

USO DO COLMO DO MILHO COMO FONTE DE BIOGAS

MATHEUS HENRIQUE SOARES -ms5949257@gmail.com
MEIRE CRISTINA ANDRADE CASSIMIRO DA SILVA - mcnandrade@hotmail.com
FACULDADE GALILEU BOTUCATU

Resumo:

O grande consumo de energia e os efeitos ambientais associados à queima de combustíveis fósseis têm disparado a busca por fontes renováveis e mais sustentáveis e com menos impacto ambiental. Nesse quadro, os resíduos agroindustriais ganham destaque como alternativa viável, sendo em torno de 70% da biomassa total especialmente os derivados do milho, uma das culturas agrícolas mais produzidas no Brasil. O resíduo que trabalharemos em questão é o colmo, antes descartados ou subutilizados, vêm sendo aproveitados na linhagem de biogás. Diante disso, este trabalho uma revisão bibliográfica qualitativa tem como objetivo analisar o potencial do resíduo do milho como fonte de energia renovável, avaliando seus impactos ambientais e sua contribuição para a sustentabilidade no meio rural, entre as pesquisas foram concluídos que a um efeito na diluição de custos, trazendo benefícios visíveis aos produtores e ao meio ambiente, no entanto é uma área que vem ganhando destaque e visibilidade mesmo com poucos estudos. Concluímos que houve efeitos positivos, todavia, sendo necessário mais pesquisas e análises sobre o determinado tema.

Palavras-chave: Milho, resíduos agrícolas, energia renovável, biogás, bioetanol, sustentabilidade.

USE OF CORN STALK AS A SOURCE OF BIOGAS

Abstract:

The high energy consumption and environmental impacts associated with the burning of fossil fuels have fueled the search for renewable, more sustainable sources with less environmental impact. In this context, agro-industrial waste is gaining prominence as a viable alternative, accounting for around 70% of total biomass, especially corn byproducts, one of the most widely produced agricultural crops in Brazil. The waste we will be working with is stalks, previously discarded or underutilized, but now being used to produce biogas. Therefore, this work, a qualitative literature review, aims to analyze the potential of corn residue as a renewable energy source, assessing its environmental impacts and its contribution to sustainability in rural areas. Research has concluded that it has a cost-cutting effect, bringing visible benefits to producers and the environment. However, it is an area that has been gaining prominence and visibility despite the limited number of studies. We conclude that there have been positive effects; however, further research and analysis on this topic are needed.

Keywords: Corn, agricultural residues, renewable energy, biogas, bioethanol, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o aproveitamento de resíduos agrícolas. Nesse cenário, os subprodutos do milho, como a palha, o sabugo e até mesmo a sobra do grão, vêm se destacando como matérias-primas propícias para a geração de bioenergia. A utilização desses resíduos na produção de biogás, bioetanol e outros bioenergéticos contribui para a diversificação da matriz energética, ao mesmo tempo em que promove a diminuição dos impactos ambientais associados à queima de combustíveis fósseis (SALLA et al., 2010).

Neste cenário, o setor agropecuário brasileiro — um dos maiores do mundo — apresenta grande potencial para contribuir com a ampliação da matriz energética por meio do aproveitamento de resíduos agrícolas, especialmente os derivados do milho (*Zea mays*). Tradicionalmente cultivado em larga escala, o milho gera uma expressiva quantidade de subprodutos e resíduos, como palha, sabugo, folhas, colmo e líquidos residuais do beneficiamento, que podem ser transformados em energia limpa (ZAMBRZYCKI; DO VALE; DANTAS, 2018).

Estudos recentes evidenciam que esses resíduos possuem características físico-químicas favoráveis à geração de energia, seja pela combustão direta, gaseificação, produção de bioetanol ou biogás. Salla et al. (2010) demonstraram o potencial energético do milho como matéria-prima renovável, enquanto Bezerra et al. (2022) confirmaram sua viabilidade calorífica para combustão direta. Fandiño (2021) destacou a eficiência da gaseificação multizona, e Diniz et al. (2023) evidenciaram o potencial de conversão de resíduos agrícolas em biocombustíveis sólidos. Em paralelo, Vosnika (2022) e Lancinha (2017) analisaram a viabilidade técnica e econômica da produção de biogás a partir do milho, reforçando sua aplicabilidade no campo energético.

