis a doze horas, dependendo da concentração alcoólica do vinho produzido desejado, sendo respectivamente 7 e 13 °GL. Também pode-se proporcionar a detecção do final da fermentação, pela equação diferencial da massa ao tempo.

A transformação do aparelho fermentador, em um aparelho destilador, foi realizada manualmente, fechando e abrindo válvulas específica no equipamento e acionando o aquecedor elétrico de 1000 W, aumentando a temperatura do vinho para 91,9 °C. (Figura 5)

As operações de transformação de fermentador para destilador podem sofrer automação, sendo que a eficiência média das fermentações foi de 88%, podendo ser melhorada com automação e controle da temperatura e da velocidade de circulação (Figura 5 e Figura 6).

Figura 5 - Averiguação da temperatura, de forma digital



Fonte: Autor

a) Movimentação do líquido em fermentação.

A circulação dentro das tubulações foi conduzida e controlada por válvulas de esfera (Figura 6).

Figura 6 – Válvulas para o controle de circulação



Fonte: Autor.

b) O processo de fermentação

Os testes de fermentação detectaram tempos variados de seis a doze horas, dependendo do conteúdo de açúcar adicionado, para estabelecimento de teor alcoólico desejado (Figura 7).

Figura 7 - Modelo Novo Controle Fermentativo



Fonte: Autor

c) Destilação

A destilação foi realizada em 90 minutos, com algumas operações sendo realizadas manualmente, como o fechamento e aberturas de válvulas no equipamento antes do início do processo, a retirada os saches de açúcar e de levedura (Figura 8).

Figura 8 – Destilação em funcionamento, destaque para as válvulas



Fonte: Autor.

CONCLUSÃO

Uma ruptura aos processos tradicionais de fermentação e destilação para bebidas foram conseguidos com o equipamento projetado.

Um único equipamento realiza duas operações unitárias, fermentação e destilação, economizando recursos e tempo.

O equipamento pode ser utilizado em pequena escala para produção de bebidas e deve ser testado em escala maior para entender o comportamento, no caso de biocombustíveis.

Os futuros aprimoramentos deverão ser no compartimento dos saches, bem como saches devem ser elaborados para esta utilização, especificamente.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Tecnologia de Piracicaba "Deputado Roque Trevisan", Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS. Workshop produção de etanol. 2006. Disponível em:
http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/termo_referencia_etanol.pdf.

ALCARDE, A. R. *Árvore do conhecimento, cana-de-açúcar*. Net. Agência Embrapa Informação e Tecnologia. EMBRAPA. 2006. Disponível:
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_105_22122006154841.html. Acesso em: 09 ago 2019.

ALCOOLBRÁS. Guerra contra as bactérias. *ALCOOLBRÁS, São Paulo, n. 91*, 2005. Disponível em: http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_91/ed_91_2.html.

ALTHERTUM, F.; CRUZ, M. R. M.; VAIRO, M. L. R.; GAMBASSI, P. M. Efeito dos microrganismos contaminantes da fermentação alcoólica nas microdestilarias. *STAB*, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 42-49, 1984.

AMORIM, H. V. *Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia*. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.

BOVI, R.; MARQUES, M. O. O tratamento ácido na fermentação alcoólica. *Álcool e açúcar*. São Paulo, v. 3, n. 9, p. 10-13, 1983.

BROOKS, G. F.; VOEUX, P. J.; BUTEL, J. S. *Jawetz, Melnick & Adelberg: Microbiologia Médica*. 21. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

CECCATO-ANTONINI, S. R. Monitoramento microbiológico em destilarias: uma necessidade. *STAB*, Piracicaba, v. 16, n. 5, p. 18-19, 1998.

COONEY, C. L. Growth of microorganisms. In: REHM, H.J.; REED, G. *Biotechnology: a comprehensive treatise*. 1981, v. 1, 75-112.

GAVA, A. J. *Princípios de tecnologia de alimentos*. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1984. p. 284.

GALLO, C. R.; CANHOS, V. P. Efeito do tratamento ácido no fermento sobre a microbiota bacteriana contaminante da fermentação alcoólica. *STAB*, Piracicaba, v. 9, n. 6, p. 35-37, 1991.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C. *Micologia Médica: Fungos, Actinomicetos e Algas de interesse médico*. 8. ed. São Paulo: Sarvier, 1991.

LACAZ, C. S.; MINAMI, P. S.; PURCHIO, A. *O grande mundo dos fungos*. São Paulo: USP e Polígono, 1970.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. 3.ed. São Paulo: Sarvier, 2002. 839 p.

REDEFOR, Lei de Proust, Modulo II, disciplina 04, UNESP. Disponível em:
https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/41532/7/2ed_qui_m4d8_tm01_box4.pdf.
Acesso em: 08 ago. 2019.

SCHMIDELL, W.; MENEZES, J. R. G., Influência da glicose na determinação da atividade da amiloglicosidase. *Revista de Microbiologia*, v. 17, p. 194-200, 1986.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F.; GOMPERTZ, O. F. *Microbiologia*. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 1999.

1 DIAS, Gustavo Daniel da Silva é discente do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos FATEC (Faculdade de Tecnologia) Piracicaba Deputado “Roque Trevisan”. Desenvolveu Projeto laboratorial de bebida fermentada e gaseificada 2018. Orientador Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques na FATEC - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Deputado “Roque Trevisan”. Secretário Ambiental D.A. (Diretório Acadêmico) 2018 na FATEC Piracicaba. Voluntário do Programa Escola da Família 2016 a 2019 - EE Profa. Avelina Palma Losso. Estagiário do Laboratório de Alimentos 2018 a 2019 na FATEC Piracicaba. Estagiário de eventos envolvendo bebidas destiladas e fermentadas 2018. Orientador Prof. Msc. Alessandro A. Orelli Junior na FATEC Piracicaba.

2 MARQUES, Tadeu Alcides Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em 1985, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em 1991, no Setor de Açúcar e Álcool, atual LAN. Doutorado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas, em 1997, na Faculdade de Engenharia de Alimentos, setor de açucarados. De 1998 a 1999 atuou no pós-doutorado em Tecnologia de Alimentos pelo CPQBA/UNICAMP, elaboração do Programa Multimídia SuKroMedia. Atua desde 1999 como docente na Faculdade de Ciências Agrárias da UNOESTE, atuando com empenho e eficiência na área de produção de biomassa para bioenergia. Iniciou atividades como docente pesquisador no programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas em 2000, e posteriormente no Programa de Mestrado/Doutorado em Produção Vegetal em 2002. Recentemente (2013) no Mestrado em meio ambiente e desenvolvimento regional (MMADRE). Diretor do Centro de Estudos Avançados em Bioenergia e Tecnologia da Unoeste. Professor da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – Deputado “RoqueTrevisan”. tmarques@unoeste.com

Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor

MARQUES, Danilo Medeiros
BERNARDO, Maria Helena

Resumo

No cenário atual, muito se tem discutido sobre os impactos das técnicas de marketing envolvidas no processo de captação da atenção do consumidor moderno. Com a ampliação de mídias sociais e tecnologias, o cliente tornou-se um alvo das propagandas e técnicas midiáticas de intenção e propagação ao consumo. Com a extensão constante da era da informação, a sociedade se encontra informatizada e com interesses preestabelecidos. Para isso, a função do marketing sensorial assegura-se em captar a atenção e estimular o desejo de consumo. Sendo assim, o artigo proposto tem como objetivo identificar, por meio de revisão bibliográfica, as técnicas utilizadas pelo marketing sensorial na percepção do indivíduo e sua influência no processo de decisão de compra, assim como seu impacto no comportamento dos consumidores. Isto é fundamental para que o tema seja exposto, aprofundando-o academicamente e desenvolvendo-o, já que a comunicação deve ser equilibrada entre a clareza e a subjetividade, com o objetivo de desvendar o cérebro do consumidor. Pode-se concluir que as técnicas visuais de estímulo são as mais utilizadas. Contudo, os demais sentidos tais como tato, audição, paladar e olfato possuem características que permitem a captação da atenção e a associação à memória.

Palavras-chave: Marketing sensorial. Estratégia de Marketing. Sentidos Humanos. Publicidade.

Abstract

In the current scenario, much has been discussed about the impacts of the marketing techniques involved in the process of attracting the attention of the modern consumer. With the expansion of social media and technologies, the customer has become a target for advertising and media techniques of intention and propagation to consumption. With the constant extension of the information age, society is computerized and with pre-established interests. For this, the function of sensory marketing ensures to capture attention and stimulate the desire for consumption. Therefore, the proposed article aims to identify, by means of bibliographic review, the techniques used by sensory marketing in the perception of the individual and their influence on the purchase decision process, as well as their impact on consumer behavior. This is essential for the theme to be exposed, deepening it academically and developing it, since communication must be balanced between clarity and subjectivity, with the aim of unraveling the consumer's brain. It can be concluded that the visual stimulus techniques are the most used. However, the other senses such as touch, hearing, taste and smell have characteristics that allow the capture of attention and the association with memory.

Key-words: Sensory Marketing. Marketing Strategy. Human Senses. Advertising.

Resumen

En el escenario actual, se ha discutido mucho sobre los impactos de las técnicas de marketing involucradas en el proceso de atraer la atención del consumidor moderno. Con la expansión de las redes sociales y las tecnologías, el cliente se ha convertido en un objetivo para los anuncios y las técnicas de medios de intención y propagación al consumo. Con la extensión constante de la era de la información, la sociedad está informatizada y con intereses preestablecidos. Para ello, la función del marketing sensorial asegura captar la atención y estimular el deseo de consumo. Por lo tanto, el artículo propuesto tiene como objetivo identificar, mediante una revisión bibliográfica, las técnicas utilizadas por el marketing sensorial en la percepción del individuo y su influencia en el proceso de decisión de compra, así como su impacto en el comportamiento del consumidor. Esto es esencial para exponer el tema, profundizarlo académicamente y desarrollarlo, ya que la comunicación debe estar equilibrada entre claridad y subjetividad, con el objetivo de desentrañar el cerebro del consumidor. Se puede concluir que las técnicas de estímulo visual son las más utilizadas. Sin embargo, los otros sentidos tales como tacto, oído, gusto y olfato tienen características que permiten captar la atención y asociarla con la memoria.

Palabras-clave: Marketing Sensorial. Estrategia de Marketing. Sentidos Humanos. Publicidad.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Akatu (2018) foi realizada uma pesquisa na qual foi constatado que 76% dos compradores brasileiros não consomem de forma consciente, o que nos mostra o quanto crescente o consumismo exacerbado se tornou. Com isso, percebe-se que o padrão de consumo aumentou e o papel que o consumidor moderno exerce é mais complexo que as relações de mercado antiquadas.

Considerando Ramos (2019), o marketing sensorial é utilizado para se conectar com o cliente, fazendo com que desperte emoção e conseqüentemente, a vontade de comprar. Sendo assim, este tema tornou-se objeto de estudo para desenvolver novas técnicas e aprimorar as já existentes, para relacioná-las no ponto de venda, na publicidade e no contato do consumidor com o produto. Ademais, os consumidores são influenciados por fatores sociais, familiares, culturais e psicológicos. Estes associados às memórias, emoções, motivações, percepções e aprendizados estão interligados e relacionados no processo de decisão de compra.

Camargo (2009) observa que o desenvolvimento dos estudos neurológicos ocasionou novos desdobramentos para os fatores que envolvem o marketing sensorial e seu objetivo, tendo como missão entender o inconsciente do indivíduo e alinhando-se aos seus sentidos. O autor complementa que com isto, esta técnica sensorial surge como uma ferramenta de captação de clientes, por meio de estímulos que se relacionam e se integram aos detalhes do sistema nervoso perceptivo dos consumidores, associando-se à aprendizagem por meio dos sentidos. De forma generalizada, o consumidor atual encontra-se envolto na construção da sua imagem perante a sociedade, somado ao status e ao que este representa.

Diante do exposto, o artigo tem como objetivo identificar as técnicas utilizadas pelo marketing sensorial na percepção do indivíduo e sua significância para justificar seu crescimento, por meio de revisão bibliográfica e o estudo da relação entre os sentidos humanos e suas formas de aprender, motivar e criar vínculos emocionais no consumidor, bem como a influência destes no seu comportamento e no processo de decisão.

REVISÃO DE LITERATURA

Marketing: conceitos gerais

O termo inglês marketing é traduzido como a ação no mercado ou mercadologia, definição esta que surgiu no Brasil em meados de 1954. Porém, este significado é apenas um brevíssimo sobre o termo, pois em 1960 a Associação Americana de Marketing o definiu como “o desempenho das atividades comerciais que dirigem o fluxo de bens e serviços do produtor ao consumidor ou usuário”.

Las Casas (2009) classificou o estudo do marketing por eras, conforme pode ser visualizado no quadro 1.

Quadro 1 - Eras do Marketing

ERAS	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
Era da produção	<ul style="list-style-type: none">• produção artesanal;• demanda maior que a oferta;• os produtos de qualidade comercializavam-se naturalmente.
Era de vendas	<ul style="list-style-type: none">• produção era alta e acarretava excesso de estoque;• oferta era maior que a demanda;• havia a necessidade de divulgar.
Era do marketing	<ul style="list-style-type: none">• as empresas estudavam os seus concorrentes;• havia planejamento estratégico;• o principal objetivo era fidelizar os clientes existentes.
Era do mercado ou era do relacionamento	<ul style="list-style-type: none">• o principal objetivo desta era é valorizar o cliente;• os meios de comunicação se expandiram;• criação dos produtos personalizados.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Las Casas (2009).

