

ANDREA GUIDO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA BIOELETRICIDADE GERADA NA INDÚSTRIA
SUCROALCOOLEIRA COMO ALTERNATIVA AO ATENDIMENTO DA DEMANDA
ENERGÉTICA**

Botucatu

2021

ANDREA GUIDO

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA BIOELETRICIDADE GERADA NA INDÚSTRIA
SUCROALCOOLEIRA COMO ALTERNATIVA AO ATENDIMENTO DA DEMANDA
ENERGÉTICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Lima Caneppele

Botucatu

2021

G948a

Guido, Andrea

Análise da utilização da bioeletricidade gerada na indústria sucroalcooleira como alternativa ao atendimento da demanda energética / Andrea Guido. -- Botucatu, 2021

71 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Fernando de Lima Caneppele

1. Energia Fontes alternativas. 2. Bagaço de cana Indústria. 3. Energia elétrica e calor Cogeração. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte”.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA BIOELETRICIDADE GERADA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COMO ALTERNATIVA AO ATENDIMENTO DA DEMANDA ENERGÉTICA

AUTORA: ANDREA GUIDO

ORIENTADOR: FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPPELE (Participação Virtual)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos



Prof.ª Dr.ª GLAUCIA APARECIDA PRATES (Participação Virtual)
Curso de Engenharia Industrial Madeireira / UNESP - Campus Experimental de Itapeva

PI



Prof. Dr. LUIS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participação Virtual)
Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã - UNESP

PI



Botucatu, 29 de março de 2021

Aos meus filhos,

Enzo e Paola,

A vocês, dedico,

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Ronald e Claudetti, por todo apoio e dedicação incondicionalmente dispensados sempre. Ao meu irmão, Ronald, pela amizade e incentivo.

A minha irmã Cintia, que plantou em mim a semente do amor pela natureza e a vontade de fazer a diferença em nosso planeta.

A minha tia, primos e amigos pelo incentivo.

Aos meus filhos, Enzo e Paola, pelos quais nunca desisto.

Ao meu esposo, Dalmar, por sempre crer em minha capacidade, pelo incentivo, compreensão, apoio, amor e exemplo.

Ao professor Dr. Fernando de Lima Caneppele por ter me aceitado para orientação, aos seus ensinamentos e conselhos.

A amiga e professora Dra. Silvia Regina Lucas de Souza pelo incentivo, confiança e disponibilidade sempre.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, campus de Botucatu, pela oportunidade de realizar o mestrado.

E a todos que estiveram presentes de alguma forma durante esta jornada.

RESUMO

A busca por recursos energéticos alternativos frente à crescente necessidade demandada pelo setor de energia brasileiro é impulsionada por questões ambientais, como aquecimento global e falta de recursos naturais. Das demandas energéticas, a produção de eletricidade limpa se tornou um ponto fundamental para a integração desse tipo de energia na matriz brasileira. Sendo a cana-de-açúcar um negócio agroindustrial no Brasil, a produção de bioeletricidade, açúcar e etanol anuncia um futuro brilhante das renováveis na matriz energética brasileira. Propõe-se identificar, analisar e traçar a utilização da bioeletricidade proveniente da cogeração através do uso da biomassa de cana-de-açúcar dentro da matriz elétrica brasileira para assim provar se é capaz de atender às necessidades de energia elétrica do Brasil. Por meio da coleta de dados dos setores sucroalcooleiro e energético, com uso de metodologia quantitativa, procedeu-se com pesquisa descritiva de caráter exploratório utilizando-se materiais já disponibilizados e também documentais. O estudo mostrou que há uma grande quantidade de energia a ser explorada, o que mostra que a bioeletricidade será cada vez mais inserida na matriz energética nacional, e, ainda que se note um aumento na sua contribuição à matriz elétrica brasileira, outras fontes serão necessárias e continuarão a compor essa matriz. Concluiu-se que a bioeletricidade por si só não seria capaz de atender a demanda total de eletricidade do Brasil, e que ações de caráter econômico, financeiro e político, incentivariam uma maior contribuição da bioeletricidade à matriz elétrica.

Palavras-chave: Matriz energética. Biomassa de cana-de-açúcar. Cogeração.

ABSTRACT

The search for alternative energy resources in the face of the growing need demanded by the Brazilian energy sector is driven by environmental issues, such as global warming and lack of natural resources. Of the energy demands, the production of clean electricity has become a fundamental point for the integration of this type of energy in the Brazilian matrix. As sugarcane is an agro-industrial business in Brazil, the production of bioelectricity, sugar and ethanol announces a bright future for renewables in the Brazilian energy matrix. It is proposed to identify, analyze and trace the use of bioelectricity from cogeneration through the use of sugarcane biomass within the Brazilian electric matrix, in order to prove if it is capable of meeting the needs of electric energy in Brazil. Through the collection of data from the sugar and alcohol and energy sectors, using quantitative methodology, we proceeded with descriptive exploratory research using materials already available and also documentary. The study showed that there is a large amount of energy to be explored, which shows that bioelectricity will be increasingly inserted in the national energy matrix, and, although there is an increase in its contribution to the Brazilian electrical matrix, other sources will be needed and will continue to compose this matrix. It was concluded that bioelectricity alone would not be able to meet the total demand for electricity in Brazil, and that economic, financial and political actions would encourage a greater contribution of bioelectricity to the electrical matrix.

Keywords: Energy matrix. Sugar cane biomass. Cogeneration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Energia elétrica.....	19
2.2	Matriz energética	22
2.3	O setor elétrico brasileiro	24
2.4	O setor sucroenergético	28
2.5	Biomassa e cogeração.....	34
2.6	Bioeletricidade.....	37
2.6.1	Legislação.....	42
2.6.2	Políticas nacionais	43
2.6.3	Acordos de cooperação.....	44
2.6.4	Certificações	45
2.6.5	Situação atual e expectativa para o futuro.....	46
3	MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1	Material.....	50
3.2	Métodos.....	51
3.3	Análises realizadas	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Transformações importantes na economia, em âmbito mundial, foram possíveis graças ao abundante suprimento de energia, principalmente dos chamados combustíveis fósseis (como carvão e petróleo) durante todo o século XX (ANEEL, 2008).

Frente às questões ambientais, tais como aquecimento global e escassez de recursos naturais, tem-se verificado cada vez mais intensa busca por recursos alternativos em função da crescente necessidade demandada pelo setor energético brasileiro. É, portanto, necessário, que tais atitudes sejam tomadas no sentido da preservação do meio ambiente como um todo.

Assim, os avanços no setor não podem estar restringidos unicamente à tecnologia sem antes estar comprometidos com as questões socioeconômicas e ambientais. Estando aí em exposição a preservação dos ecossistemas, melhorias na qualidade de vida dos trabalhadores, mitigação dos efeitos da implantação de processos de mecanização na colheita e preservação do meio ambiente (SANTOS, 2012); (SOUSA et al., 2010).

A matriz elétrica nacional é profundamente dependente do regime de chuvas devido ao modelo hidrotérmico de geração, caracterizado pela opção de centralização da produção de energia.

Existe uma falta de viabilidade desse modelo estruturado em grandes centrais hidrelétricas, e no acionamento de termoeletricas movidas a combustível de natureza fóssil quando as chuvas não são suficientes para garantir níveis convenientes nos reservatórios das usinas hidrelétricas, promovendo assim, um cenário de impactos ambientais gerando uma série de mudanças climáticas e sendo causa de mudanças no suprimento de combustíveis fósseis como é o caso do gás natural (GREENPEACE, 2008).

A energia elétrica é base fundamental para o estabelecimento das sociedades modernas, sendo logicamente limitada em vários aspectos. A produção de eletricidade é uma busca contínua. São necessárias novas fontes alternativas, mas

que sejam viáveis e eficientes frente às necessidades atuais do panorama energético do país (TORQUATO, 2013).

Utilizando-se biomassa de cana geram-se as energias térmicas e elétrica, obtidas de forma sustentável e com baixa emissão de CO₂ bem como de outros gases responsáveis pelo efeito estufa.

Desde o início dos anos 1980, o Brasil produz bioeletricidade por meio do uso da biomassa da cana-de-açúcar relacionada à produção de etanol e do próprio açúcar como produto final. Pesquisas recentes apontam o setor de bioeletricidade como sendo o responsável pelo atendimento de mais de 20 milhões de pessoas (CNPEM, 2012); (ABRACEEL, 2019).

Portanto, comparada com outras formas de produção de energia, a cana-de-açúcar é um recurso potencial, com o bagaço e a palha utilizados para gerar eletricidade, com possibilidade de participação não só na diversificação da matriz elétrica, mas pelo fato da safra da cana-de-açúcar coincidir com o período de seca nas regiões sudeste e centro-oeste do país, onde está localizada a maior parte das hidrelétricas. Assim, a eletricidade fornecida pela biomassa durante este período ajuda a manter o nível de água do reservatório da usina hidrelétrica (ANEEL, 2008).

Devido a seu caráter recente, são poucas as estimativas de mercado em relação à bioeletricidade quanto à capacidade instalada. É comum ainda ver confusas as distinções entre potência efetiva, potência contratada e potencial de geração. Este último, o potencial de geração de eletricidade, em se tratando de unidades sucroalcooleiras, é de grande monta dada a grande disponibilidade de sobra de resíduos ainda não utilizados como entrada de energia (CASTRO et al., 2008); (CARVALHO, 2015).

Com a extinção das queimadas durante a colheita da cana-de-açúcar há um enorme adicional de biomassa a ser utilizado como combustível, a palha. Mesmo assumindo que parte desta palha deve proteger o solo e, portanto, deverá ser mantida no próprio campo, o adicional é grande. A utilização do palhiço também como combustível representará um aumento de geração de bioeletricidade. Melhorias na eficiência energética e novas medidas econômicas são fatores

fundamentais na geração elétrica pelas usinas. Políticas favoráveis são necessárias nesse sentido (CASTRO; DANTAS, 2008).

Em um futuro próximo, as fontes renováveis de energia terão participação cada vez mais frequente na matriz energética, sendo isso uma tendência global; as pessoas estão prestando cada vez mais atenção às questões relacionadas ao meio ambiente e às novas tecnologias com uma base sustentável, fato esse que estimula pesquisas e desenvolvimento tecnológicos nesse aspecto (MME, 2019b).

De maneira geral, as fontes de energia renovável já estão fazendo parte dos programas energéticos em larga escala e, portanto, podem ser consideradas opções convenientes tanto do ponto de vista tecnológico quanto econômico (GREENPEACE, 2008).

Os efeitos socioambientais voltados para a redução da interdependência com os combustíveis fósseis têm promovido questões relacionadas ao aumento da segurança do fornecimento de energia e promovido interesses globais na busca de novas soluções sustentáveis, que são alcançadas por meio de energias limpas e renováveis. Nesse sentido, nosso país ocupa posição de destaque (MME, 2019b).

Em comparação com outras fontes de energia tradicionais, a bioeletricidade gerada a partir da biomassa da cana-de-açúcar tem muitas vantagens ambientais; dentre elas se destacam a mitigação do efeito estufa, uma melhor preservação dos recursos naturais locais, menores impactos quando da implementação técnica e transporte de energia; dentre outros (SANTOS, 2012).

Quando um grande número de fontes de energia renováveis é usado em combinação com medidas de eficiência energética, as emissões de gases de efeito estufa podem ser bastante reduzidas. (GREENPEACE, 2008).

A Organização das Nações Unidas apontou que a Agenda 2030 está adotando eletricidade mais limpa, que inclui 17 metas de desenvolvimento sustentável e 69 outras metas sustentáveis (ONU, 2019). Sendo o Brasil um signatário desta agenda de compromissos, será então de grande interesse a adoção de medidas e políticas promotoras da utilização e comercialização de energias renováveis, dentre elas destaca-se a bioeletricidade.

Sendo assim, a questão-problema do trabalho foi evidenciar se a bioeletricidade seria capaz ou não de suprir a demanda de energia elétrica do Brasil. Ao final deste estudo, a questão-problema foi respondida. Logo, evidenciou-se como objetivo principal do presente trabalho o de identificar, analisar e traçar o uso da bioeletricidade da cogeração a partir da biomassa da cana-de-açúcar na matriz elétrica brasileira.

Além do objetivo principal, outros objetivos, considerados específicos constituíram-se no propósito deste estudo:

- Examinar e discutir as séries históricas de dados energéticos relacionados a bioeletricidade;
- Definir a projeção da participação da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira;
- Analisar de forma crítica a política energética brasileira em relação a bioeletricidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a execução dos objetivos desta dissertação, primeiramente foi realizada uma revisão de literatura, abordando os seguintes assuntos: energia elétrica, matriz energética, o setor elétrico brasileiro, o setor sucroenergético, biomassa e cogeração, bioeletricidade, legislação, políticas, acordos de cooperação e certificações, e, situação atual e futura.

2.1 Energia elétrica

Está ilustrado na Figura 1 as fontes de energia e suas origens, o papel da energia elétrica no cenário energético global, bem como os processos de transformação que podem conduzir à geração de eletricidade, identificando-se as fontes primárias de energia, suas relações no sistema solar e o impacto do tempo (REIS, 2003).

