

DO CAMPO À ENERGIA: A BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FONTE SUSTENTÁVEL

ISABELLA CAMARGO - isabella.camargo8686@gmail.com

MEIRE CRISTINA ANDRADE CASSIMIRO DA SILVA - mcnandrade@hotmail.com

FACULDADE GALILEU

Resumo:

A produção de energia como uma fonte sustentável através do uso da biomassa da cana-de-açúcar, uma vez que a produção desse material é um dos ramos agrícolas que mais cresce no Brasil, e que também é uma das suas maiores produções. Achar formas que substituam as fontes de energias fósseis é de suma relevância, uma vez que existe várias preocupações com a quantidade de materiais que existem para o consumo, assim como questões que envolvem a sustentabilidade ambiental e a própria economia e facilidade de se produzir energia em grande quantidade para satisfazer o consumo de todo o povo brasileiro e também mundial, observando que a existência de uma variedade de meios de produção de energia traz mais segurança a toda a sociedade mundial. Os objetivos do presente trabalho foi identificar os principais tipos de biomassa derivados da cana-de-açúcar utilizados na geração de energia; descrever os processos tecnológicos aplicados na conversão da biomassa em energia (como combustão, gaseificação e cogeração); analisar os benefícios ambientais comparados às fontes fósseis; avaliar os impactos e vantagens econômicas do uso energético da biomassa de cana. A metodologia utilizada no presente trabalho foi a de revisão bibliográfica tanto em materiais físicos como no ambiente digital. Entre os principais resultados obtidos destaca-se que a biomassa da cana-de-açúcar, sendo utilizado o bagaço, a palha e a vinhaça, demonstraram ser uma fonte renovável de energia, assim como de carbono neutro estratégica para a bioeletricidade. Contudo, existe ainda os desafios logísticos e da necessidade de maiores incentivos e legislação específica para a expansão de tecnologias mais avançadas. Concluindo assim que a biomassa da cana-de-açúcar possui um grande potencial de crescimento, porém, possui grandes dificuldades ainda a serem vencidas, como os valores iniciais a serem investidos, e também questões quanto a falta de legislação específica e benefícios fiscais para os seus produtores.

Palavras-chave: Biomassa; Cana-de-açúcar; Fonte Sustentável; Gerador de Energia.

FROM THE FIELD TO ENERGY: SUGARCANE BIOMASS AS A SUSTAINABLE SOURCE

Abstract

Energy production as a sustainable source through the use of sugarcane biomass is crucial, given that the production of this material is one of the fastest-growing agricultural sectors in Brazil and also one of its largest productions. Finding ways to replace fossil fuel energy sources is of paramount importance, as there are several concerns about the quantity of materials available for consumption, as well as issues involving environmental sustainability and the economy and ease of producing energy in large quantities to satisfy the consumption of the entire Brazilian and global population. The existence of a variety of energy production methods provides greater security to global society. The objectives of this work were to identify the main types of biomass derived from sugarcane used in energy generation; describe the technological processes applied in the conversion of biomass into energy (such as combustion, gasification, and cogeneration); analyze the environmental benefits compared to fossil fuels; and evaluate the economic impacts and advantages of the energetic use of sugarcane biomass. The methodology used in this work was a literature review of both physical and digital materials. Among the main results obtained, it stands out that sugarcane biomass, using bagasse, straw, and vinasse, has proven to be a renewable and carbon-neutral energy source, strategic for bioelectricity. However, there are still logistical challenges and the need for greater incentives and specific legislation for the expansion of more advanced technologies. In conclusion, sugarcane biomass has great growth potential, but still faces significant difficulties, such as the initial investment costs and issues regarding the lack of specific legislation and tax benefits for its producers.

Keywords: Biomass; Sugarcane; Sustainable Source; Energy Generator.

1. INTRODUÇÃO

Devido a crescente preocupação com as questões quanto as mudanças climáticas, assim como a escassez de recursos fósseis e, principalmente, a necessidade de realizar uma transição da utilização de uma matriz energética mais limpa, tem agitado e acelerado o desenvolvimento das fontes de energia renováveis no mundo (Batistote; Silva; Mascarenhas, 2022). Dentro desse contexto, uma visão que vem se destacando como uma fonte de energia alternativa é a da biomassa, que vem demonstrando ser muito promissória e também uma boa estratégia de economia, em especial quando se fala de países que a maior produção é a agrícola, como é o caso do Brasil, um dos maiores produtores agrícolas do mundo (Batistote; Silva; Mascarenhas, 2022).

A biomassa da cana-de-açúcar demonstra ser um recurso muito elevado quando se trará de um potencial energético, o que acaba por desempenhar um papel muito importante quanto a diversidade da matriz energética do Brasil (Costa; Altoé, 2022). A cana-de-açúcar é uma das produções mais importante dentro da cultura agrícola do Brasil, possuindo um impacto social e econômico muito grande (Santos; Ferreira, 2024), mas ela também acaba sendo a principal fonte para a elaboração de diversos outros subprodutos que podem ser utilizados para a geração de energia, como é o caso da palha e do bagaço de cana (Gabriel, 2021).

Os resíduos da cana-de-açúcar, que antes eram tratados como um produto excedente do seu processo produtivo (Santos; Ferreira, 2024), nos dias atuais possuem muito mais valor, podendo serem utilizados como insumos fundamentais para a produção da bioeletricidade, e do biocombustível (Costa; Altoé, 2022). Tal mudança dos resíduos agrícolas acaba se alinhando com alguns princípios da própria economia circular, e das questões envolvendo a sustentabilidade e proteção ao meio ambiente, uma vez que se contribui para que haja a redução da emissão dos gases do “efeito estufa”, servindo ainda para que os recursos naturais do planeta sejam utilizados de uma maneira mais eficiente (Silva, *et al*, 2021).

