

## Evaluation of energy efficiency in sugar cane bass burning processes in sugar and alcoholic plants

### Avaliação da eficiência energética nos processos de queima do bagaço da cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras

Article Info:

Article history: Received 2023-12-30 / Accepted 2024-01-10 / Available online 2024-01-11

doi: 10.18540/jcecv110iss2pp16962



**Lucas Devetak Casado**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1672-0989>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Brazil

E-mail: [lucasdevetak@hotmail.com](mailto:lucasdevetak@hotmail.com)

**Andréa Teresa Riccio Barbosa**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2021-1310>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Brazil

E-mail: [andrea.barbosa@ufms.br](mailto:andrea.barbosa@ufms.br)

#### Resumo

Este trabalho aborda a necessidade global de desenvolver novas fontes de energia, além de buscar aprimorar as fontes existentes devido à crescente demanda energética mundial, proveniente de fatores como o aumento populacional, consumismo e competitividade econômica. No Brasil, um terço da energia consumida é proveniente do petróleo e seus derivados, apesar da matriz energética ser heterogênea, com destaque para a energia proveniente da biomassa, principalmente do bagaço da cana-de-açúcar, que representa 77% da produção nacional. O etanol, atualmente um dos principais combustíveis no país, é também um dos grandes responsáveis por essa variedade na matriz energética. Surgiu como uma alternativa aos combustíveis fósseis durante as crises do petróleo, além de trazer consigo a cogeração do bagaço da cana-de-açúcar, que tornou-se uma solução sustentável para o excesso desse resíduo nas usinas sucroalcooleiras. Portanto, é importante buscar maneiras de aumentar a eficiência energética nesse setor a fim de aumentar a lucratividade e diminuir o impacto ambiental dos processos.

**Palavras-chave:** Cogeração. Bagaço. Eficiência Energética. Usinas Sucroalcooleiras.

#### Abstract

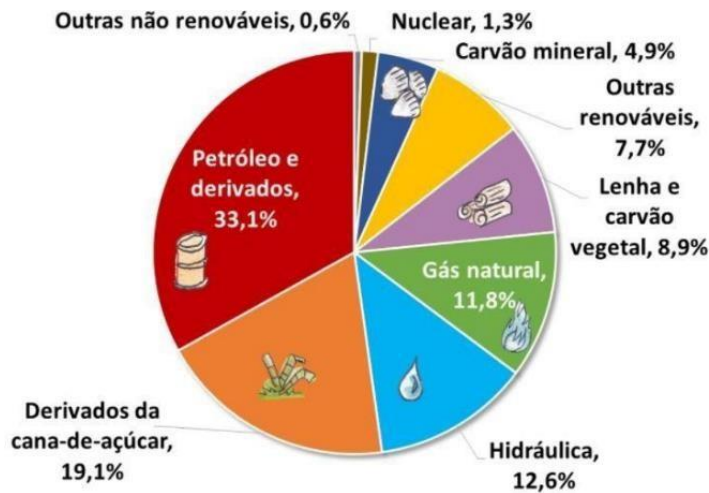
This work addresses the global need to develop new energy sources, in addition to seeking to improve existing sources due to the growing global energy demand, arising from factors such as population growth, consumerism and economic competitiveness. In Brazil, a third of the energy consumed comes from oil and its derivatives, despite the energy matrix being heterogeneous, with emphasis on energy from biomass, mainly from sugarcane bagasse, which represents 77% of national production. Ethanol, currently one of the main fuels in the country, is also largely responsible for this variety in the energy matrix. It emerged as an alternative to fossil fuels during the oil crises, in addition to bringing with it the cogeneration of sugarcane bagasse, which became a sustainable solution to the excess of this residue in sugar and alcohol plants. Therefore, it is important to look for ways to increase energy efficiency in this sector in order to increase profitability and reduce the environmental impact of processes.

**Keywords:** Cogeneration. Bagasse. Energy Efficiency. Sugar and alcohol plants.

## 1. Introduction in bold, left aligned

O aumento populacional agregado ao consumismo e à competitividade econômica entre as nações faz com que a demanda energética mundial cresça de forma impremeditada. De acordo com as séries históricas geradas pela EPE, Empresa de Pesquisa Energética, mesmo com uma notável desaceleração do crescimento populacional na última década, o Brasil, de 1970 a 2020, mantém a demanda energética em crescimento (Tolmasquim, 2007).