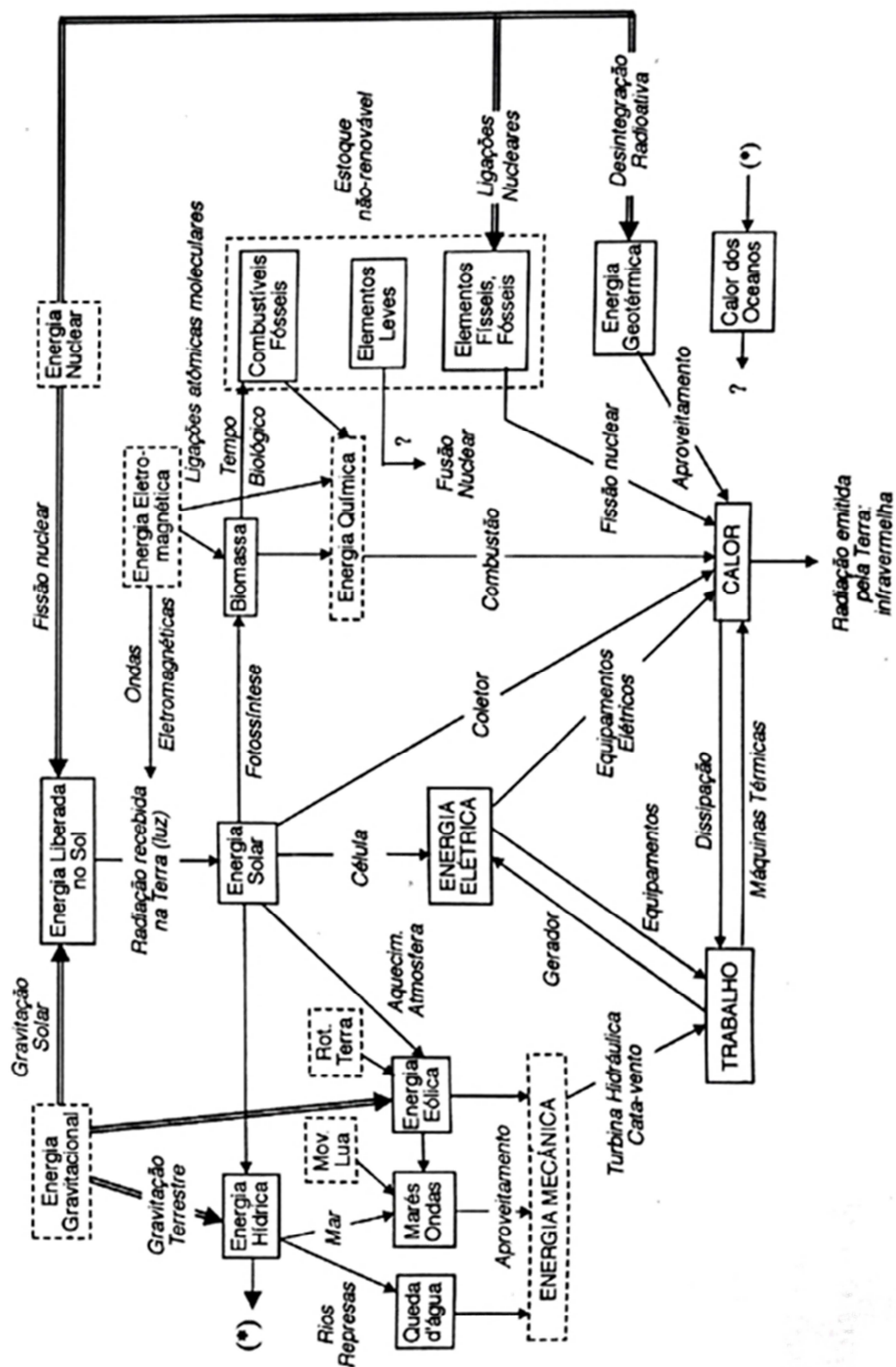
É fato que a eletricidade é um dos insumos mais importantes para a sustentabilidade da sociedade, principalmente no que diz respeito à indústria e desde a sua criação, é usada e comercializada como um produto (MARTINHO, 2013).

A geração de energia é fundamental ao desenvolvimento socioeconômico, fornecendo apoio às atividades humanas. Da ampla gama dos segmentos estruturais, a energia é o serviço mais universalizado (ANEEL, 2008).

O principal insumo para os diversos setores da sociedade moderna é a energia elétrica. Fator preponderante para a sobrevivência das nações, que dela se utilizam para obtenção de conforto e para gerar novas tecnologias (TORQUATO; RAMOS, 2013).

A energia elétrica é considerada como principal fator de integração humana para o pleno desenvolvimento de suas atividades, seu acesso é a porta para serviços essenciais e às melhorias na qualidade de vida (ALDABÓ, 2001).

Figura 1 - Fontes de energia



Para dada sociedade, a geração de energia e sua consequente utilização é um indicador do desenvolvimento socioeconômico local e da qualidade de vida da população, refletindo tanto no ritmo das atividades industriais e de prestação de serviços quanto na determinação da capacidade de obtenção de bens de consumo que empregam tecnologia avançada como é o caso dos eletroeletrônicos (ANEEL, 2008).

Nos últimos anos, dado o aumento dramático no consumo de eletricidade em nosso país, e em projeções para as próximas décadas, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), se torna a cada dia mais apropriado o investimento em fontes alternativas de geração elétrica (SANTOS, 2012).

O crescimento e transformações da economia mundial no século XX foram apoiados na grande oferta de energia, oriunda principalmente dos combustíveis fósseis. A necessidade do desenvolvimento sustentável colocou à prova este cenário já no início do século XXI, estimulando atividades de produção de energia elétrica para buscar expansão da oferta, combinada ao consumo consciente, preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. Isto impôs à sociedade a caracterização de um novo cenário energético (ANEEL, 2008).

Fontes renováveis de energia vinculadas a processos de produção de energia cada vez mais eficientes são tidos como chave para mitigar conflitos de segurança em relação à sustentabilidade do fornecimento de energia e do meio ambiente, a qual foi exibida de forma tão proeminente no início do século XXI, e muitas vezes representa um grande desafio para toda a humanidade ao longo deste século que se apresenta (CASTRO et al., 2008).

A sociedade moderna é profundamente dependente da energia e, portanto, é impossível de se planejar e pensar em projetos que não sejam dela dependentes. Os chamados gases de efeito estufa e o aquecimento global podem ser atenuados com o uso de energia renovável.

Enfatizam-se as formas de energia da biomassa, energia eólica e recursos hídricos para evitar a escassez de recursos naturais e reduzir a emissão de gases

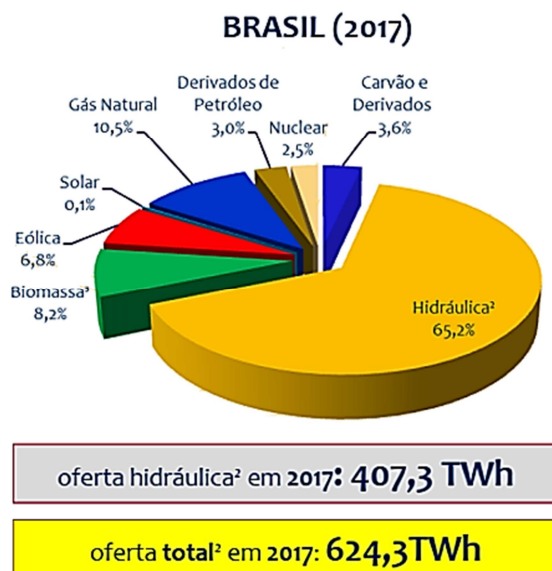
nocivos para a atmosfera, (SOUSA et al., 2010). A resposta a essa problemática se encontra na busca por fontes de energia limpas e renováveis e que não carregam em si os efeitos negativos sobre os ecossistemas que são normalmente atribuídos aos combustíveis tradicionais de origem fóssil (SOUSA; MACEDO, 2010).

2.2 Matriz energética

Entende-se por matriz energética, o conjunto das mais diferentes fontes de energia, de diferentes formas, disponíveis em um país ou estado e utilizadas para suprir a demanda energética. A relação entre as condições econômicas locais e a disponibilidade de energia disponível também é fator de importância quando se salienta a terminologia ‘matriz energética’ (SOUSA et al., 2010).

A matriz energética nacional é predominantemente renovável. A Figura 2 representa esquematicamente a matriz elétrica brasileira em 2017 (EPE, 2018a).

Figura 2 - Panorama da matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE (2018a).

Predominantemente, nossa matriz elétrica é de natureza hídrica; o que confere ao Brasil lugar de destaque no que diz respeito à questão 'sustentabilidade ambiental' em um contexto mundial em que a maioria dos países partem para a busca de um aumento participativo das fontes renováveis em suas matrizes elétricas. Fato esse que expande a oferta de energia, mas não reduz as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (SOUSA et al., 2010).

A matriz elétrica brasileira é considerada um privilégio. Possui 80,4% de energia renovável, enquanto a média mundial é de apenas 22,8% (EPE, 2018a).

A matriz energética do Brasil apresenta situação especial no uso de energia limpa. A OIE (Oferta Interna de Energia), ou também matriz energética, representa toda e qualquer fonte de energia disponível para ser transformada, distribuída e então consumida pelos processos de produção. No nosso país, 43,9% da OIE é renovável, enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos, de apenas 6% (MME, 2019b).

Mas há muito o que se explorar no que diz respeito a esse potencial de geração. Pesquisas apontam para geração de energia a partir da biomassa, mais especificamente, a geração de energia da biomassa por açúcar e álcool (CASTRO et al, 2008). Atualmente o Brasil possui uma potência elétrica instalada da ordem de 157.112 MW, e a participação da biomassa em torno de 8,2%, sendo que só o bagaço de cana-de-açúcar já contribui com quase 80% desse total (EPE, 2018b)

Mudanças efetivas na matriz energética só podem ser consolidadas através da atuação de uma massa crítica capaz de influenciar positivamente e de participar de maneira plena do planejamento estratégico do setor energético no sentido de direcioná-lo a uma matriz descentralizada e com baixas emissões de carbono (GREENPEACE, 2008).

Conectar a eletricidade gerada a partir do bagaço à matriz energética do Brasil é a mais barata alternativa para gerar energia já desenvolvida pelo mercado, contribuindo também para a diversificação do setor sucroalcooleiro, aumentando as receitas de mercado (PRIETO, 2003).

2.3 O setor elétrico brasileiro

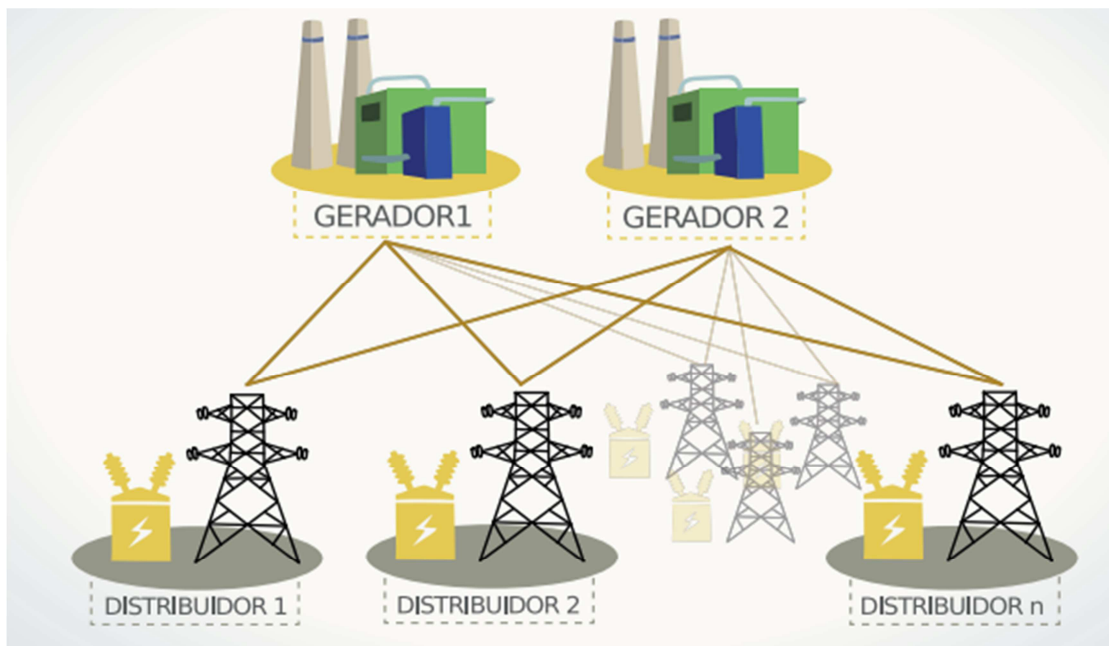
Durante a década de 90, o modelo instituído do setor de energia passou por duas grandes mudanças. A primeira questão diz respeito ao processo de privatização das operadoras e se iniciou com a Lei no 9.427, de dezembro de 1996, quando instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL responsável pela exploração do potencial hidrelétrico nacional através de concorrência ou leilão público (ANEEL, 2008).

A segunda grande mudança se faz em 2004, introduzindo-se um Novo Modelo do Setor Elétrico, objetivando garantia dos suprimentos; estabelecimento dos valores tarifários e garantia de inserção social (Luz para Todos). Contudo, a mesma mudança reforça a retomada de responsabilidades pelo setor energético por parte do Estado (ANEEL, 2008).

A criação desse novo modelo institui a formação de dois ambientes distintos no sentido da assinatura de contrato de compra e venda de energia, a saber: o de Contratação Regulada (CR), destinado às geradoras e distribuidoras, e o chamado Contratação Livre (CL), em que participam tanto as geradoras e comercializadoras quanto os importadores, exportadores e também os consumidores livres. Os modelos estão ilustrados nas Figuras 3 e 4 (ANEEL, 2008; ABRACEEL, 2019):

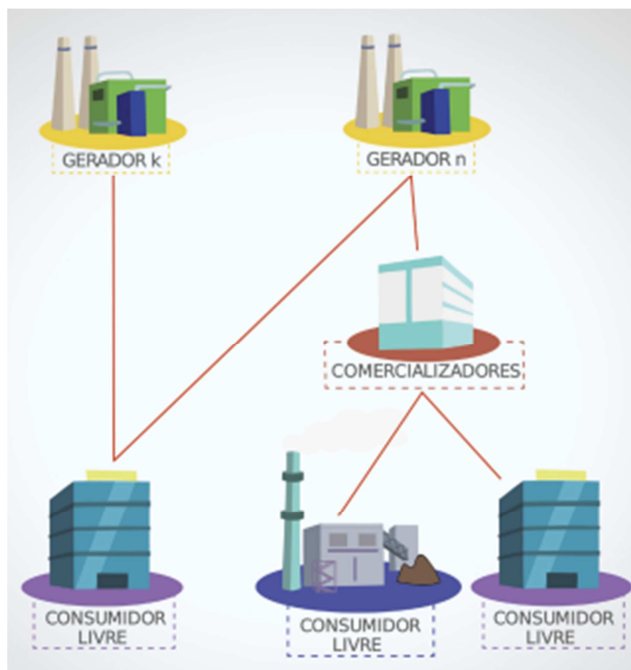
- O Ambiente de Contratação Regulada tem a participação dos chamados agentes de geração e distribuição de energia; e
- Ambiente de Contratação Livre, formado pelos participantes da geração, os comercializadores, importadores e também exportadores de energia elétrica; consumidores livres e especiais também são participantes desse ambiente.

Figura 3 - Ambiente de contratação regulada – ACR



Fonte: CNPEM (2017).

