



Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

Nota técnica



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Parceiros do Projeto



Parceiros nesta Atividade



Comitê Diretor do Projeto



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



www.gefbiogas.org.br

This project/program is funded by the Global Environment Facility

Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil)



Este documento está sob a licença Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License. Citações ao material deste documento devem ser da seguinte forma:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Indústria de processamento de mandioca**: da raiz ao biogás: nota técnica. Brasília: MCTI, 2022. *E-book*. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

COMITÊ DIRETOR DO PROJETO

Fundo Global para o Meio Ambiente

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Ministério de Minas e Energia

Ministério do Meio Ambiente

Ministério do Desenvolvimento Regional

Centro Internacional de Energias Renováveis

Itaipu Binacional

PARCEIROS DO PROJETO

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Associação Brasileira do Biogás

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FICHA TÉCNICA

Nome do produto:

Nota técnica: Indústria de processamento da mandioca: da raiz ao biogás

Componente Output e Outcome:

1.2 / 1.2.1

Publicado pela(s) entidade(s):

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – UNIDO
Centro Internacional de Energias Renováveis Biogás – CIBiogás

Autoria e coautoria:

Alessandra Freddo - CIBiogás | UNIDO
Daiana Gotardo Martinez – CIBiogás | UNIDO
Karina Navarro - CIBiogás
Leonardo Pereira Linz – CIBiogás

Revisão técnica:

Natalí Nunes – CIBiogás | UNIDO
Marcia Hino – CIBiogás
Orlando Schulz Junior – Fecularia Subida Indústria e Comércio Ltda.

Coordenação:

Felipe Souza Marques

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação:

Agosto/2022.

O68i Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás: nota técnica / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022.

26 p.: il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-39-7

1. Biogás – Energia térmica – Produção. 2. Agroindústria de processamento – Mandioca – Biogás. 3. Mandioca como combustível. I. Freddo, Alessandra. II. Martinez, Daiana Gotardo. III. Navarro, Karina. IV. Linz, Leonardo Pereira. V. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. VI. UNIDO. VII. Centro Internacional de Energias Renováveis. VIII. CIBiogás. IX. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. X. Título. XI. Série.

CDU 662.767.2



APRESENTAÇÃO

O Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil) reúne o esforço coletivo de organismos internacionais, setor privado, entidades setoriais e do Governo Federal em prol da diversificação da matriz energética do país por meio do biogás.

O Projeto é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) como principal entidade executora.

O objetivo do Projeto é reduzir a emissão de gases de efeito estufa, fortalecendo as cadeias de valor e inovação tecnológica ligadas à produção de biogás. Por meio de ações concretas, o Projeto amplia a oferta de energia e combustível no Brasil a partir da geração de biogás e biometano, fortalecendo as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor e facilitando investimentos.

O biogás é uma fonte renovável de energia elétrica, energia térmica e combustível. Seu processamento também resulta em biofertilizantes de alta qualidade para uso agrícola. A gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e de ambientes urbanos por meio da produção de biogás traz um diferencial competitivo para a economia brasileira. Desenvolver a cadeia de valor do biogás significa investir em uma economia circular envolvendo inovação e novas oportunidades de negócios. Indústrias de equipamentos e serviços, concessionárias de energia e gás, produtores rurais e administrações municipais estão entre os beneficiários do Projeto, que conta com US \$7,828,000 em investimentos diretos.

Com abordagem inicial na Região Sul e no Distrito Federal, o Projeto gera impactos positivos para todo o país. As atividades do Projeto incluem a atuação direta junto a empresas, cooperativas e entidades da governança do biogás para implementar acordos de cooperação, fazer análises de mercado, desenvolver modelos de negócio inovadores e atrair investimentos nacionais e internacionais.

O Projeto também investe diretamente na otimização de plantas de biogás mais eficientes, seguras e com modelos replicáveis, entregando ao mercado exemplos práticos de sucesso operacional. Além disso, o Projeto desenvolve ferramentas digitais e atividades de capacitação que atualizam e dinamizam o setor, facilitando o desenvolvimento de projetos executivos de biogás. Em paralelo, especialistas do Projeto desenvolvem estudos técnicos com dados inéditos que apoiam o avanço de políticas públicas favoráveis ao biogás. Dessa forma, o Projeto entrega para o mercado brasileiro mais competitividade, fomentando o biogás como um grande catalizador de novas oportunidades.

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Processo produtivo: da raiz ao produto.....	8
3. Potencial de produção de biogás.....	10
4. Arranjo tecnológico usual em unidades de processamento de mandioca	12
5. Panorama atual e expectativas de expansão.....	14
6. Rentabilidade da produção de energia térmica a partir do biogás.....	17
6.1 Energia Térmica.....	17
6.2 Energia Elétrica.....	22
7. Da raiz ao biogás: oportunidades e desafios	24
8. Considerações finais	25

Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

O considerável volume de raízes de mandioca processadas pelas unidades industriais brasileiras resulta em grandes quantidades de resíduos e efluentes que podem ser tratados em sistemas de digestão anaeróbia. Ao avaliar o potencial de produção de biogás na indústria da mandioca no país, observa-se que o uso do biogás passou a ganhar notoriedade a partir do ano de 2012, com o início da operação de 9 plantas de biogás, representando um aumento de 450% em comparação ao ano de 2011. Crescimento similar continuou sendo observado até o ano de 2016, refletindo no aumento da produção de biogás a uma taxa média de 38% a. a., atingindo patamares de 88 milhões de Nm³/ano. A principal aplicação do biogás em unidades de processamento da mandioca se dá a partir da geração de energia térmica, e esta contribui significativamente na redução de custos com biomassa (lenha) ampliando a segurança energética e financeira dos empreendimentos. Deve-se destacar que o volume de biogás produzido pode ser ampliado a partir do uso da massa de mandioca, assim como por meio de maior controle das atuais instalações.

Palavras-chave: Processamento de mandioca; biogás; energia térmica.

ENGLISH

The considerable volume of cassava roots processed by Brazilian industrial units results in large quantities of waste and effluents that can be treated in anaerobic digestion systems. When evaluating the potential for biogas production in the country, the use of biogas has gained notoriety since 2012, with the start of operation of 9 biogas plants, representing an increase of 450% compared to 2011. Similar growth continued to be observed until 2016, reflecting the increase in biogas production at an average rate of 38% a. a., reaching levels of 88 million Nm³/year. The main application of biogas in cassava processing units is from the generation of thermal energy, which contributes significantly to reducing costs with biomass (firewood) increasing the energy and financial security of enterprises. It should be noted that the volume of biogas produced can be increased from the use of the cassava mass, as well as through greater control of the current facilities.

Keywords: Cassava processing; biogas; thermal energy.

Impactos

A produção de mandioca no mundo tem crescido continuamente, com maior taxa registrada entre os anos de 2012 e 2016 onde a produção passou de 241,3 para 274,7 milhões de toneladas. O Brasil, líder na produção da raiz na América do Sul, apresentou estabilidade no ano de 2017 com produção na faixa de 20 a 22 milhões de toneladas (GROXKO, 2019).