A evolução das eras permitiu descobrir perspectivas e desdobramentos do marketing que acercam a sociedade e suas relações mercadológicas. Sendo assim, com a era do mercado, a comunicação se tornou explosiva e onipresente, pela qual o marketing se integrou à essa nova realidade, criando fatores que influenciam no comportamento do consumidor.

Marketing Sensorial

Em 1998 Bernd Schmitt e Alex Simonson criaram o termo marketing sensorial, que se propõe a desvendar e seduzir os clientes para o consumo que paira entre o hemisfério direito e esquerdo do cérebro. Segundo Freudenrich (2010) é importante ressaltar que os hemisférios equilibram os dois lados, o da razão e o da emoção. O lado esquerdo do órgão é descrito muitas vezes como o lado lógico e racional, que relaciona as técnicas racionais e que estimulam a conscientização e entendimento do porquê de todas as informações. Já o lado direito é a parte emotiva que se relaciona com a memória e esse é o campo que o marketing sensorial tenta despertar, pois nele o inconsciente pode exercer influência sobre o lado da razão.

Considerando a Primeira Onda do Marketing, que segundo Serrano (2017) é centrada na produção e portfólio das empresas e a Segunda Onda, que teve seu início em meados dos anos 90 e foi caracterizada pela necessidade de se relacionar com o consumidor (Serrano, 2017), a autora Garcia (2007) define que o marketing sensorial é considerado como uma Terceira Onda do Marketing, pois a proposta do termo explora a percepção sensorial dos consumidores para

influenciá-los nas compras. Diferente das estratégias lógicas e racionais do preço, produto, diferenciais e qualidades, a real preocupação do marketing sensorial é emocionar e resgatar um apelo desta emoção sobre as circunstâncias que envolvam a razão.

Aprofundando na Terceira Onda de Marketing, é importante lembrar que o objetivo e a finalidade desta caracterização é a busca constante de controlar e conduzir um vínculo emocional entre o consumidor e determinado produto ou serviço. Mais além, o marketing sensorial estabelece estratégias para emocionar, conquistar e fidelizar a lealdade de um cliente (GARCIA, 2007).

Cavaco (2010) define que é através dos cinco sentidos (visão, tato, audição, olfato e paladar) que o indivíduo se relaciona e interage com as informações, percepções e sentimentos que existem durante sua vida. Integrando-se aos sentidos, os estímulos externos direcionam o norte do desenvolvimento perceptivo, que por sua vez, relaciona com as lembranças, memórias, sentimentos (bons e/ou ruins), felicidade, afeto, tristezas e anamneses que compõem a consciência do comprador. O autor acrescenta que um simples perfume, som ou objeto pode remeter a lembrança de algum indivíduo em particular e que por sua vez resgata memórias de voz, aparência e características deste ser imaginado.

É a partir destas constatações que o termo se desenvolveu e ascendeu para um estudo perceptivo da realidade no mercado, com a habilidade de reconhecer e criar técnicas que envolvam além dos sentidos, como a identidade que o consumidor cria com o produto avaliando sua qualidade, elegância, status e sofisticação. Acevedo e Fairbanks (2018) acrescentam que o marketing sensorial proporciona o elo que o consumidor sente ao comprar um novo produto adequando-se ao seu conforto, necessidade e realidade.

Segundo Lindstrom (2012) um consumidor de qualquer lugar, com seus valores, crenças, emoções, culturas e memórias, possui suas lembranças associadas ao seu meio que são divididas em cinco faixas: imagem, som, cheiro, gosto e toque, todas estas contêm suas características ligadas diretamente aos fatores emotivos. Quanto maior o número de faixas onde ocorre alguma memória ou aprendizado, melhor será a lembrança que o indivíduo terá, relacionando-se com a intensidade dos fatores.

Neste sentido, os aspectos sensoriais são fundamentais para o aprendizado e memorização do indivíduo, podendo influenciar suas atitudes e como ele será no papel de consumidor. Sendo assim, há alternativas e oportunidades para que empresas definam estratégias que possam estimular o consumo. Pode-se observar no quadro 2 que cada sentido tem um elemento estratégico que permite a conexão entre o cliente e o produto:

Quadro 2 – Elementos de Estratégia Sensorial

SENTIDO	ELEMENTOS DE ESTRATÉGIA SENSORIAL
Visão	Forma, espaço físico, cor, dimensão, iluminação, transparência, design, símbolos visuais, imagem e estilo
Audição	Som, música, tom, ritmo e melodia
Olfato	Odor, cheiro (natural e artificial) e aroma
Paladar	Sabor e gosto
Toque	Textura, elasticidade, temperatura, pressão e conforto.

Fonte: Sarquis et al. (2015, p. 6).

Desta forma, acredita-se que nas próximas décadas, com a ampliação da tecnologia e com a sociedade em constante evolução será um desafio maior fazer com que os elos entre consumidor-produto sejam fortificados.

Os Cinco Sentidos e o Marketing

Os sentidos humanos são fatores fundamentais para a percepção do consumidor no ambiente que se encontra, além de proporcionar que o comprador conheça as características físicas e sensoriais de determinados produtos (ACEVEDO; FARBANKS, 2018). Os sentidos são:

Visão

Latasha et al. (2016) definem que a visão é o sentido mais explorado no marketing, pois é influenciado pelo ambiente associado à escolha de cores, layout de pontos de vendas, nas publicidades e concepções gerais do produto. Além disso, as cores e as formas são maneiras de identificar e diferenciar os produtos e ressaltam que muitas marcas são lembradas e reconhecidas por suas cores.

Acrescentam Krishna e Morrin (2009) que a cor é vital para memorização de um determinado produto, funcionando também como uma parte visual do ambiente físico. Além disso, a coloração tem relação com a formação de humor e percepção que se integram aos diferentes contextos e elementos culturalmente específicos.

Segundo Solomon (2016), as cores podem ter o poder de influenciar diretamente nossas emoções. Com isso, as empresas investem cada vez mais em propagandas, designs modernos, inovações midiáticas, elementos visuais e embalagens. O autor acrescenta ainda que a idade influencia a receptividade da cor que o indivíduo vê, pois conforme o envelhecimento aumenta

desenvolve-se um matiz amarelado na visão que afeta na percepção e reconhecimento da cor.

As cores desencadeiam emoções, por isso a embalagem do produto precisa ser bem produzida e estrategicamente planejada de forma a criar um estímulo para que o consumidor se interesse por ela. Algumas empresas utilizam combinações de cores que se tornam intensas que a organização pode ter permissão para uso exclusivo de determinada combinação, porém esta permissão só é dada após comprovação de que os consumidores podem confundir marcas e/ou produtos por conta da cor (SOLOMON, 2016).

Olfato

Blessa (2011) ressalta que o olfato é um dos sentidos com maior facilidade de despertar emoções e este artifício permite criar personalidade e caracterização no ambiente, que por sua vez, estabelece uma conexão com memórias, lembranças e sentimentos dos clientes.

Segundo Latasha et al. (2016) os cheiros desencadeiam partes do cérebro que são responsáveis pela criação de emoção e memória e é o único sentido que possui ligação direta com o cérebro. Solomon (2016) complementa que os odores invocam memórias e aliviam o estresse e as reações aos aromas provêm de associações que resgatam sentimentos, lembranças e estados de espírito.

Uma das técnicas mais famosas de marketing olfativo na indústria de alimentos é o uso dos cheiros para atração de clientes, como por exemplo, cafeterias, padarias e restaurantes que utilizam do odor de seus produtos para captação e estímulos dos clientes (SOLOMON, 2016).

Audição

Braga (2012) define que a música é transmitida até o cérebro e atinge regiões que são responsáveis por captar e resgatar emoções e que o som integra-se à todas as partes do corpo humano, inclusive na pressão sanguínea fazendo com que o indivíduo se adapte no ritmo da sonoridade e fazendo com que suas atividades sigam a melodia.

Schiffman (2005) explica que através do marketing auditivo é estabelecida uma conexão entre o consumidor e o produto, esta que pode ser relacionada a um jingle, por exemplo. Além disso, o autor acrescenta que a música e o som tocado no ponto de venda são capazes de proporcionar uma melhora no ambiente e é capaz de aperfeiçoar as experiências de compra.

Latasha et al. (2016) caracterizam o som como o poder de influenciar os hábitos de compra, pois associar a música a uma mensagem é uma forma de eternizar na memória. Quando o som está diretamente ligado ao produto ou serviço, os clientes podem interligar à familiaridade. Os autores acrescentam que a música oferece diversas possibilidades a fim de se conectar com o cliente e com

o produto, criando uma atmosfera com o intuito de agir sobre o comportamento do cliente.

Tato

Solomon (2016) exemplifica a Apple que estimula os clientes a tocar em seus produtos nas lojas oficiais, pois segundo estudos o toque permite criar um nível de afeição maior pelo produto. Em sua obra, o autor mostra que pesquisadores comprovam que sensações hápticas interligam a experiência com o produto e a confiança no julgamento.

Lindstrom (2012) ressalta que o tato funciona como uma ferramenta de conexão e quando algum outro sentido falha, a pele pode ajudar a estabelecer uma conexão com um objeto ao corpo humano. Além disso, o autor relata que sentir o produto é importante para criar a percepção entre o consumidor e a marca.

Ademais, Latasha et al. (2016) definem que a pele humana possui mais de 4 milhões de receptores sensoriais e estes identificam materiais, peso, suavidade e praticidade de determinado produto. A sensação de tocar a embalagem é muito importante para o consumidor, pois amplia a percepção sobre a produto e a marca.

Paladar

Latasha et al. (2016) explicam que o ser humano pode sentir cinco gostos básicos (amargo, ácido, salgado, azedo e doce) que estão diretamente ligados às percepções olfativas. Os autores acrescentam que o paladar é o sentido que mais se caracteriza pelas questões culturais do consumidor, em virtude da comida típica de onde ele estiver. Solomon (2016), também defende que os sabores são determinados por fatores culturais e que a imagem de um alimento e o valor que se atribui a ele influenciam na experiência do consumidor.

Lindstrom (2012) caracteriza o paladar e o olfato como sentidos químicos e além de interligados, remetem ao formato e cor. O autor define ainda que o palato é o sentido menos utilizado e que oferecer quitutes de cortesia no ponto de venda, aumentam a expectativa e a experiência do consumidor.

Sendo assim, Latasha et al. (2016) afirmam que a visão é o sentido mais explorado pelas empresas e o mais utilizado para as mídias publicitárias, por conter mais detalhes e maior resgate à memória e aprendizado. Porém, é válido lembrar que há a possibilidade de usar todos os sentidos para técnicas assertivas de marketing, pois segundo Silva (2009) todos os sentidos, utilizados ao mesmo tempo, geram fortes identidades multissensoriais e a realização de uma compra menos agressiva. Souza (2016) acrescenta que a memória está presente em todos os sentidos e que a visão é super explorada, porém ela não é feita apenas de elementos que podemos ver, pois é considerada

palpável, com som, sabor e cheiro.

Marcas que Fazem o Uso do Marketing Sensorial

O marketing sensorial é colocado em prática predominantemente nos pontos de venda, no qual faz-se o uso de artifícios que estimular os sentidos e estabeleçam a relação com a emoção e proporcionem conexão com o consumidor (MATHIAS, 2019). Algumas marcas utilizam fatores sensoriais para sua publicidade, por exemplo:

***Apple* (Tato e Visão)**

O estilo do smartphone é um fator contribuinte para o sucesso da marca, pois conta com uma interface elegante, simples e revelam modernidade e sofisticação por meio do design. O produto é estrategicamente visual e se relaciona com a cor, tamanho e praticidade. Nos pontos de venda, a *Apple* permite que os consumidores toquem nos produtos para que possam experimentar e ter o contato inicial com o objeto, a fim de agregar potenciais clientes (SOLOMON, 2016).

***Starbucks* (Olfato)**

A cafeteria mudou técnicas de produção, solicitando que os grãos de café sejam moídos pelos baristas a fim de intensificar o aroma no ambiente. A ideia principal é recuperar os clientes perdidos. Com isto, houve resultados satisfatórios e o processo de moer grãos foi automatizado (SOLOMON, 2016).

***Coca-Cola* (Audição)**

Na época da Copa do Mundo de 2010 na África do Sul, a marca de refrigerantes apostou em uma música-tema que repercutiu internacionalmente. A canção *Wavin' Flag* foi cantada pelo mundo inteiro e isso fez com que a música (e conseqüentemente a marca) se sobressaíssem nos jogos mundiais (SOLOMON, 2016).

***Nissin* (Paladar)**

Em 2017 a marca de macarrão instantâneo promoveu ações na Avenida Paulista com o intuito de demonstrar aos pedestres a praticidade do produto e os sabores já conhecidos do *Cup Noodles*, além de oferecer degustação do novo sabor que seria lançado. Na época, foi considerado pela diretoria de marketing o maior investimento em publicidade da *Nissin* no Brasil (FERREIRA, 2017).