Figura 4 - Ambiente de contratação livre – ACL

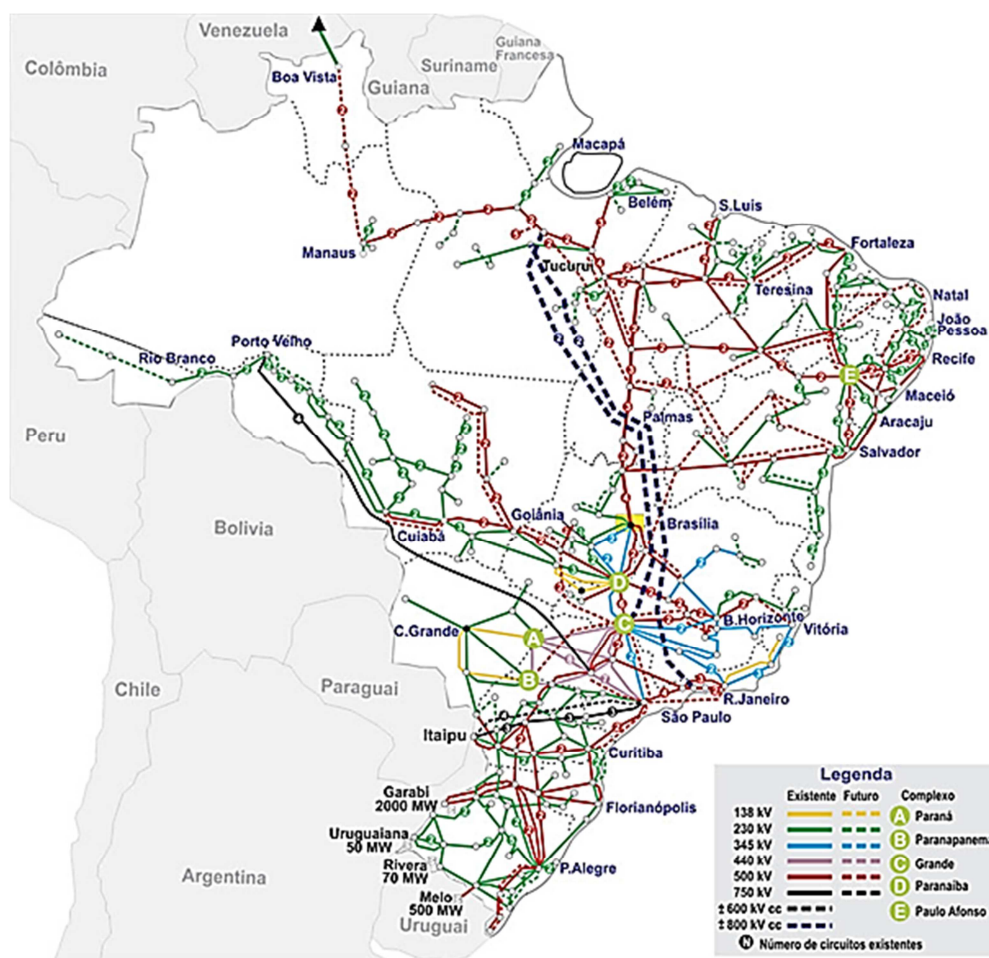


Fonte: CNPEM (2017).

Inúmeras foram as vantagens alcançadas não só da utilização da geração descentralizada e da cogeração de eletricidade como também da compra de seus excedentes. A partir disso, Do ponto de vista do uso do bagaço para a geração combinada de calor e energia, um novo potencial foi adquirido no sentido de fornecer eletricidade às concessionárias e a outros setores congêneres (PRIETO, 2003).

O sistema de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil é de natureza hidro-termo-eólica, de grande porte, com prevalência de geração hidrelétrica a múltiplos investidores. O Sistema Interligado Nacional - SIN é subdividido em quatro outros subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte, conforme pode ser visualizado na Figura 5 (ONS, 2019).

Figura 5 - Sistema Interligado Nacional em 2017



Fonte: ONS (2019).

O sistema nacional é interligado por nós de transmissão, este recurso permite a transferência de energia entre subsistemas conectados; isso permite a obtenção de ganhos na transmissão e aproveita as diferenças entre as condições hidrológicas de diferentes grandes bacias hidrográficas. Essa integração na geração e transmissão permite suprir ao mercado eletricidade com segurança e economia (ONS, 2019).

Para que seja possível manter a estabilidade do suprimento de energia elétrica frente à sua demanda, em períodos de estiagem, o Operador Nacional do Sistema (ONS) aciona usinas térmicas. Emitindo gases de efeito estufa (GEE), tais usinas fornecem energia queimando combustíveis fósseis tradicionais (como carvão, óleo combustível e gás natural), insumos caros e instáveis; como consequência dos altos custos operacionais, valores altos pela eletricidade são pagos por parte de seus consumidores finais (GREENPEACE, 2008).

A instalação de usinas eólicas, com ênfase nas regiões Sul e Nordeste tem apresentado forte crescimento nas últimas décadas. A geração total de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN) é principalmente, por hidrelétricas subdivididas em dezesseis bacias hidrográficas por todo o país. Por outro lado, completando esse cenário, estão as usinas térmicas, localizadas próximas aos grandes centros de consumo, geralmente industriais, e contribuem para a segurança energética de todo o sistema. As termelétricas são acionadas em tempo de estiagem para garantir o nível dos reservatórios das hidrelétricas, visando assim, assegurar atendimento futuro (ONS, 2019).

Por motivos diversos, priorizando aqueles relativos à preservação dos ecossistemas naturais, ao custo de implementação e à operacionalidade das fontes de eletricidade e seus aspectos de eficiência – como a cogeração; já se vê inserida no Sistema Interligado Nacional (SIN), através de leilões, as termelétricas a biomassa da cana-de-açúcar (SANTOS, 2012).

A utilização do bagaço de cana-de-açúcar apresenta inúmeras vantagens ao meio ambiente como a redução de resíduos tóxicos e reduzida poluição atmosférica, quando em comparação aos combustíveis fósseis tradicionais (PRIETO, 2003; CARVALHO, 2015).

2.4 O setor sucroenergético

Indicadores macroeconômicos revelam a primordialidade do agronegócio para a estabilidade financeira nacional, no sentido da recuperação do PIB pela produção agropecuária resultando em diminuição da inflação, aumento da empregabilidade e consequente redução dos efeitos da crise econômica, isto se deve ao fato do agronegócio ser um setor dinâmico e competitivo e que experimenta crescimento mesmo em tempos de crise econômica. Mesmo frente a um ambiente de incertezas políticas e institucionais, as perspectivas continuam excelentes frente a um aumento da produção e do volume externo de vendas (CNA, 2018).

Indústrias que envolvem insumos da cana-de-açúcar fazem parte da espinha dorsal da economia do nosso país. Essa atividade teve início em 1532, e a produção de açúcar é um dos principais produtos do Brasil (NEVES et al., 2009).

A cana-de-açúcar desempenhou importantíssimo papel frente ao desenvolvimento socioeconômico em nosso país. Fatores dos mais diversos foram responsáveis por essa introdução e induziram a uma maior modernização, eficiência e conhecimento prático (GOES et al., 2008).

O setor sucroenergético apresenta os seguintes números no país: - Cerca de 380 unidades de produção e mais de 1.000 cidades em todo o país engajadas em atividades relacionadas à indústria açucareira e energética; - mais de 950 mil empregos formais diretos e indiretos, no setor produtivo e 70 mil produtores rurais de cana-de-açúcar independentes; - etanol e bioeletricidade juntos tornam-se a primeira fonte renovável de energia do país (17% da matriz nacional), e seu potencial de geração de energia equivale a quatro usinas de Belo Monte (CEISE, 2016).

No Brasil, em termos de produção de cana, o Estado de São Paulo é o maior empregador. Estando presente em 410 dos seus 645 municípios. O que corresponde a um total de 63,6% (SOUSA et al., 2010).

O país tem todas as condições necessárias para produzir cana-de-açúcar em larga escala mais do que qualquer outro país por possuir condições climáticas favoráveis. São realizados investimentos por parte dos agentes do setor sucroalcooleiro em cogeração que visam a garantia de suficiência energética

baseada em uma lógica de integração, sendo a comercialização dos excedentes um negócio a parte (SOUZA et.al, 2006).

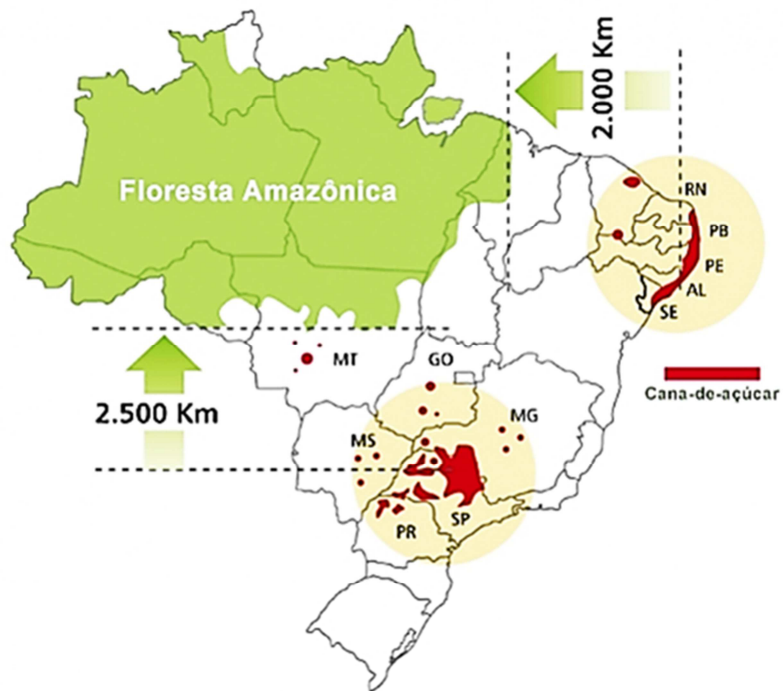
Levando-se em consideração que a biomassa da cana-de-açúcar se projeta como alternativa viável de contribuição para a matriz energética, vale ressaltar que a fonte dessa energia, a fornecida pelo setor sucroalcooleiro, encontra-se diretamente correlacionada à tecnologia empregada.

O setor sucroalcooleiro tem por tradição ser autossuficiente no que diz respeito à matriz energética, 98% das necessidades das usinas são supridos pela utilização do bagaço como combustível (CORRÊA; RAMÓN, 2002).

No entanto, o surgimento do nicho de negócios da bioeletricidade tende a tratar a eletricidade como o terceiro produto fornecido pelas indústrias sucroalcooleiras, que é comercializada no mercado junto com o álcool e o açúcar (CASTRO et al., 2008).

A produção de cana-de-açúcar está concentrada principalmente nas regiões Central, Sul e Nordeste do país. A Figura 6 mostra em vermelho no mapa, as regiões nas quais estavam localizadas plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, de acordo com o IBGE, UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas – SP) e dados do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) (UNICA, 2016).

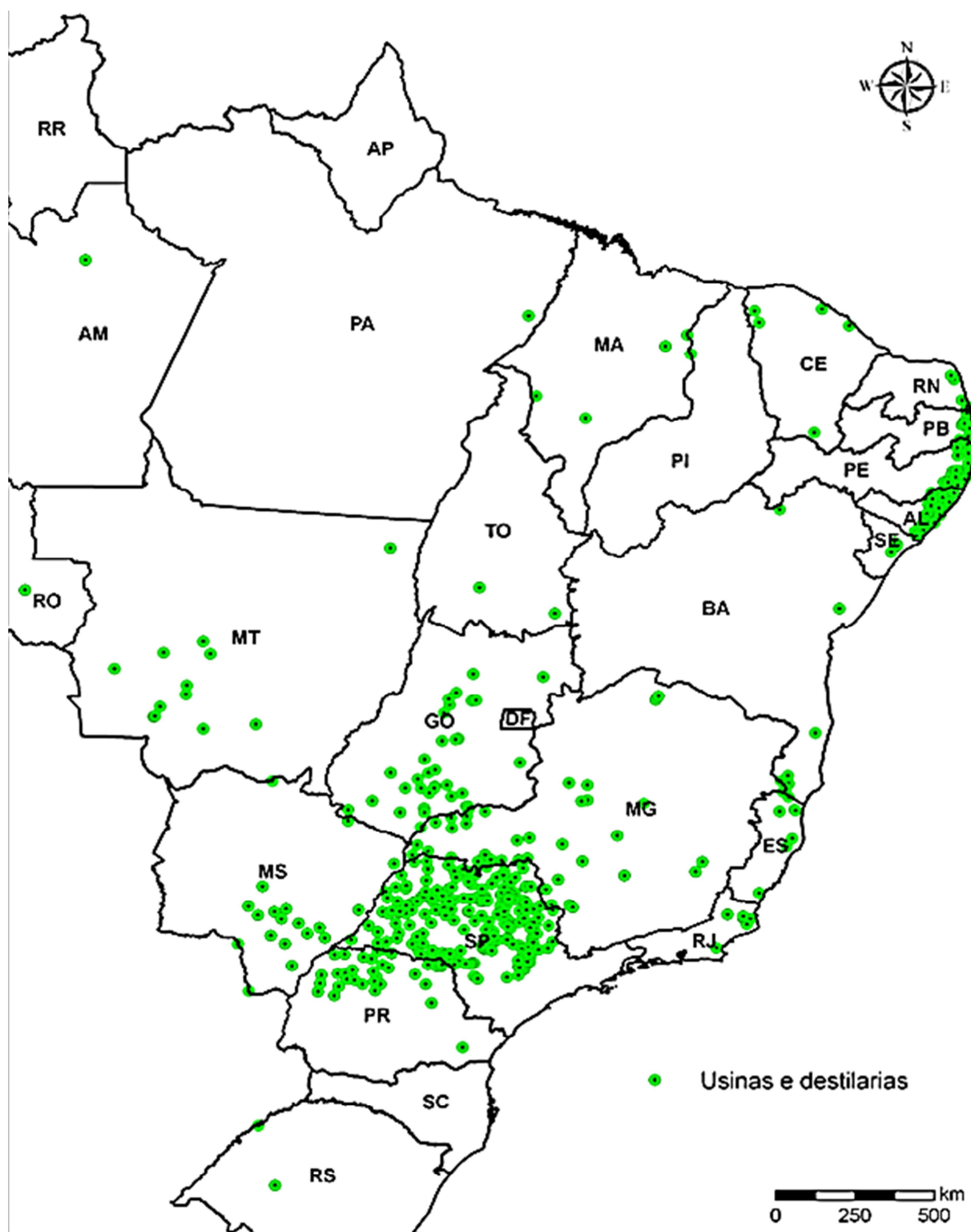
Figura 6 - Mapa da produção de cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: NIPE-Unicamp, IBGE e CTC (2016).

O mapa georreferenciado das unidades sucroalcooleiras pode ser visualizado na Figura 7. CONAB (2017).

Figura 7 - Mapa georreferenciado das unidades sucroalcooleiras



Fonte: CONAB (2017).

No estado de São Paulo tinha-se o seguinte cenário (UNICA, 2018b):

- Em 2018 haviam 158 unidades produtivas operando no Estado de São Paulo, quando 6 milhões de hectares foram plantados na safra 2018/2019 em 469 municípios paulistas (mais de 70% do total do estado). No total, eram 14 mil produtores rurais de cana-de-açúcar no estado.
- O setor produtivo possuía 312 mil empregos formais, e aproximadamente 940 mil empregos indiretos.
- O número de produtores independentes de cana-de-açúcar é relevante: o Brasil tem cerca de 70.000 fornecedores no Brasil e 14.000 em São Paulo
- Na safra paulista de 2017/2018, as vendas do setor ultrapassaram os 47 bilhões de reais, respondendo por quase metade de toda a produção agrícola do estado. Em 2017, as divisas do setor somaram US\$8,3 bilhões, representando 65% do valor total das exportações da indústria sucroenergética brasileira naquele ano.
- Os derivados da cana-de-açúcar foram a principal fonte de energia renovável no estado de São Paulo, respondendo por 37% da oferta total de energia doméstica do estado.

