

## Bioeletricidade sucroenergética: potencialidade para geração no Estado da Paraíba

### *Bioelectricity from sugar-cane: Paraíba's capacity for its generation*

Josicleide de Amorim Pereira Moreira<sup>1</sup>, Raimundo Aprígio de Menezes Júnior<sup>2</sup>, Eduardo Rodrigues Viana de Lima<sup>3</sup>, Bruno Cesar Bezerra Nóbrega de Souza<sup>4</sup>

**RESUMO:** O estudo teve como objetivo mensurar a potencialidade para geração de bioeletricidade sucroenergética no Estado da Paraíba. Trata-se de uma pesquisa aplicada, exploratória, com abordagem quantitativa. Elegeu-se para monitorar a área de estudo a plataforma *on-line* *Google Earth Engine*, sendo o acompanhamento do ciclo da cana feito com base em imagens do sensor MODIS. Empregou-se o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) para identificar e espacializar a cultura de cana-de-açúcar na área estudada. Os resultados da pesquisa apontam que considerando a produção de cana-de-açúcar para a safra 2018/19 da Paraíba, a qual correspondeu a 5.597.209 toneladas e empregando-se caldeira de 100 bar/540 °C, associada com grelha rotativa, sem ciclo regenerativo, seria possível gerar uma quantidade de bioeletricidade de 542,92 GWh. Contudo, quando se emprega a mesma tecnologia adicionando-se o ciclo regenerativo, a produção aumentaria para 576,51 GWh. Adotando-se a caldeira de 100 bar/540 °C, com leito fluidizado e sem ciclo regenerativo, a produção de bioeletricidade seria de 604,49 GWh. Por outro lado, com a mesma tecnologia, somando-se o ciclo regenerativo, a produção chegaria a 660,47 GWh. É bom salientar que os resultados obtidos correspondem a estimativas, tendo em vista as variações resultantes de outros fatores.

**Palavras-chave:** Cana-de-açúcar; Energia renovável; Geração de energia; Tecnologia limpa.

**ABSTRACT:** Current exploratory and quantitative study assesses the potentiality for the generation of bioelectricity from sugarcane in the state of Paraíba, Brazil. Online Google Earth Engine platform was used to monitor the area under analysis. Sugarcane cycle was followed by MODIS sensor images, whilst Improved Vegetation Index (IVI) identified and spatialized sugarcane crop in the region. Results showed that the production of sugarcane in Paraíba for the 2018/19 harvest, corresponded to 5,597,209 tons, and using a boiler of 100 bar/540°C plus rotating grid, without a regenerative cycle, it would be possible to generate a total of 542.92 GWh in bioelectricity. However, when the same technology is used with regenerative cycle, production increases to 576.51 GWh. Bioelectricity production will amount to 604.49 GWh by a boiler of 100 bar/540°C with fluidized bed and no regenerative cycle. Further, using the same technology and the addition of the regenerative cycle, the production would reach 660.47 GWh. Results are estimates due to variations from other factors.

**Keywords:** Clean technology. Power generation. Renewable energy. Sugarcane.

---

**Autor correspondente:**

Josicleide de A. P. Moreira - [josicleideamorim@gmail.com](mailto:josicleideamorim@gmail.com)

Recebido em: 22/10/2019

Aceito em: 25/03/2020

---

## INTRODUÇÃO

O uso de energias renováveis para a diversificação da matriz elétrica é pauta de discussão na agenda mundial do setor elétrico, tendo uma proporção maior quando elas são associadas às questões do desenvolvimento sustentável.

A matriz de produção de energia elétrica brasileira abrange as fontes hidráulica, nuclear, gás natural, petróleo e derivados, carvão e derivados, solar, eólica e biomassas (EPE, 2019).

As biomassas são provenientes de casca de arroz, restos de madeira, capim-elefante, dos resíduos agrícolas e industriais da cana-de-açúcar (bagaço, palha e ponteiros), entre outros, os quais geram a bioeletricidade, considerada como energia limpa e renovável (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

Conforme informações gerenciais emitidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no Brasil, em 2018, as fontes renováveis correspondiam a 84,1% da energia gerada no Sistema Interligado Nacional (SIN), tendo

---

<sup>1</sup> Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Docente da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Santana do Ipanema (AL), Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa (PB), Brasil.

<sup>3</sup> Pós-Doutorado pela Universidad de Sevilla. Doutor em Geografia. Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa (PB), Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Físico do Departamento de Física da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa (PB), Brasil.

como principal fonte a hidráulica, com a participação de 74,2%, seguida das fontes eólica/fotovoltaica que representaram 8,3%, além daquelas produzidas pelas biomassas, que corresponderam a 1,6%. Por outro lado, as fontes não renováveis corresponderam a 15,9% do total produzido, com maiores representações em gás natural (7,7%), nuclear (2,8%) e carvão (2,3%) (ANEEL, 2019a).

Os dados evidenciam que a matriz elétrica brasileira é, em sua maior parte, renovável, com maior participação das usinas hidrelétricas. Em função disso, vários esforços têm sido envidados no sentido de diversificar e ampliar a produção de energia proveniente das demais fontes, de modo a garantir segurança ao SIN, visto que a fonte hidráulica sofre influência da sazonalidade hídrica. Além disso, o Brasil assumiu na Conferência do Clima, em 2015, o compromisso de reduzir 43% da emissão de gases de efeito estufa (GEE), devendo estimular a produção de energia por meio de tecnologias limpas e processos ambientalmente adequados.

De acordo com o Boletim Mensal de Energia, mês referência dezembro/2018, incluindo-se a geração para o autoconsumo, tem-se que a biomassa gerou 52,5 mil GWh, representando 8,3% da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte, ficando atrás apenas da hidroelétrica (67%) e do gás natural (8,5%) (BRASIL, 2019a).

Com efeito, o setor sucroenergético tem desempenhado papel importante na geração de energia, detendo 11.410 MW, ultrapassando a capacidade instalada na Usina Hidrelétrica Belo Monte (11.233 MW), com participação representativa de 7% da potência outorgada no Brasil (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

A tendência é que essa participação se amplie, tendo em vista as estimativas para o crescimento populacional e da economia brasileira, a diversificação da matriz de energia elétrica, a segurança do sistema e, acrescente-se a isso, por questões ambientais.