Lacoste (Audição e Visão)

A marca francesa criou uma trilha sonora que se alinhava com sua identidade para tocar nas lojas. Além disso, em 2011 lançaram uma coleção com foco no público jovem e para isso foram utilizadas técnicas da arte urbana para descontrair o ambiente e que estabelecessem relação com a linha de roupas. Os manequins foram substituídos por caixotes, peças no teto, bicicletas e adesivos no piso (VELOSO, 2019).

Hollister (Olfato, Visão e Tato)

A marca de roupas juvenis, dispõe em sua filial em Nova York um ambiente escuro com iluminação de foco nas roupas, prateleiras e vitrines. A música é alta e são projetados vídeos de surfe com sons de ondas e remetem ao tema praiano. O olfato é estimulado por meio de aromas tropicais, como flores, frutas e madeira. Para o estímulo do tato, são utilizadas plataformas para que o cliente possa tocar nos produtos e verificar a qualidade dos materiais (REDZCOMUNICA, 2018).

Comportamento do consumidor

Frankenthal (2017) define que o comportamento do consumidor é uma consequência das diversas tecnologias que surgem no cotidiano, acompanhando suas transições e a globalização que evolui e se desenvolve constantemente com novas tendências e perspectivas.

O comportamento é transmitido e acontece pelas atividades cerebrais desencadeadas por estímulos e alinham-se por meio dos processos cognitivos, motivacionais e emocionais do ser. Além disso, os costumes do consumidor moderno permitem compreender os valores, as importâncias e os problemas nos quais a sociedade está inserida, a fim de entender o quanto o consumidor está atento aos fatores sociais e ambientais (SAUERBRONN; AYROSA; BARROS, 2009).

Nesta evolução, o marketing se une com a neurociência, para medir as atividades neurais e ditar o comportamento do consumidor. Todas essas vertentes, direcionam o planejamento do marketing a algo certo, reduzindo recursos e diminuindo o risco de uma propaganda tendenciosa e clichê. Porém, é importante acrescentar que segundo Lewis (2008) as respostas aos estímulos emocionais são geradas por questões ligadas à sociedade, cultura e educação, ou seja, muitas vezes nestes estudos o inconsciente é amplamente mais ativo que o consciente da pessoa analisada.

Segundo Kotler e Keller (2006) o cliente está em constante desenvolvimento e está cada vez mais informado e seletivo para buscar comodidade. Além disso, o consumidor espera maior qualidade e segurança de um produto ou serviço. Os consumidores acrescentam pontos relevantes

como a falta de tempo para gastar e a agilidade para comprar e pesquisar novos produtos, que se alinham com a busca de customização, elegância e suprimento das necessidades.

Lindstrom (2009) relata que os consumidores não entendem e não sabem o porquê de comprar e ressalta que a mente inconsciente é interpretada de uma forma muito mais completa do que a mente consciente.

Mesmo que os estudos de marketing estejam em constante desenvolvimento, ainda é considerada uma incógnita entrar na mente do consumidor, pois há uma certa dificuldade em trabalhar parcialmente com a mente inconsciente, já que o próprio comprador muitas vezes não conhece seus motivos, apenas conhece suas próprias desculpas inventadas e argumentadas com ele mesmo no ato da compra.

Fatores influenciadores no consumo

Cada indivíduo possui suas vontades, gostos, ambições, sonhos e valores, então é importante ressaltar que cada pessoa é única e é moldada por fatores diferentes entre si que podem ser despertados. Nesse sentido, Kotler e Keller (2006) definem quatro fatores que controlam e estimulam o consumo das pessoas: culturais, psicológicos, sociais e pessoais.

Culturais

Kotler e Keller (2006) dispõem que os fatores culturais podem ser considerados como o principal determinante nos desejos de um indivíduo, pois à medida que evolui absorve valores, crenças, percepções, preferências e comportamentos que muitas vezes são exercidos na família, na escola, no trabalho e nos diversos convívios sociais. Lake (2009) cita cultura como um padrão de excelência adentro de uma sociedade, assim como um modo de vida, exercendo uma enorme força na criação da personalidade do indivíduo.

Sheth, Mittal e Newman (2009) analisam cultura como ideias, normas, valores, moral, tecnologia, objetos e tudo o que uma pessoa aprende e partilha com membros de uma sociedade. É possível considerar que a cultura molda a personalidade e o caráter das pessoas, que conseqüentemente exercem predominância nas relações de compra.

Bennett e Kassarian (1980) argumentaram que cultura é uma variável exógena e exerce uma influência no sentido de escapar (comprar), por meio de atitudes. Os autores desdobram o conceito de cultura e abrangem a subcultura que é propagada na sociedade como um todo e acaba se desviando dos padrões subversivos de uma cultura (ou classe) dominante.

Psicológicos

Os estudiosos deste tema definem que aprendizagem, motivação, memória e percepção são os quatro fatores psicológicos.

Bennett e Kassarian (1980) explicam que o processo de aprendizagem é uma influência da teoria ensaio-erro, ou seja, o ser humano aprende com a adaptação de não fazer errado se já teve uma experiência negativa. Já Las Casas (2008) define que as pessoas aprendem de modos diferentes, pois quando as experiências são positivas os clientes irão visar a compra novamente e o consumidor sempre aprende no ato da compra, visto que pode haver o interesse de comprar produtos que ele ainda desconhece e isso o ajuda a analisar possibilidades.

Lake (2009) define motivação como algo necessário para o entendimento das emoções e é mais fácil levar os consumidores e a ação por meio da comunicação direta. Kotler e Keller (2006) partem do princípio de que uma necessidade depende da intensidade pela qual se deseja algo para ser alcançado e o motivo é o agente que determina a pessoa a agir. Bennett e

Kassarjian (1980, p. 82) explicam que motivação “é a entidade hipotética do motivo que atribui o cerne de nosso ‘incitamento à ação’”. Os autores reforçam que o propósito dos motivos se deve-se à força que impulsiona seu comportamento e é caracterizado pela autoproteção e a necessidade de destacar a si próprio. Lake (2009) acrescenta ainda que a motivação depende do reconhecimento de uma necessidade, podendo ser fome, sexo, curiosidade, segurança, status ou aceitação social. Maslow (1954) divide as necessidades humanas em cinco níveis, como representadas na figura 1. Além disso, a pirâmide é lida de forma hierárquica e a motivação é a busca das necessidades insatisfeitas.

Figura 1 – Pirâmide das Necessidades de Maslow



Fonte: Robbins (2002, p.133).

Conforme Bennet e Kassarjian (1980) cada necessidade representa algum desejo do ser humano. As necessidades fisiológicas, por sua vez, são os essenciais para a sobrevivência do ser humano, como alimentação, água, sono, sexo e necessidades básicas. Bennet e Kassarjian (1980, p. 85) a descrevem como “mecanismos de redução de tensão homeostática”.

Por outro lado, os autores acrescentam que as necessidades de segurança baseiam-se na busca de segurança física, do conhecido e das familiaridades. A falta desta necessidade preocupam o indivíduo.

Já as necessidades sociais são caracterizadas pelas relações do indivíduo com a sociedade, familiares, amigos, amores, afeições e enquadramento social. Bennett e Kassarjian (1980) citam que:

Embora para a maioria dos habitantes (...), as necessidades fisiológicas e de segurança estejam satisfeitas, para outros as necessidades sociais não estão. E, evidentemente, o pessoal de marketing e propaganda aproveita-se dessa necessidade na tentativa de vender suas mercadorias (BENNETT E KASSARJIAN, 1980, p. 85).

Conforme Bennett e Kassarjian (1980) as necessidades de estima conectam-se com a importância da reputação, auto-respeito, prestígio, reconhecimento, independência, autoconfiança e apreciação aos olhos de terceiros. Estão relacionadas com o desejo de mostrar-se útil para a sociedade.

Por último, os autores definem que a necessidade de autorrealização é almejada quando todas as necessidades estiverem satisfeitas, é aqui que a realização pessoal do indivíduo ganha espaço e se relaciona com a ideia do que pode ser e do que tem que ser.

Nesse sentido, pode-se concluir que cada necessidade corresponde a um tipo de desejo do consumidor e ao analisar essas teorias, cabe aos publicitários desenvolverem técnicas para chamar a atenção do consumidor para a compra dos produtos ou serviços.

Kotler e Keller (2006) definem que existem dois tipos de memória, a de curto e a de longo prazo, esta última irá armazenar uma lembrança por muito mais tempo. O trabalho dos profissionais de marketing é saber chegar neste patamar, utilizando as técnicas mais bem-feitas por meio das campanhas publicitárias. É válido ressaltar que a memória é vital para guardar as marcas e produtos e os agentes publicitários se esforçam para que seu registro seja o único a ser guardado na lembrança dos consumidores.

Já na percepção, Bennett e Kassarjian (1980) explicam que o comportamento do consumidor no mercado tem forte relação com o conhecimento, as noções e a realidade em que o indivíduo vive. Assim como, as sensações do mundo exterior são adequadas e interligadas em memórias de aprendizados anteriores, como crenças, devaneios, atitudes, valores e personalidades, levando em apreço o estímulo e a integração destes fatores, formando a estrutura cognitiva do ser.

Os autores destacam também, que tudo o que se percebe é organizado seletivamente, conectando-se com cada predefinição do que está sendo notado. O detalhamento da percepção está relacionado com duas subdivisões, como os fatores de estímulo e os funcionais.

Dentre alguns fatores de estímulo que os autores ressaltam, é possível destacar o princípio da similaridade, que é caracterizado a um padrão que nosso sistema já tem como paradigma e muitas vezes é inalterado. Como por exemplo, o consumidor, na maioria das vezes irá se espelhar em alguém bem-sucedido que faça a imagem da propaganda, mesmo que ambos sejam e tenham uma realidade diferentes entre si.

No caso da proximidade como fator de estímulo, os autores acrescentam que “em igualdade de condições, as coisas próximas tendem a ser percebidas como membros de um conjunto” (BENNETT; KASSARJIAN, 1980, p. 64).

O princípio da continuidade destaca que os estímulos que formam uma figura incompleta ou geométrica, o cérebro humano trabalha para que possa administrar o entendimento sobre tal imagem completando-a.

Já os fatores funcionais dos autores, defendem a ideia de que é vital o estímulo físico, pois há uma percepção muito maior do que apenas com as sensações humanas. Ressaltam ainda que, não há percepção fora do contexto cognitivo que o observador não conhece e se adequa, pois este processo é feito de uma forma extremamente organizada no qual pode-se distorcer, modificar, adaptar e no final veem o que querem ver.

O princípio da atenção, disserta que alguns estímulos nos força a prestar atenção involuntariamente por meio de contrastes, movimentos, tamanhos, cores e artifícios escandalosos.

No caso de necessidades, um outro fator funcional definido por Bennett e Kassarian (1980) é que a influência das necessidades consideradas fisiológicas como fator da percepção está sendo demonstradas por diversos estudos. Além disso, as necessidades psicológicas influenciam de forma similar que as fisiológicas, utilizando como argumentos inconscientes, a fome de status, a dominância e as afiliações emocionais.

Por fim, a predisposição, define que parte da percepção é gerada por uma expectativa do ser. Os autores citam exemplos de produtos como, cigarro, refrigerantes e cervejas, os quais sem seus logotipos, os sujeitos não são capazes de notar diferenças relevantes. Contudo, após a separação das marcas que experimentaram as preferências são claras. Essa escolha dá-se por conta da expectativa de que a marca é boa, ou muitas vezes, associadas ao preço, que é mais caro.

Sociais

Kotler e Keller (2006, p. 176) evidenciam que, “além dos fatores culturais, o comportamento é influenciado por fatores sociais, como grupos de referência, família, papéis

sociais e status”, conforme demonstrado no quadro 3.

Quadro 3 – Caracterização de fatores sociais

FATOR SOCIAL	CONCEITO
Grupos de Referência	Bennett e Kassarian (1980) definem grupo de referência como um indivíduo que usa crenças, comportamentos e julgamentos como referência para comparação. Para Sheth, Mittal e Newman (2009, p. 165) “Os grupos de referência são pessoas, grupos e instituições a quem os indivíduos recorrem para uma orientação de seu próprio comportamento e valores, dos quais esses indivíduos buscam aprovação”.
Família	A família, a criação ou o meio em que a pessoa cresce e se desenvolve, funciona como um espelho para suas manias e seus ideais. Kotler e Keller (2006) afirmam que a família tem um peso importante nas relações de compra, por conta da enorme influência que possuem sobre seus membros. A autora Lake (2009, p. 149) afirma que “na vida, uma família passa por muitas fases de desenvolvimento, e em cada fase, vem um conjunto inteiramente novo de desenvolvimento de consumidores”.
Papéis sociais e status	Kotler e Keller (2006) defendem a ideia de que o status é algo valioso para a maioria das pessoas, a fim de mensurar seu papel na sociedade e este status pode ser real ou desejado. Las Casas (2008) ressalta a importância das classes sociais e seus abismos que criam na mente do consumidor, pois cada classe consome de acordo com seus pares e luxos. Essa relação é adaptada tanto para os indivíduos mais ricos, que consomem mais e melhor, quanto para os mais pobres, que normalmente consomem produtos de menor valor.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Bennett e Kassarian (1980), Sheth, Mittal e Newman (2009), Kotler e Keller (2006), Lake (2009) e Las Casas (2008).

