

POTENCIAL DO USO DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO BRASIL

POTENTIAL OF USING SUGARCANE BIOMASS IN ELECTRICITY GENERATION IN BRAZIL

POTENCIAL DEL USO DE LA BIOMASA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN BRASIL

Emmanuel Godinho¹
Emanuel Rangel Spadim²
Fernando de Lima Caneppele³

Resumo

O constante aumento da demanda de energia no Brasil torna necessário procurar formas alternativas de energia. Embora elas possam não ser oportunas devido à sua não competitividade no mercado atual, o estudo da viabilidade e capacidade de seu uso é de grande importância para a satisfação de uma possível demanda futura. O objetivo deste trabalho é demonstrar o potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa de resíduos de cana, considerando sua produção anual no Brasil. A cana-de-açúcar gera uma grande quantidade de bagaço, o resíduo mais utilizado na produção de energia, mas também produz uma grande quantidade de palha, cuja viabilidade tem sido estudada desde a colheita mecanizada, que causou um aumento dessa matéria no campo. Esses materiais agora representam 6% da eletricidade gerada no país mas, através de duas metodologias utilizadas neste trabalho, é possível obter um suprimento potencial dessa demanda de até 26,3%.

Palavras-chave: eficiência energética; eletricidade; fontes alternativas.

Abstract

The constant increase in energy demand in Brazil makes it necessary to look for alternative forms of energy. Although these forms of energy may not be opportune due to their non-competitiveness in the current market, the study of the feasibility and capacity of their use is of great importance for the satisfaction of a possible future demand. The objective of this work is to demonstrate the potential for electricity generation from biomass from sugarcane residues, considering its annual production in Brazil. Sugarcane generates a large amount of bagasse, the waste most used in energy production; however, it also generates a large amount of straw, whose viability has been studied since mechanized harvesting, which caused an increase of this matter in the field. These materials represent now 6% of the electricity generated in the country, but through two methodologies used in this work, it was possible to obtain a potential supply of this demand of up to 26.3%.

Keywords: energy efficiency; electricity; alternative sources.

Resumen

¹ Graduado em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista - ESAPP. Mestre em Bioenergia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Doutorando em Agronomia na Universidade Estadual Paulista - UNESP. Pós graduado pela Fundação Getúlio Vargas FGV-RJ com MBA em Gestão Internacional em Agribusiness. Pós graduando em Docência no ensino superior e Educação especial e inclusiva pela Faculdade Venda Nova do Imigrante - FAVENI. Graduado com Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná - UTFPR. Conhecimento dos programas de estatística e modelagem: Statistica, Action, Origin e Maple. Analista Técnico certificado pela Associação dos Analistas e Profissionais do Mercado de Capitais - APIMEC. Certificado como operador de mesa do mercado financeiro pela BM&FBOVESPA. Certificado com CPA 20 pela Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais - ANBIMA (2013). Certificado pela Associação Nacional das Corretoras e Distribuidoras de Títulos e Valores Mobiliários, Câmbio e Mercadorias - ANCORD (2007) como Agente Autônomo de Investimentos. Possui experiência como docente no ensino fundamental, médio, graduação e pós graduação. E-mail: profemmanuelzullo@gmail.com.

² E-mail: emanuel.spadim@unesp.br.

³ E-mail: caneppele@usp.br.

El constante aumento de la demanda de energía en Brasil hace necesario buscar formas alternativas de energía. Aunque ellas puedan no ser oportunas porque no son competitivas en el mercado actual, el estudio de la viabilidad y capacidad de su uso es de gran relevancia para la satisfacción de una posible demanda futura. El objetivo de este trabajo es demostrar el potencial de generación de electricidad a partir de la biomasa de residuos de caña, considerándose su producción anual en Brasil. La caña de azúcar genera gran cantidad de bagazo, el residuo más utilizado en la producción de energía, pero también produce una gran cantidad de paja, cuya viabilidad ha sido estudiada a partir de la cosecha mecanizada, que causó un aumento de esa materia en el campo. Esos materiales ahora representan el 6% de la electricidad producida en el país, pero, por medio de dos metodologías utilizadas en este trabajo, es posible obtener un suministro potencial para esa demanda de hasta 26,3%.