Com os fatores apresentados, se instaura um cenário onde novas fontes de energia, bem como melhorias nas fontes existentes, é uma necessidade global. O Brasil, apesar de possuir uma matriz energética heterogênea, conforme figura 1 apresentada, possui um terço de toda energia consumida proveniente do petróleo e seus derivados. Principalmente o setor de transporte, ainda não evoluiu tecnologicamente para deixar de utilizar fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis, no passado (EPE, 2021).



**Figura 1. Matriz energética brasileira.**

É notável, na matriz energética, que a participação dos derivados da cana-de-açúcar representa um importante papel na oferta de energia nacional. Assim como a lenha e o carvão vegetal, boa parte dessa representatividade é proveniente de resíduos, como o bagaço da cana-de-açúcar. O Brasil é o primeiro colocado mundial na produção de energia através de biomassa, onde 77% dessa produção é proveniente do bagaço da cana (Silva; Lima, 2020).

A cana-de-açúcar, originária de Nova Guiné, foi trazida para o Brasil pelos portugueses logo após o seu descobrimento, em 1520. A planta se adaptou muito bem, uma vez que é apropriada para climas tropicais e subtropicais. Com isso, em 1532, já havia sido implantado no país o primeiro engenho, o qual possuía o objetivo de produção de açúcar. Dessa forma, em pouco tempo, o Brasil já se tornara um dos principais exportadores de açúcar do mundo. Hoje o país ocupa a primeira posição na exportação desse produto, bem como também é o maior produtor (Silva, 2020).

Já o etanol, atualmente um dos principais combustíveis no Brasil, demorou a surgir em comparação com o açúcar. Esse produto foi apresentado como combustível antes da Segunda Guerra Mundial, porém era limitado e, portanto, havia pouca utilização. Este cenário se transformou com as primeiras crises mundiais do petróleo, de forma que fontes alternativas de energia ganharam mais importância. Com isso, em 1975, o governo Brasileiro lança o Proálcool, Programa Nacional do Alcool, como apresentado na figura 2 (Silva, 2020).



**Figura 2. Posto de combustível em 1975.**

Esta campanha proporcionou incentivo não só às usinas sucroalcooleiras, mas também às usinas automobilísticas, uma vez que a produção de carros movidos a etanol hidratado cresceu exponencialmente. Além disso, este programa diminuiu a dependência externa do Brasil em relação à importação de combustíveis fósseis (Costa, 2017).

Em meados de 1980, no auge da segunda crise do petróleo, a energia térmica ganhava força nas usinas sucroalcooleiras. O excesso de produção do bagaço da cana acarretava problemas de estocagem desse resíduo, uma vez que sua utilização, até então, era totalmente destinada à agropecuária, como cobertura de solo, ou em poucas circunstâncias, destinado à alimentação animal (Silva, 2020).

A cogeração surgiu, então, para unir o útil ao agradável, fazendo do problema uma solução sustentável. Esse bagaço passou a ser utilizado como combustível das caldeiras para produção de vapor. Dessa forma, as usinas começaram a ser autossuficientes produzindo vapor e energia elétrica para execução de processos internos. Todavia, a quantidade de bagaço ainda era muito superior à quantidade necessária para a realização dessas atividades, o que, nos anos 90 passou a ser aproveitado como fonte de renda, vendendo o excedente de energia elétrica para as concessionárias de distribuição (Silva, 2020).

Visto todo o desenvolvimento desse setor, e, sabendo que as usinas sucroalcooleiras representam uma importante parcela nas matrizes energética e elétrica do país, o desenvolvimento tecnológico dessas usinas deve ser visado constantemente, portanto devem ser estudadas maneiras de aumentar a eficiência energética em cada um dos processos, de forma a aumentar a lucratividade e diminuir o impacto ambiental destes processos.

Dado o exposto, este trabalho baseia-se na revisão de literatura e nas análises de pesquisas que evidenciaram o desenvolvimento tecnológico do processo de cogeração das usinas sucroenergéticas. Portanto, o objetivo geral é apresentar os pontos críticos presentes no processo de geração de energia elétrica através da cogeração utilizando o bagaço da cana-de-açúcar, resíduo do processo de produção de etanol e açúcar, como combustível sustentável para as caldeiras no processo termoelétrico.