230

Apesar de o cenário ser promissor, muitas incertezas ainda existem, visto que o aproveitamento da biomassa nos canais corresponde a apenas 15% de seu potencial. Caso fosse completo, a bioeletricidade chegaria a um potencial técnico de 146 mil GWh, passando a atender mais de 30% do consumo de energia no SIN, com possibilidade de crescer mais de 50% até 2027 (UNICA, 2019).

Somam-se a isso as dificuldades enfrentadas pelo setor, seja por questões de ordem agrícola, cujos reflexos incidem na redução da produtividade, sendo provocada pela seca ou até mesmo pela idade do canal; seja por questões de ordem financeira, que alavancaram o endividamento das usinas em face de investimentos voltados à mecanização e ao parque industrial, resultando, inclusive, no fechamento de empresas canavieiras ou a entrada em processo de recuperação judicial; seja também por questões de ordem política no que tange à intervenção de preços praticados pelo governo federal, baixos incentivos, bem como pela política de exportação de etanol que ainda não atingiu o patamar desejado (BOLETIM CTBE, 2017; CONAB, 2017b; BARRUCHO, 2019).

Frente a isso, coloca-se a bioeletricidade sucroenergética como uma das possíveis soluções para os problemas enfrentados pelo setor, uma vez que para além das questões econômicas, já que a energia gerada pode ser utilizada para o autoconsumo da usina e venda de excedente para as concessionárias, incidirá, ainda, em questões ambientais, por mitigar as externalidades quanto à emissão de gases de efeito estufa e de resíduos, representando, também, segurança para o Sistema Interligado Nacional.

Dado o exposto, tem-se que entender as razões que ainda entram a expansão da produção de bioeletricidade sucroenergética, sobretudo na Paraíba, torna-se essencial, uma vez que sua produção gera autossuficiência de energia elétrica, otimização dos processos produtivos, redução de custos de produção e a possibilidade da ampliação do mercado com a comercialização do excedente para a rede de distribuição, representando receita adicional com a venda de energia elétrica e evidenciando novas oportunidades de negócios para as usinas, justificando-se, portanto, a realização desta pesquisa.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é o de mensurar a potencialidade para a geração de bioeletricidade sucroenergética no Estado da Paraíba.

Para tanto, optou-se quanto ao método pela pesquisa aplicada, exploratória e com abordagem quantitativa. Foi utilizada a plataforma de monitoramento *on-line Google Earth Engine* para a seleção de uma área produtora de cana-de-açúcar, que serviu de base para o acompanhamento do ciclo da cana, sendo o mesmo realizado por meio de imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Adicionalmente, adotou-se o *Enhanced Vegetation Index (EVI)*, de modo a confirmar o período de início e término da safra analisada. Por fim, procedeu-se a mensuração da potencialidade de geração de bioeletricidade pelo setor sucroenergético paraibano, tendo por base os cenários propostos por Perdoná (2015), que compreendem caldeiras de 100 bar/540 °C, grelhas rotativas, leito fluidizado, com ou sem ciclo regenerativo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO BRASILEIRO

A produção brasileira de cana-de-açúcar concentra-se nas regiões Norte-Nordeste e Centro-Sul. Essa última é considerada a maior produtora do país e sua safra compreende o período de abril a novembro, enquanto que a da região Norte-Nordeste ocorre de setembro a março (NOVACANA, 2019).

Na condição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o país produziu para a safra 2018/19; o correspondente a 620,44 milhões de toneladas de cana, com área colhida de 8,59 milhões de hectares, com produtividade média de 72.231 kg/ha. A produção de açúcar atingiu 29,04 milhões de toneladas, tendo sido exportados, principalmente, para Argélia, Bangladesh, Índia, Arábia Saudita e Nigéria, o equivalente a 19,91 milhões de toneladas, com redução de 28,43% ante ao período anterior, conforme o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Tal decréscimo se deu em função do recorde histórico de produção na safra 2017/18, que contribuiu para aumentar os estoques e a oferta no mercado internacional, bem como a ampliação da demanda do etanol hidratado no mercado interno, ocasionando; a ampliação da produção do biocombustível (CONAB, 2019).

Atualmente, do total de cana-de-açúcar produzido nacionalmente, 52% têm destinação para a produção de etanol, na proporção de 40% para o anidro e 60% para o hidratado (DEPEC, 2019a).

Na safra 2018/19, o país produziu o equivalente a 33,14 bilhões de litros de etanol, sendo 9,56 bilhões de litros do anidro e 23,58 bilhões de litros do hidratado, resultando no incremento de 21,7% em comparação com o período anterior, tendo sido motivado pela queda dos preços do açúcar no mercado internacional e ambiente mais propício para o etanol no mercado interno. Destaca-se que do total de etanol anidro produzido no país, 93% são comercializados internamente e 7% são exportados, com principais destinatários: Estados Unidos, Coreia do Sul, Japão, Holanda e Colômbia (CONAB, 2019; DEPEC, 2019b).

Entre as regiões produtoras de cana-de-açúcar no território brasileiro, tem-se que o Nordeste produziu 44,4 milhões de toneladas de cana, ocupando a terceira classificação no *ranking* desta produção na safra de 2018/19, perdendo para o Sudeste (400,3 milhões de toneladas) e o Centro-Oeste (136,9 milhões de toneladas) (CONAB, 2019).

O Nordeste também foi o terceiro maior produtor de açúcar e de etanol no período 2018/19, tendo produzido 2.383.454 toneladas de açúcar e 1.766.792 m<sup>3</sup> de etanol (BRASIL, 2019b).

A Paraíba está entre os principais Estados produtores do setor sucroenergético do Nordeste, ficando atrás apenas de Alagoas e Pernambuco. A Tabela 1 apresenta o desempenho das usinas canavieiras paraibanas para a safra de 2018/19.