Pessoais

Kotler e Keller (2006) defendem e explicam que as influências pessoais são fatores de relevância para definir o comportamento do comprador, a criação e a contextualização de argumentos para comprar tal produto ou serviço e é visto como a principal fonte direcionadora para o consumo.

Lake (2009) ressalta que além dos conceitos próprios, os estilos de vida dos consumidores também definem a personalidade do indivíduo. Estes dois pesos, mostram não só como o consumidor se vê, mas sim como ele se expõe diante do mundo exterior. A autora incita ainda que quando os consumidores identificam um produto e se relacionam com seus conceitos e estilo de vida, eles se conectam emocionalmente com a mercadoria, o que faz com que se sintam únicos.

Considerando os fatores que influenciam o comprador no processo de decisão, é válido lembrar o quão importante as diretrizes culturais, sociais e familiares são no comportamento do consumidor atualmente. Mais do que isso, o indivíduo compra produtos e serviços para satisfação de suas necessidades e por este motivo é necessário que os profissionais de marketing se atentem ao seu comportamento e evolução.

O processo de Decisão do Consumidor

Segundo Lindstrom (2009) os agentes de marketing precisam se atentar e evoluir constantemente conforme surgem novas tendências de mercado e enfatiza que o marketing sensorial é um estudo complexo, mas vital para o entendimento da decisão do consumidor.

Lake (2009) direciona que a tomada de decisão acompanha cinco passos: a necessidade, busca de soluções, avaliação de opções, compra e avaliação da compra. É importante lembrar que o motivo do porquê os consumidores compram são diversos e mesmo que a compra seja de um produto simples e corriqueiro, isto nem sempre será feito de forma consciente.

Partindo da identificação da necessidade, Kotler e Keller (2006) direcionam que esta carência de algo é provocada por estímulos. Sheth, Mittal e Newman (2009) complementam estas provocações como necessidades internas (faltas físicas ou psicológicas) e externas (merchandising, campanhas e mídias).

No ponto de busca de soluções, Las Casas (2008) relaciona a propaganda e o consumidor, que pesquisam sobre o produto com o intuito de sanar suas necessidades. Outro fator que auxilia a procura de informações é a comunicação entre compradores de determinadas mercadorias que trocam experiências positivas ou negativas entre si.

Após compilar todas as informações sobre algo, o consumidor avalia suas opções. Segundo Lake (2009) existem três tipos de escolha: a afetiva (na qual as emoções ditam as ações), a atitude (o comprador utilizará suas próprias convicções para justificar a compra) e a escolha por atributos (balanceamento de prós e contras).

No ato da compra, Sheth, Mittal e Newman (2009) definem que ocasionalmente, os clientes postergam a compra por diversos motivos. Visto isso, as organizações se adaptam para tentar reduzir este tempo de espera da aquisição. Las Casas (2008) acrescenta que esses motivos precisam ser conhecidos, para que haja ampliação de análises e melhorias em técnicas já existentes.

Após a decisão de compra, o consumidor avalia sua escolha, tentando equilibrar seu esforço e seus recursos financeiros. Kotler e Keller (2008) destacam que o trabalho do profissional do marketing não termina quando há a compra, pois, a pós-venda deve ser monitorada para garantir a satisfação e recomendação do produto depois de efetuada a aquisição.

Sendo assim, o processo de decisão do consumidor, como parte de seu comportamento pode ser influenciado pelos estímulos que os indivíduos recebem ao longo da percepção sensorial. Estes sentidos, por sua vez, resgatam memórias e aprendizados que geram emoções capazes de estabelecer conexão com o produto ou serviço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o artigo apresentado, é possível notar que o marketing sensorial é uma técnica de contato e aproximação com o cliente e uma ferramenta de sucesso que pode ser desenvolvida por todas as empresas em diversas áreas de atuação. Além disso, é fato que atualmente as organizações buscam criar um vínculo emocional com os consumidores, por meio dos sentidos humanos que resgatam memórias e aprendizados.

O marketing sensorial está em constante desenvolvimento, pois o mercado comercial está com excesso de anúncios, marcas e diversos tipos de clientes. Ademais, os consumidores são seletivos quanto aos produtos, marcas e experiências. Todos esses fatores, contribuem e são levados em consideração para a criação de estímulos sensoriais, associando às novas tecnologias que o processo de globalização propõe ao comércio atual.

É válido lembrar, que diversas empresas utilizam somente técnicas visuais para estimular o consumo de seus clientes. No entanto, todos os outros sentidos também têm o poder de “fisgar” a atenção e desenvolver emoções com o consumidor que proporcionam condições hábeis para uma possível compra.

Tendo em vista os aspectos observados, há muito a ser aprimorado no estudo do marketing sensorial a fim de compreender o comportamento do consumidor e desenvolver técnicas assertivas na captação de clientes, controle e visibilidade nos limites éticos, regulamentações e novas formas de incorporar a experiência do consumidor para a realidade atual.

Conforme desenvolvido no artigo, há diversas formas de captar a atenção do cliente com os estímulos sensoriais. Dentre estes, o sentido mais explorado é a visão que por fornecer maior aprendizado ao indivíduo, permite associar-se às emoções e memórias, que por sua vez influenciam no processo decisório de compra.

Ademais, é importante considerar que o comportamento do consumidor está em constante evolução e cada vez mais envolto em novas tecnologias que surgem no cotidiano. Todos estes fatores permitem novos desdobramentos e novos horizontes para que os profissionais de marketing possam utilizar ferramentas com o intuito de captação.

Com isto, determina-se que não é possível vender sem oferecer informações convictas sobre o produto ou o serviço e a forma com que o faz se torna um fator essencial no momento da compra de algum bem. Nesse sentido, o consumidor moderno avalia não só o produto ou serviço que adquire de uma organização, mas sim os princípios que regem as empresas e a seu posicionamento em relação ao ativismo, sociedade, minorias e sustentabilidade. Todos estes fatores são contribuintes na formação de opinião do comprador.

Sendo assim, as empresas devem respeitar seu consumidor, de forma que os dois ganhem

de forma mútua, pois é o cliente que rege o desenvolvimento e perspectivas que a organização pode se expandir e continuar saudável. As corporações, por sua vez, devem alinhar essa relação com o consumidor a partir da qualidade de seus serviços e que construam formas que contribuam satisfatoriamente com a necessidade do consumidor.

Levando em consideração todos os aspectos relacionados, o marketing sensorial é capaz de estabelecer um vínculo com o consumidor e pode proporcionar experiências que marcam o indivíduo. Além disso, o uso de técnicas sensoriais pode ser considerado um fator competitivo nas organizações que é a forma de encantar os clientes por meio de seu visual, som, estética e identidade.

Por fim, é recomendável que as organizações conheçam as ferramentas que motivam os clientes a comprarem seus produtos ou serviços, pois há possibilidade de desenvolver técnicas que fascinem o consumidor e que seja possível estabelecer um relacionamento saudável entre as empresas e seus clientes.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, Claudia Rosa; FAIRBANKS, Victor S. L. Os Efeitos do Marketing Sensorial sobre a experiência de compra do consumidor no ponto de venda. *Rimar: Revista Interdisciplinar de Marketing*, Maringá, v. 8, n. 1, p. 51-67, jan./jun. 2018.
- ARIELY, D; BERNIS, G. *Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business*. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 11, p. 284-292. Abril de 2010.
- BENNETT, P; KASSARJIAN, H. *O comportamento do consumidor*. São Paulo: Editora Atlas, 1980.
- BLESSA, R. *Merchandising no ponto-de-venda*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- BRAGA, M. *Influência da música ambiente no comportamento do consumidor*. V. 06, p, 05-12, 2012.
- CAMARGO, Pedro. *Neuromarketing: decodificando a mente do consumidor*. Porto: Edições I.P.A.M., 2009.
- CAVACO, Nanci Azevedo. *Consumismo é coisa da sua cabeça – O poder do Neuromarketing*. Rio de Janeiro: Editora Ferreira, 2010.
- CINCO exemplos de marketing sensorial aplicados ao varejo. *Redzcomunica*, 2018. Disponível em: <https://redzcomunica.com.br/blog/exemplos-de-marketing-sensorial/>. Acesso em 10 jul. 2020.
- DOOLEY, Roger. *Como influenciar a mente do consumidor: 100 maneiras de convencer os consumidores com técnicas de neuromarketing*. São Paulo: Elsevier, 2012.
- FERREIRA, Matheus. Nissin promove mega degustação do novo Cup Noodles na Av. Paulista. *Geek Publicitário*, 2016. Disponível em: <https://geekpublicitario.com.br/16145/degustacao-cup->

noodles-paulista/. Acesso em: 09 jul. 2020.

FRANKENTHAL, Rafaela. Como a tecnologia está causando mudanças no comportamento do consumidor. *Mindminers*, 2017. Disponível em: <https://mindminers.com/blog/tecnologia-e-comportamento/>. Acesso em: 01 jun. 2020.

FREUDENRICH, C. How Your Brain Works. *How Stuff Works*, 2010. Disponível em: <https://science.howstuffworks.com/life/inside-the-mind/human-brain/brain.htm>. Acesso em: 04 mai. 2020.

GARCIA, Yaya. Marketing sensorial. *Shvoong*, 2007. Disponível em: <http://pt.shvoong.com/exact-sciences/1675849-marketing-sensorial/2007>. Acesso em: 25 jan. 2020.

GASPARIN, Mirian. *Empresas utilizam marketing sensorial para atrair e fidelizar clientes*. Mirian Gasparin, 2017. Disponível em: <https://miriangasparin.com.br/2017/04/empresas-utilizam-marketing-sensorial-para-atrair-e-fidelizar-clientes/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

GONZALES, Amélia. Pesquisa mostra que 76% não praticam consumo consciente no Brasil. *G1*, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/blog/amelia-gonzalez/post/2018/07/25/pesquisa-mostra-que-76-nao-praticam-consumo-consciente-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 08 mai. 2020.

HOLDER, Alex. Sex doesn't sell any more, activism does. And don't the big brands know it. *The Guardian*, 2017. Disponível em: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/feb/03/activism-sells-brands-social-conscience-advertising>. Acesso em: 15 mai. 2020.

JUNIOR, Clovis. 11 Frases de Neuromarketing Que Irão Abrir a Sua Mente. *CJ Comunicação*, 2018. Disponível em: <https://cjcomunicacao.com/frases-neuromarketing/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

KOTLER, Philip; KELLER, Kevin Lane. *Administração de Marketing*. 12 ed. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2006.

KRISHNA, A; MORRIN, Maureen. Does touch affect taste? The perceptual transfer of product container haptic cues. *Journal of Consumer Research*, v. 34, n. 6, p. 807-818, 2009.

LAS CASAS, Alexandre L. *MARKETING: Conceitos, exercícios, casos*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

LAKE, Laura A. *Comportamento do consumidor para leigos*. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2009.

LATASHA, Khirodhur et al. Analyzing the Impact of Sensory Marketing on Consumers A Case Study of KFC. In: *Proceedings of the International Conference on Tourism, Hospitality and Marketing (IC16 Mauritius Conference)*. 2016. p. 21-23.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios? Conceitos Fundamentais de Neurociência*. Ed. 2, São Paulo: Editora Atheneu, 2002.

LEWIS, David. - Pai do neuromarketing. *Revista Exame*, 2008. Disponível em: <http://boostalpha.blogspot.com.br/2008/10/entrevista-david-lewis-pai-do.html>. Acesso em: 30 mar. 2020.

LINDSTROM, Martin. *A lógica do consumo: verdades e mentiras sobre porque compramos*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira Participações, 2009.

MALHOTRA et al. *Introdução a Pesquisa de Marketing*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

MASLOW, A. *Motivation and Personality*. New York: Haper Andamp; Row Publishers, 1970.

MATHIAS, Leticia. Experiências sensoriais como estratégias de trade marketing. *Clube do Trade*, 2020. Disponível em: <https://clubedotrade.com.br/blog/marketing-sensorial-no-pdv/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

MORIN, Christophe. Neuromarketing: The New Science of Consumer Behavior. In: *Symposium Consumer Culture in Global Perspective*, v. 48, Issue 2, p; 131 – 135. Março de 2011.

NOGUEIRA, Diego. 5 estratégias de marketing digital para alavancar sua empresa. *Alive Web*, 2019. Disponível em: <http://www.aliveweb.com.br/5-estrategias-de-marketing-digital/>. Acesso em: 07 abr. 2020.

OLIVEIRA, Diogo. Pirâmide de Maslow: Conheça e entenda a hierarquia das necessidades humanas. *Soften Sistemas*, 2018. Disponível em: <https://blog.softensistemas.com.br/piramide-de-maslow/>. Acesso em: 07 mar. 2020.

PRADEEP, A. K. *O Cérebro Consumista: conheça os segredos mais bem guardados para vender para a mente subconsciente*. São Paulo: Cultrix, 2012.