O presente trabalho apresenta um estudo das formas de aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar como uma fonte de energia sustentável, apresentando uma abordagem mais exploratória e teórica, justificado pela quantidade de produção de conteúdos acadêmicos e científicos sobre o tema, e da necessidade de apresentar os principais avanços na área, oportunidades e os desafios do seu uso (Viana; Santos, 2023). Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi realizar uma revisão de literatura sobre o uso da biomassa da cana-de-açúcar como uma forma de fonte de energia sustentável. Já no que tange os objetivos específicos desse trabalho, podemos elencar os seguintes:

- Identificar os principais tipos de biomassa derivados da cana-de-açúcar utilizados na geração de energia;
- Descrever os processos tecnológicos aplicados na conversão da biomassa em energia (como combustão, gaseificação e cogeração);
- Analisar os benefícios ambientais comparados às fontes fósseis;
- Avaliar os impactos e vantagens econômicas do uso energético da biomassa de cana.

2. METODOLOGIA

A revisão foi dada por meio de buscar em artigos científicos nos meios digitais, assim como notícias relevantes ao tema, e doutrinas disponíveis tanto no meio físico como no ambiente digital, sendo esse último o mais utilizado, uma vez que a grande massa desses conteúdos pode ser localizados e lidos de forma mais acessível nesse meio.

A forma de seleção dos conteúdos foi feita observando a relevância do tema tratado, assim como a necessidade de explicar terminologias, apresentação de dados, entre outros pontos que abordam e explicam o tema em geral. As plataformas digitais utilizadas foram o Google Acadêmico e a Scielo. Observando ainda que as palavras chaves pesquisadas foram “biomassa”, “gerador de energia”, “cana-de-açúcar”, “fonte sustentável”. O período estipulado para a pesquisa das referências bibliográficas foi de cinco anos, ou seja, do ano de 2020 a 2025. Entre os critérios da presente pesquisa, foi levado em consideração o próprio tema, excluindo pesquisas muito amplas, ou que não tinham como foco a produção de energia por meio da biomassa da cana-de-açúcar.

A pesquisa ainda se classifica como uma pesquisa qualitativa, uma vez que faz uso de análise de conteúdo para compreender de forma aprofundada o tema para responder os objetivos gerais e específicos. As informações contidas na pesquisa foram organizadas e categorizadas observando a necessidade de explicação e compreensão dos pontos que envolvem o tema, buscando explicar de forma clara e simples, porém, sem perder seu conteúdo exploratório.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi organizada em quatro categorias principais, de acordo com os objetivos da pesquisa: (i) tipos de biomassa da cana-de-açúcar; (ii) tecnologias de conversão energética; (iii) benefícios ambientais e econômicos; e (iv) desafios e perspectivas futuras.

3.1. A BIOMASSA DA CANA: TIPOS E POTENCIAS

O aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar como uma fonte de energia reflete em um processo integrado que envolve vários aspectos tecnológicos, ambientais, econômicos e político (Silva, *et al*, 2021). Contudo, quando se trata da sua expansão como uma forma de energia alternativa, acaba sendo exigido não somente o aprimoramento de forma contínua dos processos e das tecnologias utilizadas, mas do desenvolvimento das políticas públicas, uma maior compreensão dos impactos socioambientais e do incentivo em massa da área econômica (Viana; Santos, 2023). Sendo fundamental que se compreenda o cenário e panorama atual da energia alternativa, realizando comparações das vantagens, da sustentabilidade, das limitações e das perspectivas quanto ao futuro (Viana; Santos, 2023).

Sobre a questão da biomassa vale salientar algumas questões, como o tipo de biomassa, a origem, a energia que é gerada e também o seu principal uso (Tabela 1).

Tabela 1 – Os Tipos de Biomassas: seus usos, origem e energias geradas a depender de cada um.

Tipo de Biomassa	Origem	Energia gerada (kWh/ton)	Uso principal
Bagaço de cana	Resíduo da moagem	1 800 – 2 500	Cogeração de eletricidade e vapor
Palha de cana	Remanescente da colheita	2 000 – 3 000	Queima controlada, gaseificação
Torta de filtro	Subproduto da decantação	< 1 000	Fertilizante ou compostagem

Fonte:-Ministério de Minas e Energia, 2025, com adaptações.

Ao abordar em termos quantitativos é levado em consideração uma tonelada de cana-de-açúcar processada que acaba gerando normalmente cerca de 250-300kg de bagaço de cana e entre 150 a 200 kg de palha (Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, 2017), o que acaba por repercutir de forma direta no balanço energético das usinas (Bonassa, *et al*, 2015).

Falando ainda sobre os diferentes tipos de resíduos podemos elencar eles descrevendo suas diferenças (Soares, *et al*, 2022; Ministério de Mines e Energia, 2007; Dias, Silva e Lima, 2019), sendo elas as os seguintes:

- **Bagaço de cana:**

- Proveniente da moagem do caldo;
- Alto poder calorífico ($\approx 2,0$ kWh/kg), ideal para cogeração em caldeiras.
- **Palha de cana:**
 - Folhas e folhas-talo deixadas no campo;
 - Maior variabilidade de umidade, mas potencial de $2,0\text{--}3,0$ kWh/kg quando bem seco, útil também em processos de gaseificação.
- **Torta de filtro (lixiviados):**
 - Resíduo líquido-pastoso da filtração do caldo;
 - Menor poder energético (< 1 kWh/kg), raramente usada diretamente para combustão, porém valiosa como fertilizante orgânico ou matéria-prima de biodigestores.