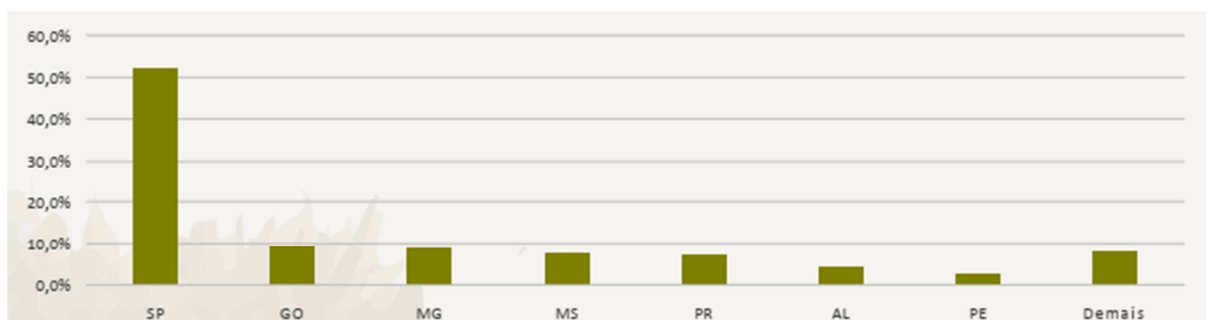
No Brasil tinha-se o seguinte cenário (UNICA, 2018c):

- 367 unidades de produção em operação no país.
- Somente o setor produtivo gerou mais de 794 mil empregos formais e, além dos empregos indiretos gerados por esse setor, cerca de 2,4 milhões de pessoas ocuparam a cadeia da indústria da cana-de-açúcar.
- O número de produtores rurais independentes de cana-de-açúcar foi relacionado: cerca de 70.000 fornecedores.
- Em 2017, a exportação de açúcar e etanol gerou 12,2 bilhões de dólares em divisas. Com isso, o setor sucroenergético tornou-se naquele ano a terceira parte da pauta de exportações do agronegócio brasileiro, ultrapassando o complexo da soja, carnes e produtos florestais.
- O montante total processado pela cadeia sucroenergética superou US\$100 bilhões, e o PIB foi de aproximadamente US\$43 bilhões (equivalente a aproximadamente 2% do PIB brasileiro).

- A cana-de-açúcar foi a maior fonte de energia renovável para o Brasil, respondendo por 17,5% da matriz do país e 43,5% de toda a energia renovável fornecida pelo País. Essa proporção tornou o Brasil superior à média mundial (13,5%) no uso de energia limpa e renovável em países desenvolvidos da OCDE (9,4%).
- O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, processando aproximadamente 641 milhões de toneladas na safra de 2017/2018.
- As regiões centro e sul (incluindo as regiões sul, sudeste e centro e oeste) responderam por 90% do total, e os 10% restantes pertenceram a região Nordeste.
- O Brasil também é o maior produtor e exportador mundial de açúcar: no ciclo 2017/2018, o Brasil produziu 38,6 milhões de toneladas e exportou 27,8 milhões de toneladas, o equivalente a 20% da produção global e 45% das exportações mundiais.

Em relação a área cultivada com cana-de-açúcar a participação por estado da federação pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 - Participação das Unidades da Federação na área total de cana-de-açúcar



Fonte: CONAB (2017).

Diferentemente de outros países, a indústria nacional de açúcar e álcool opera em um ambiente ativo e sustentável. Atento às preocupações ambientais e os efeitos adversos do uso de combustíveis fósseis (balanço do lançamento de carbono na atmosfera e os seus danosos efeitos no aquecimento global), o segmento

industrial brasileiro, oferta para o mercado produtos ecologicamente corretos, que não afetam a camada de ozônio e são obtidos a partir de fonte renovável (CONAB, 2019).

2.5 Biomassa e cogeração

Qualquer tipo de matéria, de natureza orgânica, com possibilidade de conversão em energia mecânica, energia térmica ou energia elétrica é classificada como biomassa. A matéria orgânica a ser transformada é então classificada de acordo com o local de origem: floresta (madeira); agricultura (soja, arroz e cana-de-açúcar) e resíduos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como lixo) (ANEEL, 2008).

Grosso modo, a biomassa em si é uma forma indireta de energia solar, resultante do processo de fotossíntese, responsável pela produção de energia química que a posteriori será convertida em outras formas de energia como é o caso do carvão vegetal, álcoois, gases combustíveis dentre outros óleos vegetais combustíveis (ANEEL, 2008; MME, 2019c).

Se a biomassa for usada para produção de energia por meio de métodos tradicionais, como cocção e combustão, apresentará baixa eficiência energética associada à emissão de gases tóxicos. Para uma aplicação moderna e sustentável, sua utilização deve estar vinculada ao desenvolvimento de novas tecnologias de manejo de matérias-primas (ANEEL, 2008).

Sendo a principal característica da biomassa a possibilidade do seu aproveitamento ser obtido de forma direta por meio da combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras, ocorre na atualidade seu aproveitamento cada vez maior em sistemas de cogeração no sentido de suprir as necessidades de eletricidade em comunidades isoladas da rede elétrica.

Estimativas indicam que existem 2 trilhões de toneladas de biomassa utilizável, o que corresponde a aproximadamente 400 toneladas de biomassa por habitante do planeta. Em termos energéticos, corresponde a 400EJ por ano de energia primária (MME, 2019c).

Independente das várias tecnologias empregadas para a obtenção de potencial energético a partir da biomassa, todas partem da conversão do insumo primário que será então utilizado em uma máquina motriz para produzir energia mecânica no sentido de acionar um gerador de energia elétrica (ANEEL, 2008).

As rotas tecnológicas mais utilizadas são abordadas em um estudo sobre biomassa que consta no Plano Nacional de Energia 2030 e encontram-se resumidas nos próximos parágrafos (ANEEL, 2008):

- Ciclo a vapor com a utilização de turbinas de contrapressão: É empregado em processos de produção através da cogeração. Nesse processo, a matéria-prima (biomassa) é queimada de maneira direta em caldeiras para posteriormente ser convertida em vapor. O vapor produzido acionará então as turbinas empregadas no trabalho mecânico para geração de eletricidade. O vapor excedente, que seria liberado na atmosfera, é então recondicionado ao atendimento de outras necessidades térmicas referentes ao mesmo processo. Todo o processo de produção está comercialmente maduro e é o processo mais utilizado atualmente.
- Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração: Diz respeito à condensação total ou então parcial do vapor ao final do processo visando atender às atividades termomecânicas do processo produtivo. A energia a ser condensada, é extraída intermediariamente à expansão total do vapor responsável por movimentar as turbinas. A principal diferença entre o processo em questão e o descrito acima é a presença de um condensador na saída de exaustão da turbina e um nível pré-determinado para aquecimento da água a ser fornecida à caldeira. Todo o processo tem melhor flexibilidade em termos de geração de energia termelétrica e ainda melhora a eficiência geral da geração de energia. Outra característica desse arranjo é a maior obtenção de energia elétrica, porém em comparação com a implementação de um sistema de condensação simples, requer mais investimento.
- Ciclo combinado juntamente com gaseificação da biomassa: Entende-se pelo processo de gaseificação, a conversão do combustível líquido ou mesmo sólido em gás energético, através de sua oxidação parcial, geralmente a temperatura elevada, produzindo um gás combustível, usado para geração de

energia em usinas termelétricas. Desta forma, a gaseificação transformará a biomassa em fonte primária de centrais termelétricas, geralmente a ciclo combinado, cuja produção se baseia na reutilização do vapor produzido e do gás, aumentando todo o rendimento do sistema.

O processo de cogeração como um todo, permite a geração de energia elétrica, concomitante com a produção de energia térmica e de vapor. Como insumo, pode-se lançar mão de todos os combustíveis usados em usinas termelétricas – como é o caso dos óleos, da biomassa e carvão, além do gás natural. A escolha por cada insumo dependerá de sua disponibilidade além das características do consumidor (ANEEL, 2008).

O principal fator que favorece a cogeração reside na reutilização de energia que se perderia durante o processo nas termelétricas usuais. Outro fator importante também é a independência no que diz respeito ao suprimento fornecido por terceiros, como é o caso das distribuidoras e comercializadoras de energia elétrica. Por final, um terceiro aspecto seria a minimização de gases tóxicos lançados na atmosfera (ANEEL, 2008).

O insumo da cogeração na indústria sucroalcooleira é a biomassa produzida a partir da extração do caldo da cana, o bagaço. Entre as opções do que se fazer com o bagaço da cana-de-açúcar, uma abordagem foi realizada em usinas na região de Piracicaba, analisando o que seria mais vantajoso economicamente: para cogeração de energia ou para produção de etanol de segunda geração. Concluiu, nesta ocasião, que as duas destinações são sinérgicas, porém os Contratos de fornecimento de energia elétrica garantem financiamento e receita estável, ao passo que sem incentivos a produção de etanol de segunda geração não atraia investimentos. (SANTOS, 2015)

Trombeta (2015), defendeu que os diversos níveis de tecnologia para cogeração, o manejo adequado e otimizado dos insumos, a falta de investimentos e cenários econômicos recessivos, dificultam a utilização de forma efetiva do potencial de geração e máximo uso da biomassa no curto prazo.

Muitos outros estudos abordaram diversos aspectos relacionados à produção de bioeletricidade, como a Competição entre etanol de segunda geração e geração de energia com bagaço, a estratégia para seleção de genótipos para melhorar a produção de bioenergia, o uso de palha de cana-de-açúcar e sorgo para geração de eletricidade em usina sucroalcooleira, respectivamente realizados por Maluf (2014), Silva (2014) e Carvalho (2015).

2.6 Bioeletricidade

A bioeletricidade é basicamente a energia elétrica gerada através da utilização de biomassa de natureza residual e oriunda de processos agroindustriais, tais como: resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha), restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante, dentre outras (CNPEM, 2012; TORQUATO et al.; RAMOS, 2013; ABRACEEL, 2019).

Por ter potencial para produzir etanol e outros subprodutos, a cana-de-açúcar é considerada uma das principais alternativas na área de biocombustíveis. Além de produzir açúcar e etanol, as unidades de produção melhoraram sua eficiência nas últimas décadas, com a cogeração de energia elétrica, contribuindo para aumentar a oferta e reduzir custos no sentido de ampliar a sustentabilidade do setor (CONAB, 2019).

Em décadas passadas, as usinas se destinavam unicamente à geração de etanol e à produção de açúcar. As centrais elétricas de geração eram pouco eficientes, e destinavam-se somente a gerar a energia elétrica necessária para o consumo da própria planta industrial e não havia sequer preocupação com excedentes. A energia elétrica era um subproduto da usina. O bagaço pode atender as necessidades energéticas desse tipo de grupo gerador, podendo também gerar energia excedente, enviados para o sistema elétrico (CNPEM, 2012) (SANTOS, 2012).

O bagaço é uma opção de biomassa importante para conversão de energia por seu potencial energético e disponibilidade anual, (SANTOS, 2015).

Há décadas, uma grande quantidade de usinas não conseguia trabalhar com a imensa quantidade do bagaço que era produzido durante a fabricação de açúcar e

etanol que, portanto, era vendido como insumo para outras indústrias ou então queimado sem qualquer critério ou aproveitamento energético algum (SANTOS, 2012).

Acredita-se que, mesmo com os avanços atuais da tecnologia, a utilização da biomassa como insumo para geração termelétrica ainda não foi totalmente explorada. Tanto a cogeração pela utilização do bagaço de cana-de-açúcar quanto a geração eólica apresentam como vantagem a complementariedade da oferta de energia em períodos de menor produtividade hidrelétrica, referentes aos períodos de estiagem, em que os reservatórios das usinas baixam. Tais períodos coincidem com a época de melhor aproveitamento dos ventos e o pico da safra da cana (GREENPEACE, 2008).

A biomassa vista como fonte de energia tem se mostrado de maneira crescente no Brasil, de maneira especial em sistemas de cogeração (por onde se obtém energia térmica e elétrica concomitantemente) (ANEEL, 2008).

A utilização de qualquer resíduo industrial como insumo energético é, por definição, a base das energias renováveis e sustentáveis. É uma energia limpa, eficiente, e que é produzida a partir da cogeração. O processo de cogeração possui índices significativos de eficiência (SOUSA et al., 2010).

Quando a produção de etanol e açúcar se relaciona com a energia hidrelétrica, torna-se possível fomentar a distribuição próxima aos centros de consumo e ainda contar com importantes benefícios socioeconômicos e obviamente de ordem ambiental.

Desde a década de 1980, além de atender às necessidades energéticas das unidades agrícolas industriais, o bagaço gera eletricidade excedente que é fornecido para o sistema elétrico brasileiro (ABRACEEL, 2019).

A maneira como se estrutura o setor elétrico e a conjectura energética mundial se mostram extremamente favoráveis ao uso da bioeletricidade. Nesse cenário, como forma de energia renovável, se insere principalmente a produzida através do processo de cogeração, por apresentar elevada eficiência energética (CASTRO et al., 2008). A bioeletricidade a partir da utilização da cana-de-açúcar se

apresenta com uma série de benefícios ambientais (redução de emissões de gases), de natureza econômica (geração de novos empregos) além de garantir suprimentos a partir do processo de descentralização da produção energética (SOUSA et al., 2010).

No Brasil, cerca de 80% de toda a bioeletricidade gerada vem de resíduos da cana-de-açúcar. Para cada mil quilos de cana-de-açúcar moída, para fabricar açúcar e etanol gera-se, aproximadamente, 250kg de bagaço e 200kg de palha e pontas como resíduos (ABRACEEL, 2019).

O bagaço da cana-de-açúcar, desde a época da revolução industrial, tem sido usado na produção de vapor e energia para a fabricação de açúcar e etanol. Por essa característica, sua utilização garante autossuficiência energética das usinas principalmente durante a época da safra (SOUSA; MACEDO, 2010; CNPEM, 2012; ABRACEEL, 2019).

A bioeletricidade advinda do uso da cana apresenta: - competitividade de ordem financeira; - complementariedade sazonal no que diz respeito aos períodos de estiagem; - Maturidade do setor sucroenergético; - Redução das emissões de gases tóxicos; - Proximidade aos centros de consumo (SOUSA; MACEDO, 2010).

A bioeletricidade sucroalcooleira se mostra com uma série de vantagens, além das ambientais, e de natureza socioeconômica (geração de empregos e a utilização de bens de capital) reforça a segurança energética por ser uma fonte de geração distribuída, complementando a geração hidrelétrica (CASTRO et al., 2008).

A produção de energia elétrica busca, a partir do início do século XXI, um desenvolvimento de natureza sustentável, aliando a expansão da oferta, o consumo consciente, e à preservação ambiental com consequente Melhora da qualidade de vida humana (ANEEL, 2008).