Palabras-clave: eficiencia energética; electricidad; fuentes alternativas.

1 Introdução

No Brasil, o etanol é utilizado há décadas como um dos principais combustíveis; inclui-se na gasolina (22% a 27% de etanol anidro), atingindo uma posição muito favorável a nível internacional em termos de produção: 34.046.381 m³ de etanol na safra de 19/20 utilizando a cana-de-açúcar (MAPA, 2020). Segundo a CONAB (2019), a produção nacional de cana-de-açúcar na safra de 2019/20 foi de 620,4 milhões de toneladas, sendo que 44,4 milhões foram produzidas na região nordeste. A produção de etanol alcançou 33,14 bilhões de litros; houve um aumento de 21,7% ou 5,9 bilhões de litros com relação à última safra.

Segundo Furtado, Scandiffiob e Cortez (2011), nas quatro últimas décadas o Brasil teve um aumento significativo na produção de cana-de-açúcar e está sendo considerado como referência mundial na produção de etanol, com tecnologias em produção e processamento. Para aumentar a competitividade do sistema de produção agrícola, foram otimizadas as técnicas para prolongar a vida útil das plantações de cana-de-açúcar, além do uso de insumos e mão-de-obra com mais eficiência (DA SILVA *et al.*, 2019).

Apesar de a cultura apresentar um grande progresso, a produção por área de cana na última década apresentou dados diferentes, indicando perdas em alguns fatores de custo *versus* benefício, embora a análise de longo prazo revele que a produção continua a crescer (KHATIWADA *et al.*, 2012).

Segundo Khatiwada *et al.* (2012), alguns fatores responsáveis da queda dos índices de produtividade no cultivo da cana no Brasil podem ser classificados como conjunturais e estruturais. Dados financeiros estão diretamente relacionados a indicadores de produção a campo, isto a curto prazo, como as mudanças climáticas, o uso excessivo de corte por planta, envelhecimento da cana e investimento agrícola reduzido (ZILIO; LIMA, 2015).

Da Silva *et al.* (2019) reportam que, para cada tonelada de cana-de-açúcar, são gerados em torno de 280kg de bagaço e 260kg de palha, e que esses resíduos podem ser usados para a cogeração de energia.

Godinho *et al.* (2019) mencionam que a eficiência nos processos de conversão de energia e o próprio crescimento da demanda energética mundial está relacionada ao crescimento mundial da população; com o uso da energia elétrica os povos tendem a ter melhores condições de vida, principalmente na questão da saúde. Estes dados estão sendo pesquisados por diversos círculos de estudos e, como os resíduos disponíveis no ambiente agrícola para geração de energia são abundantes, nesse cenário a biomassa se torna uma importante fonte de exploração de energia.

A biomassa é definida como toda a matéria orgânica da planta, assim, a biomassa é o armazenamento de energia solar na forma de moléculas, energia que pode ser liberada através de processos biológicos e termoquímicos e, portanto, renovável (NOVO *et al.*, 2016). Ela ocorre através da reutilização, naturalmente, através do dióxido de carbono, que é liberado na queima ou decomposição dessa matéria (GALBIATI *et al.*, 2010).

Existem várias projeções de bioenergia que são utilizadas para atender diferentes metas de segurança energética, mitigação das mudanças climáticas, de resíduos de uso de culturas (BENTSEN; NILSSON; LARSEN, 2018). Como resultado, observa-se que está havendo um aumento nas reuniões de grupos governamentais globais, com o intuito de demonstrar a eficiência e eficácia do uso de fontes renováveis de energia (DA SILVA *et al.*, 2019).

O Brasil tem um grande potencial em produção de biomassa de cana-de-açúcar, eucalipto e capim-elefante e é um dos países que possui maior capacidade de produção de energia renovável do mundo; possui algumas vantagens em relação a outros em termos de produção de energia agrícola (BORGES *et al.*, 2016).

A reutilização de energia da biomassa residual de vegetais pode ser uma das maneiras de reduzir a pressão sobre os recursos naturais diretamente explorados, uma vez que são renováveis (SILVA; CARNEIRO; LOPES, 2017).

O objetivo deste trabalho é demonstrar a capacidade de geração de energia elétrica através da biomassa de resíduos de cana-de-açúcar, considerando sua produção anual no país.