3.2. TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA

Ao abordar ainda questões quanto a tecnologia de conversão energética por meio da biomassa da cana-de-açúcar é correto afirmar que elas cobrem várias soluções com diferentes graus de maturidade de aplicação e tecnológica dentro da área industrial. Contudo, as que mais merecem destaque são a cogeração, gaseificação e a utilização dos biodigestores na produção de biogás (Viana, Santos, 2023; Lobo, 2013).

Na cogeração é aplicado uma produção de energia térmica e elétrica de forma simultânea, a partir de uma fonte única, que nesse caso é o bagaço de cana. Assim, os resíduos da cana são queimados dentro da caldeira que acabam gerando o vapor, que irá ligar as turbinas que são acopladas aos geradores de energia. Nos regimes operacionais considerados mais comuns são incluídos ciclos de contrapressão, extração-condensação ou então condensação pura, observando que esses dois últimos acabam oferecendo um rendimento elétrico muito maior por tonelada de cana-de-açúcar processada (Embrapa, 2024). Nota-se ainda que nas unidades industriais que se tem uma disponibilidade do bagaço de cana-de-açúcar acaba por tornar a rota técnica e econômica cada vez mais viável, fazendo com que as unidades se transformem em autoprodutores e também exportadores de energia (ÚNICA, 2024; Jornal Cana, 2023).

A rota termoquímica constituída pela gaseificação demonstra ser promissora, pois nesse processo, a biomassa da cana-de-açúcar acaba sofrendo uma conversão de forma parcial pela ausência de oxigênio que é realizada de forma controlada, o que acaba gerando o syngas, que é uma mistura de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e metano. Assim, o

presente gás pode ser usado em turbinas ou motores movidos à gás, ou então, ser purificado por meio de aplicações químicas para produção de etanol ou então hidrogênio (Cardoso, 2020; Novacana, 2024). Contudo, mesmo apresentando uma grande eficiência e versatilidade do que as demais combustões diretas, existem desafios de meio técnico que estão relacionados a limpezas do syngás, em especial quando se fala da remoção de alcatrão, assim como questões sobre o alto investimento do projeto inicial que acaba limitando a adição quando se trata de escalas comerciais (Cardoso, 2020; IFES, 2021).

A utilização de biodigestores acaba representando outra vertente quanto ao reaproveitamento de biomassa, em particular os efluentes como por exemplo a vinhaça, que nesse processo os resíduos orgânicos acabam sendo degradados de forma anaeróbica para que seja produzido o biogás sendo os agentes predominantes o dióxido de carbono e o metano. Esse tipo de biogás pode ser realizado a conversão em eletricidade por intermédio de motores ou então por um processo de refinamento para o biometano, observando que, além do ganho energético, acaba tendo também a redução das cargas poluentes mitigando até mesmos os gases de efeito estufa (Muhl, Oliveira, 2022; UFPB, 2021).

No Brasil a energia elétrica que é gerada por meio da biomassa (bioeletricidade) vem crescendo dia após dia, em especial no SIN (Sistema Interligado Nacional). Quando uma usina sucroalcooleira possa realizar a utilização de tal energia em sua rede é preciso obter autorização da ANEEL, assim como realizar estudos quanto às conexões e cumprimento dos procedimentos de redes da ONS, observando ainda a necessidade de se obter um registro junto a CCEE para que seja efetivada a venda ou alocação da geração de energia (ANEEL, 2022; CCEE, 2024; ONS, 2023). Importante destacar ainda que a bioeletricidade possui um papel de extrema importância quando se trata de estratégia no despacho energético nacional, em especial, durante períodos de seca, uma vez que tal ação acaba complementando a geração hídrica e reduz a necessidade de utilização de térmicas fósseis (Embrapa, 2024; ONS, 2023).

Alguns dos exemplos reais que podem ser dados quanto as tecnologias e conversão de energia está a Usina Bonfim (Raízen), que está localizada em Guariba (SP) e que se destaca por conta da instalação de uma planta de biogás em escala industrial, conseguindo gerar dezenas de megawatts por meio da vinhaça produzida, sendo um grande exemplo de integração multiproduto, pois ela produz açúcar, etanol, energia elétrica e também o estudado biogás, o que acaba por consolidar o portfólio renovável dessa empresa, ampliando assim as seus ativos empresariais (GeoBiogás, 2023; Raízen, 2024). Outro exemplo que pode ser dado é das Cooperativas agrícolas e centrais localizadas no interior de São Paulo, como a Copercana e a Copersucar que vem agindo dentro de várias usinas associadas, operando como agentes

coletivos para a geração e vendas de energia elétrica, o que acaba facilitando as vendas, participando ainda de comercializações e de leilões por intermédio de contratos de longos prazos, o que acaba beneficiando todos os cooperados por meio das receitas que estão relacionadas à produção da bioeletricidade (Copersucar, 2025; Agência SP, 2023; Jornal Cana, 2023).

Na Tabela 2 é possível observar algumas tecnologias que são utilizadas neste tipo de produção:

Tabela 2 – Quanto as tecnologias que são utilizadas nas produções de conversão energética.