O cultivo de mandioca está presente em boa parte das cidades brasileiras, porém a produção mais intensiva se concentra nas regiões norte e nordeste do país, que juntas totalizam 58,1% da produção nacional. Estas duas regiões possuem diversas casas de farinha de pequeno porte, com processamento manual, empregando um grande contingente de mão de obra da região. Já as regiões sul e sudeste (com 35,3% da produção de raízes do país) possuem indústrias de maior porte, que destinam a mandioca para a produção de fécula e farinha principalmente (GROXKO, 2019). O processamento de mandioca no Brasil, gera um grande volume de efluentes (manipueira, efluentes industriais) e resíduos sólidos/pastosos (massa de mandioca, casca de mandioca) que demandam soluções de tratamento. Neste contexto, a digestão anaeróbia destaca-se como mecanismo para a conversão da matéria orgânica, possibilitando o aproveitamento energético do biogás.

Partindo da realidade mencionada, espera-se com esta publicação contribuir com informações sobre as matérias primas para a produção de biogás disponíveis a partir do processamento de mandioca. Além de orientar quanto a novas perspectivas de utilização dos resíduos gerados, uma vez que a massa de mandioca (substrato com elevado potencial de produção de biogás, gerada no processamento da mandioca) não é utilizada em grande parte dos empreendimentos. Este baixo uso, está diretamente relacionado a falta de informações sobre seus benefícios e impactos na produção de biogás. Nesta vertente esta publicação pretende suprir o setor de processamento de mandioca com informações sobre o uso da manipueira e da massa de mandioca em biodigestores, de modo a potencializar o uso do biogás neste promissor segmento.

1. Introdução

A cultura de mandioca representa uma fatia importante do agronegócio brasileiro, sendo responsável por 1,6% do PIB da agricultura (IPEA, 2020). O consumo dessa raiz se dá de forma direta (*in natura*) e a partir de produtos processados como farinha e fécula. As regiões norte e nordeste concentram a maior parcela das indústrias de farinha de mandioca do país, enquanto nas regiões sul e sudeste estão presentes grande parte das indústrias de fécula de mandioca.

O considerável volume de raízes processadas pelas unidades industriais brasileiras resulta em grandes quantidades de resíduos e efluentes. A fração líquida é destinada a sistemas de tratamento de efluentes que visam reduzir a carga orgânica para posterior lançamento em corpo hídrico ou aproveitamento como condicionador de solos, uma vez que a parte sólida (cascas e a massa da mandioca) geralmente são destinadas a terceiros para alimentação animal.

Dentre as formas de tratamento destes resíduos orgânicos deve-se destacar a digestão anaeróbia. Por meio desta forma de tratamento, a matéria orgânica é convertida em biogás, ativo energético com grande possibilidade de aproveitamento em unidades agroindustriais; e digestato, material estabilizado com matéria orgânica e nutrientes

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

recicláveis, o que, além da ciclagem do carbono e nutrientes no solo, propicia a prática de uma agricultura orgânica e consideráveis reduções de emissão de gases do efeito estufa.

Diante das oportunidades em se realizar o aproveitamento energético do biogás em indústrias de processamento de mandioca, estruturou-se a presente nota técnica que busca elencar informações relevantes para o segmento, destacando o processo produtivo da mandioca, o potencial de produção de biogás, características dos arranjos tecnológicos empregados, o cenário atual, as expectativas de crescimento, a rentabilidade no uso energético do biogás, assim como, algumas das oportunidades e desafios para o desenvolvimento do biogás em unidades de processamento de mandioca.

2. Processo produtivo: da raiz ao produto

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é uma planta de lavoura temporária rica em água, amido e proteínas. Do processamento de suas raízes podem ser extraídos, dentre outros produtos e subprodutos, a farinha e três tipos principais de amido: o nativo, o hidrolisado e o modificado (EMBRAPA, 2003). Os amidos do tipo nativo (fécula) e modificado têm maior participação no mercado e atendem a diversos ramos industriais. Na Figura 1, são apresentadas as etapas de produção de farinha e fécula de mandioca.

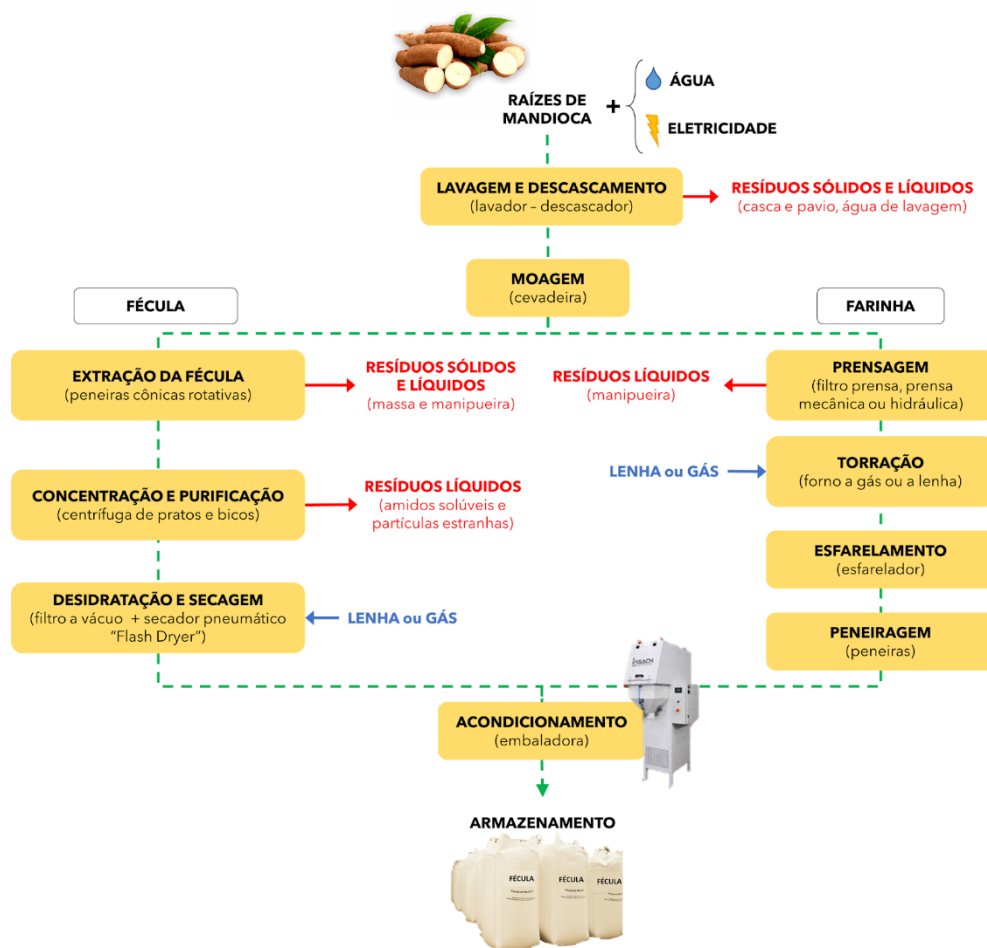


Figura 1 - Etapas da produção de farinha e fécula de mandioca
Fonte: Adaptado de Embrapa (2003).