2 Desenvolvimento

Com o intuito de revelar o potencial de energia dos resíduos da cana-de-açúcar para transformação em outras formas de energia, esse trabalho utilizou dados oficiais de institutos governamentais e entidades de classe, além de análise bibliográfica qualitativa de trabalhos científicos, publicados em revistas de grande impacto educacional, e dissertações e teses de

instituições de ensino regulamentados pelo Ministério da Educação do Brasil. Foi constituído um dossiê a fim de responder a questão-problema de maneira científica.

3 Resultados e discussão

O agronegócio é um dos setores econômicos mais importantes para a maioria dos países; é responsável por impulsionar outros segmentos econômicos, ou seja, atua direta e indiretamente no principal indicador de crescimento de uma nação: o Produto Interno Bruto (PIB) (LÓPEZ, 2018). Os primeiros relatos de plantio da cana-de-açúcar no Brasil datam de 1501 a 1600; assumiu grande importância no agronegócio pois, segundo Bezerra Junior *et al.* (2018), a abundância dessa cultura deve-se principalmente ao ambiente com temperatura adequada, grande insolação e pluviosidade.

O setor sucroalcooleiro no Brasil apresenta um papel de destaque no agronegócio; a cana-de-açúcar ocupa grande espaço na economia mundial, em cuja produção o Brasil é líder, pois foi responsável por produzir cerca de 37,87 milhões de toneladas na safra de 2017/2018. Também é o segundo maior produtor de etanol, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, cuja produção é oriunda do milho. Para a safra de 2019/2020, o Brasil apresentou uma produção total de 27,76 bilhões de litros (CONAB, 2019).

O sistema de produção de energia elétrica é um grande sistema hidro-termo-eólico, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários (LIRA, 2018). A geração de eletricidade pode ocorrer de várias maneiras, determinadas por diversos fatores, como disponibilidade, custo, demanda, legislação e interferência governamental, necessidade, entre outros.

Segundo dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esse tipo de geração ainda representa 60,7% da capacidade instalada no Brasil (ANEEL, 2018).

No entanto, sabe-se que a energia hidrelétrica tem um custo muito alto de implantação, causa impactos significativos nos parceiros ambientais e, geralmente, está longe dos consumidores. Com isso, a cogeração surge como uma alternativa para garantir economia de energia e competitividade para as empresas (PILON *et al.*, 2012).

Atualmente, o Brasil considera a cana como uma grande alternativa para o setor de biocombustíveis, devido a seu potencial na produção de etanol e subprodutos, os quais, segundo Caneppele *et al.* (2020), são utilizados no ciclo de produção de álcool, tendo a queima do bagaço como fonte de renda secundária, ou mesmo até primária com a distribuição de energia tanto para

a própria indústria e seu excedente para as redes de energias locais, tornando assim as usinas de álcool autossuficientes e o uso do vinhoto como fertilizante.

Além da produção das *commodities*, as usinas procuram trabalhar com maior eficiência na origem da produção de energia elétrica, pois além do aumento nos custos e nos investimentos, o mercado mundial foca no meio ambiente e as usinas têm grande participação no segmento de sustentabilidade (CONAB, 2019). A área de plantio de cana dentro do Brasil está se tornando cada vez maior, devido ao aumento da demanda por combustível.

Até a década passada, as colheitas eram operacionalizadas com queima dos canaviais alguns dias antes da colheita, para facilitar a colheita manual; com o decorrer dos anos passou-se a usar máquinas agrícolas, por seus diversos benefícios, como a presença de cobertura morta no solo, que dificulta o surgimento de plantas invasoras (JUNQUEIRA; MORABITO, 2018).

Segundo Rodrigues *et al.* (2009), essa cobertura, após a sua colocação, dificulta a germinação das ervas daninhas, que possuem baixa reserva nutricional nas sementes, o que reduz a possibilidade de atravessar esta cobertura e ter acesso à luz, para realizar a fotossíntese. Para Bezerra, Siebert e Silva (2019), alguns centímetros de palhada já são suficientes para inibir a germinação de algumas plantas invasoras. Rodrigues *et al.* (2009), estudando o efeito da palhada de cana-de-açúcar sobre o controle das plantas daninhas, constatou eficiência de 90% com o uso de cobertura morta sobre o solo; sua eficiência é comparável aos herbicidas recomendados e utilizados no combate a plantas indesejáveis.