**Tabela 1.** Área, produtos, sistema de colheita e industrialização da cana-de-açúcar na safra 2018/19 - Paraíba

Área / Produtos / Sistema de Colheita	Unidade	Brasil
Área colhida	Milhões de hectares	122,1
Produção	Milhões de toneladas de cana	5.597.209
Produtividade média	Kg por tonelada de cana	45.771
Açúcar	Mil toneladas	117.538
Etanol Anidro	m <sup>3</sup>	152.662
Etanol Hidratado	m <sup>3</sup>	229.908
Manual	Percentual da produção	75
Mecanizado	Percentual da produção	25
Colhedora	Quantidade	18

Fonte: CONAB, 2019; Brasil, 2019.

Do total de cana-de-açúcar produzida na safra 2018/19, 15,8% foram destinados à fabricação de açúcar e 84,2% para a produção de etanol. Tal performance garantiu ao Estado a terceira posição no *ranking* de produção de etanol do Nordeste, depois de Alagoas (500.684 m<sup>3</sup>) e Pernambuco (431.961 m<sup>3</sup>) (CONAB, 2019; BRASIL, 2019a).

Dados recentes apontam que a Paraíba adotou a colheita manual em 75,3% e a mecanizada em 24,7% da produção de cana-de-açúcar para a safra de 2018/19 (CONAB, 2019).

Destaca-se que o sistema de colheita a ser adotado, necessariamente, deve ser acompanhado de estudos de viabilidade, uma vez que tal deliberação envolve todo o processo produtivo da usina, já que o setor, além de produzir o açúcar, o etanol e outros subprodutos, também tem investido na cogeração de energia elétrica, a qual com o uso de tecnologias mais avançadas tem aproveitado de forma mais eficiente o potencial da biomassa da cana-de-açúcar.

Ressalta-se que cada tonelada de cana prensada requer, em média, cerca de 12 kWh de energia elétrica, os quais podem ser gerados por meio dos resíduos da cana e com custos de geração competitivos com os do sistema convencional de suprimento, possibilitando o autoconsumo em termos de suprimento energético, por meio da cogeração (CCEE, 2019a).

Com efeito, o uso de tecnologias tem sido adotado intensivamente pelo setor sucroenergético, sendo que a bioeletricidade proveniente da queima da biomassa da cana-de-açúcar, em centrais termelétricas, consiste no que há de mais moderno no complexo agroindustrial canavieiro (IBGE, 2017). Sua utilização tem garantido a autossuficiência das usinas, bem como a adição de receita oriunda da venda do excedente de energia elétrica gerada pelo setor.

Para tanto, faz-se necessário todo aporte tecnológico para a cogeração, a qual está vinculada à produção de energia térmica resultante do vapor advindo da queima do bagaço, palha e ponteiros de cana-de-açúcar nas caldeiras. Tal energia converte-se em energia mecânica, cuja utilização serve para o funcionamento das moendas, extratores e turbogeradores, sendo a energia elétrica gerada por meio desses dois últimos equipamentos (UNICA, 2010).

Por essas vias, tem-se que uma central termelétrica a vapor que utiliza como fonte de energia os resíduos da cana-de-açúcar compõe-se de vários sistemas, dentre eles: geradores de vapor; turbinas de vapor, sendo essas dos tipos de contrapressão pura ou condensação com extração; redutor de velocidades; gerador; sistemas de refrigeração de mancais do turbogerador; subestação elevatória e o sistema de transmissão de energia; bem como um conjunto de sistemas periféricos como alimentação da caldeira, entre outros (MATEUS, 2010; SANTOS, 2012).

No Brasil, as plantas termelétricas das centrais variam muito em função das condições de pressão e temperatura, características construtivas e de funcionamento, especificidades dos produtos, modernidade dos equipamentos, entre outros fatores (SANTOS, 2012). Tais condições submetem as usinas canavieiras a variações de eficiência e capacidade de geração de energia, as quais podem ser otimizadas com a expansão e modernização do parque de geração por meio da adoção de equipamentos mais eficientes, ampliando-se com isso sua potencialidade.

As inovações tecnológicas têm garantido benefícios aos sistemas com aporte de motores elétricos em substituição às turbinas de vapor que acionam os equipamentos, além da permuta de caldeira de baixa pressão de vapor e temperatura (classe de pressão de até 22 bar e 300 °C) por caldeira de alto nível (classe de pressão de até 100 bar e

540 °C), aumentando dessa forma a energia térmica e permitindo o aumento de trabalho na turbina. A implantação de ciclo regenerativo garante o reaquecimento da água que alimenta a caldeira, produzindo melhoria no rendimento termodinâmico do sistema. Já o leito fluidizado substitui a grelha rotativa por um leito de areia, que permite a queima total de combustível, resultando melhor desempenho de eficiência energética e estabilidade operacional. Tal modernização tem proporcionando capacidade para exportação de energia elétrica até 118 kWh por tonelada de cana, suscitando melhorias do potencial e consumo energético (PERDONÁ, 2015).

Com isso, a participação da bioeletricidade sucroenergética na matriz de energia elétrica do Brasil tem aumentado. Em termos de capacidade instalada, assinala-se que a bioeletricidade sucroenergética posiciona-se como a quarta fonte de geração de eletricidade mais importante da matriz nacional, ficando atrás das fontes hídrica, gás natural e eólica, tendo representação correspondente a 82% do total da bioeletricidade fornecida ao Sistema Interligado Nacional em 2018. Considerando a soma da produção destinada para a rede com a de autoconsumo, a bioeletricidade sucroenergética passa a representar a terceira fonte mais importante na Oferta Interna de Energia Elétrica (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

Destaca-se que do total de 559 usinas termelétricas de biomassa em operação com outorgas regularizadas no país, 404 delas são geradoras de bioeletricidade sucroenergética advinda do bagaço de cana-de-açúcar, com potência instalada em kW correspondente a 11.264.992, representando 76,8% da geração integral das demais biomassas (ANEEL, 2019a).