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

Resultam do processamento da mandioca alguns resíduos orgânicos que podem ser aproveitados em sistemas de biodigestão para produzir biogás e gerar energia, tais como casca e água de lavagem, oriundos do processo de lavagem e descascamento da raiz, bagaço (composto pela fibra contida na polpa), e manipueira (líquido extraído da raiz) (EMBRAPA, 2003b).



Figura 2 – Casca da raiz de mandioca. Resíduo sólido oriundo do processo de lavagem e descascamento, obtido após o peneiramento.
Fonte: acervo do CIBiogás.



Figura 3 – Massa ou bagaço. Resíduo sólido gerado no processo de fabricação de fécula de mandioca. Apresenta aspecto pastoso e colocação clara.
Fonte: PRIA, 2015.

A casca da raiz (Figura 2), que passa pelo processo de peneiramento para separação do líquido e sólido mais grosseiro, constitui-se de uma fina camada celulósica de cor marrom clara ou escura. Geralmente, são separadas e incorporadas no solo como adubo, ou são destinadas à alimentação animal, assim como o bagaço (massa de mandioca).

A massa, composta pelo material fibroso da raiz, é rica em matéria orgânica biodegradável pois contém parte do amido que não foi extraído no processamento. É gerado na extração da fécula e, por receber muita água, contém umidade elevada, de cerca de 75% a 90%.

Já a manipueira (Figura 4) compõe o efluente industrial juntamente com a água de lavagem e é originada após a operação de prensagem ou extração da fécula (amido nativo) das raízes de mandioca, apresentando aspecto leitoso, cor esbranquiçada ou amarelo-claro e odor forte. Sua composição varia, sobretudo, em relação à carga orgânica e à concentração de compostos cianogênicos, tais como ácido cianídrico (HCN) e íon cianeto (-CN). Isso se deve, principalmente, à variedade da planta processada (mandioca brava ou mansa) e ao produto fabricado.



Figura 4 – Manipueira. Efluente industrial do processamento de mandioca. Apresenta aspecto leitoso, cor esbranquiçada ou amarelo-claro e odor forte.
Fonte: acervo do CIBiogás.

Para a industrialização da mandioca, a água é um fator primordial. A produção de fécula (amido nativo) responde pelo maior consumo de água em decorrência da sua utilização como insumo. Estima-se que sejam gastos entre 2 e 7 m³ de água por tonelada de mandioca processada, segundo dados levantados em licenças ambientais de unidades de processamento de mandioca do Paraná.

Ademais, estima-se que a geração de resíduos durante o processo produtivo de farinha de mandioca ou fécula (amido nativo) seja, em média, 3 kg de casca, 300 kg de massa e 4 m³ de efluente, por tonelada de raiz processada, conforme expresso na Figura 5. Vale destacar que o consumo de água, bem como a geração de efluentes e resíduos, pode variar em função de diversos fatores como: teor de amido, variedade da mandioca, período entre a colheita e o processamento da raiz, concentração de água na raiz, equipamentos, entre outros.

RESÍDUOS ORIUNDOS DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA

1 tonelada de mandioca para produção de farinha e amido / fécula / polvilho:



RESÍDUO	FAIXA	MÉDIA
Casca (kg)	1 – 5	3
Massa (kg)	100 – 500	300
Efluente (m ³)	2-7	4

Figura 5 - Produção de resíduos pelo processamento da mandioca.

¹ Valores declarados nas licenças ambientais de fecularias e farinheiras do Estado do Paraná. Vários fatores influenciam no volume de resíduos gerados, como: o teor de amido, variedade da mandioca, tempo da colheita até o processamento, concentração de água na raiz, equipamentos, entre outros.

3. Potencial de produção de biogás

A massa de mandioca, oriunda do processamento da raiz de mandioca, é rica em matéria orgânica biodegradável, assim como os efluentes. O uso da digestão anaeróbia e, conseqüentemente, a produção de biogás nestas indústrias, torna-se atraente, pela capacidade de associar tratamento de efluentes e geração de energia e digestato.

Diante da possibilidade do aproveitamento dos resíduos para produção de biogás e energia, foi realizada a avaliação do potencial de geração de biogás em escala laboratorial (Potencial Bioquímico de Metano - PBM) para a massa de mandioca e o efluente líquido industrial (manipueira + água de lavagem) coletados no estado do Paraná, conforme Tabela 1. A casca de mandioca não foi avaliada devido suas características lignocelulósicas e mercado para comercialização/utilização já estabelecido.

Tabela 1. Características físico-químicas dos substratos usados para produção de biogás e seus potenciais de produção em base seca.

Substrato	ST	SV	Produção de biogás	Metano	Produção de biogás	Produção de metano
	(g.kg ⁻¹)	(g.kgST ⁻¹)	(L _N . kgSV ⁻¹)	(%)	(Nm ³ .ton. substrato ⁻¹)	(Nm ³ .ton. substrato ⁻¹)
Efluente ¹ (manipueira + água de lavagem)	9,6	869,4	675	51	5,6	2,9
Massa de mandioca	128,2	983,1	589	47	74,2	35,0

ST - Sólidos totais; SV - Sólidos voláteis; Base seca; g - grama; kg - quilograma; L_N - litros normalizados; ton - tonelada; Nm³ - normal metro cúbico.

¹ efluente após feita separação da casca de mandioca.

Resultados médios apresentados a partir de ensaios laboratoriais.

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

Dentre as amostras analisadas, a massa de mandioca apresentou maior potencial de produção de biogás e metano por tonelada de resíduo, atingindo cerca de 92% a mais se comparado ao efluente industrial. Destaca-se que isso pode ser explicado pelo fato de a massa possuir cerca de 13 vezes mais sólidos totais ($128,2 \text{ g.kg}^{-1}$ para a massa de mandioca e $9,5 \text{ g.kg}^{-1}$ para o efluente) e um maior percentual de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais (98% para a massa de mandioca e 87% para o efluente), o que significa uma maior concentração de matéria orgânica passível de degradação biológica por tonelada de substrato.

Deve-se ressaltar que tão importante quanto o potencial de produção de biogás do substrato é a quantidade de resíduos e efluentes disponíveis para o processo de biodigestão, uma vez que este fator influenciará diretamente no volume de biogás obtido. Como mencionado, uma tonelada de massa de mandioca e de efluente industrial podem produzir, em média, 74,2 e 5,6 Nm^3 de biogás respectivamente; porém, em função da quantidade de resíduos e efluentes gerados durante o processamento de uma tonelada de mandioca, a produção de biogás de ambos os resíduos se equipara (volume potencial de biogás por tonelada de mandioca processada), conforme observado na Figura 6.