Furtado, Scandiffio e Cortez (2011) publicaram dados comprovando a eficiência na transformação da cana-de-açúcar sem sujeira (palha limpa vinda do campo); a cada 1000 kg de palha, a indústria gera 135 kg de açúcar, com 34,5% de energia e, conseqüentemente, 376 kg de bagaço com 50% de umidade, que novamente vai gerar 34,8% de energia com 165 kg de palha.

Com a capacidade de geração de energia presente no setor sucroalcooleiro, é conveniente que as usinas vendam o excedente para as concessionárias, a fim de aumentar suas receitas e contribuir para a matriz energética por meio de energia limpa. Trombetta e Caixeta Filho (2017) explicaram, em um artigo, que nas últimas safras houve um aumento da mecanização da colheita da cana devido à proibição de queima das plantações no Brasil, principalmente na região Sul; a palha da cana-de-açúcar não era utilizada até então, sendo deixada em campo nas áreas.

Esses resíduos, como as palhas deixadas a campo e o bagaço, são utilizados nas caldeiras, para cogeração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira (GUIMARÃES,

2007). O uso dessa fonte de renda passa por uma queima e auxilia as unidades de produção, minimizando os custos e aumentando a sustentabilidade do setor (CONAB, 2019).

O relatório de 2016, da Empresa de Energia Elétrica (EPE, 2016) apresentou dados relativos à demanda de energia elétrica no Brasil para os próximos 15 anos; esta demanda poderá ser superior a 35%. Neste cenário, as usinas sucroalcooleiras observam uma grande oportunidade de produção de energia elétrica para suprir suas necessidades e para utilizá-la como nova fonte de renda; as usinas utilizam a biomassa da cana-de-açúcar para a produção de energia elétrica a partir de termoeletricas anexas às plantas de produção de açúcar e etanol.

Atualmente 50% da palha presente no campo é utilizada em modernas caldeiras e turbogeradores trabalhando a pressões de vapor acima de 65 bar; o setor tem capacidade para aumentar em 70% a exportação de eletricidade para a rede (ÚNICA, 2017). Esse aumento equivale a 7,87 GW de energia disponível, considerando a disponibilidade de energia do setor apresentada no Banco de Informações de Geração (BIG) (ANEEL, 2018).

Os processos de coleta da biomassa do campo a queima podem produzir benefícios e alguns problemas; por exemplo, ao se retirar uma massa considerável de cobertura do solo, pode se perder fertilidade e gerar redução nos micro-organismos, pois o solo fica mais exposto aos raios solares. Entretanto, os benefícios da utilização e retirada da biomassa do campo são bem maiores.

Para que a palha possa ser queimada na planta, ao lado do bagaço, e transformada em energia, ainda é necessário que esta, antes, passe por processos bioquímicos. Todo esse processo deve ser realizado no momento ideal de umidade, a fim de otimizar a logística de transporte e queima do material.

Em termos gerais, segundo Souza (2012), o uso de palha em escala industrial depende de fatores como a tecnologia utilizada para a conversão de energia, viabilidade técnica na coleta e no processamento, e principalmente a disponibilidade econômica, ou seja, em todos os custos e investimentos feitos para a transformação desses resíduos em receita.

Assim, embora a biomassa represente apenas 8,7% da energia total instalada nacional, seu uso é altamente valorizado por ser uma energia limpa e muito abundante no Brasil, principalmente no setor sucroalcooleiro, que possui capacidade instalada correspondente a 77,4% da biomassa energia (ANEEL, 2018).

Devido à baixa eficiência encontrada nas máquinas atuais para a conversão de energia térmica em energia elétrica, as empresas que geram energia própria escolhem a cogeração que, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é definida como um “processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou

parcialmente em energia elétrica a partir da energia química fornecida por uma fonte primária” (ANEEL, 2020, n. p.), ou seja, como o uso de calor é muito comum nos processos de produção em geral, esse calor gerado nas caldeiras não é todo utilizado na formação de vapor para acionar turbinas de geradores, mas também para aquecimento de materiais.