A eletricidade gerada a partir do bagaço apresenta-se em complementaridade em ao parque hídrico já instalado, produzindo energia nos meses mais secos do ano. As novas instalações hidrelétricas, devido à grande redução na capacidade reservatórios imposta por restrições físicas e ambientais fomentam ainda mais a necessidade desse complemento (PRIETO, 2003; SOUSA; MACEDO, 2010).

A geração de energia a partir de biomassa é estratégica para ampliar oferta de energia para o sistema interligado nacional pelo fato de ser complementar à hidroeletricidade, contar com a possibilidade de distribuição e proximidade aos principais centros consumidores. A bioeletricidade tem seu potencial reforçado nos meses de estiagem, culminando com o pico da safra da cana-de-açúcar (TORQUATO; RAMOS, 2013).

O potencial de geração da bioeletricidade é determinado em função da safra da cana-de-açúcar. A disponibilidade da quantia colhida determinará então o montante de biomassa residual que ficará disponível para fins de geração de bioeletricidade. O potencial de geração dependerá enormemente da tecnologia empregada para esse fim e determinará o grau de eficiência na conversão da biomassa em energia (SOUSA; MACEDO, 2010).

A bioeletricidade gerada a partir da biomassa da cana-de-açúcar também possui as características de geração distribuída de energia, ou seja, a fonte de geração de energia está próxima ao centro de consumo (SANTOS, 2012). Em 2018, 82% da bioeletricidade fornecida ao Sistema Interligado Nacional (SIN) era proveniente do setor sucroenergético (ABRACEEL, 2019).

A bioeletricidade apresenta importante papel na manutenção de uma matriz energética limpa e de natureza renovável, evitando a contratação das termoeletricas movidas a combustíveis fósseis durante períodos de *back-up* (PRIETO, 2003; SOUSA et al.; MACEDO, 2010).

O planejamento antecipado com o propósito de investir na produção de energia, partindo da utilização de biomassa da cana, deverá atender a alto nível de tecnologia, garantindo o suprimento via disponibilidade de produção através de meios e processos mais eficientes, economicamente viáveis, competitivos e de baixo impacto ambiental (TORQUATO et al., 2013).

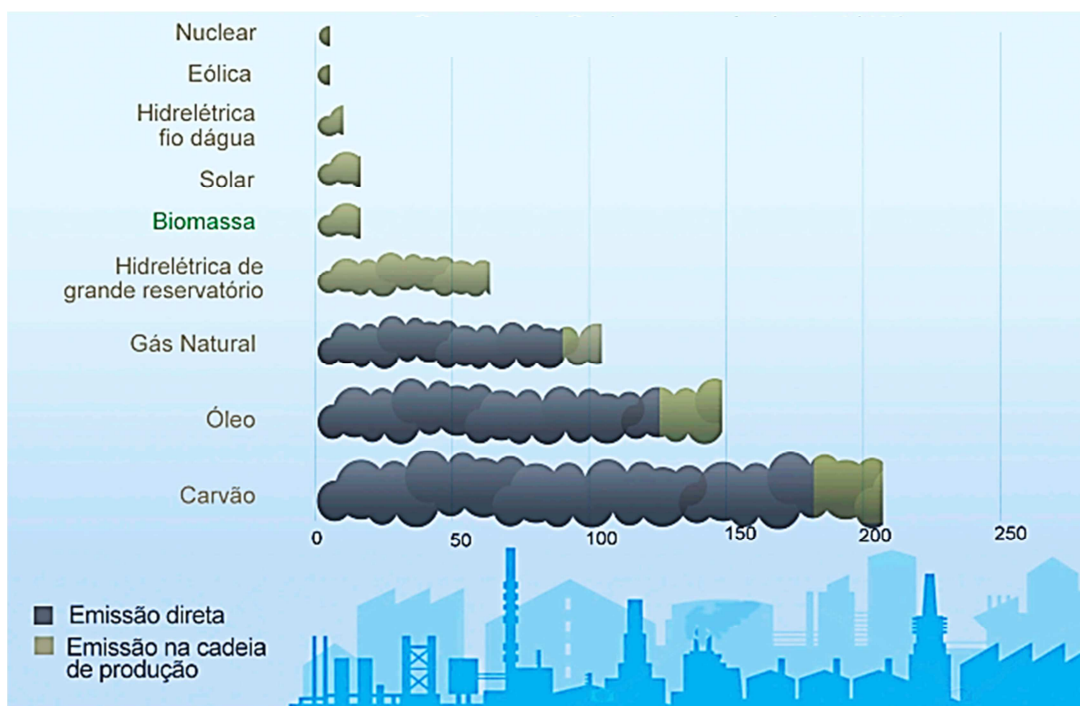
Garantir o suprimento de geração com sustentabilidade ambiental exige investimentos de ordem econômica em fontes de produção renováveis e em eficientes meios de geração e transmissão. A geração de eletricidade a partir da

biomassa se enquadra bem nesse cenário, uma vez que é obtida através de resíduos orgânicos excedentes da fabricação de etanol e de açúcar.

Ademais de limpa e de natureza renovável, a bioeletricidade é produzida perto de grandes centros de consumo de energia, fator que reduz drasticamente as perdas por transmissão. Outro fator positivo se refere à sua complementariedade em relação à geração hídrica, pois o potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa pelas usinas da região Central e Sul do Brasil está concentrado entre abril e novembro, período da safra da cana, que coincide com a seca (UNICA, 2018c).

A bioeletricidade é a fonte termelétrica com as menores emissões por quilowatt-hora em gramas de carbono equivalente, mostrado graficamente na Figura 9, e suas emissões são comparáveis às renováveis intermitentes solar e eólica. Isso se deve ao fato de que durante o ciclo de vida da cana-de-açúcar, o balanço de carbono é quase nulo, pois o gás carbônico emitido durante a combustão na caldeira foi previamente absorvido pelo crescimento da cana, produzindo biomassa. (CNPEM, 2017).

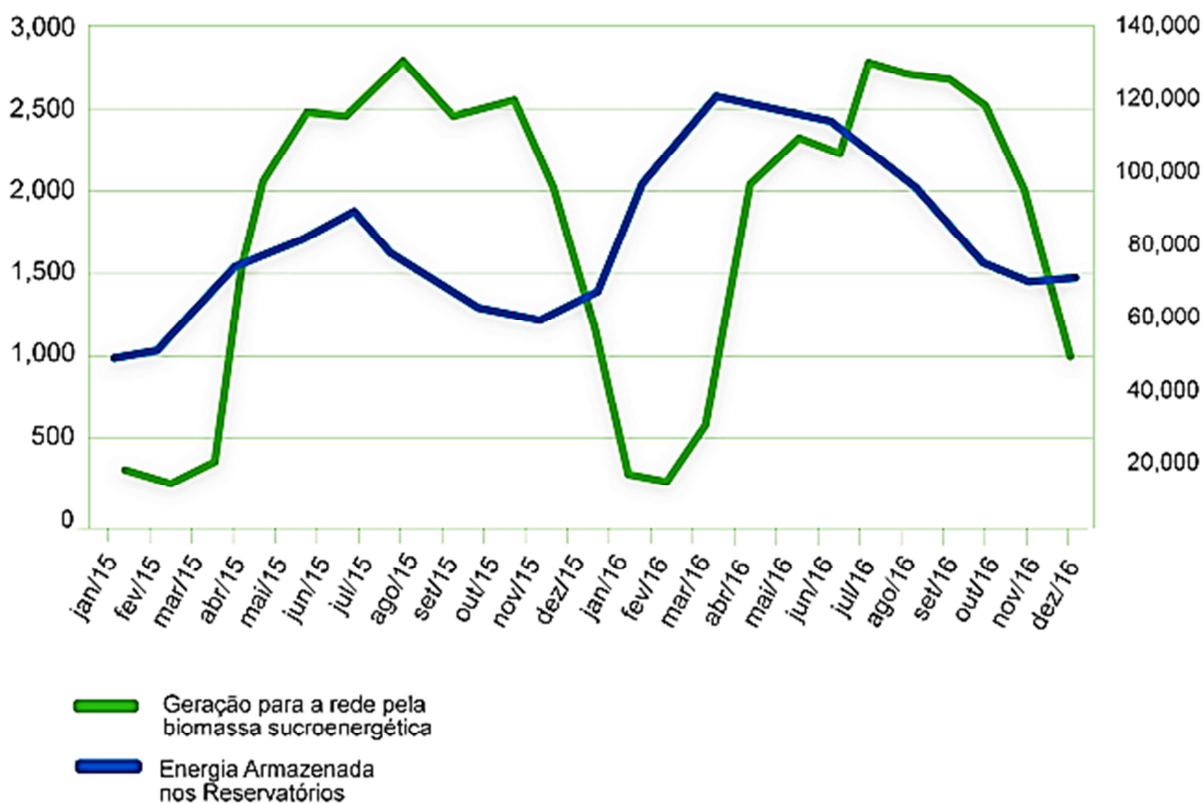
Figura 9 - Gramas de carbono equivalente / kWh



Fonte: CNPEM (2017).

O método de geração de energia no sudeste é complementar à geração hidrelétrica, o que melhora a confiabilidade do sistema elétrico, reduzindo o risco de fornecimento insuficiente de energia e aumento de preços durante as secas (Figura 10) (CNPEM, 2018)

Figura 10 - Complementaridade hidrobiomassa



Fonte: CNPEM (2017).

Os plantios de cana-de-açúcar estão localizados principalmente no submercado SE-CO, sendo assim a usina de biomassa está localizada próximo ao centro consumidor, reduzindo a necessidade de construção de grandes linhas de transmissão e a perda de transmissão correspondente (CNPEM, 2017).

2.6.1 Legislação

São listadas a seguir três das legislações que podem ser aplicadas a sistemas de bioeletricidade:

- Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010, que estabeleceu as condições gerais de fornecimento de energia por meio de atualização e consolidação. Oferece às distribuidoras e consumidores condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Ela lida com contratos, preços, leitura, cobrança, pagamento, distribuidor e responsabilidade do consumidor, compensação de danos elétricos, etc.
- A Resolução nº 432, de 5 de abril de 2011, aprovou a revisão 3 do módulo 3 do programa de distribuição de energia no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).
- Resolução Normativa nº 666, de 23 de junho de 2015, que dispõe sobre a contratação do uso do sistema de transmissão em regime de reserva permanente, flexível, temporária e de capacidade, a forma de fixação dos encargos correspondentes e dá outras providências.

Entre os vários itens de ambas se destacam:

- Resolução 414/2010: Demanda ou MUSD contratados, mínimos, ultrapassagem, redução de demanda, sazonalidade, faturamento de demanda complementar.
- Resolução 432/2011: Faturamento de agentes com dupla contratação, consumidor na entressafra e gerador na safra, reserva de capacidade.
- Resolução 666/2016: Uso do sistema de transmissão em caráter permanente reserva de capacidade.

2.6.2 Políticas nacionais

PROINFA (Programa de Incentivo a Energias Alternativas) - formulado em 2004, visava aumentar significativamente a participação das energias renováveis na matriz energética nacional. Fomentou-se com isso, empreendimentos com base em pequenas centrais hidrelétricas, geração eólica e a biomassa, todos interligados ao Sistema Nacional (MME, 2019a).

O mesmo programa tratava ainda de buscar alternativas para viabilizar segurança no abastecimento de energia no sentido de valorizar as potencialidades de cada região em particular (MME, 2019a).

Renovabio - a Lei nº 13.576 de 2017 estabeleceu uma nova política nacional de biocombustíveis (RenovaBio), que visa ampliar a participação dos biocombustíveis no sistema de transporte do Brasil com base na previsibilidade e sustentabilidade econômica, ambiental e social, além de ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa no país.

De acordo com os compromissos globais do Brasil assumidos na Conferência do Clima de Paris, esta é uma política nacional de descarbonização do transporte e atualmente é considerada o maior plano de descarbonização do transporte do mundo.

2.6.3 Acordos de cooperação

Diversos convênios foram firmados para fomentar o setor sucroenergético, principalmente no estado de São Paulo.

Protocolo Agroambiental – o acordo de cooperação foi assinado pelo Estado em junho de 2007. É representado pela Secretaria Nacional de Agricultura e Abastecimento (SAA) e pela Secretaria de Meio Ambiente (SMA), além da entidade representativa do setor, a União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA). O objetivo é promover a cooperação técnica e institucional entre as partes para criar condições que possibilitem a formulação de um conjunto de ações de forma objetiva e transparente, para consolidar o processo de desenvolvimento sustentável da indústria canavieira no estado de São Paulo. Em março de 2008, o acordo foi assinado também com as regiões Centro e Sul do Brasil, com produtores / fornecedores de cana-de-açúcar representados pela Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA).

O principal objetivo é acabar com as queimadas, preservar o solo, proteger as matas ciliares e as nascentes e reduzir o uso industrial de água (TORQUATO; RAMOS, 2012).

Etanol Verde – o acordo foi firmado entre o Estado de São Paulo, a indústria sucroalcooleira e os produtores, e prevê o fim das queimadas da pré-colheita e a adoção da mecanização, além de estabelecer um compromisso com a proteção das florestas e dos recursos hídricos.

Etanol Mais Verde - definido como ações norteadoras para superar novos desafios e restaurar matas ciliares no Estado de São Paulo, orientado pela necessidade de organizar as atividades agrícolas e industriais e realizar ações que estimulem a sustentabilidade das cadeias produtivas de açúcar, etanol e bioenergia, foi assinado pelo Governo do Estado de São Paulo em junho de 2017, representado pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento e a Companhia Ambiental Paulista - CETESB, e pelo Setor Sucroenergético, representado pela União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo – UNICA e pela Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil – ORPLANA. (IMA)

2.6.4 Certificações

Certificado e Selo Energia Verde – É um programa de certificação bioelétrica criado em 2015 pela UNICA em parceria com a CCEE e com apoio da ABRACEEL.

As plantas que usam combustíveis renováveis oriundos da produção de açúcar e etanol para gerar eletricidade e atendem aos requisitos de eficiência energética podem obter certificados de energia verde.

O Selo Energia Verde aplica-se aos estabelecimentos que adquirem energia renovável em unidades produtoras com certificado de bioeletricidade de qualquer estado da federação e tem como objetivo incentivar e ampliar a participação na matriz elétrica brasileira. E ainda dar ao mercado livre a possibilidade de expressar preocupação com o consumo de energia renovável, estimular o desenvolvimento da bioeletricidade e do próprio mercado livre (ÚNICA).

Certificação Bonsucro – é um programa de certificação global, criado em 2011, para biocombustíveis derivados de cana-de-açúcar que inclui exigências da União Europeia, possibilitando que produtores brasileiros possam atender a

demandas externas. Além das usinas, as indústrias que utilizam açúcar e etanol certificados também podem obter esta certificação.

Os principais objetivos são a determinação de princípios, critérios, indicadores e padrões para a produção de cana-de-açúcar com base no desempenho, promoção de melhoria mensurável nos impactos econômicos, ambientais e sociais da produção e processamento da cana-de-açúcar, e desenvolvimento de um sistema de certificação que permita aos produtores de açúcar e etanol, compradores e outras pessoas obterem produtos da cana-de-açúcar, que são produzidos de acordo com padrões acordados, confiáveis, transparentes e mensuráveis (ASSUMPÇÃO *et al.*, 2019).