## **2. Material e métodos**

O procedimento de coleta de dados dessa pesquisa é denominado de levantamento bibliográfico, este caracteriza-se como uma pesquisa secundária, pois os dados e as informações advêm de um material já publicado. Trata-se, portanto, de uma pesquisa fundamentada, a partir do conhecimento disponível em fontes bibliográficas, sobretudo, através de livros, materiais de audiovisuais, livros, artigos e pesquisas científicas. Em sites de buscas serão levantadas informações em função de palavras-chaves tais como: usina sucroalcooleira + eficiência energética; usina sucroalcooleira + processos produtivos; usina sucroalcooleira + geração termoelétrica; tanto na língua portuguesa como inglesa.

A natureza da pesquisa é qualitativa porquê de forma descritiva e indutiva, analisa-se o processo de queima do bagaço da cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras, o contexto e o significado do fenômeno, sob a ótica qualitativa, amparado por teorias, pela observação, seleção e interpretação dos dados levantados, atribuindo comentários e discussões.

É uma pesquisa básica com um estudo sistemático provocado pela curiosidade intelectual, pelo prazer de conhecer e se desenvolver cientificamente, preenchendo uma lacuna no conhecimento do pesquisador e do leitor. Tem como objetivo investigar o que ocorre em uma usina sucroalcooleira e obter maior familiaridade na avaliação da eficiência energética em seus processos. A fonte de dados é secundária, porque os dados já foram levantados, tabulados, organizados e analisados por outros pesquisadores.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Produção da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, ou semi-perene, de clima tropical e subtropical, característica a qual favoreceu o bom desenvolvimento no Brasil. Atualmente a cana é cultivada de forma semi-perene, ou seja, os plantios acontecem em um ciclo que dura em torno de sete anos. Seu plantio é realizado através de mudas e atualmente é todo mecanizado. O manejo da cultura também é todo mecanizado e consiste na aplicação de herbicidas, fungicidas, inseticidas, entre outros insumos que venham a ser necessários. Já sua colheita se mostrou bem distribuída até a última década, sendo dividida entre colheita mecanizada ou manual. Todavia, atualmente, a colheita manual representa apenas cerca de 10% de toda a colheita realizada no país (Maciel, 2016).

Após a colheita, o material deve ser levado rapidamente para o processamento, em menos de 24 horas. Diferentemente de outros produtos agrícolas, a cana-de-açúcar, após colhida, se torna perecível e pode perder potencial energético dependendo de quanto tempo levar para ser processada (Maciel, 2016).

É comum que usinas sucroalcooleiras terceirizam o cultivo da sua matéria-prima. Com isso, no momento em que a cana-de-açúcar chega na usina é realizada uma análise laboratorial a fim de determinar o Açúcar Total Recuperável (ATR), daquele material. Essa avaliação, a qual determina o teor de sacarose, além de mensurar o potencial energético da cana-de-açúcar, também é um método de pagamento adotado nestes casos (Santos, 2015).