Aspecto	Oportunidades Geradas	Desafios enfrentados
Gaseificação	Permite uma maior flexibilidade, eficiência e produção de combustíveis avançados nas fabricas.	Custo alto, grande volume no valor do capital, sendo a limpeza do gás extremamente complexa.
Comercialização	Contratos no ACL, venda e autoprodução, participações de forma agregado por meio das cooperativas e leilões realizados.	Realização de estudos de rede, assim como altas demandas administrativas e requisitos regulatórios
Cogeração	Amadurecimento das tecnologias, abundância de bagaço de cana, elevada eficiência energética na produção.	Necessidade de investir na modernização e gestão de safra.
Biodigestores	Tratamento dos resíduos, assim como da energia e realização da mitigação de emissões.	Necessita da realização de projeto para que seja adaptada a vinhaça, assim como demandando um grande custo inicial para ser realizado.

Fonte: Copersucar, 2025; Agência SP, 2023; Jornal Cana, 2023; Scielo, 2022; Novacana, 2024; EPE, 2024; Muhl, Oliveira, 2022; UFPB, 2021, com adaptações.

3.3. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Inicialmente vale destacar que um dos benéficos ambientais e econômicos trazidos é a da redução de emissões de CO₂. Assim, importante destacar que ao se utilizar a biomassa da cana-de-açúcar para gerar energia, acaba por promover uma redução significativa quando se aborda a emissão de CO₂ (Dióxido de carbono), quando se compara aos demais combustíveis

fósseis, como por exemplo o carvão e o diesel. Diversos estudos demonstram que a queima do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração elétrica emite até 90% menos CO₂ quando comparado com a queima do famoso carvão mineral, por conta da origem renovável da biomassa e da menor emissão de gases poluentes (EPE, 2024).

Observando ainda que o bagaço de cana-de-açúcar e também da palha, ao serem utilizados, acabam por reduzir a necessidade da geração termelétrica tradicional, uma vez que ela é altamente poluente (ANEEL, 2022).

Outro ponto importante a ser observado sobre os benefícios ambientais e econômicos está o ciclo de vida da biomassa da cana-de-açúcar, que é caracterizada pelo balanço de carbono quase neutro, uma vez que as emissões de CO₂ que são geradas no momento da queima da biomassa são compensados pela absorção de carbono no decorrer do crescimento da planta pela própria fotossíntese. Tal fenômeno é chamado de ciclo carbono neutro, sendo um dos principais benefícios para o meio ambiente quando se trata da bioeletricidade que é gerada pelo setor sucroalcooleiro. Observando ainda que o manejo adequado da cultura como prática de sustentabilidade e de conservação do solo, acaba por contribuir para que se tenha uma captura máxima de carbono, minimizando todas as emissões indiretas ao meio ambiente (Maluf, Gurgel, 2014; Embrapa, 2024).

Quanto a questões de economia circular contida na biomassa da cana-de-açúcar a mesma é extremamente fundamental dentro da cadeia produtiva, uma vez que é possível reaproveitar os resíduos agrícolas para a geração de energia, assim como para fertilizantes e demais subprodutos. Tais métodos e práticas acaba por reduzir desperdícios e aumentar a eficiência de todos os recursos, o que acaba contribuindo para as questões de sustentabilidade das empresas (Muhl, Oliveira, 2022). Um exemplo que pode ser dado é o reaproveitamento da vinhaça em biodigestores na produção de biogás, uma vez que ela reduz a poluição de recursos hídricos, evitando as emissões de gases responsáveis pelo efeito Estufa (Gov, 2016).

Assim, é possível compreender a importância dos benefícios ambientais existentes quanto as questões envolvendo a biomassa gerada da cana-de-açúcar, demonstrando ser extremamente viável a sua produção e utilização nas empresas e na sociedade. Contudo, é imprescindível que seja observado a existência de alguns desafios e perspectivas do futuro dessa tecnologia, observando que existem vários pontos a serem sanados, e que serão levantados no item a seguir.

3.4. DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Diversos são os desafios e as perspectivas quanto ao futuro dessas tecnologias em geral e na produção de energia de forma mais sustentável e reciclável. Um ponto de suma importância a ser destacado é sobre os custos iniciais das tecnologias aplicadas, pois a implantação e conversão de tais tecnologias para criação de energia por meio da biomassa requer um alto investimento em equipamentos, assim como em infraestrutura e em capacitação técnica dos colaboradores (BNDES, 2023).

Um exemplo que pode ser dado quanto ao custo inicial está na instalação de sistemas de gaseificação, uma vez que ele necessita de um controle especial quanto a temperatura, assim como da pressão e da pureza do gás que está sendo produzido, elevando assim os custos iniciais de forma considerável quando comparado com a cogeração tradicional (BNDES, 2023). Vale ressaltar que todo o retorno financeiro de tais investimentos iniciais vai depender da escala que a usina e também da sua estabilidade detém dentro da demanda energética, podendo ser um grande risco para aqueles pequenos produtores (EPE, 2024; BNDS 2020 e 2023).

Além dos custos iniciais a empresa também acaba tendo alguns desafios quanto a logística de coleta e também do transporte da palha da cana-de-açúcar uma vez que ela é um resíduo muito volumoso e que contém uma baixa densidade, o que acaba por dificultar a sua coleta e seu transporte pela empresa (Embrapa, 2024).

Importante observar que a mecanização da colheita da palha inclui sistemas de separação, compactação e armazenamento, contudo, enfrentam vários desafios do âmbito financeiro e técnico para a empresa, pois em regiões cujas infraestruturas são precárias no quesito transporte, e as estradas não possuem pavimentação e a distância é longa entre os campos e a usina, acaba por aumentar os custos logísticos, reduzindo assim a viabilidade econômica. Observado ainda que, a retirada excessiva da palha da cana-de-açúcar pode acabar impactando a conversão do solo, o que exige práticas mais sustentáveis de manejo com o objetivo de equilibrar toda a produção energética e agrícola (Gov, 2016; Embrapa, 2024).