RAMOS, Ana Júlia. Marketing Sensorial: saiba como usar os cinco sentidos para gerar vendas para o seu negócio!. *Rock Content*, 2019. Disponível em: <https://rockcontent.com/blog/marketing-sensorial/>. Acesso em: 27 fev. 2020.

ROBBINS, S. *Comportamento organizacional*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SARQUIS, Aléssio Bessa et al. MARKETING SENSORIAL NA COMUNICAÇÃO DE MARCA: UM ENSAIO TEÓRICO. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação – Brazilian Journal Of Management & Innovation*, Caxias do Sul, v. 2, n. 3, p. 1-21, mai/ago. 2015. Quadrimestral. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/RBGI/article/viewFile/3614/2136>. Acesso em: 30 abr. 2020.

SAUERBRONN, João Felipe Rammelt; AYROSA, Eduardo André Teixeira; BARROS, Denise Franca. Bases sociais das emoções do consumidor: uma abordagem complementar sobre emoções e consumo. *Cad. EBAPE.BR*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 169-182, mar. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512009000100012&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 06 jun. 2020.

SCHIFFMAN, Harvey Richard. *Sensação e percepção*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SCHMITT, Bernd H.; SIMONSON, Alex. *A estética do marketing: como criar e administrar sua marca, imagem e identidade*. São Paulo: Editora Abril S.A., 2002.

SERRANO, Daniel Portillo. O que é Marketing 5.0. *Portal do Marketing*, 2017. Disponível em: http://www.portaldomarketing.com.br/Artigos/O_que_e_Marketing_5_0.htm. Acesso em: 08

jul. 2020.

SHETH, Jagdish N.; MITTAL, Banwari; NEWMAN, Bruce I. *Comportamento do Cliente: indo além do comportamento do consumidor*. 1 ed. – São Paulo: Editora Atlas, 2008.

SILVA, Valéria Maria. Marketing Sensorial: a relação dos sentidos com a memória. A relação dos sentidos com a memória. *Portal Administradores*, 2009. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/marketing-sensorial-a-relacao-dos-sentidos-com-a-memoria>. Acesso em: 01 jun. 2020.

SOLOMON, Michael R.. *O Comportamento do Consumidor: comprando, possuindo e sendo*. 11. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

SOUZA, Sandra Duarte. Memória dos sentidos e sentidos da memória: relembrar para gerar vida. Relembrar para gerar vida. *Portal Metodista*, 2016. Disponível em: <http://portal.metodista.br/centrotiliachaves/editorial/arquivoeditorial/201cmemoria-dos-sentidos-e-sentidos-da-memoria-relembrar-para-gerar-vida201d>. Acesso em: 01 jun. 2020.

VELOSO, Edu. Marketing sensorial: como conquistar clientes engajados na sua estratégia digital. *Jazz Digital*, 2019. Disponível em: <https://jazzdigital.com.br/blog/marketing-sensorial/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

ZACHO, Ricardo. O que é marketing?. *Mz Click*, 2015. Disponível em: <https://www.mzclick.com.br/marketing/>. Acesso em: 05 mar. 2020.

1 MARQUES, Danilo Medeiros. Tecnólogo em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba – Faculdade de Tecnologia Dep. “Roque Trevisan”.

2 BERNARDO, Maria Helena. Atuação como docente em cursos de Graduação e Pós Graduação desde 1998. Graduada em Comunicação Social pela Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP/SP), Especialista em Marketing pela Universidade Anhemi Morumbi, Mestre em Administração pela Universidade Nove de Julho e Doutora em Administração com ênfase em Marketing pelo Programa de Pós Graduação em Administração UNIMEP - Universidade Metodista de Piracicaba. Exerce a função de Coordenadora do Curso em Gestão Empresarial da FATEC Piracicaba . Docente nos cursos de pós graduação Lato Sensu nas Faculdades Adventista Hortolândia, Faculdades Salesianas Americana e Faculdade Anhanguera Santa Bárbara. Atualmente cursa Psicanálise pelo Centro de Formação em Psicanálise Clínica, FAATESP/São Paulo.

Análise da implementação de melhorias no fluxo de processo em uma empresa metalmeccânica – estudo de caso

BELLATO, Júlia Campos
MAZZONETTO, Alexandre Witier

Resumo

O cenário do mundo globalizado, cada vez mais automatizado, torna o mercado mais competitivo, não permitindo estagnação nas empresas e seus processos. Assim, as empresas precisam encantar seus consumidores e melhorar a qualidade, reduzindo os custos produtivos, otimizando seus processos e procedimentos a fim de obterem ganhos de eficiência, produtividade e redução de despesas. O *Lean Manufacturing* tem como princípio combinar novas técnicas gerenciais, reduzir perdas e obter ganhos, produzindo mais com menos recursos e menos mão-de-obra. Este trabalho foi um estudo de caso, com o objetivo de ressaltar as melhorias obtidas a partir da alteração do *layout* produtivo, de uma empresa metalmeccânica na região de Campinas-SP, no setor de tratamento térmico. Estudo necessário após a detecção de falhas, na ausência de processos do tratamento. Através do uso de ferramentas como *Kaizen* e Ishikawa, as alterações de *layout* implementadas possibilitaram a otimização de todo o processo produtivo da têmpera por indução do parafuso, gerando ganhos principalmente em qualidade. A comparação de cenários “antes e depois” da otimização, revela por meio da diferença entre os processos, a diminuição do tempo total do tratamento do lote de parafusos em 14 horas corridas, 97 segundos em movimentações desnecessárias entre os processos, aproximadamente 72 metros em fluxos cruzados, definição da política por lotes em cestos padrões, implementação de documentações internas para a realização dos processos mais completos e simplificados, facilitando o entendimento dos operadores e também na inserção de padrões visuais nas peças, antes inexistentes. Essas alterações de *layout* propiciaram alcançar a vida útil das peças tratadas em 43.770 horas, ou em aproximadamente 5 anos, e conseqüentemente uma redução de 100% das reclamações de clientes – até o momento deste trabalho, antes sendo a principal adversidade do processo.

Palavras chave: *Lean manufacturing*; qualidade; *Kaizen*; *layout*; produtividade.

Abstract

The scenario of the globalized world increasingly automated makes the market more competitive, not allowing stagnation in companies and in their processes. So, companies need to meet their consumers expectations and improve quality, reducing production costs, optimizing their processes and procedures in order to obtain gains in efficiency, productivity and expense reduction. Lean Manufacturing has as principle to combine new management techniques, reduce losses and obtain gains, producing more with less resources and less labor. This work was a case study with the objective of highlighting the improvements obtained from the shift of the productive layout of a metal-mechanic company in the region of Campinas-SP in the heat treatment sector. A study that was necessary after the detection of failures in the absence of treatment processes. With the use of tools such as Kaizen and Ishikawa, the layout changes implemented enabled the optimization of the entire production process of tempering by screw induction, generating gains mainly in quality. The comparison of scenarios "before and after" the optimization, reveals through the difference between the processes, the reduction of the total time of the treatment of the batch of bolts in 14 hours, 97 seconds in unnecessary movements between the processes, approximately 72 meters in cross flows, definition of the policy by batches in standard baskets, implementation of internal documentation for the realization of the most complete and simplified processes, facilitating the understanding of the

operators and also in the insertion of visual patterns in the parts, previously non-existent. These layout changes have provided the sector with a lifespan of 43,770 hours, or approximately 5 years, with a 100% reduction in customer complaints so far, before being the main adversity of the process.

Keywords: Lean manufacturing; quality; Kaizen; layout; productivity.

Resumen

El escenario del mundo globalizado cada vez más automatizado, hace que el mercado sea más competitivo, no permitiendo el estancamiento de las empresas y sus procesos, por lo que las empresas necesitan deleitar a sus consumidores y mejorar la calidad, reduciendo los costos de producción, optimizando sus procesos y procedimientos para obtener ganancias en eficiencia, productividad y reducción de gastos. La Manufactura Lean tiene como principio combinar nuevas técnicas de administración, reducir las pérdidas y obtener ganancias, produciendo más con menos recursos y menos mano de obra. Este trabajo fue un estudio de caso con el objetivo de poner de relieve las mejoras obtenidas a partir del cambio en el layout de producción de una empresa metalmecánica de la región de Campinas-SP en el sector de los tratamientos térmicos, estudio que fue necesario después de la detección de fallas en ausencia de procesos de tratamiento. Mediante el uso de herramientas como Kaizen e Ishikawa, los cambios de diseño implementados permitieron la optimización de todo el proceso de producción de templado por inducción de tornillo, generando ganancias principalmente en calidad. La comparación de los escenarios "antes y después" de la optimización, revela a través de la diferencia entre los procesos, la reducción del tiempo total del tratamiento del lote de pernos en 14 horas, 97 segundos en movimientos innecesarios entre los procesos, aproximadamente 72 metros en flujos cruzados, definición de la política por lotes en canastas estándar, implementación de documentación interna para la realización de los procesos más completos y simplificados, facilitando la comprensión de los operadores y también en la inserción de patrones visuales en las piezas, anteriormente inexistentes. Estos cambios de disposición han proporcionado a la industria una vida útil de 43.770 horas, o aproximadamente 5 años, con una reducción del 100% de las quejas de los clientes hasta ahora, antes de ser la principal adversidad del proceso.

Palabras clave: Lean manufacturing; calidad; Kaizen; layout; productividad.

INTRODUÇÃO

Com a competitividade de mercado cada vez mais acirrada, devido à alta diversidade de produtos ofertados, as empresas buscam alternativas estratégicas para melhorar sua produtividade e baixar significativamente os custos da produção. A qualidade é indispensável em uma produção, sendo utilizada para reduzir custos e eliminar desperdícios.

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), “uma organização é tão eficaz quanto seus processos”. Cada atividade do processo deve agregar valor à sua precedente, buscando a eliminação dos desperdícios e dos custos desnecessários.

Neste contexto, se enquadra o conceito de *Lean Manufacturing*, também conhecida como manufatura enxuta, que visa reduzir perdas de recursos enxugando a produção, como processos obsoletos, aqueles que não agregam valor ao produto final, combinando novas técnicas gerenciais, com máquinas cada vez mais sofisticadas, afim de produzir mais com menos recursos e menos mão-de-obra.

O presente trabalho realizou uma análise comparativa das melhorias do fluxo produtivo de uma empresa metalmecânica na região de Campinas-SP, no setor de tratamento térmico, tendo como objetivo a otimização e eliminação de trajetos, redução de índices de retrabalho e melhorias de indicadores operacionais, com ganho de eficiência e produtividade.

REVISÃO DE LITERATURA

Corrêa & Corrêa (2011, p. 24), afirmam que a administração da produção é caracterizada como atividade de gerenciamento estratégico dos recursos escassos (humanos, tecnológicos, informacionais e outros), de sua interação e dos processos que produzem e entregam bens e serviços visando atender necessidades e/ou desejos de qualidade, tempo e custo de seus clientes.

As empresas estão constantemente se remodelando de formas cada vez mais inovadoras, buscando reduzir custos (CHIAVENATO, 2001).

Os sistemas de produção são tradicionalmente agrupados em três grandes categorias, sendo produção contínua, produção intermitente e produção para grandes processos (MOREIRA, 2011), conforme mostra Quadro 1.

Quadro 1. Resumo dos Sistemas Produtivos

SISTEMAS PRODUTIVOS	
Produção contínua	Apresentam produção contínua ou fluxo em linha, numa sequência única, podendo ser pura (produto único) ou com diferenciação, caracterizada pelas linhas de montagem, e geralmente funcionam por longos períodos de tempo. São consideradas como contínuas, devido ao fato de o processo ser em um fluxo ininterrupto.
Produção intermitente	Produção realizada em lotes, podendo ser sob encomenda (produtos únicos) ou repetitiva (produtos diferenciados). Os equipamentos apresentam alteração constante de trabalho; o processo intermitente requer um planejamento de Produção mais complexo.
Produção para grandes projetos	O projeto é um produto único; normalmente de alto custo.

Fonte: Adaptado de Moreira (2011).

Qualidade

Segundo Chiavenato (2002), a qualidade deve ser um processo de melhoria contínua, a fim de resultar em economia, melhoria de processos produtivos, redução de desperdícios e consequentemente no aumento da satisfação do cliente.

O controle da qualidade tem como objetivo identificar problemas que promovam o surgimento de não conformidades por meio de análises de processos, a fim de criar uma padronização, garantindo a qualidade dos produtos (FALCONI, 2004). De acordo com Neumann (2013), a produtividade sem qualidade é o resultado do mau aproveitamento dos recursos e a má utilização do tempo, de acordo com a Figura 1.

Figura 1. Controle de qualidade



Fonte: Adaptado de Falconi (2004).

Lean Manufacturing

A origem do conceito e termo *lean*, começou a ser desenvolvido durante a década de 1950 por *Taichii Ohno* e *Eiji Toyoda* na *Toyota Motor Company*, ao visitarem e estudarem a fábrica da Ford

em Detroit durante três meses, onde verificaram falhas, como o fato de se produzir em grandes quantidades, resultando em um desgaste acrescido das máquinas e a grandes acumulações de materiais (LIKER et. al, 2006).