Apesar dessas contribuições, ainda existe uma ampla capacidade não explorada. Diversas unidades operacionais no Brasil funcionam abaixo do seu potencial, e tecnologias como pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia permanecem subutilizadas. Além disso, há carência de estudos que integrem análise técnica, econômica e ambiental de forma simultânea, especialmente considerando realidades regionais distintas. Nesse sentido, o aproveitamento da biomassa de milho configura-se não apenas como solução energética, mas como componente essencial de uma política ambiental responsável, capaz de reduzir impactos e custos energéticos de forma significativa (FACAS; PACHECO, 2017).

A literatura técnica reforça ainda a necessidade de avançar em conceitos como economia circular e bioeconomia dentro da agroindústria, promovendo o uso inteligente dos resíduos. Entretanto, variáveis como pré-tratamento, tempo de armazenamento e eficiência dos sistemas de conversão ainda apresentam grande variabilidade entre os estudos, indicando falta de padronização, ausência de análises comparativas e insuficiência de dados aplicados à realidade das propriedades rurais brasileiras (CAMPOS; FARIA; JOELE, 2021).

Diante desse cenário, surge a problemática central deste trabalho: embora exista vasto potencial energético nos resíduos do milho, faltam estudos que avaliem de forma integrada a viabilidade prática, econômica e ambiental desse aproveitamento no contexto brasileiro, especialmente em relação ao colmo — resíduo abundante, porém ainda pouco explorado.

Assim, o objetivo da presente pesquisa foi reunir, analisar e discutir publicações científicas e técnicas que tratam do aproveitamento dos resíduos do milho (*Zea mays*) como fonte de energia renovável e seus impactos ambientais, destacando as lacunas existentes na literatura e apontando desafios para sua aplicação efetiva nas propriedades rurais e agroindústrias do país, e objetivos específicos Identificar as tecnologias disponíveis para conversão energética dos resíduos do milho, Avaliar características físico-químicas do colmo para geração de biogás, Compreender o papel da bioenergia na economia rural, Verificar impactos ambientais e econômicos relatados na literatura, Relacionar o uso do colmo com modelos de economia circular.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo exploratória, desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sistemática.

A busca foi realizada, nos seguintes repositórios e bases de dados: Google Acadêmico, SciELO, CAPES Periódicos, além de documentos técnicos oriundos de instituições como a Embrapa, ANEEL, CNI e Ministério da Agricultura. Os critérios de inclusão consideraram:

- ✓ Publicações entre 2009 e 2024;
- ✓ Estudos relacionados à agroenergia, bioenergia, economia circular e resíduos agroindustriais;
- ✓ Trabalhos com ênfase na cana-de-açúcar e milho, focando em bioetanol, biogás, biomassa sólida e gaseificação;
- ✓ Artigos científicos, dissertações, teses, manuais técnicos e relatórios institucionais.

A seleção dos documentos foi orientada pelas seguintes palavras-chave: milho, resíduos agrícolas, bioetanol, biogás, gaseificação, economia circular, bioenergia e impacto ambiental. Os resultados encontrados foram organizados e classificados de acordo com os seguintes eixos temáticos:

- ✓ Tipo de resíduo do milho utilizado;
- ✓ Tecnologias e rotas energéticas;
- ✓ Eficiência e rendimento energético;
- ✓ Impactos ambientais e sociais associados;
- ✓ Aplicações práticas no meio rural ou agroindustrial.

Os dados obtidos foram analisados de forma descritiva, com ênfase na identificação de potenciais, limitações e contribuições ambientais da utilização energética dos resíduos de milho. O processo permitiu construir uma visão abrangente sobre a viabilidade técnicoeconômica e ambiental dessa prática, reforçando sua relevância no contexto da sustentabilidade agrícola e da diversificação da matriz energética brasileira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Salla et al. (2010), a utilização de resíduos da cultura do milho apresenta alto potencial para a produção de biocombustíveis, em especial pela grande quantidade de biomassa gerada no processo produtivo. Esses autores ressaltam que o milho não deve ser considerado apenas como fonte alimentícia, mas também como matéria-prima estratégica na diversificação da matriz energética, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis e para a mitigação de impactos ambientais. Complementando essa visão, Zambrzycki, Do Vale e Dantas (2018) destacam que os subprodutos do milho — como palha, sabugo, folhas e colmo — possuem características favoráveis de disponibilidade e densidade energética, que permitem seu aproveitamento em processos de conversão como combustão direta, gaseificação e produção de biogás. Os autores defendem que o elevado volume de resíduos agrícolas gerados no Brasil, sobretudo na cadeia do milho, constitui um recurso abundante para a produção de energia limpa e sustentável, alinhando o setor agrícola às demandas da bioeconomia.