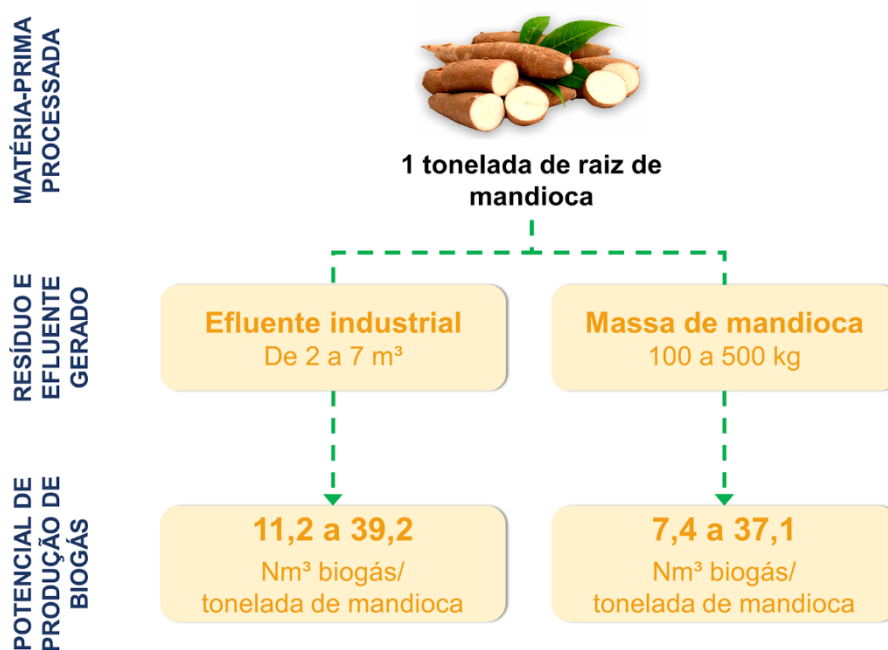


Figura 6 - Potencial de produção de biogás de cada resíduo e efluente gerado.

Em razão da obrigatoriedade, estabelecida por lei, do tratamento de resíduos e efluentes gerados no processamento de mandioca para obtenção de amido (nativo, hidrolisado ou modificado) e farinha, a digestão anaeróbia torna-se atrativa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Isso porque possibilita a geração e uso do biogás como fonte energética no próprio estabelecimento e, por ser um gás combustível, permite a substituição de combustíveis não renováveis, poluentes e onerosos, tornando o processo produtivo mais sustentável.

Em linhas gerais, unidades de beneficiamento da mandioca utilizam apenas o efluente industrial (manipueira e água de lavagem) para produção de biogás, enquanto a massa de mandioca é destinada para consumo animal.

Isso é explicado pelo fato de que muitos dos sistemas de tratamento anaeróbio de efluentes já existentes em unidades de processamento de mandioca são adaptados visando

a captação de biogás. Isto é, os sistemas não são projetados para receber a massa de mandioca, que é um material denso e pode obstruir as tubulações e o assoreamento do biodigestor em casos de ausência de sistemas de agitação adequados. Além do mais, a falta de conhecimento do potencial de produção de biogás da massa de mandioca colabora para que este substrato não seja destinado para este fim.

Apesar disso, a **utilização da massa de mandioca** como substrato em sistemas de biodigestão deve ser considerada uma prática interessante sob o ponto de vista técnico e financeiro, uma vez que sua adição **pode contribuir para o aumento da produção de biogás, podendo dobrar seu potencial gerado.**

4. Arranjo tecnológico usual em unidades de processamento de mandioca

Diante da oportunidade de produção deste ativo energético, muitas indústrias de processamento de mandioca realizam adaptações em seus sistemas de tratamento de efluentes para captação de biogás – convertendo lagoas anaeróbias em biodigestores de lagoa coberta.

De forma geral, a concentração de metano presente no biogás em agroindústrias do setor (média de 58% CH₄) indica boa qualidade do biogás para fins energéticos (energia térmica e elétrica).

Segundo pesquisa realizada em 2019 pelo projeto “Aplicações do biogás na agroindústria brasileira”, em 15 amidonarias no Paraná, que realizam o aproveitamento do biogás, cerca de 94% das unidades utilizam o biodigestor do tipo lagoa coberta. Apenas 12% das indústrias utilizam outros tipos de substratos para codigestão, como milho e mandioca, e o fazem conforme a disponibilidade desses substratos.

O estado do Paraná possui o maior aproveitamento de biogás a partir de efluentes e resíduos do processamento de mandioca do país. Por este motivo, estruturou-se na Figura 7, valores médios obtidos no estudo do Projeto GEF Biogás Brasil, destacando um panorama sobre o uso do biogás na indústria de processamento de mandioca no estado do Paraná. Destaca-se o volume médio de processamento diário, a qualidade do biometano gerado a partir desses substratos, a redução de maus odores e a economia em gastos com energia elétrica.

RAIO X DO BIOGÁS

INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA - PARANÁ



*Pesquisa realizada para composição do Panorama de tecnologias de biogás e biometano aplicadas ao agronegócio (GEF Biogás Brasil, 2019). Foram entrevistadas diversas indústrias do setor de beneficiamento de mandioca, com processamento de 200 a 400 toneladas de mandioca por dia. Os valores supracitados correspondem a resultados médios obtidos na pesquisa. A redução média de 45% dos gastos com energia elétrica é referente a unidades que realizam a aplicação do biogás para produção de energia elétrica.

Figura 7 - Dados sobre o uso do biogás na indústria de processamento de mandioca - Paraná.

5. Panorama atual e expectativas de expansão

O uso do biogás como fonte energética nas indústrias de beneficiamento da mandioca no Brasil passou a ganhar notoriedade a partir do ano de 2012, com o início da operação de 9 plantas de biogás. O crescimento continuou sendo observado até o ano de 2016 (com a operação de 38 plantas), refletindo no aumento da produção de biogás a uma taxa média de 38% a. a., atingindo patamares de 88 milhões de Nm³/ano (CIBIOGÁS, 2020).

Graficamente, o aumento no número de plantas e no volume da produção de biogás em indústrias de processamento de mandioca no Brasil, nos últimos 10 anos, fica ainda mais evidente, como ilustra a Figura 8.