Tendo conhecimento nas falhas encontradas na fábrica da Ford, *Eiji Toyoda* atribuiu a *Taiichi Ohno*, na época diretor da Toyota, a missão de aumentar a produtividade eliminando todos os desperdícios, ou seja, todas e quaisquer atividades existentes que não acrescentavam valor ao produto final. A Toyota contava com mão-de-obra qualificada, no entanto os seus recursos eram ineficientes e mostrava-se necessária uma aposta no incremento na qualidade e uma diminuição dos desperdícios para se tornarem competitivos no mercado mundial (OHNO, 1997).

Diante deste cenário surgiu a *Toyota Production System* (TPS), baseado na constante procura da eliminação de desperdícios. Com o passar dos anos e décadas, o TPS sofreu diversos processos de aprendizagem e está em constante evolução a nível mundial (WOMACK et al, 2004). Este novo sistema caracteriza-se por qualidade e flexibilidade dos processos, ampliando assim a capacidade de produção e conseqüentemente, a possibilidade de competição no cenário internacional (MOREIRA, 2011).

Segundo Drew et al (2004), *lean* é um conjunto de princípios, práticas, ferramentas e técnicas projetadas para combater as causas da baixa performance operacional. É uma abordagem sistemática para eliminar perdas de toda a cadeia de valor de uma empresa, de forma a aproximar a performance atual aos requisitos dos clientes e acionistas (DREW, MCALLUM e ROGGENHOFER, 2004). *A lean manufacturing* está diretamente relacionado com a diminuição de *lead times* e de estoques entre processos de produção (GOLDSBY et al, 2006).

O termo *Just in time* (JIT) utilizado pela *lean* se origina da ideia de redução de inventário, onde a exigência é que todas as peças e/ou componentes sejam entregues somente quando necessários para a produção de determinado produto (HARRISON & VAN HOEK, 2008).

Os principais objetivos do *Lean Manufacturing* são (WOMACK, JONES e ROSS,1992):

- Eliminação dos desperdícios;
- Melhoria da qualidade;
- Redução dos tempos de preparação;
- *Lead Time* reduzido;
- Redução dos custos de produção e de transporte de produtos;
- Inexistência de operações que não acrescentem valor;
- Inexistência de defeitos;
- Nível de estoque reduzido;

- Envolvimento das pessoas nos processos;
- Produção dos produtos necessários.

Desperdícios considerados pela *Lean Manufacturing*

De acordo com Womack et al (2004), durante às visitas à Ford, Ohno percebeu que o sistema produtivo vigente era repleto de muda, expressão que em japonês significa desperdício, visualizando nos processos da produção desperdícios de esforços, materiais e tempos.

Ohno (1997) afirma que a produção enxuta é o resultado da eliminação de sete tipos de desperdícios, conhecido pelas organizações como perdas. Segundo Shingo (1996), perda é considerado toda e qualquer atividade que não agregam valor ao processo e conseqüentemente, ao produto e/ou serviço final. A teoria *Lean* descreve 7 áreas principais de desperdícios definidas por Ohno (1997), conforme descritivo no Quadro 2.

Quadro 2. Resumo dos Sistemas Produtivos

7 PRINCIPAIS ÁREAS DE DESPERDÍCIOS DEFINIDAS POR OHNO	
1° Defeitos	Corrêa e Gianesi (2009) explicam que o desperdício devido a produtos defeituosos é considerado um dos maiores do processo, resultando em desperdícios de materiais, mão-de-obra, equipamentos, processamento, movimentação e armazenagem de materiais defeituosos, retrabalhos etc. Ainda, Ghinato (1996) reforça que este desperdício tem muita influência sobre o sistema produtivo, gerando impactos no preço de venda do produto final, na programação, elevados prazos de entrega e no comprometimento da qualidade combinada.
2° Superprodução	Shingo (1996) afirma que podem existir tipos de superprodução: a quantitativa significa que a produção foi maior que o necessário e a antecipada se refere no produto final em maior quantidade que o necessário e antes do tempo estipulado.
3° Estoque	Estoque excessivo de produto final, matérias-primas e/ou insumos. Segundo Corrêa e Gianesi (2009), a eliminação de todos os outros desperdícios resulta na solução deste.
4° Tempo de espera	Segundo Corrêa e Corrêa (2011), refere-se ao material que aguarda em fila de espera para ser processado, gerando ociosidade humana e/ou de equipamentos.
5° Transporte	A movimentação excessiva do material em processo dentro da fábrica não agrega valor. Um bom <i>layout</i> /arranjo físico agiliza o transporte e organização dos materiais e o processo em si.
6° Movimentação nas operações	De acordo com o <i>Lean Institute</i> Brasil, movimentos de pessoas sem necessidade também são desperdícios, pois consomem tempo que não está sendo usado para produzir, para criar valor.
7° Processamento	Processamento: fontes de desperdício no processo que não agregam valores, devido a projetos ruins de componentes ou manutenção.

Fonte: Corrêa e Gianesi (2009); Corrêa e Corrêa (2011), Ghinato (1996); Shingo (1996).

Princípios do *Lean Manufacturing*

Alguns princípios têm como objetivo eliminação de desperdício, e diante deste cenário, Womack & Jones (2004) ressaltam cinco princípios que caracterizam um ciclo contínuo, sendo representado no Quadro 3.

Quadro 3. Princípios da *Lean Manufacturing*

PRINCÍPIOS DA <i>LEAN MANUFACTURING</i>	
1º Valor:	Identificação das expectativas e necessidades do cliente em relação ao produto, sendo o cliente quem define o que representa ou não valor para determinado serviço e/ou produto. Neste, as necessidades do cliente, assim como a entrega do produto e/ou serviço, devem ser no tempo certo, nas quantidades certas e com a qualidade exigida, desta forma, a especificação do valor é a primeira etapa para o pensamento enxuto.
2º Cadeia de valor:	Necessária a identificação da cadeia de valor desde o fornecedor até ao cliente final; para isso são definidos 3 processos, sendo os que agregam valor, aqueles que não acrescentam valor, mas são um “mal necessário” para os processos e a qualidade, e aqueles que não acrescentam nenhum valor e, portanto, devem ser eliminados. Para este, é necessária uma análise de todo o processo produtivo.
3º Fluxo contínuo:	Após a análise do fluxo de valor e a eliminação de processos que não agregam valor, são criados processos de fluxo contínuo, possibilitando uma redução dos tempos de produção dos produtos e/ou serviços.
4º Produção Puxada:	O cliente é quem gerencia a velocidade de produção, devendo todos os processos se alinharem de forma a se adaptar as necessidades do cliente, reduzindo e evitando ao máximo acumulações de estoque ao longo do processo.
5º Perfeição:	Resulta na procura interrupta da melhoria contínua ou “ <i>kaizen</i> ”, em busca da perfeição e da capacidade de gerar o valor exato para o cliente. Para tal perfeição, todo colaborador deve estar envolvido na implementação dos princípios do Lean.

Fonte: Adaptado de Womack & Jones (2004).

Principais ferramentas da *Lean Manufacturing*

Os métodos e ferramentas *Lean* são uma filosofia de produção que engloba toda a cadeia de fluxo de valor. O pilar do sistema *Lean* é estabilidade e padronização. O coração do sistema é o envolvimento: membros de equipe flexíveis e motivados constantemente à procura de uma forma melhor de fazer as coisas (PASCAL, 2008).

Kaizen

O TPS baseia-se na produtividade em função dos resultados a serem alcançados, prognostica a adesão de uma filosofia básica que evita a muda, e propicia o melhoramento contínuo: *Kaizen* (CIMBALISTA, 2002). De maneira geral, o *Kaizen* significa a constante busca do melhoramento contínuo em todos os modos e aspectos, o que reflete na produtividade e na qualidade com o mínimo investimento possível (FERREIRA, 2002).

O *Kaizen* tem como propósito a obtenção melhorias rápidas por meio de senso comum e da criatividade. Através desta ferramenta é possível aperfeiçoar um processo individual ou um fluxo completo. Normalmente é dirigido por uma equipe com pessoas de várias áreas da empresa (WERKEMA, 2006).

No ano de 1950, *Edwards Demings*, instaurou uma ferramenta que descreve como a melhoria contínua deve ser implementada de modo a ser eficaz, conhecida por ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) (PINTO, 2009).

- *Plan* (Planejar): Análise profunda dos problemas e suas causas, e definição dos objetivos almejados. As ações de melhoria definidas, são designadas a um líder que fica responsável em apresentar uma solução, dado um período de tempo.
- *Do* (Executar): Ocorre a execução do plano definido anteriormente; sendo essencial o envolvimento de todos, garantindo que as ações estão se desenvolvendo conforme o planejado.
- *Check* (Verificar): É verificado o processo das ações, levantando se há a necessidade de repensar nas estratégias.
- *Act* (Atuar): É necessário decidir se as ações tomadas são as que melhor enquadram e se os objetivos foram alcançados.

Diagrama de *Ishikawa*

O Diagrama de Ishikawa, ou também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha-de-peixe, é uma ferramenta utilizada para o gerenciar e controlar a qualidade em diversos processos. A composição do diagrama considera que os problemas podem ser classificados em diferentes tipos de causas: máquina, método, meio ambiente, mão-de-obra, matéria prima e medida (LOPES et al, 2018).

Esta ferramenta é caracterizada como um instrumento utilizado no controle de qualidade, de modo a contribuir para a identificação de desvios no fluxo, ressaltando a existência de possíveis gargalos (SCHNEIDER et al, 2014), que descreve as causas:

- Método: as causas estão relacionadas ao método pelo qual o trabalho é executado.
- Matéria-prima: a causa está relacionada com os materiais utilizados no processo.
- Mão de Obra: os desvios são ocasionados pelo colaborador.
- Máquinas: o maquinário é o causador do desvio.
- Medida: a falta, ou utilização de indicadores de medição de forma incorreta, são os causadores do desvio.

- Meio Ambiente: o meio ambiente contribui na geração dos desvios.

Uma forma de identificar possíveis causas de problemas, é a realização do brainstorming, uma ferramenta que consiste de forma disciplinada em grupo, a geração de novas ideias (PINTO et al, 2009).

Metodologia 5S

A metodologia surgiu no Japão fundamentando-se da organização do local de trabalho com o objetivo central de torná-los mais seguros, organizados e limpos, auxiliando na eliminação de desperdícios, custos e estoques, para melhoria da produtividade e qualidade, combinando cinco práticas que têm como objetivo a padronização e organização do espaço de trabalho (WOMACK & JONES, 2004).

Ainda segundo Womack & Jones (2004), os 5S são definidos com cinco palavras, que em japonês, começam pela letra “s”:

1º *Seiri* (organização): Nesta fase o trabalho é colocado em ordem, de modo a somente se utilizar o que for necessário e aplicável. Todos os itens desnecessários às tarefas devem ser removidos (materiais, máquinas, equipamentos etc.), deixando no ambiente de trabalho apenas os materiais e equipamentos imprescindíveis.

2º *Seiton* (arrumação): Após os itens desnecessários terem sido descartados, deve-se iniciar a arrumação dos itens que permaneceram no posto de trabalho, devendo eles serem identificados e organizados de acordo com a sequência necessária, de forma que o material mais utilizado fique perto do operador, podendo ser localizado rapidamente.

3º *Seiso* (limpeza): Consiste em manter o local de trabalho limpo, ajudando a criar um ambiente agradável, evitando a criação de lixos e de desperdícios.

4º *Seiketsu* (normalização): Normalização dos trabalhos e organização do espaço, seguindo as regras estabelecidas.

5º *Shitsuke* (autodisciplina): A última etapa exige-se que seja garantida a manutenção da metodologia, certificando-se que as etapas anteriores são cumpridas.

Layout de produção

Corrêa & Corrêa (2011) conceituam *layout* com sendo o modo em que os recursos como maquinários, instalações e produção estão dispostos fisicamente dentro de uma organização.

O *layout* é muito relevante para se obter máxima produtividade, pois os processos podem ser otimizados por bons fluxos ou prejudicados em função da má distribuição física dos equipamentos (PARANHOS, 2007).

Segundo Krajewski & Ritzman (2009, p. 259), “os *layouts* afetam não apenas o fluxo de trabalho entre os processos em uma instalação, mas também os processos em outros lugares de uma cadeia de valor”. Baseado nesta informação, para se obter um arranjo físico de *layout* mais eficiente, as decisões devem ser tomadas baseadas em análises de dados reais, pois seus efeitos repercutem toda cadeia de valor. Para Slack, Chambers & Jhonston (2009), o *layout* é o modo em que os recursos transformadores serão posicionados e como os processos e tarefas serão alocadas aos recursos transformadores. De acordo com Meyers & Stephens (2005), os principais objetivos do *layout* de produção são:

- Promover o uso eficiente de pessoas, equipamentos, espaço e energia;
- Prover aos empregados, conveniência, conforto e segurança;
- Oferecer flexibilidade operacional para atendimento da demanda dos clientes;
- Aumentar a capacidade da produção;
- Eliminar desperdícios de movimentos desnecessários;
- Reduzir o tempo de processo da produção;
- Controle visual claro das atividades do processo produtivo, melhorando a qualidade.