De forma mais específica, Bezerra et al. (2022) reforçam o caráter físico-químico desses resíduos, evidenciando sua capacidade calorífica e confirmando a viabilidade de uso em sistemas de combustão direta. Essa constatação amplia as possibilidades de aplicação energética do milho, uma vez que comprova cientificamente a eficiência do resíduo como combustível sólido.

Pesquisas recentes, como as de Bohn et al. (2021) e Haack de Sutra et al. (2024) demonstram que o uso energético dos resíduos do milho é tecnicamente viável, ambientalmente vantajoso e economicamente competitivo. Esses autores consideram o milho como matéria-prima estratégica da bioeconomia, especialmente no contexto brasileiro, em função da grande disponibilidade de resíduos agrícolas.

Bohn et al. (2021) investigaram o pré-tratamento e a hidrólise da palha de milho para produção de etanol de segunda geração, evidenciando que os resíduos lignocelulósicos podem substituir fontes fósseis e contribuir para a diversificação da matriz energética. De forma complementar, Haack de Sutra et al. (2024) analisaram a gaseificação da palha e do sabugo de milho no Centro-Oeste do Brasil, confirmando alta eficiência energética, aproveitamento local de resíduos e redução das emissões de CO₂. Esses estudos reforçam o conceito de sustentabilidade e economia circular, segundo o qual os resíduos agrícolas retornam ao ciclo produtivo como fonte de energia, reduzindo custos, minimizando impactos ambientais e fortalecendo a competitividade do setor agroindustrial. Em síntese, o aproveitamento energético da biomassa do milho constitui uma prática sustentável, eficiente e economicamente vantajosa, consolidando o milho como um dos principais pilares da bioenergia e da economia circular no agronegócio brasileiro.

Assim, observa-se que a literatura converge na ideia de que o milho e seus derivados possuem alto potencial energético, fundamentado tanto na disponibilidade de biomassa quanto em suas propriedades físico-químicas, o que fortalece a justificativa para seu aproveitamento como fonte renovável no contexto do agronegócio brasileiro.

Análise crítica da literatura e limites dos estudos sobre o aproveitamento energético do colmo do milho

A literatura analisada converge quanto ao elevado potencial energético dos resíduos do milho, especialmente do colmo; entretanto, observa-se que os autores diferem quanto às rotas tecnológicas prioritárias, aos parâmetros de eficiência e à viabilidade prática desses sistemas. Enquanto Salla et al. (2010) e Zambrzycki, Do Vale e Dantas (2018) enfatizam o potencial global da biomassa do milho para diversificação da matriz energética, estudos mais recentes, como os de Fandiño (2021) e Vieira Júnior et al. (2021), direcionam suas análises para rotas termoquímicas específicas, destacando ganhos energéticos, porém com maior complexidade operacional.

No que se refere aos dados quantitativos, a literatura indica que o poder calorífico

inferior (PCI) médio do colmo de milho varia entre 16 e 18 MJ/kg, valor considerado adequado para processos de combustão, gaseificação e pirólise, conforme apontado por Bezerra et al. (2022) e Silva et al. (2021). Esses valores são próximos aos de outras biomassas agrícolas amplamente utilizadas, reforçando a viabilidade energética do resíduo. No entanto, parte dos estudos limita-se a análises laboratoriais, sem avaliar o impacto da umidade, do armazenamento prolongado e da heterogeneidade da biomassa em condições reais de campo.

Em relação à produção de biogás, Lancinha (2017) e Vosnika (2022) relatam rendimentos médios entre 200 e 350 m³ de biogás por tonelada de matéria seca, dependendo do pré-tratamento aplicado e da proporção de colmo utilizada no biodigestor. Apesar desses resultados positivos, observa-se divergência entre os autores quanto à eficiência do colmo quando utilizado isoladamente. Alguns estudos indicam melhor desempenho quando o colmo é codigerido com dejetos animais, enquanto outros defendem sua utilização como substrato principal, desde que submetido a pré-tratamentos físicos ou químicos. Essa divergência evidencia a ausência de consenso metodológico e a necessidade de padronização experimental.