Além disso, em 2018, a bioeletricidade ofertada para a rede pelo setor sucroenergético foi de 21,5 mil GWh, o suficiente para o abastecimento de 11,4 milhões de residências durante o ano; para a conservação de 15% da energia total armazenada nos reservatórios das hidrelétricas do submercado SE/CO; e para evitar a emissão de 6,4 milhões de tCO<sub>2</sub> (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

Por tudo isso, grandes investimentos têm sido feitos no setor sucroenergético, objetivando maior produtividade e viabilidade econômica e financeira por meio da comercialização do excedente da bioeletricidade produzida nas usinas canavieiras para o setor elétrico brasileiro.

As usinas paraibanas têm se beneficiado da geração de energia elétrica advinda do bagaço da cana-de-açúcar para a sua autossuficiência, e muito embora tenham a possibilidade de exportar o excedente para a rede de distribuição, percebe-se que os investimentos ainda são tímidos frente ao retorno em relação à receita adicional resultante da venda da energia.

Em conformidade com o Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019b), a Paraíba possui trinta e seis empreendimentos em operação, gerando 889.356,80 kW de potência. O setor sucroenergético paraibano abrange cinco usinas termelétricas em operação, sendo que duas delas são de Autoprodução de Energia (APE) e outras três de Produção Independente de Energia (PIE), as quais juntas totalizam potência outorgada correspondente a 98.100 kW.

A cogeração de energia elétrica nas usinas e destilarias paraibanas tem potencial de crescimento. Vislumbram-se, para tanto, investimentos na aquisição ou modernização de equipamentos com tecnologias mais eficientes, de modo a possibilitar a comercialização da bioeletricidade excedente no mercado de energia, o qual por sua vez é dotado de regulação própria.

## 2.2 AMBIENTE REGULATÓRIO DE COMERCIALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O ambiente regulatório de comercialização do setor elétrico brasileiro é dotado de regras e mecanismos que visam promover as relações comerciais entre os segmentos de geração, distribuição, comercialização e consumo de energia elétrica. Para tanto, conta com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), cuja atuação consiste, entre outras, em ofertar o arcabouço que compreende os aspectos regulatórios, operacionais e tecnológicos; em promover os leilões de energia; em responsabilizar-se pela contabilização e liquidação financeira no mercado de curto prazo; e em viabilizar os procedimentos de compra e venda de energia na esfera do SIN, o qual é composto por

empresas responsáveis pela produção e transmissão de energia, aptas a negociar com qualquer outro agente membro do SIN (CCEE, 2019b).

As relações comerciais de energia elétrica se dão por meio de dois ambientes de celebração de contratos de compra e venda registrados na CCEE, sendo eles: 1. Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com a participação de agentes de geração e de distribuição de energia; 2. Ambiente de Contratação Livre (ACL), em que participam os agentes de geração, comercializadores, importadores e exportadores de energia, bem como os consumidores livres e especiais de energia elétrica (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

No ACR, as negociações são formalizadas por meio de Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado, firmados entre os agentes participantes dos leilões de compra e venda de energia, promovidos pelo CCEE sob a delegação da ANEEL. Tais contratos possuem regulação específica no que tange ao preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento. Já no ACL, apesar de os contratos firmados serem registrados na CCEE, os seus agentes podem negociar e estabelecer, livremente, em contratos bilaterais, os volumes e preços de compra e venda de energia (CCEE, 2019c).

No contexto da biomassa, a inserção da bioeletricidade sucroenergética no Sistema Interligado Nacional constitui um alinhamento às perspectivas nacionais em relação ao planejamento energético do país, e as negociações ocorrem por meio de leilões de Energia Existente e de Energia Nova (SANTOS, 2012).

Cumprir destacar que o Leilão de Energia Nova volta-se à contratação de energia de novos empreendimentos com previsão futura para o início de fornecimento. Desse modo, o leilão pode ser do tipo A-5 para as usinas que entram em operação comercial em até cinco anos, e A-3 em até três anos, seguindo a mesma ótica para os leilões A-4 (quatro anos) e A-6 (seis anos). Já no Leilão de Energia Existente contrata-se das usinas construídas e em operação, com investimentos amortizados e custo mais baixo (CCEE, 2019d).

Infere-se que a diferença entre o volume de energia contratado e o produzido ou consumido é liquidada pelo Preço de Liquidação de Diferenças (PLD). A liquidação é feita pela CCEE, mensalmente, no denominado Mercado de Curto Prazo (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2019), das usinas de biomassa de cana-de-açúcar em operação no ano de 2018, 200 delas comercializaram energia elétrica com contratos em torno de 1,5 GWmed. Entre as que exportam para o Sistema Interligado Nacional, tem-se que 60% atuam no ACL, 20% no ACR, e outras 20% nos dois ambientes de contratação, totalizando uma participação de 3,9% da energia exportada da cana-de-açúcar para a matriz elétrica brasileira. Os valores estipulados pela ANEEL para a PLD foram de R\$ 505,18/MWh para o limite superior e de R\$ 40,16/MWh para o limite inferior.

Torna-se evidente que o ambiente regulatório do setor elétrico brasileiro possibilita a atividade de compra e venda de energia, bem como o seu controle, de modo a atender o Plano Decenal de Expansão de Energia, o qual considera a biomassa da cana-de-açúcar um contributo importante para a matriz nacional.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta é uma pesquisa aplicada, visto que buscou produzir conhecimentos de aplicação prática (PRODANOV; FREITAS, 2013). Classifica-se como exploratória em virtude da escassez de estudos que abranjam a bioeletricidade sucroenergética paraibana. Quanto à abordagem, empregou-se a quantitativa, de modo a mensurar a potencialidade de geração de energia elétrica pelas usinas canavieiras da Paraíba.

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma com as etapas da pesquisa.