#### 3.2 O processo de produção: açúcar e etanol

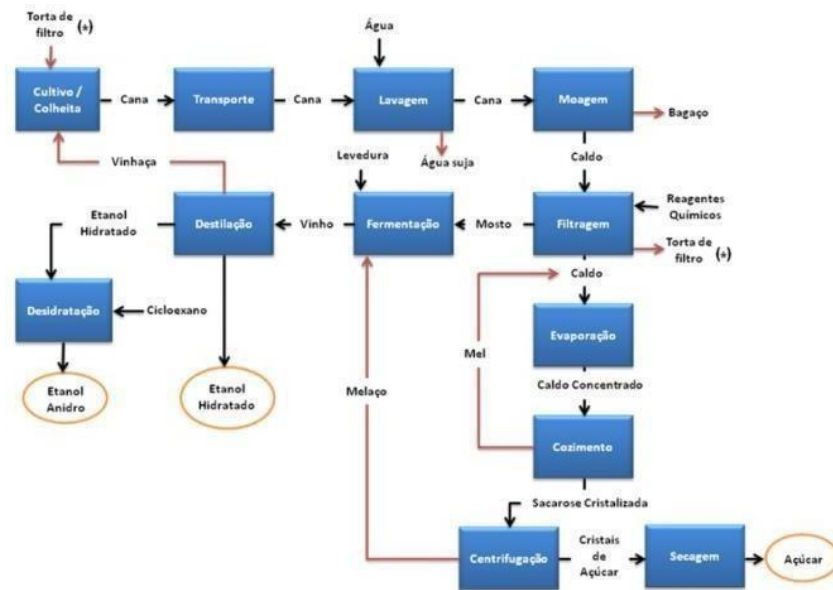
Após a análise laboratorial, a cana-de-açúcar, já triturada pela própria colheitadeira, é destinada ao processo de moagem. Este processo é repetido de cinco a sete vezes para que todo o caldo seja extraído do material. No primeiro terno de moenda, como são chamadas cada etapa de moagem, a relação de caldo para fibra está de sete para um. Após esse primeiro terno, a proporção de caldo para fibra cai de sete para em torno de dois. Para que os ternos finais sejam mais proveitosos, um processo denominado embebição é realizado. Este processo torna o caldo, presente nas fibras, mais suscetível a ser extraído na moenda (Santos, 2015).

Após a fase de moagem, o produto extraído passa por um tratamento com o objetivo de retirar quaisquer impurezas que possam estar presentes. A partir disso, com o caldo já puro, é iniciada a produção do etanol. Neste processo são adicionadas as leveduras, responsáveis por gerar as reações químicas que promovem a fermentação (Silva, 2016).

Com o processo de fermentação finalizado, o etanol já foi criado e, a partir disso, o último passo é realizar a destilação, processo o qual purifica o etanol tornando-o concretamente o álcool hidratado ou o álcool anidro, os quais são utilizados respectivamente como etanol ou adicionado à gasolina (Silva, 2016).

Já para a produção do açúcar, o caldo, após purificado, diferentemente da produção do etanol, não é destinado à fermentação. Nesta linha produtiva o caldo é aquecido até cristalizar e, posteriormente, centrifugado, processos estes que possuem basicamente a mesma função, retirar a água presente do melão. Com isso, obtém-se o açúcar bruto, o qual a partir disso passa por

diferentes processos dependendo do produto final desejado, como, o açúcar mascavo, açúcar refinado, açúcar bruto, entre outros, como descrito na Figura 3.



**Figura 3. Diagrama da produção das usinas sucroalcooleiras. Fonte: (Zanon Pereira et al., 2020).**

### 3.3 Os resíduos

Com a produção sucroalcooleira toda descrita, é possível então realizar a análise da utilização do bagaço da cana-de-açúcar. Este importante resíduo, que é gerado no processo de moagem, é separado dos outros produtos possuindo uma umidade que varia de 50 a 60% (Innocente, 2011).

Como o seu volume de produção é sempre maior do que as usinas conseguem consumi-lo nas fornalhas, o bagaço é estocado, geralmente ao ar livre, para ser utilizado nos momentos em que a moagem não está sendo realizada e, conseqüentemente, não há bagaço sendo gerado. A biomassa é inserida nas fornalhas a fim de produzir calor através da sua queima. Este combustível volumoso proporciona a energia necessária para aquecer água que é utilizada como vapor para tocar os processos produtivos dentro da usina (Innocente, 2011).

Todavia, como dito que o volume dessa biomassa é maior do que o necessário para esses processos, o excedente de vapor é então aplicado a um ciclo *Rankine*, o qual possui uma turbina ligada a um gerador elétrico e, dessa forma, a usina é capaz de gerar eletricidade para suas demandas internas, além de vender o excedente para a concessionária elétrica local (Leme; Cunha; Walter, 2004).

Além dessa biomassa, outros dois resíduos estão surgindo no cenário de geração elétrica, a vinhaça e a torta de filtro. A vinhaça, que é obtida no processo de destilação, atualmente é predominantemente utilizada na fertirrigação das lavouras, isso devido a ser rica em potássio, importante elemento aplicado como adubo. Já a torta de filtro, obtida no processo de filtragem do caldo, é rica em fósforo, e também é predominantemente utilizada na fertilização dos canaviais (Leme; Cunha; Walter, 2004).