Quanto à composição estrutural, a literatura aponta que o colmo do milho apresenta, em média, 35–45% de celulose, 25–30% de hemicelulose e 15–20% de lignina. Essa elevada fração lignocelulósica explica tanto o seu potencial energético quanto as limitações observadas nos processos biológicos, como a digestão anaeróbia, uma vez que a lignina atua como barreira à biodegradação. Enquanto autores como Antunes et al. (2023) destacam que pré-tratamentos químicos aumentam significativamente a liberação de açúcares fermentáveis, outros estudos apontam que tais procedimentos elevam os custos e reduzem a viabilidade econômica em pequena escala.

Outro ponto crítico refere-se à escala de aplicação. Estudos como os de Haack de Sutra et al. (2024) e Vieira Júnior et al. (2021) apresentam resultados promissores em escala piloto ou semi-industrial, mas poucos trabalhos avaliam a adaptação dessas tecnologias à realidade das pequenas e médias propriedades rurais brasileiras. Assim, embora os dados técnicos sejam favoráveis, há uma lacuna significativa quanto à análise integrada de custo, operação, manutenção e retorno econômico no contexto rural.

Além disso, grande parte da literatura aborda os benefícios ambientais de forma genérica, destacando a redução de emissões e o aproveitamento de resíduos, porém sem quantificar de forma consistente os ganhos ambientais associados à substituição efetiva de combustíveis fósseis. Essa limitação dificulta comparações diretas entre estudos e a formulação de políticas públicas baseadas em evidências quantitativas.

Dessa forma, embora exista consenso sobre o potencial energético do colmo do milho, a revisão crítica evidencia divergências metodológicas, limitações práticas e lacunas importantes nos estudos existentes. Destacam-se, sobretudo, a falta de padronização nos parâmetros experimentais, a escassez de análises aplicadas ao meio rural e a necessidade de estudos que integrem aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Esses fatores reforçam a relevância do presente trabalho ao reunir e discutir criticamente a literatura disponível, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o uso do colmo do milho como fonte de bioenergia no contexto brasileiro.

Comparação das rotas energéticas aplicáveis ao milho

Diversos autores destacam três rotas principais de conversão energética — digestão anaeróbia, gaseificação e pirólise — cada uma com características próprias de rendimento, custo e aplicabilidade. A Tabela 1 sintetiza os achados da literatura.

Tabela 1 – Rotas energéticas × vantagens × limitações.

Rota energética	Vantagens destacadas na literatura	Limitações mais frequentes
Digestão anaeróbia (biogás)	Alta eficiência com resíduos úmidos; produção simultânea de biofertilizante; tecnologia já utilizada no campo	Necessidade de manejo adequado; custo inicial elevado; demanda por operadores treinados
Gaseificação	Alta eficiência térmica; geração de syngas de alto valor; boa para resíduos lignocelulósicos como o colmo	Requer temperaturas elevadas; sistemas mais complexos; viável principalmente em média e grande escala
Pirólise	Produção de bio-óleo, carvão vegetal e gás; aproveitamento integral da biomassa	Baixa aplicabilidade em pequenas propriedades; necessidade de pré- tratamento uniforme da biomassa

Comparação dos resíduos do milho e suas principais aplicações.

Os estudos também apontam que diferentes partes da planta apresentam comportamentos energéticos distintos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Resíduos do milho × potenciais aplicações

Tipo de resíduo	Propriedades relevantes	Aplicações mencionadas
-----------------	-------------------------	------------------------

Colmo	Alto teor lignocelulósico; elevado volume disponível	Digestão anaeróbia para biogás; gaseificação; pirólise; briquetes
	Baixa umidade; boa	Combustão direta; briquetagem;
Palha	densidade energética	gaseificação
	Elevado potencial	
Sabugo	fermentativo	Etanol de 2 ^a geração; xilitol; bioplásticos
Folhas e talos	Grande disponibilidade sazonal	Adição em biodigestores; compostagem; biofertilizante

Comentários críticos do autor com base na literatura

Viabilidade regional no Brasil

Os estudos mostram que regiões de forte produção de milho, como Centro-Oeste, Paraná e parte de Minas Gerais, possuem condições favoráveis à implantação de sistemas de biogás devido:

- À grande disponibilidade de biomassa residual;
- À existência de cooperativas e agroindústrias;
- À expansão de políticas para energia descentralizada.