**Figura 1.** Fluxograma das etapas da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Assim, na primeira etapa da pesquisa, levantou-se os dados de produção do setor sucroenergético por meio de consultas aos *sites* do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

Na etapa seguinte, buscou-se confirmar os dados divulgados pelos órgãos oficiais acerca do período de início e término de safra, tendo sido utilizada, no primeiro momento, a plataforma de monitoramento *on-line Google Earth Engine*, que serviu para selecionar e delimitar uma área base, no município de Mamanguape, que faz parte dos principais polos de plantações de cana-de-açúcar da Paraíba. Concomitantemente, optou-se por utilizar a técnica de monitoramento por meio de sensoriamento remoto, já que essa permite o acompanhamento da safra, bem como da fase de crescimento da cultura (ARAÚJO; PIROLI; SILVA-FUZZO, 2017).

Assim, o acompanhamento do ciclo da cana foi feito com imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), desenvolvido pela *Goddard Space Flight Center*, que fica a bordo dos satélites TERRA e AQUA, os quais fazem parte do programa *Earth Observing System* (EOS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Os dados serviram para monitorar o período de safra de cana-de-açúcar na área de estudo desta pesquisa.

Adicionalmente, adotou-se o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), ou seja, o Índice de Vegetação Melhorado, o qual faz parte do produto MOD13Q1 do sensor MODIS. Considera-se que tal índice otimiza o sinal da vegetação, além de melhorar sua detecção em áreas de maior densidade de biomassa (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

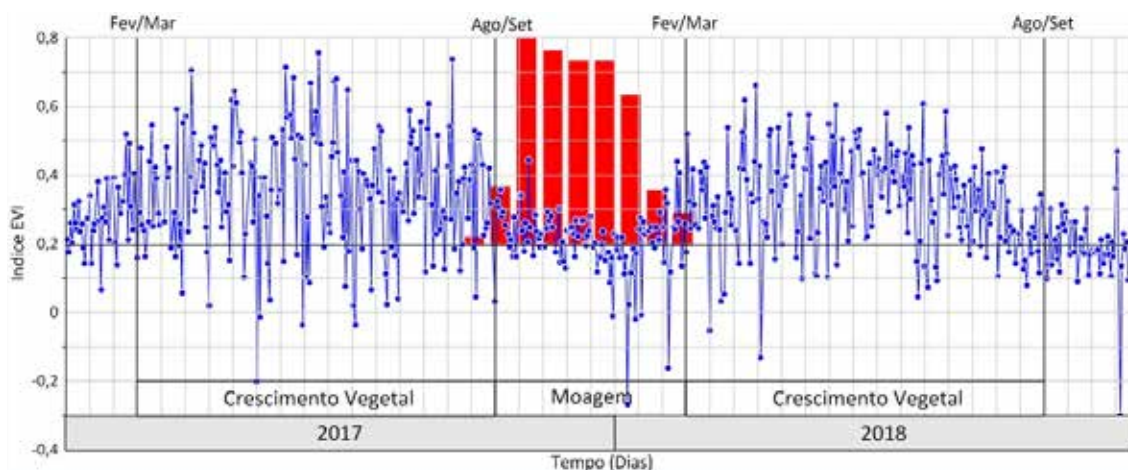
Nesse sentido, empregou-se o EVI para mapear a evolução da cultura de cana na área estudada, dentro de um calendário agrícola definido entre os meses de janeiro de 2017 e dezembro de 2018. Com isso, foi possível identificar os valores mínimos e máximos do EVI, que variam entre 0 e 1, evidenciando que os valores mais próximos de 1 indicam maior quantidade de biomassa, ou seja, de cobertura vegetal.

Na última etapa da pesquisa, realizou-se uma consulta à empresa “M Furco Engenharia”, buscando-se conhecer quais as tecnologias mais eficientes que têm sido adotadas pelo setor. Mediante a isso, procedeu-se a mensuração da potencialidade de geração de bioeletricidade pelo setor sucroenergético paraibano, tendo por base os cenários propostos por Perdoná (2015).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Convencionou-se que a safra da lavoura canavieira para as grandes regiões produtoras do país compreende os períodos de abril a novembro para a região Centro-Sul e de setembro a março para o Norte-Nordeste (NOVACANA, 2019a). Contudo, observa-se que o período de produção pode sofrer alterações tendo em vista vários fatores, a exemplo das condições climáticas, idade do canavial, entre outros.

Diante disso, buscou-se neste estudo identificar o período de início e término de safra, de modo a confirmar os dados oficiais do setor. Utilizou-se, então, o Índice de Vegetação Melhorado (EVI), obtido do produto MOD13Q1 do sensor MODIS. Além disso, selecionou-se o período de safra 2017/18 e delimitou-se uma área produtora de cana-de-açúcar localizada no município de Mamanguape, Paraíba, considerando que a mesma integra o grande polo produtor canavieiro do Estado. Os dados do EVI revelaram que houve perda de cobertura vegetal no mês de julho de 2017, ampliando-se entre setembro do mesmo ano até janeiro de 2018, demonstrando uma intensificação de colheita nesse período. Contudo, percebe-se diminuição de vegetação até meados de março de 2018, caracterizando uma safra de nove meses para o período em estudo, conforme Figura 2.

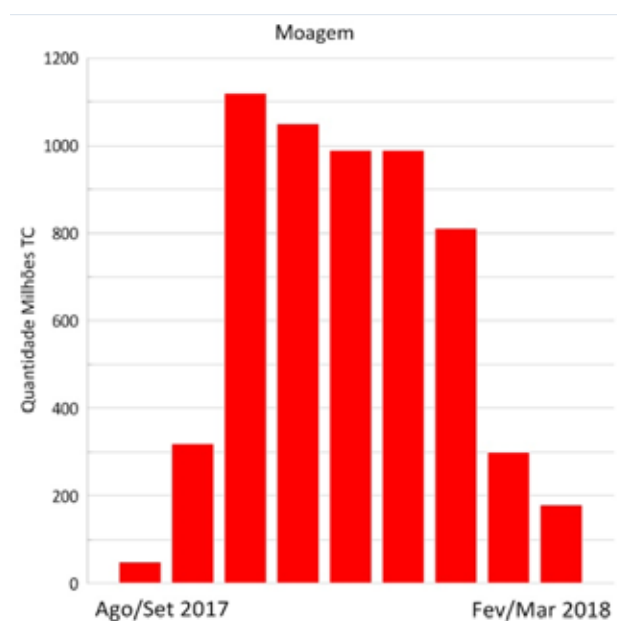


**Figura 2.** Período de crescimento vegetal e moagem para safra 2017/2018 - Mamanguape (PB).

Fonte: Elaborado pelos autores, mediante dados da pesquisa, 2019.