Em termos de utilização de energia, em número, as usinas termelétricas convencionais têm eficiência térmica variando de 30 a 40%, ou seja, apenas parte da energia do combustível é transformada em eletricidade. Na cogeração, as perdas de energia na forma de calor, que ocorrem na condensação ou exaustão, são reduzidas devido ao seu uso máximo nos diversos processos de aquecimento da indústria, fazendo com que essa instalação possa ter até 85% eficiência térmica (CORRÊA NETO; TOLMASQUIM, 2001).

Além de permitir um melhor uso da energia do combustível, a cogeração reduz as emissões gasosas e, conseqüentemente, o impacto ambiental. Apesar das vantagens econômicas e ecológicas, também existem alguns pontos negativos na cogeração, como a grande dificuldade no transporte, a longas distâncias, do gás liberado e da água — liberada em altas temperaturas —, de modo que seu uso só é possível se o local de uso estiver próximo da fonte. Dessa forma, a geração de eletricidade geralmente tem prioridade sobre a geração de calor, e a instalação desse sistema leva em consideração as questões econômicas inerentes ao processo (SOUZA, 2012).

Na década de 2000, o governo federal desenvolveu diversos modelos de “produtores de energia”, como por exemplo uma usina de açúcar e álcool que pode vender o excesso de energia elétrica produzida em seus sistemas de cogeração, por meio de leilões de energia promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (LORENZI, 2018).

O Sindicato da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA) relata que há 378 usinas sucroalcooleiras em produção nos estados brasileiros e que utilizam o bagaço e a palha como fonte de energia para o seu próprio consumo de energia, mas apenas 166 vendem o excedente para o Sistema Interligado Nacional. Outro aspecto é que apenas 15% do potencial de biomassa é usado para produzir eletricidade no país (UNICA, 2019)

Considerando o valor energético do bagaço gerado pela produção de cana-de-açúcar, conforme descrito por Furtado, Scandiffio e Cortez (2011), é possível que o potencial anual de produção de energia elétrica desse resíduo atinja 121,56 TWh (Terawatt-hora (TWh) equivale a 10^{12} Wh ou $3,6 \times 10^{15}$ joules).

Para a palha de cana, este trabalho apresenta duas situações, a primeira utilizando o valor proposto por Lemos (2018), que sugere que as plantas típicas do setor geram uma média de 0,8 MWh (Megawatt-hora (MWh) equivale a 1.000.000 Wh ou $3,6 \times 10^9$ joules) de energia por

tonelada de palha da operação de enfardamento. Isso permite dizer que o excesso de capacidade de produção de eletricidade em função da produção anual brasileira pode atingir 41,8 TWh, apenas com palha de cana-de-açúcar coletada no campo (50% do total). Uma segunda situação seria usar o valor energético sugerido por Furtado, Scandiffiob e Cortez (2011) (512 kcal kg⁻¹ para a palha enfardada), segundo o qual esse potencial anual seria de 31,1 TWh.

4 Considerações finais

O Brasil possui um alto poder de geração de energia através da biomassa residual dos processos produtivos que envolvem cana-de-açúcar. O aumento esperado na demanda de energia permite um aumento na demanda por biomassa, gerando uma oportunidade para o desenvolvimento e a pesquisa de novas formas de utilização desses resíduos.

Nesta mudança de cenário, espera-se também que toda a indústria sucroalcooleira se beneficie de seus resíduos através do uso dessa energia, bem como da venda de seu excedente. Com o apelo ecológico que as fontes renováveis oferecem, espera-se que o mercado como um todo seja favorável para esse tipo de energia em um futuro próximo, e que valores excedentes de vendas sejam praticáveis para as usinas de açúcar.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Matriz da Energia Elétrica**. Brasília - DF: ANEEL, 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 18 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Programa de Eficiência Energética**. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acesso em: 06 dez. 2021.

AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, P. L.; DARIVA, T.; PIGNATARO L. H. B. Manejo da palha de cana: efeito na produção de caules industrializáveis e outras características agrônômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, p. 281-286, 1993.

BALASTREIRE, L. A. Gerenciamento de operações agrícolas. *In*: BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1987. cap. II, p. 30-61

BENTSEN, N. S.; NILSSON, D.; LARSEN, S. Agricultural residues for energy - A case study on the influence of resource availability, economy and policy on the use of straw for energy in Denmark and Sweden. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 108, p. 278-288, 2018.