Porém, os desafios não param por aí, uma vez que existem a falta de incentivo ou até mesmo a falta de uma lei específica que auxilie nessa empreitada. O desenvolvimento do setor sucroenergético para bioeletricidade acaba que enfrentando diversas lacunas legislativas, assim como uma grande ausência de políticas públicas específicas que visam incentivar a adoção de tecnologias mais inovadoras (Ministério de Minas e Energia, 2025).

Nos dias atuais a legislação não tem contemplado formas de incentivos fiscais consistentes para que seja gerado e distribuído da energia a partir da biomassa, nem para financiamento de projetos de biodigestores ou gaseificação (FIESP, 2023).

Os processos complexos e burocráticos para se obter licenças ambientais e também conexões junto ao SIN (Sistema Interligado Nacional) acabam aumentando tanto o custo como o tempo da implantação dos novos empreendimentos sendo então necessário a criação de programas de apoio financeiro e também legislação mais clara para os empreendedores (FIESP, 2023; ANEEL, 2022).

Por fim, destaca-se que a biomassa da cana-de-açúcar tem diversas outras destinações para fins econômicos que acaba incluindo a alimentação de animais, ou então produção de etanol de segunda geração, assim como a geração de energia e a produção de biofertilizantes. A geração de bioeletricidade é reduzida quando é priorizado o uso da palha em biocombustíveis avançadas como o etanol de segunda geração, em especial nas regiões cuja a demanda de biocombustível são altas (Embrapa, 2024).

Um grande retorno econômico está na venda da palha da cana-de-açúcar para alimento animal, isso acaba causando um grande dilema quanto qual seria a melhor aplicação da biomassa da cana. Assim, para que seja otimizado o uso dos recursos se faz necessário a criação de uma gestão integrada da cadeia produtiva, avaliando os impactos econômicos, sociais e também ambientais (Novacana, 2024; Maluf, Gurgel, 2014).

Analizando as tecnologias de conversão, observou-se que a maturidade e também a viabilidade econômica da cogeração acabou sendo uma das rotas mais comum e mais eficientes no bagaço da cana-de-açúcar, o que acaba permitindo que as usinas se tornem autoprodutoras, assim como exportadoras de energia. Já na gaseificação é oferecido uma alta flexibilidade e eficiência na produção da syngas e de combustíveis avançados, tendo, contudo, vários desafios quanto aos valores do custo inicial e a limpeza complexa. Por último, os biodigestores trazem uma solução mais eficaz quanto ao tratamento de efluentes como a vinhaça gerando assim biometano e biogás, trazendo ganho energético, reduzindo a poluição hídrica e também a mitigação da emissão de gases que causam o efeito estufa.

Observou ainda que, quanto aos benefícios econômicos e ambientais, foi confirmado que a bioeletricidade produzida pelo bagaço da cana-de-açúcar traz uma grande redução nas emissões de gases quando comparado com os combustíveis fósseis em até 90% (noventa por cento). Dessa forma, a economia circular acaba sendo de grande relevância, uma vez que transforma resíduos agrícolas que eram antes descartados, em insumos valiosos para a bioeletricidade, assim como biocombustíveis e biofertilizantes, aumentando assim a eficiência dos recursos e também da sustentabilidade dentro da chamada cadeia produtiva.

Contudo, mesmo com os diversos avanços tecnológicos, foi observado que existem diversos desafios quanto a expansão da bioeletricidade, como os custos iniciais para a sua

implantação, ainda mais quando se trata de pequenos produtores, assim como questões quanto a logística de coleta e transporte da palha e do bagaço da cana-de-açúcar, uma vez que o volume é grande e possui uma baixa densidade (no caso da palha), o que acaba exigindo um grande investimento em infraestrutura e gestão sustentável do solo.

Outro ponto importante a ser destacado é que a falta de uma legislação e de políticas públicas específicas que tenham incentivos fiscais para os produtores e seus produtos, observando ainda que a grande burocracia para realizar a conexão ao Sistema Interligado Nacional ou para obter licenças ambientais acaba ocasionando o atraso para a implantação de empreendimentos novos ou de novas inovações empresariais e tecnológicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise de todo o conteúdo estudado na revisão bibliográfica, foi possível identificar os resultados mais relevantes. Permitindo compreender de forma clara e certa o papel exercido pela biomassa da cana-de-açúcar como um meio de fonte de energia sustentável.

Quanto aos tipos de biomassa, é possível destacar o bagaço e a palha da cana sendo um dos resíduos de maior potencial energético, onde o primeiro é amplamente utilizado na cogeração de eletricidade e vapor, enquanto a palha se mostra promissora para processos de gaseificação.

A torta de filtro e a vinhaça, embora apresentem menor poder calorífico, possuem importância complementar, seja como fertilizante ou como insumo para biodigestores. No que se refere às tecnologias de conversão energética, a cogeração aparece como a alternativa mais consolidada e economicamente viável no curto prazo, com elevada eficiência e ampla aplicação nas usinas sucroalcooleiras. A gaseificação, por sua vez, apresenta grande potencial de flexibilidade e produção de combustíveis avançados, contudo enfrenta ainda vários desafios técnicos e de custos iniciais muito elevados.