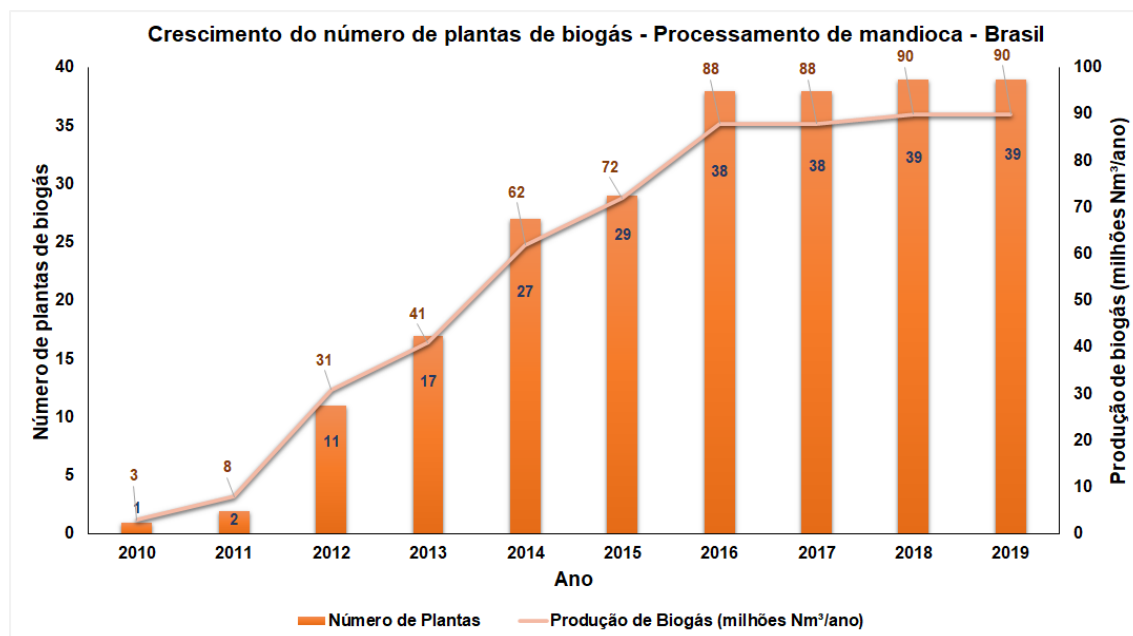


Figura 8 - Crescimento do número de plantas de biogás de 2010 a 2019 da indústria de processamento de mandioca no Brasil.

Fonte: CIBIOGÁS, 2020.

Entre 2016 e 2019, houve estabilidade no número de novas plantas de biogás no setor, que cresceu apenas 1% durante o período. Em 2019, segundo dados do Biogasmapp, 39 indústrias de processamento de mandioca no Brasil – entre fecularias, amidonarias e farinheiras – realizaram aproveitamento energético do biogás, das quais 3 utilizaram o biogás para geração de energia elétrica e 36 como fonte exclusiva para aproveitamento térmico.

Das unidades produtoras de biogás a partir do processamento da mandioca, o Paraná concentra aproximadamente 74% e, portanto, responde pela maior produção de biogás da indústria de mandioca, sendo que os 26% restantes das unidades se distribuem entre os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Bahia, conforme demonstra a Figura 9. Juntos, os quatro estados produzem, anualmente, cerca de 90 milhões Nm³ de biogás.

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

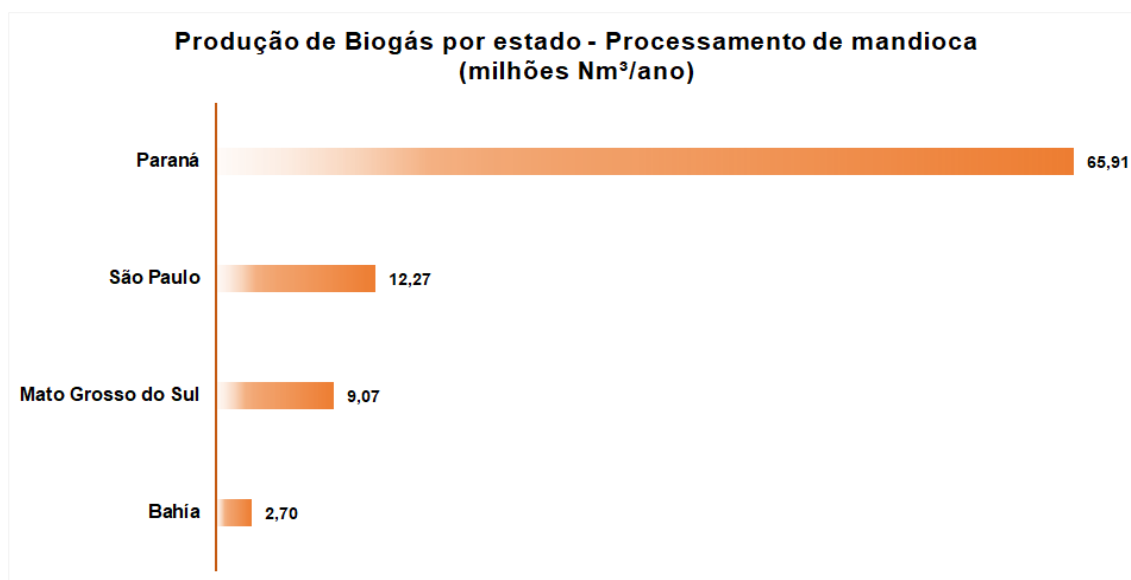


Figura 9 - Produção de biogás do beneficiamento da mandioca por estado brasileiro.
Fonte: CIBiogás, 2020.

Apesar de seu destaque a nível nacional, o Paraná explora apenas 35% de seu potencial que é de 190,1 milhões Nm³/ano, considerando apenas o efluente líquido como substrato – comumente empregado para este fim (Figura 10) (GEF Biogás Brasil, 2020). Levando em conta o uso da massa de mandioca para produção de biogás, o potencial de produção do setor poderia aumentar para 305 milhões Nm³/ano, um acréscimo de 61% em relação ao potencial estimado.

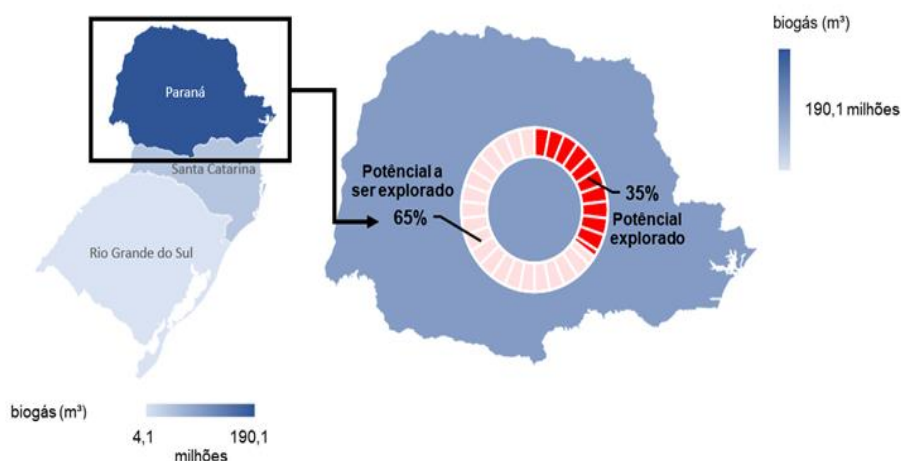


Figura 10 – Produção de biogás versus potencial a ser explorado no estado do Paraná para a indústria de beneficiamento de mandioca.