Segundo Moreira (2000), um *layout* apropriado e moldado pode garantir um significativo aumento na produtividade sem o aumento de uso de recursos. O sistema de organização e produção é definido pelos tipos básicos de *layout*, pois dependem da natureza dos produtos e do tipo de operações a serem executadas. Os *layouts* existentes advêm de quatro tipos básicos:

- *Layout* de posição fixa: É considerado o mais básico e normalmente é aplicado quando o produto é de grande porte e não pode ser facilmente deslocado (NEUMANN & SCALICE, 2015).

- *Layout* por processo ou funcional: máquinas e serviços similares ficam agrupados de acordo com suas necessidades, de forma que o produto percorre uma sequência pré-estabelecida, deslocando-se de uma área para outra, onde as máquinas se encontram localizadas de acordo com cada operação.

- *Layout* de produto ou linha: as máquinas e os serviços auxiliares são dispostos de acordo com a sequência exata de processamento do produto.

- *Layout* Celular: É considerado flexível, pois se adapta a diversos sistemas produtivos, podendo ser utilizados em diversos segmentos produção; neste, os equipamentos são organizados

em uma sequência de fluxo suave de processo, e todas as operações que são necessárias para produzir um produto ou serviço para um cliente são executadas nas proximidades, muitas vezes em um *layout* em forma de “U” (NEUMAN & SCALICE, 2015).

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em uma empresa metalmeccânica localizada na região de Campinas-SP, no setor de Tratamento térmico, no fluxo de processo de têmpera por indução de parafusos. A empresa é conceituada no ramo de tecnologia, focada no fornecimento de soluções de propulsão para veículos elétricos e motores de combustão interna, contando com aproximadamente mil (1000) funcionários na planta.

A linha de produção do ciclo estudado era composta por: doze operadores de produção, um líder de produção, um programador, um coordenador de qualidade e um supervisor de tratamento térmico e um gerente. Os operadores são responsáveis pela montagem das cargas que são carregadas no forno, operação dos equipamentos, apontamentos de produção e acompanhamento de toda etapa do processo. O líder é responsável pelo gerenciamento das atividades produtivas, bem como absenteísmo, distribuição de time e clima organizacional da equipe e reporte diário da produção. O programador é responsável por realizar toda a programação da produção, baseando-se no lead time do cliente. O coordenador de qualidade realiza todo o gerenciamento das atividades como inspeções de qualidade, certificações e monitoramento de tendências dos resultados dos processos, determinando o se a peça está conforme ou não conforme. O supervisor é responsável pela gestão de indicadores de performance do setor, acompanhamento de novos negócios, gestão de pessoas, gestão das atividades dos líderes e coordenadores. O gerente é responsável pelo gerenciamento dos indicadores, planejamento estratégico, gestão de novos recursos, aprovação de novos negócios e composição do preço do serviço ofertado.

Com o aumento da produtividade no setor de tratamento térmico da empresa, houve a necessidade da rápida implementação de novas máquinas para atender a demanda, resultando em um crescimento desordenado do ciclo produtivo, devido a efetivação dos novos equipamentos sem estudos adequados de *layout* e fluxo de processos.

O início dos estudos foi realizado pela empresa, a partir de problemas no pós-venda, onde o cliente constatou em sua linha a quebra prematura de um lote de parafusos, causando a parada da operação de um equipamento. Este componente apresentou ruptura com cerca de 30 horas de trabalho em campo, quando sua expectativa de vida útil seria em torno de 43.800 horas aproximadamente.

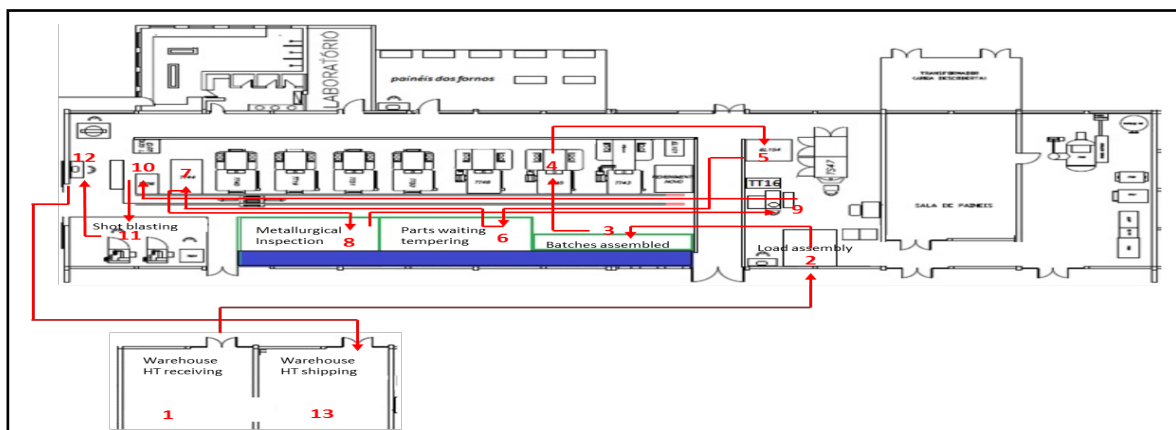
Tendo em vista o problema, foi iniciada uma pesquisa para análises mais profundas, identificar as possíveis causas e soluções, com foco na qualidade. O presente trabalho foi realizado por meio de estudos de documentos e dados fornecidos pela empresa, juntamente ao auxílio do supervisor do setor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro cenário

O primeiro cenário se caracteriza pelo fluxo produtivo antes dos estudos realizados. A Figura 2 exemplifica o *layout* cruzado da linha de produção do tratamento térmico de têmpera por indução realizado no parafuso, sequenciado ordenadamente. Este *layout* é a condição inicial do processo, onde foi realizado o estudo.

Figura 2. Fluxo antigo com cruzamento de processos



Fonte: Fornecido pela empresa.

Foi realizada a tomada de tempo e distância entre os processos, e devido à não padronização de lotes de peças no primeiro cenário, o cálculo foi realizado baseado no histórico de produção, três mil (3000) peças em média por lote, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Tomada De Tempo X Distância – Primeiro Cenário

Etapa	Movimentação	Tempo (s)	Distância (m)
1	Recebimento -> Montagem	72	57,2
2	Montagem -> Área de espera de cargas montadas	30	19,25
3	Área de espera de cargas montadas -> Forno	19	13,75
4	Forno -> Lavadora	26	19,8
5	Lavadora -> Área de espera de revenimento têmpera	28	22
6	Área de espera de revenimento -> Revenimento	26	20,35
7	Revenimento -> Área de inspeção	21	15,4
8	Área de inspeção -> Indução	22	17,6
9	Indução -> Área de espera de revenimento Indução	22	16,5
10	Área de espera de revenimento Indução -> Revenimento indução	24	17,6
11	Revenimento indução -> Área de inspeção	21	15,4
12	Área de inspeção -> Jato	24	18,15
13	Jato -> Verimet	14	9,9
14	Verimet -> Expedição	75	63,25
TOTAL		424s	326,15 m

Fonte: Autores.

O estudo nos mostra que para produzir um lote de 3.000 peças, são necessários 14 processos em deslocamentos cruzados, por aproximadamente 326 metros em 424 segundos.

Kaizen

O kaizen, principal ferramenta do estudo, foi estruturado desde o princípio, sendo composto pelo gerente do setor, supervisor de qualidade da planta, responsável de PC&L (Planejamento e Controle Logístico), um operador e um representante do cliente.

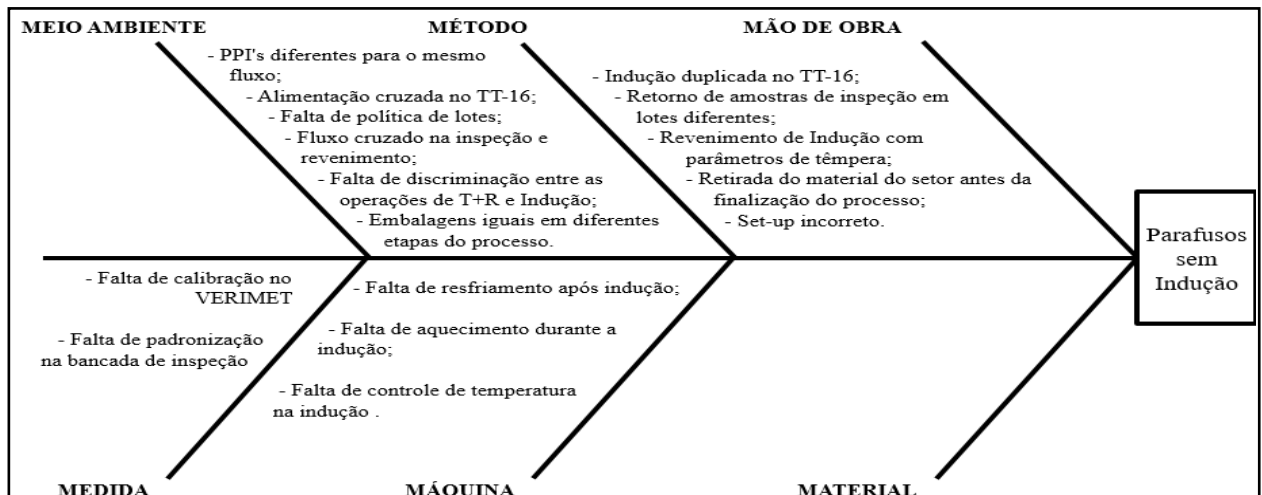
Através de análises iniciais realizadas pelo grupo no parafuso, foi constatado que o motivo da falha fora causado pela ausência de camada endurecida, mostrando que a etapa de têmpera por

indução foi suprimida do processo, deste modo, diminuindo a resistência do parafuso causando sua quebra prematura. O grupo também utilizou ferramentas de análise de falhas como o Ishikawa para estudar e analisar os dados.

Ishikawa

A utilização da ferramenta durante o *Kaizen*, ressaltou diversas possíveis causas da falta de indução do parafuso, e por meio do *brainstorming*, proveu-se desdobramentos em ações de melhorias de métodos, equipamentos, mão de obra e medição. A Figura 3, exemplifica as causas levantadas com a utilização da ferramenta.

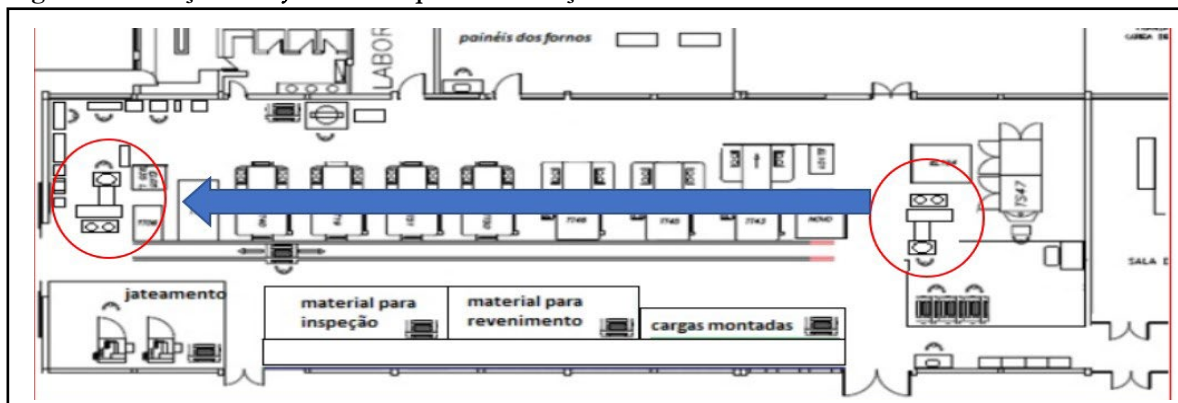
Figura 3. Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autores.

Evidenciadas as causas, foi constatado o problema inicial sendo a localização do TT-16 (equipamento onde é realizado o processo de têmpera por indução do parafuso), que gerava fluxo cruzado na produção, provendo outras possíveis falhas. Iniciou-se o estudo da alteração de *layout* do equipamento e assim a mudança do fluxo produtivo, e por meio desta alteração, 100% das causas encontradas com o Ishikawa, foram corrigidas. A Figura 4 mostra a alteração de *layout* realizada.

Figura 4. Alteração de *layout* da máquina de indução - TT16



Fonte: Fornecido pela empresa.

O Quadro 4, descreve todas as melhorias obtidas a partir dos estudos realizados no *Kaizen*, iniciando pela alteração de *layout* e fluxo produtivo.