Enquanto isso os biodigestores se destacam por conta do aproveitamento da vinhaça, trazendo benefícios ambientais significativos ao reduzir a poluição hídrica e mitigar emissões de gases de efeito estufa.

Os benefícios ambientais e econômicos apresentados são vários, porém, podemos destacar a redução de até 90% (noventa por cento) nas emissões de dióxido de carbono em comparação ao carvão mineral, o ciclo de carbono quase neutro proporcionado pela biomassa e a inserção dos resíduos agrícolas na lógica da economia circular, com reaproveitamento para bioeletricidade, biocombustíveis e biofertilizantes.

Contudo, os desafios ainda são expressivos, especialmente os custos iniciais elevados para implantação de tecnologias mais avançadas, as dificuldades logísticas na coleta e transporte da palha e a ausência de legislação específica e incentivos fiscais consistentes. Também se observa a necessidade de uma gestão integrada da cadeia produtiva, capaz de equilibrar os diferentes usos da biomassa entre energia, biocombustíveis e alimentação animal.

De forma comparativa, verifica-se que o bagaço possui maior maturidade tecnológica e viabilidade econômica imediata, a palha apresenta potencial crescente condicionado a melhorias logísticas e incentivos, e a vinhaça, por meio dos biodigestores, representa uma alternativa estratégica para o médio prazo.

Assim, as tendências apontam para a consolidação da cogeração no curto prazo, a expansão gradual da gaseificação e dos biodigestores no médio prazo e, no longo prazo, a integração plena da biomassa em cadeias produtivas circulares, diversificando seus usos e ampliando a sustentabilidade do setor energético.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que o bagaço da cana-de-açúcar e a sua palha são os principais tipos de biomassas que possuem um alto potencial energético, onde o primeiro é o mais utilizado dentro da cogeração de eletricidade e de vapor, enquanto a palha demonstra ser uma opção muito promissora para a gaseificação.

A biomassa da cana-de-açúcar é uma excelente fonte estratégica de energia limpa, sendo essencial para a segurança energética do país (ou até mesmo para o mundo), agindo como uma complementação da geração hídrica quando observado o período da seca. Destaca-se ainda que para o futuro do presente setor energético é essencial que se passe pelos desafios logísticos e regulatórios, inclusive pela gestão integrada da cadeia produtiva da bioenergia, o que acaba sendo necessário avaliar de maneira otimizada qual o destino dos resíduos entre a bioeletricidade, o biocombustível e os alimentos animais, o que acaba garantindo um maior aproveitamento e economia, seja no meio social ou ambiental.

Dessa forma, verificou-se que o bagaço da cana-de-açúcar e a sua palha são os principais tipos de biomassas que possuem um alto potencial energético, onde o primeiro é o mais utilizado dentro da cogeração de eletricidade e de vapor, enquanto a palha demonstra ser uma opção muito promissora para a gaseificação. A biomassa da cana-de-açúcar é uma excelente fonte estratégica de energia limpa, sendo essencial para a segurança energética do país, agindo como uma complementação da geração hídrica quando observado o período da seca.

Observando ainda que para no futuro esse setor energético será essencial para que se passe pelos desafios logísticos e regulatórios, inclusive pela gestão integrada da cadeia produtiva da bioenergia, o que acaba demonstrando ser necessária para avaliar de forma otimizada o destino dos resíduos entre a bioeletricidade, o biocombustível e os alimentos animais, garantindo assim um maior aproveitamento e economia para os setores, social ou ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA FAPESP. **Uso da palha de cana para gerar bioenergia requer critérios, aponta estudo.** NOVACANA, 23 SET. 2019. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/uso-palha-cana-gerar-bioenergia-requer-criterios-230919>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ALCARDE, André Ricardo; SILVA, Fabio Cesar da. **Cana: Outros Produtos.** EMBRAPA. 05 jun. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos>. Acesso em: 08 ago. 2025.

ANÁLISE DOS IMPACTOS REGULATÓRIOS DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: desafios á universalização e a segurança energética. **Revista de Direito Público Contemporâneo**, v. 1, n. 2, 2025. Disponível em: <https://centrodeestudosdedireito.com.br/revistas/index.php/rdpc/article/view/114>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cogeração de Energia Elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica, Centro de Documentação. – Brasília : ANEEL : CEDOC, jul. 2022. Disponível em: file:///C:/Users/ANDRE%20NUNES/Downloads/bib_cogeracao%20de%20energia%20eletrica,%20v.%204,%20n.%207,%20jul.%202022.pdf. Acesso em: 10 ago. 2025.

BATISTA, Gabriel Fernando Moreira; TORRES JUNIOR, Elvis Oliveira. Planejamento logístico de escoamento de produção da cana-de-açúcar no oeste do Estado de São Paulo. Orientador: Edson Roberto Manfré. 2021. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Agronegócios) - Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/logistica-panha-cana>. Acesso em: 11 ago. 2025.

BATISTOTE, M.; SILVA, R. F.; MASCARENHAS, M. do S. A Utilização das Biomassas como Fonte de Energia Sustentável. **Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisas - Editora Científica Digital** - ISBN 978-65-5360-198-7, v. 1, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220809891.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Relatório Anual 2023.** Rio de Janeiro: BNDES, 2023. Disponível em:

https://www.bndes.gov.br/hotsites/Relatorio_Anual_2023/BNDES_RA2023.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

BNDES. BNDES apoia projeto pioneiro de geração de energia renovável a partir de resíduo industrial. 19 out. 2020. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-apoia-projeto-pioneiro-de-geracao-de-energia-renovavel-a-partir-de-residuo-industrial>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BNDES. Critérios utilizados para indicação de subvenção econômica. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/plano-inova-empresa/plano-conjunto-bndes-finep-apoio-inovacao-tecnologica-industrial-setores-sucroenergetico-sucroquimico-paiss/criterios-utilizados-indicacao-subvencao-economica>. Acesso em: 18 ago. 2025.