BEZERRA JUNIOR, F. de A.; FREIRE, J. L. de O.; ARRUDA, J. A. de; AZEVEDO, T. A. O. de; DANTAS, L. A. Avaliação fenoproductiva e teores clorofilianos de rabanete sob

fertilização com urina de vaca e cobertura morta. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 42, p. 31-40, 2018.

BEZERRA, M. V.; SIEBERT, V. T. R.; SILVA, A. V. M. Avaliação da utilização da cobertura morta na produtividade de rabanete. *In*: FECITEC – FEIRA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 9., 2019, Palotina-PR. **Anais** [...]. Palotina: Universidade Federal do Paraná, 2019. v. 3, p. 66.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C.T.; TORRES, E. A. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **Rede – Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 23-26, 2016.

CANEPELLE, F. L.; GODINHO, E. Z.; GASPAROTTO, H. V.; DALTIM, R. S.; ZUIN, L. F. S. Cogeração de energia em usina sucroalcooleiras almejando sustentabilidade. **Expressa Extensão**, Pelotas – RS, v. 25, p. 45 - 59, 2020. DOI: <https://DOI.ORG/10.15210/EE.V25I3.18256>.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A.; BEAUCLAIR, E. G. F.; GAVA, G. J. C. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, Caracas, v. 32, n. 12, p. 834-840, 2007.

CHAVANNE, X.; FRANGI, J. P. Comparison of the energy efficiency to produce agroethanol between various industries and processes: Synthesis. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 2737-2754, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**, v. 6 - Safra 2019/20 - n. 2 - Segundo levantamento/agosto 2019. de novembro de 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/index.php/component/k2/item/download/17026_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424. Acesso em: 19 nov. 2019.

CORRÊA NETO, V.; TOLMASQUIM, M. T. Avaliação econômica da cogeração em ciclo combinado com gaseificação de biomassa e gás natural no setor sucroalcooleiro. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá-MG, v. 8, n. 2, p. 1-13, 2001.

DA SILVA, D. B. T. V.; NASCIMENTO, J. J. DA S.; DE ALMEIDA, A. B. L.; DE OLIVEIRA NETO, J. N.; ROLIM, F. D.; DA SILVA, M. J. V.; DE OLIVEIRA, A. N. Avaliação termodinâmica na cogeração de energia nas indústrias sucroalcooleiras. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, PB, v. 13, n. 03, p. 01-06, abr./jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.18378/rbga.v13i3.6767>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. 289 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 20 nov. 2019.

FIGUEIRA, S. F.; BORGES, A. C. G.; SANTOS, D. F. L. Análise comparativa da evolução dos índices de concentração da demanda por combustíveis automotivos no Brasil no período de 2000 até 2011. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 59-72, 2013.

FREY, E. E.; SIEBERT FILHO, I. E.; NEISS, T. C.; CANEPPELE, G. A. M.; GODINHO, E. Z.; VALÉRIO, F. A. Processo alelopático no controle da cultura do trigo. *In: FECCITEC – FEIRA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA*, 9., 2019, Palotina-PR. **Anais [...]**. Palotina: Universidade Federal do Paraná, 2019. v. 3, p. 96.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIOB, M. I. G.; CORTEZ, L. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 156-166, 2011.

GALBIATI, J. K.; GALLO, C. A.; LAVANHOLI, M. das G. D. P. Produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, n. 1, p. 127-138, 2010.

GODINHO, E. Z.; PERIN, A. A.; BAUMGARTNER, T. R. da S.; HASAN, S. D. M. Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino oxidativo sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiaçú. **Journal Bioenergy Food Science**, Macapá, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.

GOMES, A. R. de A.; CORREIA, T. P. da S.; KATO, L. H.; EIRAS, D. de L.; SILVA, P. R. A. Avaliação do desempenho operacional e econômico de enfardadoras de palhico da cana-de-açúcar utilizando diferentes volumes de aleiramento. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 32, n. 4, p. 334-341, out./dez. 2017.

GUIMARÃES, O. Eletricidade vegetal. **O Sulco**, Horizontina, v. 112, n. 27, p. 6-9, 2007.