Entretanto, existem novos estudos que demonstram a viabilidade em utilizar esses dois resíduos também para a geração de energia elétrica. Ambos produtos são compostos de matéria orgânica, portanto há a possibilidade de extrair gás metano, através da inserção de algumas bactérias que promovem reações químicas e fermentação destes resíduos, destinando-os a serem utilizados como biogás (Cardoso; Bomtempo; Borschiver, 2017).

Após ser gerado no biodigestor, esse gás é utilizado como combustível em motores diesel e, apesar de emitir dióxido de carbono, gás prejudicial ao meio ambiente, a emissão do gás metano,

que aconteceria naturalmente após a vinhaça e a torta de filtro serem empregadas como fertilizantes, é minimizada, tornando o impacto ambiental menor, uma vez que o metano é mais agressivo do que o dióxido de carbono (Cardoso; Bomtempo; Borschiver, 2017).

Outro fator importante é que estes resíduos após passarem pelo biodigestor perdem boa parte de CH<sub>4</sub>, metano, porém mantêm praticamente todo o seu potencial fertilizante, uma vez que a matéria orgânica consumida não retira os minerais presentes na vinhaça e na torta de filtro, ou seja, eles continuam sendo utilizados nas lavouras, melhorando a produtividade da cana-de-açúcar (Cardoso; Bomtempo; Borschiver, 2017).

### 3.4 Geração termelétrica

O bagaço da cana-de-açúcar, combustível do sistema termoelétrico das usinas sucroenergéticas, é hoje a principal biomassa destinada à geração de energia no país. Quando está com umidade em torno de 50%, apresenta um Poder Calorífico Inferior, PCI, de cerca de 1800 kcal/kg, dependendo da porcentagem de sacarose ainda presente na matéria orgânica esse valor pode variar (Carvalho et al., 2019).

O ciclo do sistema termoelétrico utilizado nas usinas sucroalcooleiras é o ciclo Rankine. Este ciclo termodinâmico, é responsável por transformar calor, proveniente da caldeira, em trabalho, através de uma turbina a vapor. Este ciclo, é composto basicamente por 4 elementos fundamentais, sendo eles, a caldeira, fonte de calor para o fluido, a turbina, produtora de trabalho, o condensador, dissipador de calor, e a bomba, promovendo o movimento do fluido a fim de completar o ciclo. Outro elemento que ainda é adicionado nesse esquema é o gerador elétrico, o qual é acoplado na turbina, sendo responsável em transformar trabalho em energia elétrica (Carvalho et al., 2019).

O ciclo Rankine possui níveis de complexidade e pode ser mostrado de forma simplificada ou trazido de formas mais completas e complexas. Existem ciclos com reaquecimento e ciclos regenerativos, os quais aproveitam o calor presente no fluido, no estágio pós turbina, para gerar mais energia através de uma turbina de baixa pressão ou então utilizá-lo para pré-aquecer o fluido no estágio pós bomba, diminuindo assim a energia necessária para aquecer o fluido na caldeira (Tomaz et al., 2015).

Com o processo de geração de energia todo detalhado, é possível realizar uma análise global do sistema determinando os pontos com potenciais de aumento da eficiência energética.

Sendo o primeiro processo pós-produção sucroalcooleira, a embebição é um importante ponto a se analisar. Este processo, quando feito em excesso, pode aumentar demasiadamente a umidade do bagaço da cana, fazendo com que o poder de combustão caia consideravelmente. Todavia, caso haja sacarose em excesso remanescente na biomassa, o PCI também apresenta queda considerável. Ou seja, há de se buscar um meio termo entre estes dois fatores de forma que a eficiência deste combustível seja maximizada.

Um dos estágios mais importantes é o processo de combustão do bagaço de cana. Segundo Tomaz, 2015, as caldeiras que atualmente estão em operação nas usinas sucroenergéticas possuem baixa eficiência na troca de calor. Foi averiguado ainda que de toda a energia primária disponível na cana-de-açúcar, apenas 30% é convertida em energia secundária, ou seja, como etanol e energia elétrica.