Entretanto, regiões com menor escala produtiva ou menor assistência técnica ainda enfrentam dificuldades para adoção de tecnologias mais complexas, como gaseificação e pirólise.

Gargalos tecnológicos identificados

Apesar dos avanços, a literatura evidencia desafios importantes:

- Falta de padronização no pré-tratamento da biomassa, especialmente do colmo.
- Sistemas de biodigestores ainda pouco adaptados para resíduos lignocelulósicos.
- Baixa disponibilidade de equipamentos acessíveis para pequenas propriedades.
- Dependência de mão de obra especializada, principalmente para operação e manutenção.

Esses gargalos justificam a necessidade de políticas públicas e apoio técnico para ampliar o uso do biogás oriundo do milho.

Limitações práticas nas propriedades rurais

Mesmo quando há biomassa suficiente, muitos produtores enfrentam barreiras como:

- Falta de espaço para instalação de biodigestores;
- Ausência de financiamento acessível;
- Prioridade operacional voltada para atividades agrícolas, deixando energias renováveis em segundo plano;
- Desconhecimento sobre o uso do biofertilizante gerado.

Essas limitações explicam por que a adoção do biogás a partir do milho ainda é tímida no cenário nacional.

Potencial econômico real para o Brasil

Embora os estudos indiquem forte potencial energético, o impacto econômico real depende:

- Do custo inicial da tecnologia;
- Do preço local da energia elétrica e do GLP;
- Da capacidade de uso do biofertilizante;
- Da inserção de excedentes em programas como o RenovaBio ou mercado de créditos de carbono.

Os trabalhos de Vosnika (2022) e Haack de Sutra et al. (2024) sugerem que, em regiões de alta produção agrícola, o biogás tem potencial de reduzir significativamente os custos energéticos, especialmente para silos, granjas, secadores de grãos e pequenas agroindústrias.

Portanto, o uso do colmo de milho para biogás apresenta viabilidade técnica e ambiental comprovada, mas sua consolidação econômica depende de incentivos e da melhoria das tecnologias disponíveis.

Teoria sobre rotas tecnológicas do aproveitamento do milho

As rotas tecnológicas de conversão da biomassa do milho vêm sendo amplamente estudadas, com diferentes enfoques quanto à viabilidade técnica e energética. Fandiño (2021) analisou a gaseificação multizona dos resíduos agroindustriais do milho, evidenciando que este processo termoquímico apresenta alta eficiência energética e pode gerar um gás combustível de qualidade, adequado para fins energéticos em escala industrial ou descentralizada. Sua pesquisa demonstra que a gaseificação é uma alternativa promissora para transformar resíduos agrícolas em energia de forma sustentável.

Diniz et al. (2023) investigaram o tratamento térmico de resíduos agrícolas com vistas à produção de biocombustíveis sólidos, como briquetes e pellets. O estudo mostrou que a biomassa do milho pode ser convertida em combustíveis de elevado valor agregado, que oferecem vantagens em termos de transporte, armazenamento e uso em caldeiras, ampliando as opções de aproveitamento energético no meio rural e agroindustrial.

Lancinha (2017) direcionou sua análise para a produção de biogás a partir dos resíduos da cultura do milho, utilizando a tecnologia de digestão anaeróbia. Seus resultados confirmaram que o milho é um substrato eficiente para biodigestores, possibilitando a geração de energia renovável e contribuindo para a gestão sustentável de resíduos no campo. Já Vosnika (2022) aprofundou-se na viabilidade econômica da produção de biogás a partir do milho no estado do Mato Grosso. O autor concluiu que, além da viabilidade técnica, a produção de biogás pode ser economicamente vantajosa, reduzindo custos energéticos nas propriedades rurais e oferecendo alternativas de renda por meio da inserção no mercado de bioenergia. Portanto, observa-se que esses autores reforçam a diversidade de rotas tecnológicas possíveis para a biomassa do milho: a gaseificação como processo de conversão em gás combustível (Fandiño), a produção de biocombustíveis sólidos por tratamento térmico (DINIZ et al., 2023), a geração de biogás por digestão anaeróbia (LANCINHA, 2017) e a análise de viabilidade econômica desse processo (VOSNIKA, 2022).