BONASSA, Gabriela, *et al*, Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 144- 166, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307680094_Subprodutos_Gerados_na_Producao_de_Bioetanol_Bagaco_Torta_de_Filtro_agua_de_Lavagem_e_Palhagem. Acesso em: 08 ago. 2025.

BRASIL. Balanço Energético Nacional 2017. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf. Acesso em: 08 ago. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME:EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20%28Biomassa%29.pdf?>. Acesso em: 06 ago. 2025.

BRASIL. Plano Decenal de Energia 2035. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2035>. Acesso em: 11 ago. 2025.

CNPEM. Palha da Cana pode gerar 35,5 TWh de energia. 18 out. 2017. Disponível em: <https://cnpem.br/en/palha-da-cana-pode-gerar-355-twh-de-energia/?utm>. Acesso em: 08 ago. 2025.

CORTEZ, S. C. **O Uso de Biodigestores no Contexto da Economia Circular:** uma análise de barreiras e Facilitadores. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru-SP, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/1cfd105f-7513-4ed3-a67e-5331394cfb76>. Acesso em: 18 ago. 2025.

CARDOSO, Fernando Henrique. **Desempenho ambiental e energético da gaseificação de**

biomassa de cana-de-açúcar como rota alternativa de produção de amônia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://bdliis.ibict.br/bitstream/lis/188/1/FernandoHenriqueCardosocorr2020.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.

COSTA, B. P.; ALTOÉ, L. Uma Análise da Biomassa como Fonte de Energia Elétrica e Investigação de suas Tecnologias. **Bioenergia em revista: diálogos**. v. 12, n. 2, jul./dez. 2022. p. 100-117. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/455/373835>. Acesso em: 24 abr. 2025.

DIAS, M. C.; SILVA, A. M. B. da; LIMA, A. D. Determinação da Energia Fornecida de Quatro Cultivares de Cana-de-açúcar. **III Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais**, Uberaba, 29 e 30 de Novembro de 2019. Disponível em: <https://uniube.br/eventos/edepa/2019/downloadAnexo.php?pessoa=129151&sequencia=1&>. Acesso em: 06 ago. 2025.

EMBRAPA. **Geração de energia elétrica**. 21 jul. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/geracao-de-energia-eletrica>. Acesso em: 01 ago. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2024**. Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 11 ago. 2025.

FAUTINO, L.; GILBER, I. K.; SILVA, A. C. de S.; COSTA, E. J. X. Avaliação do potencial elétrico da cana-de-açúcar como um sistema planta-solo-micro-organismo para geração de energia verde. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 10, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7406>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Energia**, 2023. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/setores/energia>. Acesso em: 11 ago. 2025.

GABRIEL, L. C. Geração Termoelétrica no Brasil a partir da Biomassa da Cana-de-açúcar. **Revista Clube Naval**, v. 1, n. 397, 2021. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/clubenaval/article/view/2274>. Acesso em: 07 abr. 2025.

GARCIA, E, F. Revisão Bibliométrica Sobre: Biomass Energy (Energia Biomassa). **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 2, p. 1784–1800, 2025. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/18228>. Acesso em: 4 maio. 2025.

GOLDONI, E. L.; OLIVEIRA, L. S. de; RODRIGUEIRO, M. M. da S.; OLIVEIRA, K. S. M.; MOLLO NETO, M.; RAMOS, R. A. V.; SANTOS, P. S. B. dos. Utilização da palha da cana-de-açúcar para aumentar a geração de energia elétrica: revisão sistemática da literatura.

Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 12, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34232>. Acesso em: 3 abr. 2025.

IVANA DA SILVA, M. das D.; PEREIRA LIMA E SILVA, J. M. Geração de Energia Elétrica a Partir da Biomassa uma Aplicação do Bagaço da Cana de Açúcar. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, v. 3, n. 3, p. 313-322, 27 set. 2021. Disponível em: <https://revistamultisertao.com.br/index.php/revista/article/view/357>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JORNAL CANA. **Bagaço e palha da cana respondem por 75 % da bioeletricidade gerada para a rede**. 20 mar. 2025. Disponível em: <https://www.jornalcana.com.br/energia/bagaco-e-palha-da-cana-respondem-por-75-da-bioeletricidade-gerada-para-a-rede/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

LOBO, C. da S. **A Importância da Cogeração Utilizando Bagaço de Cana-de-Açúcar como Forma de Diversificação da Matriz Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Eletricista) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9737/1/monopoli10007284.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MAIA, V. da S. **Cogeração de Energia a Partir da Queima do Bagaço da Cana-de-açúcar**. Artigo Científico (Técnico em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas Campus Penedo, Penedo-AL, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifal.edu.br/server/api/core/bitstreams/32b0e763-edbb-4445-85cf-77fc9a37caba/content>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MALUF, Gabriel. **A competição entre o etanol de segunda geração e a produção de eletricidade pelo uso do bagaço**. Dissertação (Mestrado Profissional em Agronegócios) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas - FGV, São Paulo, 2014.

MARTINS, L. R.; CARRINO, A. L. Um Estudo Sobre a Biomassa: uma fonte renovável de energia limpa. *Interface Tecnológica* – v. 20, n. 2, 2023. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/download/1728/977>. Acesso em: 10 mai. 2025.