2.6.5 Situação atual e expectativa para o futuro

No ano de 2018 o total da capacidade instalada do país era de 157.112 MW. O setor sucroenergético gerou 11.410 MW de eletricidade, valor superior à capacidade instalada da UHE Belo Monte que é de 11.233 MW, representando 7% da potência outorgada no Brasil e 77% da fonte de biomassa (ABRACEEL, 2019).

De acordo com BEN (2018b), a capacidade instalada de geração elétrica a partir da biomassa é de 14.505 MW, sendo que desses, 11.158 MW são relativos a capacidade de produção a partir do bagaço.

Conforme publicado no Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em maio de 2019 existiam 566 usinas de biomassa no país, que correspondiam a um total de 14.904 MW instalados. De todas as plantas relacionadas, 404 são por bagaço de cana 11.438 MW (ANEEL, 2019a); (ANEEL, 2019c); (ANEEL, 2019c).

A principal característica dessas instalações é que são pequenas, com capacidade instalada de até 60 MW, favorecendo sua instalação principalmente próxima a grandes centros consumidores e fornecedores de matéria-prima (Figura 11) (ANEEL, 2008); (ANEEL, 2019d).

Figura 11 - Usinas de biomassa em operação em 2018



Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de ANEEL (2019d).

Conforme estimativas da União da Indústria de Cana-de-Açúcar de São Paulo (UNICA), em 2020, a eletricidade gerada pelo setor estará em torno de 15% do total da matriz energética, com a produção média de 14.400 MW, considerando o potencial energético da palha e do bagaço, e a estimativa da produtividade da cana-de-açúcar, que deverá dobrar em relação ao ano de 2008, atingindo a casa de 1 bilhão de toneladas (ANEEL, 2008).

Em termos de capacidade instalada, em relação à fonte de geração de energia mais importante da matriz energética do Brasil, a bioeletricidade da cana

ocupa a quarta posição, perdendo apenas para água, gás natural e parques eólicos (ABRACEEL, 2019).

Em 2017, a geração de energia a partir do bagaço e da palha foi de 21,4 TWh, representando 5% do consumo nacional de eletricidade, equivalente ao consumo de mais de 11 milhões de domicílios (UNICA, 2018).

Em 2018, o setor sucroenergético forneceu 21,5 TWh de bioeletricidade à rede. Esta geração foi suficiente para (ABRACEEL, 2019); (UNICA, 2019):

- O abastecimento de 11,4 milhões de unidades habitacionais ao longo do ano;
- Evitar emissões de 6,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono, o que só pode ser alcançado com o plantio de 45 milhões de árvores locais em 20 anos; e
- Devido à maior previsibilidade e disponibilidade de bioeletricidade durante os períodos de seca, poder economizar 15% do total de energia armazenada no pool de geração de energia hidrelétrica do submercado SE / CO.

Ao considerar a produção de bioeletricidade para a rede somada com a destinada ao autoconsumo, a bioeletricidade é a terceira fonte mais importante na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), quase igual ao gás natural (ABRACEEL, 2019).

Em 2018, a OIEE foi de 632,1 TWh. A energia hidrelétrica liderou com 67% do OIEE, seguida do gás natural com 8,5%. A geração de energia a partir da biomassa foi de 52,5 TWh, incluindo a parte destinada ao autoconsumo, respondendo por 8,3% do total da oferta nacional. Embora a participação da energia eólica continue aumentando, ela ainda ocupa a quarta posição, respondendo por 7,7% da OIEE em 2018 (ABRACEEL, 2019).

Tanto a evolução na regulamentação, legislação, quanto melhorias nos programas governamentais, estimularam os empreendimentos na área. A ANEEL estabeleceu novas condições de acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN), oferecendo espaço para interligação de termelétricas instaladas em usinas de

açúcar e álcool afastadas dos grandes centros, como é o caso das de Mato Grosso (ANEEL, 2008).

Contratos realizados entre a Secretaria de Saneamento e Energia de São Paulo, a transmissora Isa Cteep, a Unica e a Associação Paulista de Cogeração de Energia, estabeleceram novas condições para facilitar o acesso à rede de transmissão de São Paulo e à obtenção de licenciamento ambiental. Tal iniciativa viabilizou a instalação de 5 TW por parte do setor sucroalcooleiro (ANEEL, 2008).

O consumo de energia no mercado livre em 2018 foi de 19.084 MWmed, o que representou 30% de todo o consumo de energia elétrica do país, um aumento de 4,2% em relação aos 12 meses anteriores (ABRACEEL, 2019).

Em fevereiro de 2019, 80% do consumo industrial de energia elétrica no Brasil foram atendidos via mercado livre (ABRACEEL, 2019).

O setor elétrico brasileiro deverá passar por um processo de modernização, e a abertura do mercado é uma das principais diretrizes para sua reforma. O crescimento esperado do mercado livre também estimulará a comercialização de novos projetos bioelétricos, concretizando o potencial latente dos canaviais brasileiros (ABRACEEL, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O trabalho foi desenvolvido na UNESP – Faculdade Ciências Agrônômicas, na Fazenda Experimental Lageado localizada no município de Botucatu, São Paulo.

Os dados coletados foram divididos entre dados de produção do setor sucroalcooleiro e dados energéticos. Em relação a produção do setor sucroalcooleiro foram utilizados os seguintes materiais como fontes de dados:

- Publicados pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA:
 - Barreiras Regulatórias para Comercialização de Eletricidade por Usinas Sucroalcooleiras Barreiras Regulatórias para Comercialização de Eletricidade por Usinas Sucroalcooleiras;
 - Relação de Usinas geradoras de bioeletricidade e consumidores livres certificados;
 - Números da Bioeletricidade 2018 ano base 2017.
- Publicados pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB vinculada ao vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA do Governo Federal:
 - Perfil do Setor Sucroalcooleiro
 - Série Histórica das Safras

Em relação aos dados energéticos foram utilizados os seguintes materiais como fonte de dados:

- Publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME do Governo Federal:
 - Banco de Informações de Geração – BIG que fornece informações sobre a Capacidade de Geração do Brasil, sobre a Matriz de Energia Elétrica, sobre as Fontes de Energia Exploradas no Brasil, Usinas e Centrais Geradoras, Cogeração Qualificada.

- Publicados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME do Governo Federal:
 - Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis dos anos de 2010 a 2017;
 - Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2011 - Ano base 2010 a 2018 – Ano base 2017.
 - Balanço Energético Nacional dos anos de 2006 – Ano base 2005 a 2018 – Ano base 2017 e mais as Séries Históricas Completas de 1970 a 2017.
 - Plano Decenal de Expansão de Energia de 2015 a 2027.
- Publicados pela Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia - ABRACEEL
 - A bioeletricidade da cana e o mercado livre de energia elétrica no Brasil

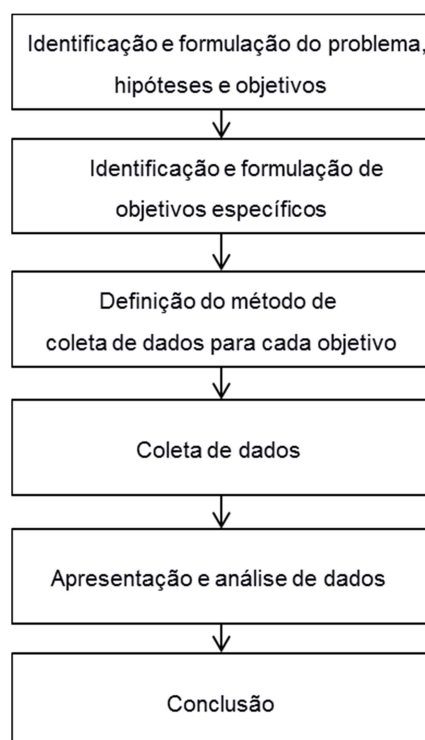
3.2 Métodos

Esta pesquisa é do tipo aplicada, uma vez que produziu conhecimento destinado a solução de um problema específico. Do ponto de vista da forma como o problema é resolvido, segundo o método proposto por Silva e Menezes (2001), ele é classificado como quantitativo por utilizar dados não correlacionados. Para correlacioná-los foram utilizadas técnicas de estatística com diversas ferramentas de análise.

Para atingir os objetivos foi utilizado o conceito de pesquisa descritiva de caráter exploratório uma vez que se analisou dados a fim de confirmar hipóteses e explicou as características dos dados de diversas variáveis. Com relação aos procedimentos técnicos classifica-se como bibliográfica pois utilizou materiais já disponibilizados e também documental uma vez que esses dados em sua maioria não receberam tratamento analítico, conforme Gil (2017), também respaldada por Cervo, Bervian e Silva (2007), que defendem a visão de que a pesquisa exploratória ajuda a descrever com precisão o processo a ser descoberto.

Em relação ao planejamento da pesquisa, este trabalho seguiu o método proposto por Silva e Menezes (2001):

- Fase decisória: onde foi escolhido o tema e realizada a delimitação do problema de pesquisa;
- Fase construtiva: onde foram elaboradas as pesquisas de dados e a execução da pesquisa em si;
- Fase redacional: momento em que foram realizadas as análises dos dados e demais informações coletadas na fase anterior. Ainda nesta fase foi realizada a sistematização do trabalho e a elaboração do texto final.



A partir da definição do problema e objetivos de pesquisa, as seguintes etapas foram desenvolvidas conforme sugerem Cervo, Bervian e Silva (2007), quais sejam: pesquisa bibliográfica, seleção da amostra, coleta de dados, análise de dados e delineamento das conclusões.

A fim de determinar o nível técnico do assunto, uma ampla revisão da literatura foi realizada de acordo com o método de Souza et al. (2010), é um método para fornecer a síntese do conhecimento e a integração da aplicabilidade de resultados de pesquisas importantes na prática, baseado em dados teóricos e empíricos e em métodos rigorosos de pesquisa e seleção, coletando, sintetizando e interpretando dados, gerando um panorama compreensível de conceitos complexos.

Com a revisão foram obtidas contribuições em consonância com o exposto por Silva e Menezes (2001):

- Informações sobre o status atual do tópico ou problema de pesquisa;
- Publicações existentes sobre este assunto e aspecto que já foram resolvidas;
- Opiniões sobre o assunto ou aspectos relacionados ao assunto, ou questão de pesquisas semelhantes e diferentes.

Para esta revisão, que delimitou o problema a ser estudado, foram utilizadas as bases disponíveis a partir do Portal de Periódicos CAPES/MEC e biblioteca física, especialmente a da FCA/UNESP.

Pesquisa bibliográfica ou recursos secundários dirigidos por Lakatos e Marconi (2007) apud Pereira et al. (2018) abrangeu todas as bibliografias relacionadas aos tópicos da pesquisa que foram publicados, incluindo publicações individuais, boletins informativos, jornais, revistas, livros, estudos, monografias, artigos, materiais, etc.

Os dados foram coletados de fontes expostas e outras fontes selecionadas durante a execução do projeto. Os dados foram classificados de forma temporal, tabulados e organizados de modo a que pudessem ser realizadas as análises.

Posteriormente foram sintetizados e foram estabelecidas relações entre as variáveis que influenciam a geração de eletricidade a partir da biomassa integrada ao processo produtivo das usinas. Após análise dos dados as conclusões responderam aos objetivos gerais e específicos da pesquisa, com considerações de possíveis ações futuras tanto para os casos analisados quanto para continuidade desta pesquisa.

As limitações da pesquisa e as ações pertinentes foram estabelecidas conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Limitações e ações pertinentes

<i>Limitações da pesquisa</i>	<i>Ações pertinentes</i>
Dados brutos do setor sucroalcooleiro e do setor energético	Elaboração de filtros de dados para coleta de dados que fossem relacionados ao escopo do trabalho.
Base temporais de dados diferentes	Escolha de fontes de dados que fossem comuns ao que se pretendeu no trabalho.
Baixa correlação entre as variáveis	Identificação de correlações entre questões pertinentes a um mesmo princípio de gestão da qualidade. Entretanto, baixos coeficientes de correlação não puderam ser descartados e precisaram ser explicados descritivamente

3.3 Análises realizadas

Foi utilizada estatística descritiva para a coleta, a organização e a descrição dos dados, conforme orienta Castanheira (2013) e Crespo (2017). Para análise e interpretação dos dados foi utilizada estatística indutiva ou inferencial também recomendada pelo mesmo autor.

Ressalta-se que dada a quantidade de dados, o uso da estatística foi imprescindível para proporcionar conclusões e explicações dos dados originais. A abordagem estatística seguiu as orientações de Crespo (2017) com as etapas que são coleta de dados, crítica de dados, verificação de dados, exposição e apresentação de dados e análise de resultados. Por fim, foi realizada análise do conteúdo obtido para responder a hipótese deste trabalho sobre o atendimento da demanda de energia elétrica brasileira pela energia gerada no setor sucroalcooleiro.

As curvas representativas de tendências foram obtidas utilizando-se o método de análise de regressão, que quantifica e infere a relação entre variáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A grande maioria dos autores indicam uma tendência crescente à participação na matriz energética por parte da bioeletricidade com o passar dos anos, além do fomento a um desenvolvimento tecnológico e sócio científico associados (CASTRO; DANTAS, 2008; SOUSA; MACEDO, 2010; CNPEM, 2012; ABRACEEL, 2019).

Diante deste cenário, a contribuição principal do trabalho foi a de evidenciar a participação da bioeletricidade proveniente da cogeração em usinas de cana-de-açúcar, através da análise de dados energéticos e de produção de diversos órgãos governamentais e não governamentais e entidades setoriais, a fim de traçar uma perspectiva futura da inserção dessa fonte de energia na matriz elétrica brasileira.

Além disso, foram realizadas análises das séries históricas de dados, relação e intercorrelação entre dados de produção e dados energéticos de diversas fontes, análises estatísticas entre as variáveis envolvidas para tendências futuras, bem como estudos das políticas energéticas brasileiras.