Com a possibilidade de incorporar a massa de mandioca na produção de biogás, é esperado um aumento no volume de biogás no país para os próximos 10 anos. É fato que, para que este cenário seja uma realidade, é fundamental a troca de informações entre especialistas sobre a temática considerando o aproveitamento destes substratos para produção de biogás e produtores (detentores da biomassa), bem como o reconhecimento das oportunidades existentes pelo setor industrial; uma vez que, na prática, a massa de

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

mandioca é pouco explorada para a produção de biogás. Uma alternativa é a utilização de plantas pilotos, com a finalidade de demonstrar eficiência e aumento na produtividade, como forma de comprovar o uso e a viabilidade da utilização de resíduos da mandioca para geração de biogás e seus subprodutos.

Desta forma, caso este destravamento ocorra e o interesse seja despertado, projeta-se um crescimento no número de novas unidades produtoras de biogás no setor de beneficiamento de mandioca e, conseqüentemente, um aumento na produção de biogás.

A Figura 11, apresenta a projeção de crescimento esperada até o ano de 2030, para diferentes cenários (conservador - 7% a.a., moderado - 8% a.a. e otimista - 9% a.a.), projetados a partir do histórico de produção de biogás do setor (dos anos de 2010 a 2019). O cenário moderado representa a inclinação atual de crescimento da produção de biogás no Brasil do setor de beneficiamento de mandioca, sendo os cenários conservador e otimista, variações desta tendência (1% para mais e para menos).

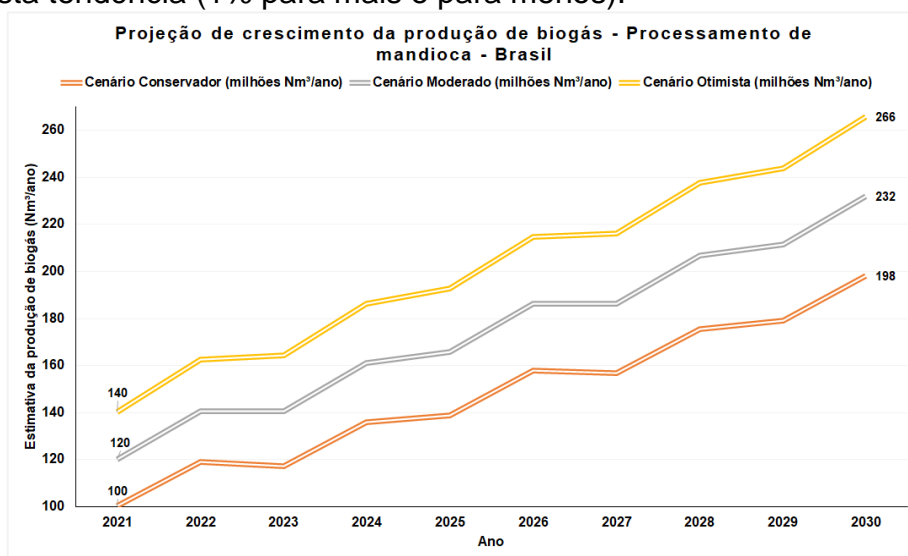


Figura 11 - Projeção de crescimento da produção de biogás para a indústria de processamento de mandioca no Brasil até o ano de 2030. * Projeção realizada a partir do modelo de Holt - Winters.

Seguindo a tendência do cenário moderado (crescimento médio de 8% a. a.), espera-se, para o ano de 2030, um aumento de 171% na produção potencial de biogás, podendo substituir o consumo de 464,2 mil toneladas de lenha ou suprir a demanda de 481,6 GWh de energia elétrica.

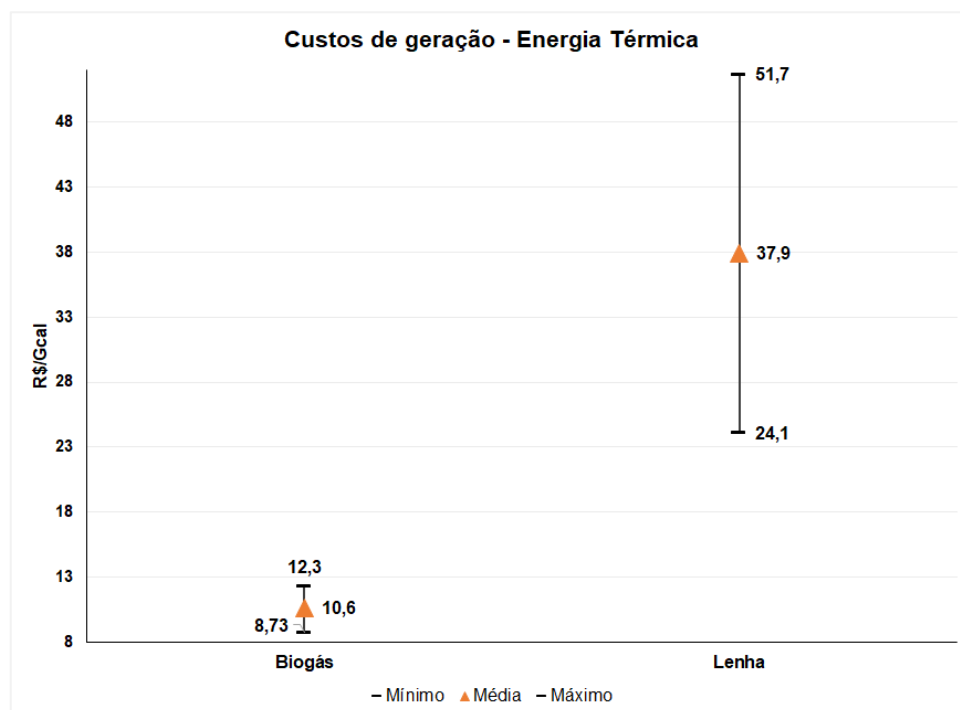
Os cenários conservador e otimista (variações de 7 e 9% a. a. respectivamente) podem tornar-se tendência, caso a adesão de novas plantas sofra alguma influência (positiva ou negativa) ao longo dos anos, bem como a possibilidade de avanços no desenvolvimento de arranjos tecnológicos que permitam explorar ainda mais a capacidade de produção de biogás das plantas industriais já existentes. Sendo assim, a expectativa é que, ao menos 198 milhões Nm³ de biogás/ano sejam gerados na indústria de processamento de mandioca até o ano de 2030, o que representa um acréscimo de 120% na produção atual.

Considerando o alto volume de biogás produzido pelo setor e as perspectivas de crescimento do mesmo, espera-se uma diversificação em sua aplicação energética, indo além do uso térmico e elétrico. Acredita-se que 198 milhões Nm³ de biogás/ano possam ser gerados na indústria de processamento de mandioca até o ano de 2030, o que representaria um acréscimo de 120% no volume de produção atual do setor.