MEDEIROS, M. F. de; NUNES, L. A. da S. **Uso da Biomassa na Geração de Energia Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Mossoró, RN, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/3f087433-aed2-4561-a888-8cd4c7921756/content>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MORANDI, M. A. B.; PACKER, A. P.; MENDES, R.; TANURE, J. P. M.; ANDRADE, C. A. de; MENEZES, C. (ed.). *Agricultura & meio ambiente: a busca pela sustentabilidade*. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 1010 p. il. color. cap. 1. part. 1. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1170320>. Acesso em: 10 ago. 2025.

MUHL, D. D.; OLIVEIRA, L. de. Tecnologias para a economia circular na agropecuária. **Iheringia, Série Botânica**, [S. l.], v. 77, 2022. DOI: 10.21826/2446-82312022v77e2022008. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/1260>. Acesso em: 21 ago. 2025.

NOVACANA. **Bioeletricidade a partir de bagaço e palha de cana cresce 14 % em 2023, para 20,97 TWh**. 19 mar. 2024. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/bioeletricidade-bagaco-palha-cana-cresce-14-2023-20-97-twh-190324>. Acesso em: 07 ago. 2025.

NUNES, A. M. M. **Políticas públicas em energias renováveis e a bioeletricidade florestal brasileira: evidências empíricas para uma economia circular**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27357>. Acesso em: 11 ago. 2025.

PELETEIRO, D. De; et al. Transformando Biomassa em Energia: Oportunidade Sustentáveis para o Brasil. **Científica Digital**, ISBN 978-65-5360-884-9 - Vol. 2 - Ano 2025. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/241218541.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2025.

PRETEL, A. F. **Análise da Percepção dos Gestores no Uso da Biomassa de Cana-de-açúcar, para a Produção de Bioenergia em MS**. Dissertação (Mestre em Agronegócios) – Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, 2023. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-AGRONEGOCIOS/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20Defendidas/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Ariel%20Fernandes%20Pretel.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

REIS, L. F. dos; SANTOS, R. dos; GOMES, L. de O. Biomassa: Análise da Utilização do Bagaço-cana-de-açúcar na Geração de Energia. **XI Congresso de Trabalhos de Graduação Faculdade de Tecnologia de Mococa**, v.7, n.1, 2023. Disponível em: <https://congresso.fatecmococa.edu.br/index.php/congresso/article/view/468>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SANTOS JUNIOR, A. F. dos. **Estudo de caso na Usina São João: uma análise da geração de energia por biomassa de cana-de-açúcar para compensação de energia futura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3455>. Acesso em: 05 abr. 2025.

SANTOS, A. A. dos; FERREIRA, T. de A. **A cana-de-açúcar e o cavaco de eucalipto como biomassa para geração de energia renovável**. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Gestão Empresarial) - Fatec Catanduva, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/28273>. Acesso em: 26 abr. 2025.

SANTOS, G. R. dos; WEHRMANN, M. E. S. de F. **Desafios e Caminhos da Pesquisa e Inovação no Setor Sucroenergético no Brasil**. Brasília: Ipea, 2016, p.258-281. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/document-0-8230786688938072.pdf#page=259>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SILVA, D. G. da; NASCIMENTO, J. F. do; TANAKA, M. **Utilização do bagaço da cana de açúcar como cogeração de energia nas usinas**, 2024. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Instalações Elétricas) - Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2024.

SILVA, R. B. da; MANTESE, M. A.; FLORIAN, F. O Bagaço Da Cana-de-açúcar Na Geração De Energia. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 1, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4526>. Acesso em: 3 abr. 2025.

SILVA, S. P. da; *et al.* A Importância da Biomassa na Matriz Energética Brasileira. **Revista Pensar Acadêmico**, Manhauçu, v. 19, n. 2, p. 557-583, maio-setembro, 2021. Disponível em: <https://www.pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/pensaracademico/article/view/2306>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SOARES, I. P.; *et al.* Biogás e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF, Embrapa Agroenergia, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149613/1/DOC-49-final-1.pdf?>. Acesso em: 03 ago. 2025.

TAGIMA, Alice Akemi. **Caracterização do Digestatoda Usina de Bioenergia do IEE USP para Aplicação como Biofertilizante**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106133/tde-29012024-183007/en.php>. Acesso em: 10 ago. 2025.

TOLÊDO, T. J. B. **Potencial energético do biogás produzido a partir de esterco bovino e bagaço da cana-de-açúcar no estado de Alagoas**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/11027>. Acesso em: 15 abr. 2025.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Artigo: A bioeletricidade e a Semana do Meio Ambiente**. 2020. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/artigo-bioeletricidade-meio-ambiente/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Raízen inaugura usina de biogás a partir derivados da cana**. 2020. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/raizen-inaugura-usina-de-biogas-a-partir-derivados-da-cana/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

UNICA. **Bioeletricidade**. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade/>. Acesso em: 08 ago. 2025.

VIANA, A. M. L.; SANTOS, P. S. B. dos. Reutilização Da Palha Da Cana-De-Açúcar Como Fonte De Biomassa Para Cogeração De Energia: Uma revisão Sistemática Da Literatura. **RECIMA21 – Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia**. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/4351/3102>. Acesso em: 15 ago. 2025.

VIANA, A. M. L.; SANTOS, P. S. B. Reutilização da Palha da Cana-de-Açúcar como Fonte de Biomassa para Cogeração de Energia: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 11, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4351>. Acesso em: 3 abr. 2025.