Existe uma diferença entre a geração de bioeletricidade e o potencial existente para sua produção. Isto se deve à necessidade de políticas setoriais de longo prazo com claras diretrizes para a diminuição desta diferença. As ações que ajudariam neste sentido dentre outras são as seguintes:

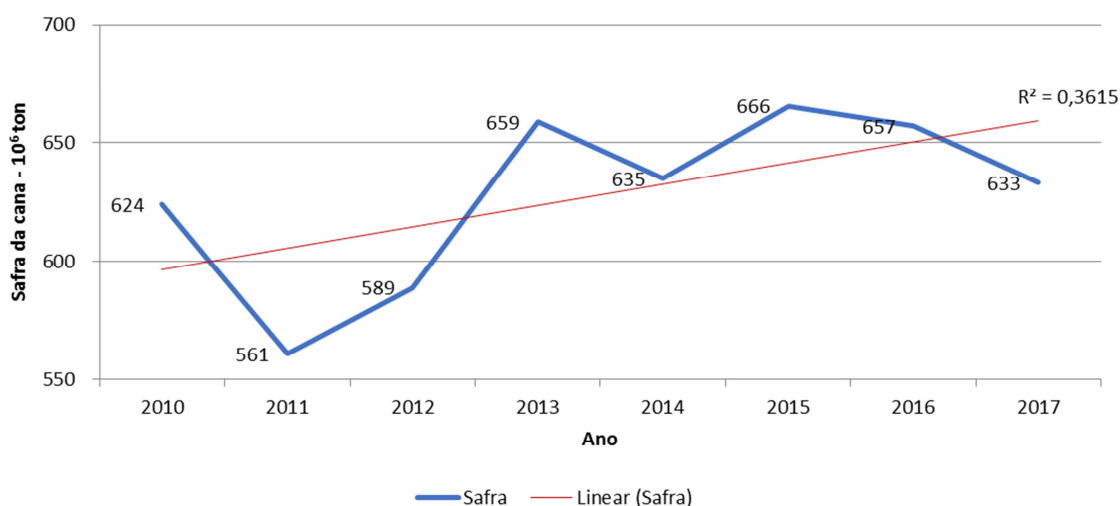
- Promover a contratação regular e crescente, em leilões no ambiente regulado, com preços pelo quais os geradores podem ser remunerados, combinado com as externalidades da bioeletricidade e as características de cada projeto.
- Resolver a judicialização da liquidação financeira no mercado de curto prazo (MCP). Desde 2015, os produtores de energia de biomassa não têm conseguido obter pagamentos integrais pela energia excedente além de seus compromissos contratuais.
- Aprimorar a metodologia de verificação da garantia física de energia (GFE), que determina a quantidade de energia elétrica que pode ser contratada no mercado. Estimativas indicam que, no curto / médio prazo, o setor sucroenergético aumentaria em mais de 20% a geração de energia sem ter que investir em capacidade instalada. A definição de GFE utilizada em usinas

de biomassa não incentiva os geradores a produzirem energia dentro de seus limites de capacidade, inibindo assim o fornecimento potencial no momento crítico de falta de energia, e custo alto para o usuário final.

Melhorias no ambiente de negociações relativos à bioeletricidade com o desenvolvimento de uma política de incentivo ao investimento em contribuição para o desenvolvimento e sucesso da bioeletricidade e RenovaBio, cenário esse em que, efetivamente, a produção de etanol no país vai expandir. Etanol e bioeletricidade são produtos irmanados e necessitam de ambiente de negociações atraente para investimentos no aproveitamento de suas potencialidades.

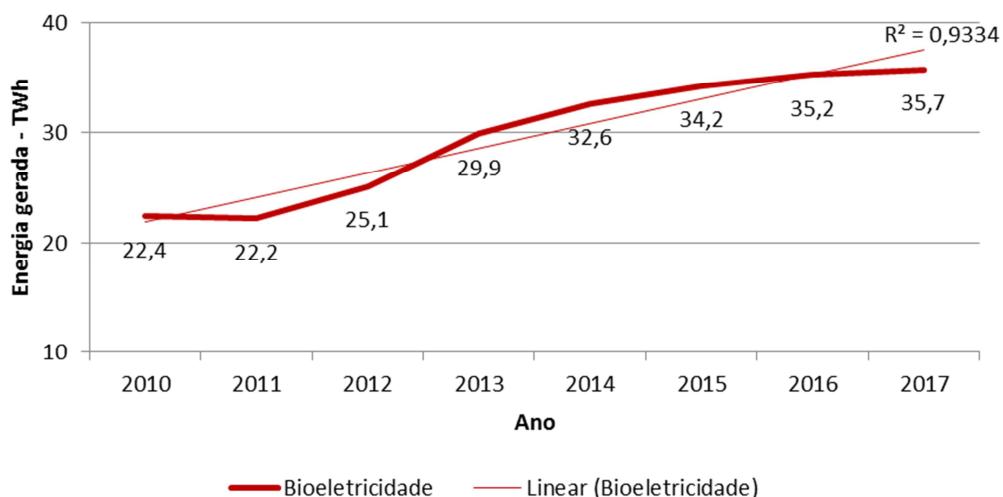
Analisando as séries históricas da safra da cana e da contribuição da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira, ainda que os coeficientes de determinação de cada uma não estejam próximos entre si, há tendência de crescimento em ambas e fica evidente a relação existente entre a produção agroindustrial e a de eletricidade, conforme demonstrado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Tendência da safra da cana baseada na série histórica de produção de cana-de-açúcar entre 2010 e 2017



Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de CONAB (2020)

Figura 13 - Tendência da bioeletricidade sucroenergética baseada na geração total entre 2010 e 2017



Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de ÚNICA (2018)

Além das séries históricas com tendência crescente, devem-se considerar os dados publicados que apontam que em maio de 2019 existiam 566 termelétricas movidas a biomassa no país, que correspondiam a um total de 14.904 MW instalados. Deste total de usinas, 404 eram por bagaço de cana sendo responsáveis por 11.438 MW instalados. (ANEEL, 2019a; ANEEL, 2019c; ANEEL, 2019c).

Destas 404 usinas sucroenergéticas em operação, 57% comercializavam bioeletricidade e exportavam energia para o SIN. Dentre eles, alguns atuavam exclusivamente no ACL (53%) ou ACR (9%), e o restante (38%) comercializavam nos dois ambientes de contratação (ABRACEEL, 2019). O potencial desse total de usinas é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Potencial elétrico em usinas termoeletricas em operação no Brasil, por fonte

Fonte primária	Quantidade	Potência Outorgada (GW)	Potência Fiscalizada (GW)	% fiscalizado
Bagaço de Cana de Açúcar	404	11,5	11,4	99,17

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de ANEEL (2019a).

Atualmente, apenas 15% do potencial bioelétrico da cana-de-açúcar é aproveitado. Se a biomassa existente nos canaviais fosse totalmente explorada, o potencial técnico da bioeletricidade chegaria a 146 TWh, o que seria quase 7 vezes o valor previsto em 2019, e que atenderia o mercado para mais de 30% do consumo de energia do Brasil (ABRACEEL, 2019; UNICA, 2019).

Em 2023, o potencial de geração de energia a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar é estimado em 20,2 GW em média. Isso equivale à produção de energia de mais de quatro usinas de Belo Monte. (UNICA, 2018c).

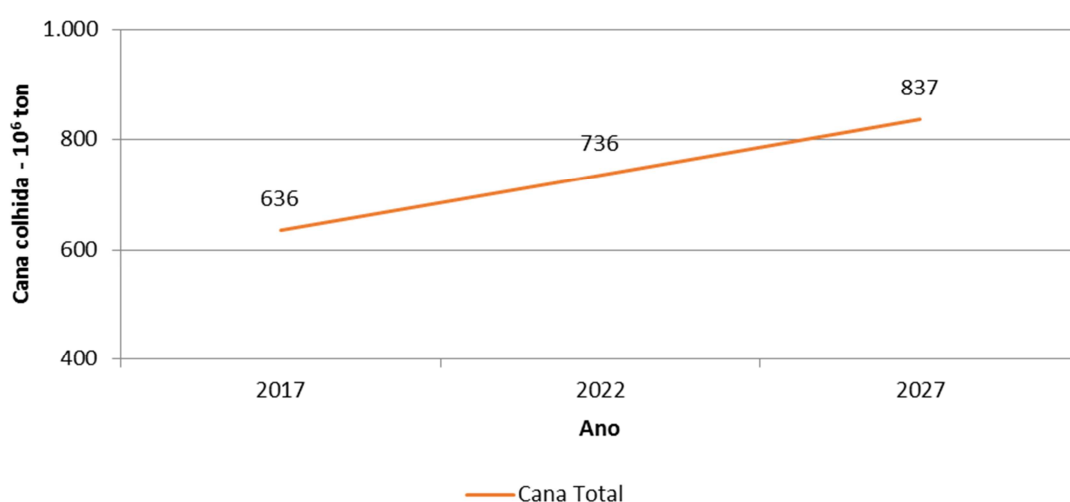
Combinando as condições do RenovaBio, plano nacional de estímulo à produção de biocombustíveis, e um bom ambiente de negócios no setor elétrico, a bioeletricidade sucroenergética tem potencial para crescer mais de 50% até 2027. Partindo de 21,5 TWh em 2018 até 33 TWh em 2027. (ABRACEEL, 2019, UNICA, 2019).

Mesmo assim, em 2027, estaríamos usando apenas 17% do potencial técnico para gerar eletricidade, o que mostra que a bioeletricidade também pode fornecer a possibilidade de uma resposta positiva à expectativa de expansão do mercado livre.

Dados e estimativas constantes no Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 - PDE 2027 (EPE, 2018) indicam a trajetória de consumo e produção de energia ao longo da década 2017-2027. Por meio dos indicadores do cenário brasileiro, é possível observar a produção de bioeletricidade e sua inserção na matriz elétrica brasileira nesta década, objeto deste estudo.

Segundo estimativas apontadas, a área de colheita de cana-de-açúcar aumentará de 8,7 milhões de hectares em 2017 para 9,9 milhões de hectares em 2027. Partindo-se desta informação e da estimativa de produtividade desta cultura, a projeção da quantidade de cana colhida salienta que está crescendo a uma taxa de 2,8% ao ano, atingindo 837 milhões de toneladas em 2027, conforme a figura 14.

Figura 14 - Projeção de cana colhida no período decenal de 2017 a 2027



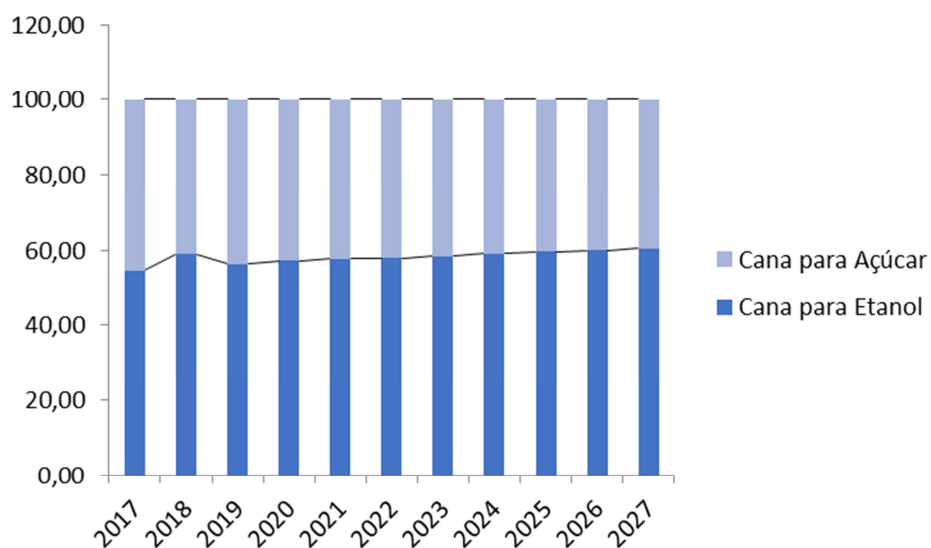
Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Na Tabela 2 e Figura 15 pode ser verificada quantitativamente a destinação final da cana entre açúcar e etanol.

Tabela 2 - Destinação final da cana entre açúcar e etanol

Indicador (10 ⁶ ton)	Variação média					
	2017	2022	2027	2017 - 2022	2022 - 2027	2017 - 2027
Cana para açúcar	288	310	331	1,7%	1,3%	1,4%
Cana para etanol	348	426	506	4,3%	3,5%	3,8%
Cana total	636	736	837	3,1%	2,6%	2,8%

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Figura 15 - Projeção do produto da cana

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Nesse contexto, o percentual da cana-de-açúcar utilizado para o etanol ficará na faixa de 55% em 2017 e 60% em 2027, aumento que se dará devido à maior demanda estimada pelo biocombustível, e também pela capacidade de conversão da cana em açúcar ou etanol de acordo com sua qualidade (ATR da cana - Açúcar Total Recuperável). Para tomar essa decisão, leva em consideração as maiores margens de lucro da *commodity* açúcar e a possibilidade de participação do Brasil no seu comércio mundial, o valor necessário para atender a demanda é retirado do ATR total, obtendo-se a parte destinada ao etanol.

Para analisar e responder a questão central do trabalho sobre a capacidade da bioeletricidade suprir as necessidades de energia elétrica futura do Brasil, é preciso entender os indicadores chave que apontam para o crescimento da demanda energética. Fatores demográficos, macroeconômicos e setoriais, e fatores relacionados à eficiência energética e autoprodução são determinantes da dinâmica do consumo de energia elétrica. Por exemplo, a população, o número de domicílios e o número de residentes por domicílio determinam o número de ligações à rede no setor residencial; o PIB e o PIB per capita influenciam na projeção do consumo médio por consumidor, que se relaciona com a renda. Para a classe de comércio e

serviços também são utilizadas essas mesmas variáveis. Já o setor industrial não está apenas relacionado com a economia nacional, mas também com a economia mundial. A autoprodução é relevante para este setor, pois evita o consumo de parte da eletricidade da rede, reduzindo o investimento na expansão do parque de geração/transmissão de energia do Setor Elétrico Brasileiro.

A evolução crescente de alguns indicadores que estão na Tabela 3, indica uma maior necessidade de energia elétrica no futuro.

Tabela 3 - Indicador de consumo energético

Indicador	2017	2022	2027	Variação média		
				2017 - 2022	2022 – 2027	2017 - 2027
População (10 ⁶ hab)	208	215	221	0,7%	0,5%	0,6%
PIB 10 ⁹ reais	6.560	7.505	8.696	2,7%	3%	2,9%
PIB Per capita (10 ³ R\$/hab)	31	35	39	2,1%	2,5%	2,3%
Consumo total (TWh)	526	631	753	3,7%	3,6%	3,6%

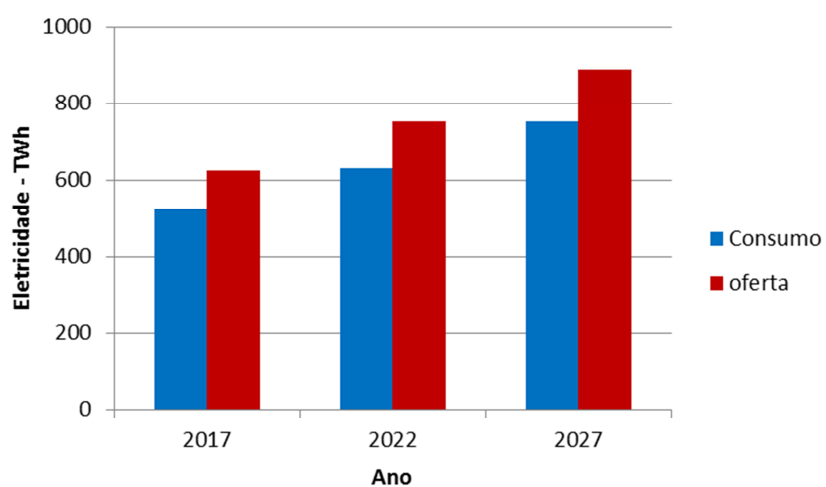
Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

A partir destes indicadores pode-se comparar o consumo e a oferta de energia elétrica, conforme indicado na Tabela 4 e Figura 16, auxiliando a tomada de decisão frente aos diversos setores.