Legenda: As barras em vermelho correspondem ao período de colheita para safra 2017/2018 - PB.

Os resultados obtidos por meio do EVI confirmam os dados evidenciados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a safra 2017/18, mas não legitimam a convenção dada pelo setor, a qual considera o período de safra para a região Norte-Nordeste entre os meses de setembro e março, mostrando que o período de safra é relativo. Assim, o período de colheita na safra 2017/18, da Paraíba, pode ser visto na Figura 3.



**Figura 3.** Período de colheita para safra 2017/2018 - PB.

Fonte: Elaborado pelos autores, mediante dados secundários da pesquisa (BRASIL, 2018).

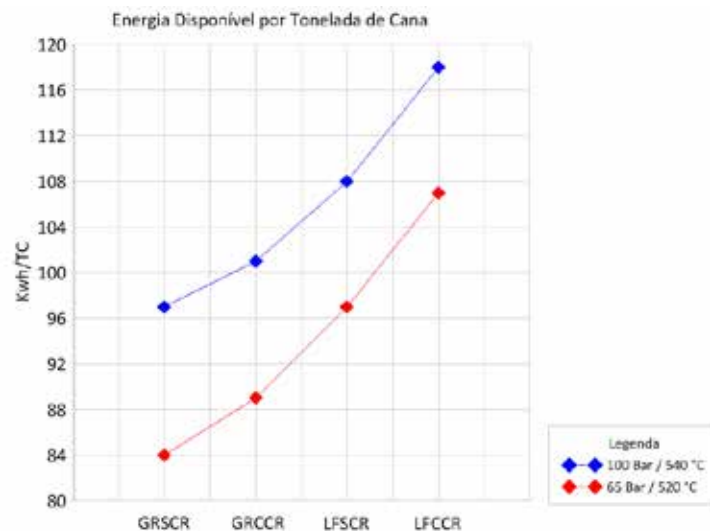


Para mensurar a potencialidade de bioeletricidade sucroenergética paraibana, *a priori* levantaram-se os dados divulgados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) acerca da produção canavieira relativa às safras de 2014/15 a 2018/19.

Dessa forma, constatou-se que na safra de 2014/15 a produção canavieira da Paraíba foi de 6.723.322 toneladas de cana, sofrendo uma retração na safra seguinte decorrente de condições climáticas desfavoráveis no período de desenvolvimento fenológico da cultura na safra de 2015/16, que correspondeu a 5.737.280 toneladas de cana (BRASIL, 2017a; 2017b; CONAB, 2017a; 2017b).

Na safra de 2016/17, o setor sofreu redução devido a um déficit hídrico, representado pela baixa pluviosidade e má distribuição das chuvas, prejudicando o desenvolvimento do plantio (BRASIL, 2017c; CONAB, 2017c), produzindo o equivalente a 5.053.312 toneladas de cana. Enquanto que as safras de 2017/18 e 2018/19 corresponderam a 5.954.176 e 5.597.209 toneladas, respectivamente, evidenciando melhora na produção devido às condições climáticas favoráveis, com precipitação considerada ideal para 2017/18, mas inferior ao estimado para a safra seguinte (BRASIL, 2018; 2019a; CONAB, 2018; 2019).

Com esses dados, mensurou-se a potencialidade da geração de bioeletricidade sucroenergética para o Estado da Paraíba, considerando-se tecnologias avançadas e de maior eficiência. Tomaram-se por base quatro cenários propostos por Perdoná (2015), conforme Figura 4.



**Legenda:** GRSCR - Grelha rotativa, sem ciclo regenerativo; GRCCR - Grelha rotativa, com ciclo regenerativo; LFSCR - Leito fluidizado, sem ciclo regenerativo; LFCCR - Leito fluidizado, com ciclo regenerativo.

**Figura 4.** Energia disponível por tonelada de cana processada.

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptada de Perdoná, 2015.

Na Figura 4 é possível observar a disponibilidade de energia por tonelada de cana processada e por tecnologia empregada, a qual poderá alcançar um desempenho de até 118 kWh/TC de energia disponível.

Com base nesses cenários, procedeu-se a mensuração da potencialidade de geração de bioeletricidade sucroenergética para o Estado da Paraíba, considerando a série temporal que compreendeu as safras de 2014/15, 2015/16, 2016/17, 2017/18 e 2018/19, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Potencialidade de geração de bioeletricidade sucroenergética relativa às safras 2014/15, 2015/16, 2016/17, 2017/18 e 2018/19 - Paraíba

SAFRA	PRODUÇÃO (t)	TECNOLOGIA EMPREGADA (Caldeira 100 Bar/540 °C)	kWh/TC	POTÊNCIA GWh
2014/2015	6.723.322	GRSCR	97,00	652,16
		GRCCR	103,00	692,50
		LFSCR	108,00	726,12
		LFCCR	118,00	793,35
2015/2016	5.737.280	GRSCR	97,00	556,52
		GRCCR	103,00	590,94
		LFSCR	108,00	619,63
		LFCCR	118,00	677,00
2016/2017	5.053.312	GRSCR	97,00	490,17
		GRCCR	103,00	520,49
		LFSCR	108,00	545,76
		LFCCR	118,00	596,29
2017/2018	5.954.176	GRSCR	97,00	577,56
		GRCCR	103,00	613,28
		LFSCR	108,00	643,05
		LFCCR	118,00	702,59
2018/2019	5.597.209	GRSCR	97,00	542,93
		GRCCR	103,00	576,51
		LFSCR	108,00	604,50
		LFCCR	118,00	660,47

**Legenda:** GRSCR - Grelha rotativa, sem ciclo regenerativo; GRCCR - Grelha rotativa, com ciclo regenerativo; LFSCR - Leito fluidizado, sem ciclo regenerativo; LFCCR - Leito fluidizado, com ciclo regenerativo.