Quadro 4. Comparação entre os cenários – Melhorias

MELHORIAS – COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS		
Primeiro Cenário	Segundo cenário	Melhorias
<i>Layout</i> com fluxos cruzados	<i>Layout</i> com fluxo contínuo	Modificação do posicionamento dos equipamentos, melhorando o fluxo, diminuindo deslocamentos e riscos de cruzamento dos processos.
Sem padronização de quantidade de peças por lote	Padronização de 840 peças por lote	Padronização da quantidade de peças em lotes, possibilitando tratamento total em todas as etapas até o final do processo, evitando a quebra do mesmo.
PPP's (O.S) diferentes para o mesmo fluxo de processo	Implementada PPI (O.S) única	Unificação das ordens de serviço e maior detalhamento das atividades, impossibilidade de mistura de documentos
Utilização de cestos disponíveis	Cestos padronizados ao lote	Utilização de um cesto compatível com o lote, evitando e perda das peças.
Peças com mesmo aspecto físico durante todo o processo	Peças induzidas com aspectos físicos diferentes às demais	Inversão da sequência da operação de jateamento, criando desta maneira um padrão visual nas peças induzidas.
Procedimentos escritos inexistentes	Procedimentos escritos disponíveis para consulta	Criação de procedimentos como: sequenciado de operações, operação de máquinas e inspeções e treinamento dos funcionários.
Equipamentos não fazem parte do programa de TPM	Equipamentos de acordo com o programa de manutenção preventiva	Execução das atividades de manutenção preventiva autônoma.
Sensores de ausência inexistentes	TT-16 com sensores de ausência	Impossibilidade de dupla têmpera por indução por falha do operador em não retirar a peça já induzida.
Sensores de fluxo inexistentes	TT-16 com sensores de fluxo	Monitoramento do fluxo de resfriamento, identificando a falta de líquido refrigerante.

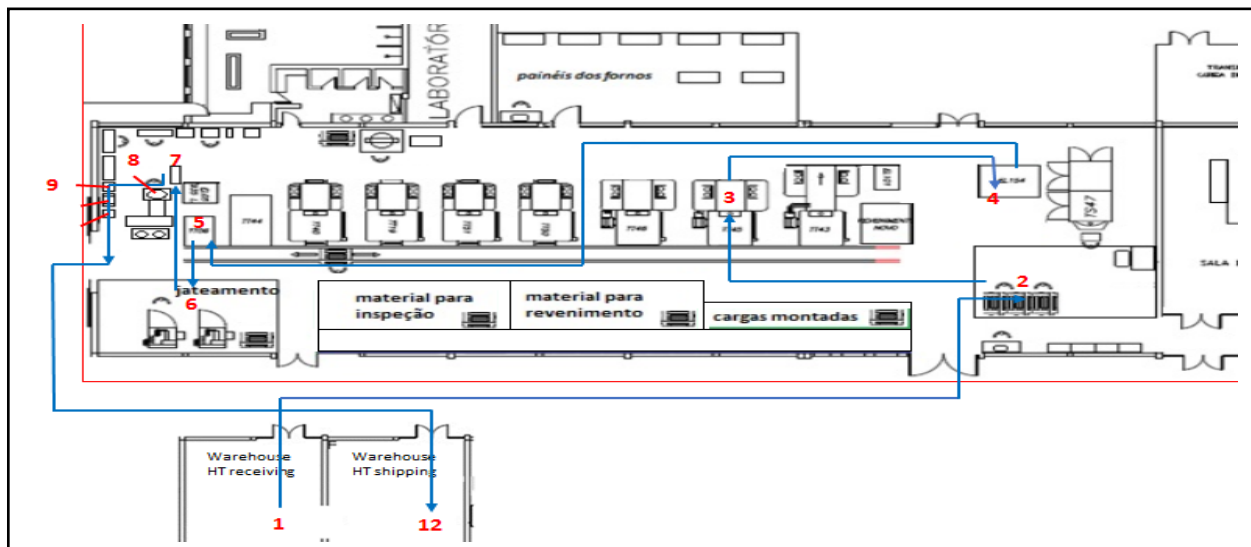
Alarmes de temperatura inexistentes	TT-16 com alarmes de temperatura	Monitoramento da correta temperatura do liquido refrigerante, evitando o resfriamento na temperatura incorreta.
Câmeras térmicas inexistentes	TT-16 com câmera térmica	Verificação por imagem térmica da temperatura correta de processos.
Forno de revenimento compartilhado	Forno de revenimento dedicado à indução	Impossibilidade de cruzamento de peças para revenir na área de materiais aguardando revenimento.
Corpos sem rastreabilidade	Arquivamento dos corpos de prova	Identificação e mapeamento dos corpos de prova inspecionados durante o processo.
Não há análise de dados de processo	Carta CEP utilizada para verificar tendência dos resultados	Verificação da tendência de resultados do tratamento térmico para possíveis análises e correção do processo.
Sem padronização de embalagem	Embalagens identificadas e padronizadas	Padronização da quantidade de peças por embalagem, identificação por etiqueta com número de carga e equipamento, garantindo a rastreabilidade até o final do processo.
Sem evidência visual do processo de indução	Evidência visual do processo de indução	Impossibilidade do envio ao cliente de peças com falhas por trincas, deformações ou falta de operação
Inexistência de evidencia de material induzido na linha de montagem	Câmeras de detecção de contraste	Verificação por contraste, garantindo que as peças passaram pelo processo de têmpera por indução.

Fonte: Autores.

Segundo Cenário

O segundo cenário se caracteriza pelo fluxo produtivo após os estudos finalizados e implementadas as melhorias propostas. A Figura 5 exemplifica o *layout* atual, onde percebe-se a eliminação de cruzamentos e diminuição de etapas de processos.

Figura 5. Fluxo novo com cruzamento de processos



Fonte: Fornecido pela empresa.

Para o segundo cenário, a tomada de tempo e de movimentação entre os processos foi realizada e calculada, baseada no processo de produção de 840 peças, já implementada a política por lotes, exemplificada pela Tabela 2.

Tabela 2. Tomada De Tempo X Distância – Segundo cenário (POLÍTICA DE LOTE – 840 PÇS)

Etapa	Movimentação	Tempo (s)	Distância (m)
1	Recebimento -> Montagem	72	57,2
2	Montagem -> Área de espera de cargas montadas	30	19,25
3	Área de espera de cargas montadas -> Forno	19	13,75
4	Forno -> Lavadora	26	19,8
5	Lavadora -> Área de espera de revenimento têmpera	28	22
6	Área de espera de revenimento -> Revenimento	26	20,35
7	Revenimento -> Área de inspeção	21	15,4
8	Área de inspeção -> Jato	24	18,15
9	Jato -> Indução	16	10,45
10	Indução -> Revenimento indução	3	2,2
11	Revenimento indução -> Verimet	2	1,1
12	Verimet -> Expedição	60	55
TOTAL		327s	254,65m

Fonte: Autores.

O estudo nos mostra que para produzir o lote padrão de 840 peças, é necessário o deslocamento contínuo por aproximadamente 254,65 metros em 327 segundos, em 12 processos.

A comparação da tomada de tempo entre os dois cenários revela um ganho de 97 segundos (do lote médio de 3000 peças para o lote definido de 840 peças) em movimentações, e aproximadamente 72 metros de distância entre os processos.

Foram dispostos ordenadamente todos os processos para realização do tratamento térmico do parafuso (sem as movimentações já calculadas anteriormente), para a análise do ganho em tempo, divididos novamente em primeiro cenário, onde o lote considerado foi de 3.000 peças, e o segundo cenário de 840 peças; o tempo foi considerado em minutos, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Comparação de tempos de processos

Processos	Primeiro Cenário (min)	Segundo Cenário (min)	Ganho (min)
Montagem	30	10	20
Têmpera	180	180	0
Desengraxe	40	40	0
Revenimento da Têmpera	120	120	0
Jato	10	10	0
Indução	1000	280	720
Revenimento da Indução	120	120	0
Verimet	100	28	72
TOTAL	1600	788	812

Fonte: Autores.

Os números mostrados na Tabela 3, ressaltam ganhos em apenas alguns processos, isso devido ao tempo ser diretamente baseado na quantidade de peças, ou seja, quanto maior o lote, mais demorado o processo. O ganho geral em tempo no final do processo de um lote de 840 parafusos, considerando que o processo é realizado em 3 turnos, foi de 812 minutos, ou aproximadamente 14 horas, diminuindo aproximadamente metade do *lead time* antigo.

No primeiro cenário, as 3.000 peças começavam a ser tratadas juntas, porém, devido à grande quantidade e *lead time* elevado do processo, esse lote era quebrado em diversos outros pequenos, dando possibilidade à diversas falhas e não sendo finalizado em uma única vez. Para o segundo cenário de 840 peças, o lote inicial é o mesmo lote final, ou seja, ele é contínuo e padrão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após estudos realizados na linha de produção, no fluxo de processo produtivo do tratamento térmico por indução de parafusos, ressaltou-se a importância da adoção de novos

sistemas de gerenciamento de produção, e assim a intensificação das práticas, como na gestão da qualidade e na gestão de operações, afim de obter-se melhorias nos processos.

Analisados os resultados obtidos a partir da utilização de ferramentas *Lean* como o *Kaizen*, foi possível a adoção de soluções, afim de otimizar o processo, eliminar movimentos desnecessários, realizar a alteração de *layout* e o levantamento de possíveis causas e soluções, por meio do Ishikawa. A utilização do *lean* melhorou a eficiência nas atividades, permitiu redução da movimentação dos operadores, possibilitou ao re-*layout* da linha melhorando enfim, todo o ciclo produtivo.

O principal ganho do estudo realizado foi em qualidade, onde 100% dos problemas foram corrigidos, sendo possível atingir a expectativa de vida útil das peças tratadas, ou seja, 43.770 horas, ou aproximadamente 5 anos, e proveu desdobramentos em melhorias durante todo o fluxo produtivo. Além disso, para o lote finalizado de 840 parafusos, estima-se um ganho em lead time, cerca de 14 horas corridas em tempo de processo, 97 segundos em movimentações desnecessárias, e aproximadamente 72 metros de distância em fluxos cruzados.

REFERÊNCIAS

- CHIAVENATO, I. *Teoria geral da administração*. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- _____. *Teoria Geral da Administração*. 7. ed. São Paulo: Manole, 2001. 436 p.
- CIMBALISTA, S. Toyotismo e o Processo de Motivação e de Incentivo à Inovação nas Organizações. *Análise Conjuntural*, v. 24, p. 18, 2002.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 690p.
- DREW, J.; MCCALLUM, B.; ROGGENHOFER, S. Making Operational Change Stick. *Journal of Lean*. Londres: Palgrave Macmillan, 2004.
- FALCONI, V. F. *TQC Controle da Qualidade Total*. 8. ed. INDG TecS, Nova Lima, RJ, 2004.
- FERREIRA, A. A; REIS, A. C. F; FERREIRA. M. I. *Gestão Empresarial – De Taylor aos nossos dias: Evolução e Tendências da Moderna Administração de Empresas*. São Paulo: Pioneira, 2002. P. 150-154.
- GHINATO, P. *Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-time*. Caxias do Sul: EDUCS, 1996.
- GOLDSBY, T. J.; GRIFFIS, S. E.; ROATH, A. S. Modelling lean, agile, and leagile supply chain

strategies. *Journal of Business Logistics*. V. 27, 2006. P. 57-80.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R. *Gestão de logística estratégica: Competindo através da cadeia de suprimentos*. 3. ed., Prentice Hall Financial Times, Upper Saddle River, NJ, 2008.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. *Administração de Produção e Operações*. 8. Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIKER, J.; MEIER, D. *The Toyota Way Fieldbook*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2006.

LOPES, M. et al. Uso de ferramentas de gestão na atividade leiteira: um estudo 219ulticascos em Uberlândia, MG. *Revista Agropecuária Técnica*. V. 39, n. 1, Areia, PB, 2018. P. 73-86.

MEYERS, F.; STEPHENS, M.P. *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. 3. Ed. Pearson, 2005.

MOREIRA, Daniel Augusto. *Administração da Produção e Operações*. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 624p.

MOREIRA, Daniel Augusto. *Administração da Produção e Operações*. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

NEUMANN, Clóvis. *Gestão de Sistemas de Produção e Operações: Produtividade, Lucratividade e Competitividade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

_____; SCALICE, R. K. *Projeto de fábrica e layout*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SCHNEIDER, MICHELE et al. *Diagrama de Causa-Efeito de Ishikawa: Estudo do Fluxo logístico em um Comércio de Materiais de Construção*. XV Mostra de Iniciação Científica, Pós Graduação, Pesquisa e Extensão. Programa de Pós Graduação, UCS, 2014.

OHNO, T. *O Sistema Toyota de produção*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PARANHOS, M. *Gestão da Produção Industrial*. Curitiba: Ibpex, 2007.

PASCAL, D. *Produção Lean Simplificada*. São Paulo: Bookman, 2008.

PINTO, A.; HOLANDA, M. Utilização do Diagrama de Ishikawa e Brainstorming para Solução do Problema de Assertividade de Estoque em Uma Indústria da Região Metropolitana de Recife. *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. ENEGEP, Salvador, Bahia, 2009.

PINTO, J. *Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras*. Lisboa: Lidel, 2009.

SHINGO, SHINGEO. *O Sistema Toyota de Produção*. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SLACK, Nigel. et al. *Administração de Produção*. São Paulo: Atlas, 2009.

WERKEMA, C. *Ferramentas estáticas básicas para gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

_____; ROOS, D. *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

1 BELLATO, Julia Campos é graduada em Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Atualmente atua no setor administrativo de manufatura em uma empresa metalmecânica. Tem interesse nas áreas de produção, negócios e projetos.

2 MAZZONETTO, Alexandre Witier possui Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônoma - 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).