Vieira Júnior et al. (2021) analisaram o potencial energético dos resíduos da cultura do milho — como folhas, palhas e talos — por meio da gaseificação, uma rota termoquímica de conversão da biomassa. Esse processo ocorre em altas temperaturas (entre 700 °C e 1.200 °C), sob condições de baixo teor de oxigênio, resultando na formação de um gás combustível (syngas) composto principalmente por monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂) e metano (CH₄). O estudo demonstrou que, mesmo após três anos de estocagem, os resíduos de milho mantêm elevado poder calorífico e apresentam eficiência energética significativa, permitindo sua utilização em aplicações térmicas e elétricas. De acordo com os autores, a gaseificação dos resíduos agroindustriais do milho representa uma alternativa sustentável e economicamente viável para geração de energia descentralizada, especialmente em regiões agrícolas. Essa rota tecnológica contribui para o aproveitamento integral da biomassa, reduz a dependência de combustíveis fósseis e favorece a economia circular no meio rural. Assim, a teoria de Vieira Júnior et al. (2021) reforça que o milho é uma matéria-prima promissora para a produção de energia renovável, apresentando viabilidade técnica e estabilidade energética compatíveis com os objetivos da bioeconomia brasileira.

Antunes et al. (2023) exploraram o potencial biotecnológico do sabugo de milho (corn cob) como substrato lignocelulósico para a produção de bioetanol e xilitol, por meio de processos fermentativos em reatores de coluna. Os autores partiram da premissa de que os resíduos do milho, após passarem por pré-tratamento químico e hidrólise enzimática, liberam açúcares fermentáveis (como glicose e xilose) que podem ser utilizados por microrganismos ~~específicos na produção de biocombustíveis e bioprodutos. Os resultados obtidos indicaram~~

altas taxas de conversão e rendimento na formação de etanol e xilitol, comprovando que o sabugo de milho é uma fonte eficiente e sustentável de energia renovável e de produtos industriais de valor agregado. Dessa forma, Antunes et al. (2023) sustentam a teoria de que o milho pode ser integrado em processos de biorrefinaria, onde diferentes frações da biomassa são aproveitadas simultaneamente para geração de energia e de insumos industriais, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo de produção limpa e economicamente vantajosa.

Em conjunto, as pesquisas de Vieira Júnior et al. (2021) e Antunes et al. (2023) evidenciam a diversidade de rotas tecnológicas possíveis para a biomassa de milho — termoquímica e biotecnológica — reforçando sua importância estratégica no contexto da bioenergia e sustentabilidade no Brasil. Essas contribuições comprovam que o milho apresenta ampla aplicabilidade energética, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, consolidando-se como uma matéria-prima estratégica para a bioenergia no Brasil.

Teoria sobre sustentabilidade, economia circular e redução de custos

Facas e Pacheco (2017) ressaltam que o uso estratégico da biomassa do milho em processos como pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia vai além de uma solução energética: trata-se de uma estratégia ambiental e econômica integrada. Os autores defendem que a adoção dessas tecnologias pode reduzir de forma significativa os custos energéticos de propriedades rurais e agroindústrias, ao mesmo tempo em que contribui para a diminuição dos impactos ambientais provocados pela queima de combustíveis fósseis. Assim, a biomassa do milho deixa de ser considerada apenas resíduo e passa a ser encarada como recurso energético renovável, alinhado às políticas de gestão ambiental sustentável,

Castrillón, Aguilar e Álvarez (2021) abordam a valorização dos resíduos de milho sob a ótica da economia circular, enfatizando que a biomassa agrícola não deve ser tratada como rejeito, mas como matéria-prima renovável com potencial para gerar produtos de alto valor agregado, como biomateriais, bioplásticos e bioenergia. Segundo os autores, essa abordagem permite reduzir o uso de recursos fósseis, minimizar o descarte inadequado e promover o reaproveitamento contínuo de materiais dentro das cadeias produtivas. Além disso, ao transformar resíduos em insumos úteis, há redução dos custos de produção e ganhos econômicos diretos, especialmente no contexto agroindustrial. Assim, a teoria desses autores reforça que o aproveitamento integral da biomassa do milho é um pilar da economia circular, unindo sustentabilidade ambiental e vantagem econômica.