Outro elemento do ciclo Rankine que se apresenta como um ponto crítico na eficiência global do sistema termoelétrico são as turbinas. Devido ao fato de que a maioria das plantas das usinas já possuem algumas décadas de implantação, as turbinas utilizadas são ultrapassadas. Os modelos mais modernos, presentes no mercado, atuam em alta pressão e por isso possuem eficiência energética mais interessante do que as mais antigas, as quais operam com baixa pressão de vapor saturado.

## 4. Conclusão

Através das pesquisas realizadas neste trabalho, é possível concluir que a contribuição energética das usinas sucroenergéticas para a matriz brasileira é de suma importância, em especial a parcela proveniente da queima da biomassa. Este processo, que, além de sustentável, por utilizar

um resíduo como fonte de renda, também aumenta a eficiência energética global das usinas, possui alto potencial de evolução.

A literatura existente sobre a produção de açúcar e etanol é rica e completa, entretanto ainda há espaço para pesquisas sobre a melhor utilização dos resíduos gerados nesta produção, uma vez que, os trabalhos existentes são escassos e não tratam metodologias de aprimorar a eficiência energética dos processos de geração de energia.

## Referências

- Cardoso, F.; Bomtempo, J. V.; Borschiver, S. (2017). Elaboração de roadmap tecnológico para a produção de biogás a partir de vinhaça. *Cadernos de Prospecção*, 10(3), 495–495. doi: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v10i3.22929>
- Carvalho, A. H. S.; Santos, C. A.; Farah, S. P. S.; Farah, A. F. (2019). Influência da umidade do bagaço da cana-de-açúcar no sistema de cogeração de energia. *Sitefa*, 1, 445-455. doi: <https://doi.org/10.33635/sitefa.v2i1.48>
- Costa, M. A. B.; Bataghin, F. A.; Franci, A. A. B.; Brassolatti, T. F. Z. (2017). Ecoeficiência energética no setor sucroalcooleiro. *Revista livre de sustentabilidade e empreendedorismo*. 2(4), 1-21.
- Innocente, A. F. (2011). *Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar: estudo de caso*. Dissertação, UNESP, Botucatu, SP, Brasil.
- Laime, E. M. O. (2016). *Produção e índices tecnológicos da cana-de-açúcar sob níveis de salinidade em dois ciclos de cultivo*. UFCG, Campina Grande, SP, Brasil.
- Leme, R. M.; Cunha, K. B. Da; Walter, A. (2004). *Adicionalidade em projetos de MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo) e a cogeração no setor sucroalcooleiro brasileiro*. Tese de Mestrado, Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, SP, Brasil.
- Ministério de Minas e Energia (EPE) (2021). *Matriz Energética e Elétrica*. Brasil.
- Pereira, I. Z.; Santos, I. F. S.; Silva, H. L. C.; Barros, R. M. (2020). *Uma breve revisão sobre a indústria sucroalcooleira Brasil com enfoque no potencial de geração de energia*. Revista Brasileira de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil. doi: <https://doi.org/10.47168/rbe.v25i2.477>
- Santos, C. S. (2015). *Estudo de caso da eficiência energética na geração de vapor através do uso de bagaço de cana-de-açúcar em uma usina sucroalcooleira no centro oeste mineiro*. Monografia, Centro Universitário de Formiga, Formiga, MG, Brasil.
- Silva, C. C. (2016). *Análise comparativa entre tratamentos térmicos industriais e por irradiação micro-ondas em caldo de cana-de-açúcar destinado à produção de etanol*. Dissertação, UFTM, Uberaba, MG, Brasil.
- Silva, J. M. (2020) *Cachaça: história, gastronomia e turismo*. Senac.
- Silva, R. N.; Lima, F. E. (2020). *Estudo do impacto do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração*. Revista Geama, Usina JB, Pernambuco, Brasil.
- Tolmasquim, M. T.; Guerreiro, A.; Gorini, R. (2007). *Matriz energética brasileira: uma prospectiva*. CEBRAP, Novos Estudos. doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>
- Tomaz, W. L.; Gordono, F.; Silva, F. P.; Castro, M. D. G.; Esperidião, M. (2017). *Cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar: estudo de caso múltiplo no setor sucroalcooleiro*. Encontro empresarial sobre gestão empresarial e meio ambiente.