Fonte: Elaborado pelos autores, mediante dados secundários da pesquisa, 2019.

Os resultados obtidos evidenciam que considerando a safra de 2018/19, adotando-se caldeira de 100 bar/540 °C, com grelha rotativa e sem ciclo regenerativo, o setor sucroenergético paraibano teria gerado uma quantidade equivalente a 542,92 GWh de bioeletricidade. Já para as mesmas condições de caldeira, com grelha rotativa e com ciclo regenerativo, a produção aumentaria para o equivalente a 576,51 GWh. Adotando-se a caldeira de 100 bar/540 °C, com leito fluidizado e sem ciclo regenerativo, o setor alcançaria a geração de bioeletricidade em 604,49 GWh, enquanto que para a mesma caldeira, com leito fluidizado e com ciclo regenerativo, chegaria à expressiva produção de 660,47 GWh.

A Paraíba gerou 250 GWh de bioeletricidade sucroenergética no ano de 2018. Essa geração corresponde a 10,71% do que foi produzido pelo Nordeste (2.334 GWh) e 0,71% em relação à produção do Brasil (35.435 GWh) para a mesma fonte de energia (BEN, 2019). Assim, adotando-se para a Paraíba o cenário tecnológico constituído por caldeira de 100 bar/540 °C, com leito fluidizado e com ciclo regenerativo, haveria uma produção de 660,47 GWh para o Estado. Por conseguinte, resultaria uma ampliação em termos de bioeletricidade sucroenergética no Nordeste (2.744,47 GWh) e no Brasil (35.845,47 GWh), ampliando-se, portanto, a participação paraibana dessa fonte de energia, em 24,06% e 1,84%, em relação ao Nordeste e ao Brasil, respectivamente.

Ademais, a produção de 660,47 GWh de bioeletricidade sucroenergética superaria o que foi gerado pela fonte eólica (569 GWh) e a solar (67 GWh), passando a ser a segunda fonte mais representativa na matriz elétrica da Paraíba, perdendo apenas para a fonte de óleo combustível (952 GWh), conforme Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018.

Inferre-se que as usinas que empregam os dois últimos cenários tecnológicos analisados, bem como uma operação adequada, utilizam para o seu autoconsumo em torno de 45/50 kWh/TC e podem exportar para o Sistema Interligado Nacional, em média, 97/105 kWh/TC. Os ganhos em termo de potencialidade são significativos. Além disso,

o baixo custo, a alta disponibilidade de bagaço e a não suscetibilidade à oscilação de preços, são fatores importantes na decisão quanto a fazer investimento em tecnologias de maior eficiência (PERDONÁ, 2015).

Destaca-se que outras variáveis devem ser levadas em consideração quanto à potencialidade de geração de bioeletricidade a partir da biomassa residual da cana-de-açúcar, uma vez que neste estudo considerou-se apenas o bagaço.

Assinala-se que existem variações quanto à potencialidade de geração de bioeletricidade, concorrendo para isso, entre outros fatores, a rota tecnológica empregada nos projetos de geração (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2010). Logo, para a mensuração da potencialidade de bioeletricidade sucroenergética, deve-se considerar, também, o tamanho da planta de cogeração das usinas, a geração de vapor produzido e o consumo de vapor no processo de produção de açúcar e etanol.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclusivamente, tem-se que dentre os quatro cenários analisados, os que apresentam maiores potencialidades para geração de bioeletricidade sucroenergética são os que empregam leito fluidizado, com ou sem ciclo regenerativo. Com base nisso, pode-se constatar que a adoção da rota tecnológica que compreende caldeira de 100 bar/540 °C, leito fluidizado e ciclo regenerativo, teria gerado para a Paraíba o equivalente a 660,47 GWh para a safra de 2018/19.

Essa potencialidade de geração de bioeletricidade supera a que foi gerada pelo setor sucroenergético paraibano na mesma safra, cuja produção de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar foi equivalente a 250 GWh de bioeletricidade, do total de 1.838 GWh gerado por todas as fontes de energia elétrica do Estado da Paraíba, conforme o Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018. Evidencia-se que o emprego de rota tecnológica de maior eficiência possibilitará ampliar a produção de bioeletricidade sucroenergética em cerca de 164% a mais em relação à atual potencialidade de geração pelas usinas canavieiras da Paraíba.

Essa potencialidade possibilita a redução dos custos de produção, tendo em vista o autoconsumo do setor, além de propiciar receita adicional para as usinas, sendo auferida por meio da venda do excedente de energia gerada para a rede de distribuição elétrica, por conseguinte, amplia-se para o Estado a arrecadação de impostos a serem convertidos em serviços públicos. Para além dos aspectos econômicos, tem-se que ampliar a potencialidade de geração de bioeletricidade sucroenergética concorre para a melhoria da qualidade de vida pela geração de emprego e renda, bem como pela redução da emissão de gases de efeito estufa e de outros poluentes, evitando-se também o acúmulo e lançamento de resíduos agroindustriais ao meio ambiente, atendendo, portanto, aos aspectos sociais e ambientais necessários para o desenvolvimento sustentável do Estado da Paraíba.

Por fim, destaca-se que os resultados obtidos representam uma simulação de mensuração da potencialidade de bioeletricidade sucroenergética da Paraíba. Para a obtenção da potencialidade de cada usina termelétrica faz-se necessário um estudo que compreenda as especificidades das plantas de cogeração das unidades produtivas individualmente.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Informações gerenciais dezembro 2018**. 2019a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+4%C2%BA+trimestre+de+2018/36e91555-141a-637d-97b1-9f6946cc61b3?version=1.2>. Acesso em: 25 maio 2019.

ANEEL. **Banco de informações de geração capacidade de geração do estado Paraíba**. 2019b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp>. Acesso em: 28 jul. 2019.