Sant'Ana et al. (2024) defendem que o gerenciamento circular dos resíduos agroindustriais é essencial para alcançar a sustentabilidade no meio rural. Os autores destacam que tecnologias como pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia possibilitam a conversão de resíduos agrícolas em energia, biofertilizantes e bioprodutos, criando um ciclo produtivo mais limpo e eficiente. Essa integração tecnológica contribui para a autossuficiência energética das propriedades, reduz custos operacionais e fortalece a competitividade das cadeias produtivas. De acordo com estes autores, o uso da biomassa em modelos de economia circular representa uma estratégia eficaz para reduzir emissões de gases de efeito estufa, otimizar recursos e estimular o desenvolvimento sustentável no setor agrícola. Dessa forma, observa-se que diferentes autores convergem na ideia de que o uso energético e produtivo da biomassa do milho integra sustentabilidade ambiental, economia circular e redução de custos. Essa visão reforça que os resíduos agrícolas não são apenas subprodutos, mas ativos estratégicos que contribuem para a geração de energia limpa, o aumento da eficiência econômica e a consolidação da bioeconomia no Brasil.

Campos, Faria e Joele (2021) enfatizam a importância da economia circular e da bioeconomia no aproveitamento dos resíduos agroindustriais. Para os autores, a inserção do milho nesse contexto representa um uso inteligente dos recursos, no qual os resíduos retornam ao ciclo produtivo em forma de energia, reduzindo desperdícios e otimizando a eficiência das cadeias agrícolas. Essa abordagem contribui não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a competitividade econômica das atividades agroindustriais, gerando valor a partir de materiais antes descartados.

Dessa forma, a literatura demonstra que a utilização dos resíduos do milho como fonte energética se conecta a uma perspectiva mais ampla de sustentabilidade, economia circular e redução de custos, consolidando-se como prática inovadora que beneficia simultaneamente o meio ambiente e o setor produtivo. O presente estudo demonstrou que o aproveitamento do colmo do milho como fonte de biogás representa uma alternativa viável e sustentável para diversificar a matriz energética brasileira, reduzir impactos ambientais e agregar valor aos resíduos agroindustriais. Por meio da revisão bibliográfica realizada, constatou-se que o milho (*Zea mays*) é uma das culturas com maior potencial de geração de biomassa no país, oferecendo grande disponibilidade de resíduos lignocelulósicos aptos à conversão energética.

As pesquisas analisadas apontam que os resíduos do milho, especialmente o colmo, apresentam propriedades físico-químicas favoráveis à produção de biogás, bioetanol e outros biocombustíveis, podendo substituir parcialmente o uso de combustíveis fósseis. Além disso, ~~tecnologias como digestão anaeróbia, gaseificação e pirólise têm se mostrado promissoras na~~

conversão eficiente dessa biomassa em energia limpa, promovendo ganhos ambientais, sociais e econômicos.

Do ponto de vista da sustentabilidade, o uso energético dos resíduos agrícolas contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, para o manejo adequado de dejetos rurais e para o fortalecimento de práticas de economia circular no campo. Essa abordagem permite que os resíduos retornem ao ciclo produtivo, gerando energia, biofertilizantes e novos produtos de valor agregado, favorecendo a autossuficiência energética das propriedades e a redução de custos operacionais. Entretanto, ainda são necessárias mais pesquisas voltadas à otimização dos processos tecnológicos, à padronização de parâmetros técnicos e à análise da viabilidade econômica em diferentes escalas de produção. A falta de infraestrutura, o custo inicial dos sistemas e a carência de políticas públicas específicas ainda são fatores limitantes para a expansão do uso do biogás a partir do milho no Brasil.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o aproveitamento do colmo do milho para a produção de biogás constitui uma alternativa viável e sustentável para o setor agroenergético brasileiro. A literatura analisada demonstra que esse resíduo agrícola apresenta potencial técnico para conversão energética, contribuindo para a diversificação da matriz energética, a redução de impactos ambientais e o fortalecimento de práticas de economia circular no meio rural.