6. Rentabilidade da produção de energia térmica a partir do biogás

6.1 Energia Térmica

A demanda de energia térmica na indústria de processamento de mandioca é alta, sendo necessários cerca de 70 a 100 kg¹ de lenha por tonelada de mandioca processada, que equivalem a produção de aproximadamente 35 a 50 Nm³ de biogás². O uso do biogás é bastante atrativo nestas circunstâncias, já que pode ser gerado, em grandes quantidades, no próprio local de consumo. Outro fator importante é o custo de geração de energia térmica para cada tipo de fonte (biogás e lenha), como pode ser observado na figura 12.



* Os custos da geração de energia térmica foram contabilizados com diferentes cases de indústrias de processamento de mandioca (200 a 400 toneladas de mandioca por dia) que utilizam o biogás proveniente da digestão anaeróbia do efluente para uso térmico. O custo da energia foi obtido considerando um tempo de vida útil de projeto de 10 anos. ** Os custos de aquisição de energia térmica provenientes da lenha foram contabilizados considerando uma faixa de preço de R\$70 a R\$150 por tonelada de lenha.

Figura 12 - Custos da geração de energia térmica a partir do biogás versus lenha.

A geração de energia térmica a partir do biogás na indústria de beneficiamento de mandioca mostrou-se, em média, **67% mais econômica** do que a aquisição de lenha para obtenção deste energético.

Vale lembrar que os custos de produção e aquisição de energia térmica podem variar, para mais ou para menos, a depender do arranjo tecnológico utilizado pela indústria, custos de implantação e operação da planta, qualidade do biogás, quantidade de energia gerada e valor pago na aquisição de lenha.

¹ Considerando um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 2.750 kcal/kg de lenha.

² Considerando Poder Calorífico inferior (PCI) de 5.500 kcal/m³ de biogás com aproximadamente 60% de metano.

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás

Ademais, destacam-se outras vantagens consideráveis que vão além dos benefícios econômicos demonstrados pela utilização do biogás como fonte de energia térmica. São elas: garantia de oferta contínua frente a sazonalidade dos cultivos florestais, que dependem do clima e do regime de chuvas para que se desenvolvam adequadamente; estabilidade em relação ao poder calorífico por metro cúbico de biogás, que no caso da madeira pode sofrer variações a depender da espécie, idade de corte e teor de umidade e estabilidade nos preços de produção. Além das questões como disponibilidade de área para plantio e distância de transporte da madeira até o local de uso também fazem com que preço final da lenha oscile.

Um estudo de caso realizado em uma indústria com capacidade de processamento diário de 400 toneladas de mandioca e um gasto mensal de aproximadamente R\$ 115 mil para a compra de 1.440 toneladas de cavaco, demonstrou que houve uma economia de quase R\$ 86 mil por mês após substituição do cavaco por biogás. **O retorno do investimento foi de 3 meses.**

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás



Economia de cavaco com o uso do biogás	75%
Economia de cavaco (t)	1.080 t/mês
Economia de cavaco (R\$)	R\$ 86.400,00/mês
Investimento total	R\$ 130.000,00
Custo de operação	R\$7.000,00/mês
Tempo de amortização	3 meses

Moagem de mandioca	400 t/dia
Volume de substrato	1.920 m ³ /dia
Volume de biogás	7.200 m ³ /dia
Consumo de cavaco	1.440 t/mês ¹
Preço de compra da cavaco	R\$ 80,00/t ²



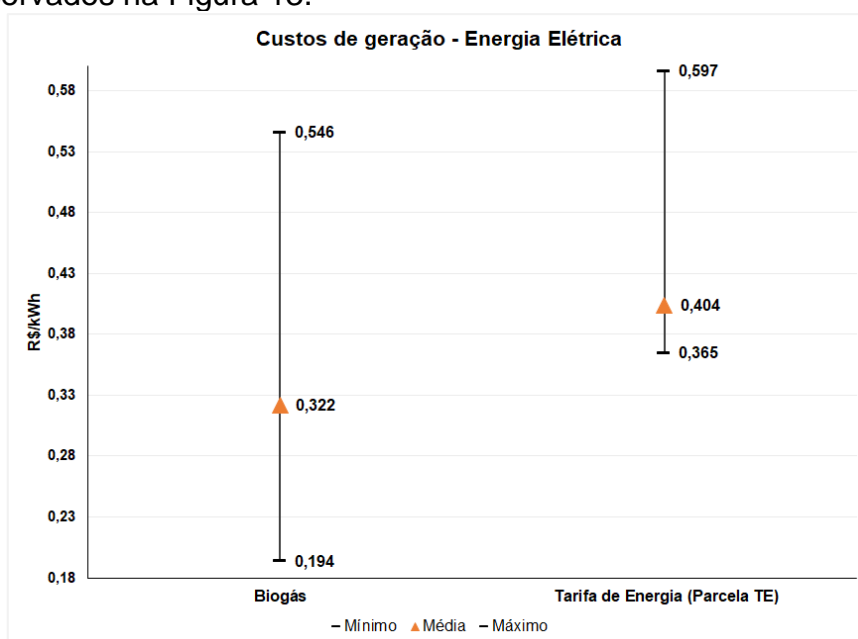
¹ valor estimado a partir da economia de cavaco em toneladas.

² custo médio da tonelada de cavaco no estado do Paraná <https://www.mfrrural.com.br/busca/cavaco/categoria/47-diversos/estado/parana>

6.2 Energia Elétrica

A indústria de processamento de mandioca possui alta demanda de energia elétrica devido aos processos produtivos envolvidos. Estima-se que os custos de eletricidade atrelado ao processamento da mandioca estejam entre R\$18 a R\$36 por tonelada de mandioca processada. **Investir no uso do biogás para geração de energia elétrica pode se tornar uma excelente alternativa, trazendo maior rentabilidade ao negócio.** A energia elétrica pode ser uma aplicação complementar em indústrias de beneficiamento da mandioca, uma vez que a utilização prioritária se concentra na térmica.

O custo de geração de energia elétrica, a partir do biogás da indústria de mandioca, comparado ao custo relativo à aquisição de energia elétrica, atrelado à fatura de energia podem ser observados na Figura 13.



* Os custos da geração de energia elétrica foram contabilizados com diferentes cases de indústrias de processamento de mandioca (200 a 400 toneladas de mandioca por dia) que utilizam o biogás proveniente da digestão anaeróbia do efluente para produção de energia elétrica. O custo da energia foi obtido considerando um tempo de vida útil de projeto de 10 anos.

* A parcela TE, referente à geração de energia, da tarifa de energia inclui os valores de impostos (Valores obtidos com base no site da COPEL para cliente pertencente ao Grupo A - A4.). O valor mínimo é referente ao custo fora de ponta e máximo em horário de ponta.

Figura 13 - Custos da geração de energia elétrica a partir do biogás versus Parcela TE da tarifa de energia.