JUNQUEIRA, R. de Á. R.; MORABITO, R. Programação e sequenciamento das frentes de colheita de cana-de-açúcar: modelo e métodos de solução para problemas de grande porte. **Gestão e Produção**, São Carlos–SP, n. 25, v. 1, p. 132-147, 2017.

KHATIWADA, D.; SEABRA, J.; SILVEIRA, S; WALTER, A. Power generation from sugarcane biomass - a complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil. **Energy**, Elsevier, v. 28, p. 241-254, 2012.

LEMOS, P. H. **Análise de decisão multicritério para avaliação de alternativas de recolhimento de palhico de cana-de-açúcar para a cogeração de energia**. 2018. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba, 2018.

LIRA, P. T. M. **Comparação entre enumeração de estados e simulação Monte Carlo não-sequencial na avaliação da confiabilidade probabilística de sistemas de potência**. 2018. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

LÓPEZ, T. V. Progresión del agronegocio, biodiesel y despojo em el Gran Chaco. **Revista del Cisen Tramas/Maepova**, Salta – Argentina, v. 6, n. 2, p. 151-171, 2018.

LORENZI, B. R. **Etanol de segunda geração no Brasil: política e translações**. 2018. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências Políticas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. **Bioresource Technology**, [s. l.], n. 83, v. 1, p. 47-54, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Secretaria de Política Agrícola. Departamento de Café, Cana-de-Açúcar e Agroenergia. **Produção Brasileira de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol**. 2020. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/001PRODUOBRASILEIRADECANADEACARACAREETANOL_27012020.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

NOVO, A. A.; DAHER, R.; COSTA, E.; GRAVINA, G. DE A.; OGLIARI, J. Situação energética no estado do Rio de Janeiro e o capim-elefante como fonte renovável. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes-RJ, v. 18, n. 3, p.107-121, 30 dez. 2016.

PILON, A.; LUZ, G.; DIAS, L. P.; MADEIRA, T. M. M.; RAMPINELLI, W.; TASSI, R.; CITTADIN, T. A. Sistema de cogeração de energia. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE, 1., 2012, Criciúma-SC. **Anais [...]**. Criciúma: IF-SC, 2012.

PINTO, M. F. **Análise de patentes de sistemas de colheita de cana-de-açúcar**. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

REDÍGOLO, S. C. R. **Recuperação de palha de cana para produção de eletricidade e etanol celulósico**. 2014. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual, Paulista, Ilha Solteira, 2014.

RODRIGUES, M. Â.; CABANAS, J.; PAVÃO, J. L. F.; AGUIAR, C.; ARROBAS, M. Grau de cobertura do solo e dinâmica da vegetação em olivais de sequeiro com a introdução de herbicidas. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 2, p. 30-42, 2009.

SANTOS, F. A.; DE QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SILVA, J. W. F.; CARNEIRO, R. A. F.; LOPES, J. M. Agricultural residual biomass for the production of briquettes in the microregion of Dourados-MS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 624-646, 2017.

SOUZA, R. T. G. **Análise da viabilidade técnico-econômica do uso do palhicho para fins de cogeração de energia, pela rota de colheita integral**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2012.

TROMBETA, N. de C.; CAIXETA FILHO, J. V. Potencial e disponibilidade de biomassa de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil: indicadores agroindustriais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba - SP, n. 55, v. 03, p. 479-496, 2017.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR -UNICA. **A bioeletricidade da cana**. Disponível em: <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/07/UNICA-Bioeletricidade-julho2019-1.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, n. 5, p. 109-134, dez. 1999.

VASQUES, A.; FERRARI, L.; FERREIRA, S.; CANEPPELE, G. A. M.; GODINHO, E. Z.; VALÉRIO, F. A. Uso de cobertura do solo na produção do trigo. *In*: FECITEC – FEIRA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 9., 2019, Palotina-PR. **Anais [...]**. Palotina: Universidade Federal do Paraná, 2019. n. 3, p. 109.

WOOD, A. W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 69-85, 1991.

ZILIO, L. B.; LIMA, R. A. de S. Atratividade de canaviais paulistas sob a ótica da Teoria das Opções Reais. **RESR**, Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 377-394, jul./set. 2015.