Do ponto de vista econômico, o uso do colmo do milho pode reduzir custos energéticos nas propriedades rurais e agroindústrias, além de agregar valor a um resíduo anteriormente subutilizado, especialmente em regiões de elevada produção de milho. Contudo, a ampliação dessa prática ainda depende de incentivos, padronização tecnológica e maior suporte técnico aos produtores.

Assim, o biogás proveniente do colmo do milho apresenta-se como uma alternativa estratégica, capaz de integrar sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica no contexto da bioeconomia brasileira.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. F. et al. **Valorization of corn cobs for xylitol and bioethanol production through column reactor process.** *Energies*, v. 16, n. 13, p. 4841, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/13/4841>.

BEZERRA, D. J. et al. **Capacidade calorífica do milho, em sua forma de resíduo agrícola, para a produção de energia: uma breve revisão.** *Anais do CICTE*, v. 10, 2022.

BOHN, L. R. et al. **Alkaline pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover for bioethanol production.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e18914, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/18914>. Acesso em: 25 out. 2025.

CAMPOS, K. D.; FARIA, L. J. G.; JOELE, M. R. S. P. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais como prática sustentável para geração de energia renovável.** *ParaOnde!?*, v. 4, n. 1, p. 70-85, 2021.

CASTRILLÓN, S.; AGUILAR, C.; ÁLVAREZ, A. **Circular economy strategies: use of corn waste to develop biomaterials.** *Sustainability*, v. 13, n. 15, p. 8356, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/15/8356>.

CENCI, G. B. **Avaliação da combustão de um resíduo da colheita do milho e obtenção do poder calorífico por diferentes metodologias.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

DINIZ, M. M. S. et al. **Tratamento térmico de resíduos agrícolas como alternativa para produção de biocombustíveis sólidos**. *Revista de Estudos Interdisciplinares*, v. 7, n. 1, p. 58-70, 2023.

EZIRIO, M. J. A. **Biocombustível sólido como fonte de energia térmica na agricultura familiar**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sul de Santa Catarina, 2022.

FACAS, F.; PACHECO, L. **Sustentabilidade e aproveitamento energético da biomassa agrícola: desafios e oportunidades**. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 6, n. 2, p. 45-60, 2017.

FACAS, M. M. **Análise da utilização de energia na produção de milho no Mato Grosso do Sul**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

FANDIÑO, J. M. M. **Caracterização energética dos resíduos da agroindústria do milho em um protótipo de gaseificação multizona**. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 4, p. 1074-1087, 2021.

HAACK DE SUTRA, R. et al. **Integrated assessment of corn stover and cob gasification: energetic and environmental perspectives in Midwest Brazil**. *Renewable Energy Journal*, v. 18, n. 2, p. 45-60, 2024. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122653/records/6878e3820868163a2f751b9a>. Acesso em:

LANCINHA, S. E. **Produção de biogás como fonte renovável de energia a partir de resíduos da cultura do milho**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, 2017.

SALLA, D. A. et al. **Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho**. *Ciência Rural*, v. 40, n. 9, p. 2017-2022, 2010.

SANT'ANA, J. C. et al. **Circular economics in agricultural waste biomass management**. *Circular Economy and Sustainability*, v. 4, n. 2, p. 29, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-8783/4/2/29>.

SANTOS, M. P. O.; OHARA, M. A. **Estudo cinético da pirólise da biomassa palha de milho verde**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

SILVA, R. L. da; OLIVI, J. B.; SILVA, A. M. P. da. **Resíduos da colheita do milho para avaliação de cogeração: disponibilidade no Estado de Mato Grosso do Sul e características energéticas**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 1, 2021.

SPRINGER. **Comparative analysis of slow pyrolysis of sugarcane bagasse and corn stover for renewable energy production**. *Springer Journal*, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43937-024-00058-0>.

VIEIRA JÚNIOR, R. A. et al. **Energy use from the gasification of corn crop residues (Zea mays) after three years in stock**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e226101121672, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22672>

VOSNIKA, A. **Análise da viabilidade econômica do uso do milho como substrato para produção de biogás no Mato Grosso**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

ZAMBRZYCKI, G. C.; DO VALE, A. T.; DANTAS, V. F. de S. **Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays*)**. *Revista Evidência*, v. 15, n. 15, 2018.