Em média, o custo da geração de energia elétrica a partir do biogás na indústria de beneficiamento de mandioca é 20% inferior ao custo da parcela TE (tarifa de energia), indicando um cenário favorável ao aproveitamento do biogás nesta modalidade energética para o setor industrial analisado.

Vale destacar que os custos evitados na produção de energia elétrica podem variar, para mais ou para menos, a depender do arranjo tecnológico utilizado pela indústria, quantidade de energia gerada e pela tarifa de energia paga.

Na sequência será apresentado o case de uma indústria com capacidade de processamento diário de 240 toneladas de mandioca e uma demanda energética de 900 kW/dia. Nesta unidade constatou-se uma economia de 30% no consumo de energia elétrica proveniente da rede de distribuição, devido a aplicação do biogás como fonte para geração de eletricidade.

Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás



Alimentação animal		
Economia de energia elétrica		30%
Economia de energia elétrica (kWh)		10 MWh/mês
Economia de energia elétrica (R\$)		R\$ 130.000,00/mês
Investimento total		R\$ 3.500.000,00
Custo de operação		R\$700/mês
Tempo de amortização		6 anos
Moagem de mandioca		240 t/dia
Volume de substrato		500 m ³ /dia
Volume de biogás		5.000 m ³ /dia
Redução das emissões de CH ₄		1.392 m ³ /dia
Demanda energética		900 kW

7. Da raiz ao biogás: oportunidades e desafios

O uso do biogás na indústria de processamento de mandioca se mostra extremamente vantajoso, em especial no aspecto econômico. O setor apresenta algumas oportunidades e enfrenta também desafios para o aumento do percentual de biogás em uso na indústria. Alguns deles foram selecionados e estão elencados nesta sessão.

OPORTUNIDADES

- **Escassez de lenha para produção de energia térmica**, o biogás se torna vantajoso, pois, além de ser gerado na fonte de consumo (unidade industrial), possui a vantagem adicional se apresentar maior rentabilidade se comparada à lenha. Investir na substituição de lenha por biogás traz diversos benefícios econômicos e ambientais ao empreendimento, agregando valor.
- **Criação de consórcio, condomínio ou cooperativa** para a implantação de uma usina com aproveitamento dos resíduos de várias amidonarias, fecularias e farinheiras próximas umas das outras, em casos que o raio da logística de transporte seja favorável. Considerando o alto volume diário de biogás produzido, a integração contribuiria com a estruturação de arranjos contemplando biometano por exemplo (combustível de alto valor agregado). **Chamadas de compra de biometano** estão surgindo no mercado, com o alto volume de biogás produzido, unidades industriais podem se beneficiar destas novas oportunidades ampliando suas receitas.
- **Ganhos ambientais**. Biodigestores são tecnologias eficientes para redução das emissões de gases do efeito estufa. Indústrias de beneficiamento de mandioca dispõem de grande volume de biogás disponível diariamente. Sua captura e aproveitamento energético oferece soluções para os desafios globais relacionados à energia, ao meio ambiente, saneamento e otimização dos sistemas.

DESAFIOS:

- **Disponibilidade da matéria prima (raiz de mandioca)**. A mandioca possui um cultivo de ciclo longo e, em razão de suas características de produção, as oscilações na colheita são identificadas ao longo do ano. A baixa oferta de matéria prima no mercado pode interferir na produção industrial e resultar em baixa disponibilidade de substrato, fazendo com que a alimentação do sistema de biodigestão deixe de ocorrer de forma contínua, o que pode afetar a produção (causando oscilações de produção) e a qualidade do gás resultante.
- **Baixo investimento em equipamentos de segurança**. A adoção de sistemas de segurança é necessária para garantir a integridade física do empreendimento e de seus trabalhadores, especialmente nos sistemas de queima direta de biogás em caldeiras. Esta ação configura-se um

desafio a ser superado em grande parte das indústrias, partindo da sensibilização e compreensão dos envolvidos em relação à importância da adoção de equipamentos de segurança, permeando pela escassez da oferta de serviços e tecnologias que atendam estas demandas, e, por fim, pela ausência de medidas regulatórias e

instituições fiscalizadoras que possam nortear e fiscalizar a utilização de equipamentos de segurança nas unidades industriais.

8. Considerações finais

O uso da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos e efluentes gerados no processo de beneficiamento da mandioca traz diversas vantagens aos empreendimentos, os quais incluem a redução de impactos ambientais causados pelos rejeitos e a produção de biogás, fonte energética rentável para a indústria, especialmente quando utilizada na forma de energia térmica e elétrica.

A redução de custos de aquisição de energia, em razão da geração própria de energia elétrica; a completa substituição de combustíveis, como a lenha, por biogás, em regiões onde já se registra falta de madeira; e a possibilidade de utilização de resíduos oriundos do processamento da mandioca que não possuíam valor agregado, para produção de biogás, aumentam a competitividade da empresa no mercado.

Por fim, todos os dados e informações que foram apresentados neste documento mostram pontos relevantes: primeiro, quão valiosos são os resíduos gerados na indústria de farinha e fécula de mandioca para produção de biogás e, segundo, como é possível tornar o processo produtivo mais sustentável e atrativo financeiramente, em função do aproveitamento energético do biogás gerado a partir dos resíduos orgânicos oriundos do processo industrial.

AGRADECIMENTOS

A publicação do presente documento decorre do esforço empreendido em conjunto com fecularias do estado do Paraná. Agradecemos especialmente a Fecularia Subida pelo apoio prestado na validação das informações técnicas aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 002/2020 – **Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, abril de 2020. Disponível em: <<https://mapbiogas.cibiogas.org/>> Acesso em: out. 2020.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **Taxas e Tarifas**. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>> Acesso em: out. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo da mandioca**. Cruz das Almas, BA. 1981.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Iniciando um pequeno negócio agroindustrial: processamento de mandioca**. 1 ed. Brasília: Embrapa. 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Documentos 6: A indústria do amido de mandioca**. Brasília, DF. 2003a. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159763/1/Industria-amido-mandioca.pdf>>. Acesso em out. 2020.

GEF BIOGÁS BRASIL. **Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano**. Brasília, DF. 2019. 40p.

GROXKO, METHODIO. **Mandioca – Análise da Conjuntura: Prognóstico**. Departamento de Economia Rural – DERAL. 2019. 12p. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/Mandioca%202020.pdf>. Acesso em: 01.10.2021

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Carta de conjuntura: Seção III - Economia Agrícola**. Número 47, 2º trimestre, 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/190820_cc_44_economia_agricola.pdf>. Acesso em out. 2020.

PRIA, A. D. **Tecnologia ajuda as agroindústrias a diminuir danos ao meio ambiente**. In: G1 Natureza. Nova Esperança - PR. 2015 Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/11/tecnologia-ajuda-agroindustrias-diminuir-danos-ao-meio-ambiente.html>>. Acesso em out. 2020.



ABiogás
Associação Brasileira do Biogás



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Biogás
BRASIL