ARAÚJO, A. O. de; PIROLI, E. L.; SILVA-FUZZO, D. F. Análise da evolução temporal do NDVI/modis em área de cana-de-açúcar no município de Ourinhos nos anos de 2014 e 2015. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., EXPOSICARTA, 26., 2017, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBC, 2017. p. 698-701.

BARRUCHO, L. **Etanol americano pode adiar (de novo) triunfo do biocombustível brasileiro**. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-49365537>. Acesso em: 18 ago. 2019.

BOLETIM CTBE. **Mapeamento unidades de produção de açúcar, álcool e energia elétrica no Brasil**. Disponível em: [https://www.udop.com.br/download/estatistica/ctbe/2018/ctbe\\_mapeamento\\_unidades\\_produutoras.pdf](https://www.udop.com.br/download/estatistica/ctbe/2018/ctbe_mapeamento_unidades_produutoras.pdf). Acesso em: 25 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira. 2014-2015**. 2017a. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira. 2015-2016**. 2017b. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira. 2016-2017**. 2017c. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira. 2017-2018**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira. 2018-2019**. 2019b. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Informações e Estudos Energéticos. **Boletim mensal de energia mês referência: dezembro de 2018**. 2019a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Boletim+Mensal+de+Energia+dez+2018.pdf/056f82ae-60f8-430e-aafc-cfe127f7af01>. Acesso em: 25 mai. 2019.

CASTRO, N. J. de; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. de A. O potencial da bioeletricidade, a dinâmica do setor sucroenergético e o custo estimado dos investimentos. Texto de discussão do setor elétrico nº 29. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico - UFRJ** - Rio de Janeiro, Novembro de 2010.

CCEE. **Ambiente livre e ambiente regulado**. 2019c. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?\\_afLoop=320061911926167&\\_adf.ctrl-state=e2g2re2cu\\_1#!%40%40%3F\\_afLoop%3D320061911926167%26\\_adf.ctrl-state%3De2g2re2cu\\_9](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?_afLoop=320061911926167&_adf.ctrl-state=e2g2re2cu_1#!%40%40%3F_afLoop%3D320061911926167%26_adf.ctrl-state%3De2g2re2cu_9). Acesso em: 15 jul. 2019.

CCEE. **Fontes**. 2019a. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/fontes?\\_adf.ctrl-state=bri34qwyp\\_5&\\_afLoop=545961317096530#!](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_adf.ctrl-state=bri34qwyp_5&_afLoop=545961317096530#!). Acesso em: 28 jul. 2019.

CCEE. **Razão de ser**. 2019b. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/quem-somos/razao-de-ser?\\_adf.ctrl-state=no3w8xjs2\\_5&\\_afLoop=308596037924381#!](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/razao-de-ser?_adf.ctrl-state=no3w8xjs2_5&_afLoop=308596037924381#!). Acesso em: 15 jul. 2019.

CCEE. **Tipos de leilões**. 2019d. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/tipos\\_leiloes\\_n\\_logado?\\_afLoop=598205731035101&\\_adf.ctrlstate=182hsyehz\\_101#!%40%40%3F\\_afLoop%3D598205731035101%26\\_adf.ctrl-state%3D182hsyehz\\_105](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=598205731035101&_adf.ctrlstate=182hsyehz_101#!%40%40%3F_afLoop%3D598205731035101%26_adf.ctrl-state%3D182hsyehz_105). Acesso em: 23 set. 2019.

CEISE BR; ÚNICA; COGEN; ABRACEEL. **A bioeletricidade da cana e o mercado livre de energia elétrica no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/cartilha-a-bioeletricidade-da-cana-e-o-mercado-livre-de-energia-eletrica-no-brasil.html>. Acesso em: 25 maio 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 2 - Safra 2015/16 - n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2016. 2017b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?start=10>. Acesso em: 26 maio 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 3 - Safra 2014/15 n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2015. 2017a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 26 maio 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 3 - Safra 2016/17 n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2017. 2017c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 26 maio 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 4 - safra 2017/18 n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2018. 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 26 maio 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 5 - Safra 2018/19, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2019. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 26 maio 2019.

DEPEC-BRADESCO. **Agricultura abril 2019**. 2019b. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static\\_files/pdf/pt/monitores/setorial/infset\\_agricultura.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static_files/pdf/pt/monitores/setorial/infset_agricultura.pdf). Acesso em: 22 set. 2019.

DEPEC-BRADESCO. **Agricultura julho 2019**. 2019a. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static\\_files/pdf/pt/monitores/setorial/infset\\_agricultura.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static_files/pdf/pt/monitores/setorial/infset_agricultura.pdf). Acesso em: 22 set. 2019.

EPE. **Análise de Conjuntura de Biocombustíveis ano 2018**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-167/An%C3%A1lise\\_de\\_Conjuntura\\_Ano%202018.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-167/An%C3%A1lise_de_Conjuntura_Ano%202018.pdf). Acesso em: 15 jul. 2019.

EPE. **Balço Energético Nacional 2019: ano base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

IBGE, Coordenação de Geografia. **A Geografia da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Editora IBGE, 2017.

MATEUS, L. A. N. **Análise dos aspectos ambientais e energéticos do setor sucroalcooleiro do Estado de Minas Gerais**. 2010. 199f. Dissertação de Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

NOVACANA. **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)**. 2019a. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>. Acesso em: 26 mai. 2019.

PERDONÁ, R. C. **Aproveitamento Energético de Resíduos e Biomassa**. 2015. Disponível em: [https://www.crq4.org.br/sms/files/file/aproveitamento\\_biomassa\\_perdona\\_odebrecht.pdf](https://www.crq4.org.br/sms/files/file/aproveitamento_biomassa_perdona_odebrecht.pdf). Acesso em: 13 jul. 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, F. A. **Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica: usina de açúcar, etanol e bioeletricidade.** 2012. Dissertação (mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2012.

UNICA. **Bioeletricidade.** 2019. Disponível em: <https://www.unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade/>. Acesso em: 27 mai. 2019.

UNICA. **Bioeletricidade:** a energia verde e inteligente do Brasil. São Paulo: Bioeletricidade.com, 2010.