Tabela 4 - Consumo e oferta de eletricidade

Indicadores	2017	2022	2027	2017 - 2022		2022 – 2027		2017 - 2027	
				Incremento	%	Incremento	%	Incremento	%
Consumo total de Eletricidade (TWh)	526	631	753	105	20%	122	19%	227	43%
Oferta Interna de Energia Elétrica (Produção + Importação)	624	752	888	128	20%	136	18%	264	42%

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

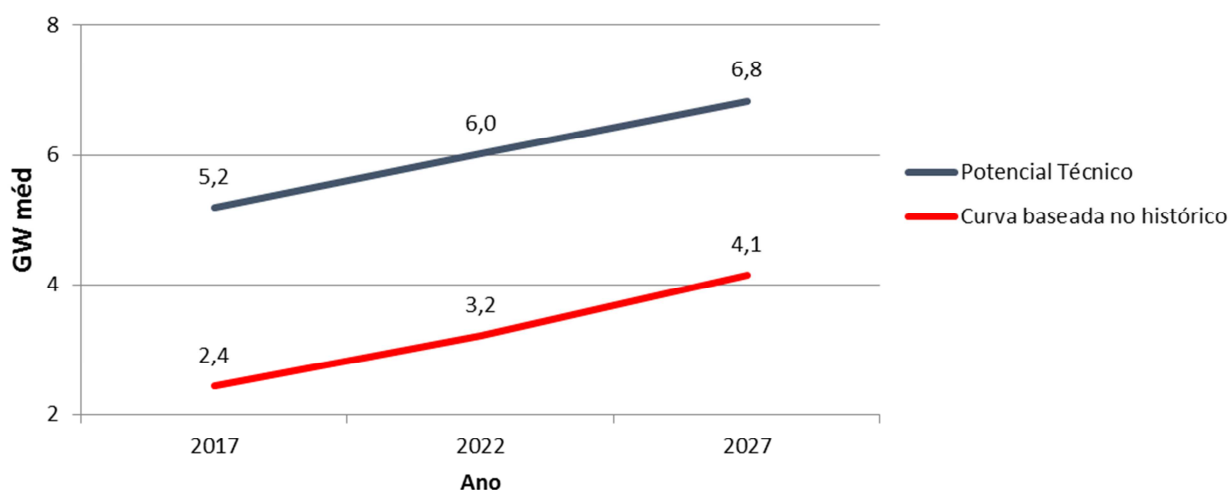
Figura 16 - Comparativo entre consumo e oferta de energia elétrica

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Nota-se que a oferta de eletricidade se mantém acima do consumo em aproximadamente 20%.

O fornecimento de bioeletricidade ao longo de um período de tempo pode ser analisado com base na previsão de fornecimento de biomassa da cana-de-açúcar, que será processada para atender à produção de etanol e açúcar em dez anos. Estima-se a oferta de bioeletricidade em dois cenários, um calculado com o potencial técnico, e outro com a curva de exportação para o SIN baseada no comportamento histórico do setor, conforme a Figura 17.

Figura 17 - Potencial técnico e histórico da bioeletricidade



Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Observa-se que até 2027, o potencial técnico atingirá a média de 6,8 GW, quase 66% superior à previsão de base histórica.

Tabela 5 - Indicadores da energia elétrica

Indicadores (TWh)				2017 - 2022		2022 - 2027		2017 - 2027	
	2017	2022	2027	Incremento	%	Incremento	%	Incremento	%
Consumo Total	526,0	632,0	753,0	106,0	20,2	121,0	19,1	227,0	43,2
Consumo residencial	134,2	162,1	198,5	27,9	20,8	36,4	22,4	64,3	47,9
OIEE	624	752	888	128,0	20,5	136,0	18,1	264,0	42,3
Oferta de Bioeletricidade Histórica	21,3	28,2	36,3	6,8	32,1	8,1	28,9	15,0	70,2
Oferta de Bioeletricidade Potencial	45,5	52,7	59,9	7,2	15,8	7,2	13,6	14,4	31,6

Fonte: elaborado pela autora com dados extraídos de EPE (2018).

Comparando a oferta de bioeletricidade para o SIN, com os dados e indicadores fornecidos a partir do consumo total de energia elétrica, constata-se que o consumo residencial vai se manter em torno de 25% do total, e a bioeletricidade potencial entregue ao SIN em torno de 7% do total. Conforme a tabela 5.

Sendo assim, o potencial de bioeletricidade entregue ao SIN poderá suprir aproximadamente 30% do consumo residencial ao longo da década.

5 CONCLUSÃO

Devido a uma recuperação abaixo do esperado, as expectativas de crescimento econômico têm sido baixas nos últimos anos. A dificuldade de aprovação de reformas importantes, a formação de um ambiente de negócios que possa restaurar o investimento de forma mais robusta, o surgimento de uma pandemia e sua dificuldade de enfrentamento, são fatores que contribuíram para a desaceleração do crescimento apresentado neste estudo.

Há uma tendência crescente de eletrificação da economia no período 2017-2027, evidenciada pela tendência de incremento no consumo em torno de 43%.

Com base no comportamento histórico da geração com uso do bagaço, seu potencial técnico e a previsão da oferta de bioeletricidade, indicam que há muito a ser explorado, o que indica que a bioeletricidade estará cada vez mais inserida na matriz energética nacional.

O potencial de bioeletricidade entregue ao SIN poderá suprir aproximadamente 30% do consumo residencial ao longo da década. Isto representa atender a aproximadamente 25 milhões de residências.

Sendo assim, a bioeletricidade por si só não será capaz de suprir a demanda de energia elétrica total do Brasil. Ainda que vejamos um aumento na sua contribuição à matriz elétrica brasileira, outras fontes serão necessárias e continuarão a compor essa matriz.

Conforme explorado neste trabalho, ao final de 2027 a parcela renovável da matriz energética atingirá 48%, e 86% da oferta de energia elétrica terá origem em fontes renováveis.

Segundo apurado, ações que promoveriam maior contribuição da bioeletricidade à matriz elétrica passam pelo incentivo da contratação regular e crescente em leilões no ambiente regulado, com preços que remunerem o gerador e que incorporem as externalidades da bioeletricidade, bem como as características de cada projeto; equacionamento da judicialização nas liquidações financeiras no mercado de curto prazo (MCP); e melhoria dos métodos de revisão de garantia de

energia física (GFE), que determina a quantidade de eletricidade que pode ser contratada no mercado.

Algumas políticas públicas e acordos liderados pelo Estado de São Paulo e entidades setoriais podem se traduzir em números e resultados positivos, como os observados durante a implantação do Protocolo Ambiental. O número de colhedoras passou de 917 em 2007 para 2.856 em 2013/14, o que significa que o investimento realizado pelas usinas signatárias e seus fornecedores aumentou mais de 310%; redução da queima da palha, interrompendo a emissão de mais de 26,7 milhões de toneladas de poluentes e 4,4 milhões de toneladas de gases de efeito estufa, e o aumento de mais de 3.000 hectares de áreas ciliares entre as safras 2009/10 e 2013/14, além da redução do consumo de água no processamento industrial da cana-de-açúcar. Vale ressaltar que o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético é um acordo voluntário, demonstrando a boa vontade do setor na implantação de boas práticas em suas lavouras e plantas agroindustriais.

Anualmente os dados de acompanhamento são atualizados pelos signatários, renovando seus Certificado Etanol Verde, o que reconhece os esforços das usinas e associações de fornecedores de cana em atender às Diretivas Técnicas do acordo.

Embora limitações tenham sido identificadas, e outras possam ser apontadas, acredita-se que esta pesquisa possibilite compreender melhor a situação energética no Brasil e onde a bioeletricidade está inserida. Pesquisas futuras podem usar dados mais amplos, incluindo outras fontes de energia para análise comparativa. Recomenda-se também a realização de pesquisas contínuas sobre os dados tendo em vista a dinâmica do setor elétrico e agroindustrial.

Por fim, esta pesquisa é apenas uma contribuição para o conhecimento da bioeletricidade gerada nas indústrias sucroalcooleiras. Considerando a importância deste tema, acredita-se que ainda haja muito trabalho a ser feito no campo da pesquisa nesta área, sendo um campo fértil de trabalho para outros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

- ABRACEEL – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia – **A bioeletricidade da cana e o mercado livre de energia elétrica no Brasil**, Brasília, 2019. 7p.
- ALDABÓ, R. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber Editora, 2001. 252p.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 09 set. 2010. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/>
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 432, de 05 de abril de 2011**. Aprova a Revisão 3 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Brasília, 05 abr. 2011. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/>
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 666, de 23 de junho de 2015**. Regulamenta a contratação do uso do sistema de transmissão em caráter permanente, flexível, temporário e de reserva de capacidade, as formas de estabelecimento dos encargos correspondentes e dá outras providências. Brasília, 23 jun. 2015. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/>
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. Brasília. Aneel, 2008. 236 p.
- ANEEL – Agência Nac. de Energia Elétrica. **Fontes de Energia**. 2019a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>>. Acesso em: 29 maio 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Biomassa**. 2019b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse_fn1.cfm>. Acesso em: 29 maio 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Fonte Nível 1: **Agroindustriais**. 2019c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse_fn2.cfm>. Acesso em: 29 maio 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2019d. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelListaUsinas.asp>>. Acesso em: 29 maio 2019.
- ASSUMPÇÃO, A. L.; PRATES, G. A.; GALLI, L. C. L. A.; TAMASHIRO, H. R. S. **Indicadores de sustentabilidade, definidos no padrão de produção bonucro de usinas sucroenergéticas do estado de São Paulo visando o mercado Europeu**. Brazilian Journal of Development, vol. 5, no. 8, p. 11634–11654, 2019.

<https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-034>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. 2019a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa>>. Acesso em: 29 maio 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energias Renováveis no Brasil**. 2019b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa/o-programa/energias-renovaveis>>. Acesso em: 29 maio 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energias Contempladas**. 2019c. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa/o-programa/tecnologias-contempladas>>. Acesso em: 29 maio 2019.

CARVALHO, D. J., **Geração de bioeletricidade em usina sucroalcooleira utilizando bagaço, palha de cana e sorgo de biomassa**. 2015. 154 f., Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

CASTANHEIRA, N. P. **Estatística aplicada a todos níveis.**, São Paulo. Editora Ibopec, 2013; 256 p.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A. **'Lições do PROINFA e do leilão de fontes alternativas para a inserção da bioeletricidade sucroalcooleira na matriz elétrica Brasileira**. in: *Congresso Internacional de Bioenergia*. 2008

CNPEM – Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais. **Cartilha da Bioeletricidade**. Campinas, 2017. 24p.

CEISE – Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis. **Setor Sucroenergético no Brasil - Uma Visão para 2030**. Sertãozinho, 2016. 8p.

CERVO, A. L; BERVIAN, P. A; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo, Pearson, 2007. 176p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil**. Brasília, Conab, 2017. 61 p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, Conab, 2019. 58 p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Série histórica das safras**. Brasília, Conab, 2020.

Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. **O futuro é agro**. 2018 – 2030. Brasília, 2018. 53 p.

CORRÊA NETO, V; RAMON, D. **Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Cogeração no Setor Sucroalcooleiro**. Brasília. SETAP, 2002. 116p.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. Editora Saraiva', 2017. 224p.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanço Energético Nacional 2018 – Relatório Síntese - Ano Base 2017**. Rio de Janeiro, R.J., 2018a. 62 p.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanço Energético Nacional 2018 - Ano Base 2017**. Rio de Janeiro, 2018b. 294p.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Rio de Janeiro, 2018.

IMA – Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Etanol Verde**. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/etanolverde/>>.

Neves, M. F., Trombin, V. G., Consoli, M. A. **Mapeamento e quantificação do setor sucoenergético**. Ribeirão Preto: Markestrat, 2009. 36 p.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2017. 192 p.

GOES, T.; MARRA, R.; SOUZA, G. S., **Setor sucroalcooleiro no Brasil: Situação atual e Perspectivas**. Brasília: Embrapa, 2008. 13 p.

GREENPEACE. A caminho da sustentabilidade energética. Como desenvolver um mercado de renováveis no Brasil. São Paulo: Greenpeace, 2008. 32 p.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. A., **Metodologia do trabalho científico.**, 7^a.ed., São Paulo, S.P., ed. Atlas, 2007. 304 p.

MALUF, G. **A competição entre o etanol de segunda geração e a produção de eletricidade pelo uso do bagaço**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agroenegócio, Escola de Economia de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas – Eesp/fgv, São Paulo, 2014.

MARTINHO, E. **Distúrbios da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2013. 142 p.

Operador Nacional do Sistema - ONS. **O que é o SIN**. 2019. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 29 maio 2019.

Organização das Nações Unidas - ONU, **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. disponível em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>; conteúdo acesso em abr., 2019.

PEREIRA et al., **Metodologia da pesquisa científica**. Brasil, 2018.

PRIETO, M. G. S., **Alternativas de cogeração na indústria sucroalcooleira: Estudo de caso**. 2003. 255 f. tese; Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

REIS, L. B., **Geração de Energia Elétrica – Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade**. Barueri: Manole, 2003.

SANTOS, F. A., **Análise da Aplicação da Biomassa da Cana como Fonte de Energia Elétrica: Usina de Açúcar, Etanol e Bioeletricidade**. 2012. 115 f. dissertação, USP – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTOS, M. A. S., **O que fazer com o bagaço da cana de açúcar? Uma abordagem da teoria das opções reais aplicada a usinas de processamento de etanol e açúcar da região de Piracicaba**. 2015. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agroenegócio, Escola de Economia de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas – Eesp/fgv, São Paulo, 2015.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 2001.

SILVA, L. A. **Estratégias de seleção baseada em caracteres químicos e tecnológicos visando a indicação de genitores para produção de bioenergia em cana-de-açúcar**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SOUSA, E. L. L., MACEDO, I. C. (Org.), **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo, Luc – Projetos de Comunicação, 2010. 315 p.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R., **Revisão integrativa: o que é e como fazer**. *Einstein*, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F., **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas**. – *Revista de Economia e Sociologia rural*, v. 44, n. 2, p. 179-199, 2006.

TEIXEIRA, B. S. **A economia neoclássica e a inserção da bioeletricidade do bagaço de cana na matriz elétrica brasileira**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TORQUATO, S.; RAMOS, R. C. - **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista: ações visando à preservação ambiental. Análises e Indicadores do Agronegócio**, vol. 7, no. 6, 2012. ISSN 1980-0711. Disponível em: <<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12390>>. Acesso em: 16 agosto 2019.

TORQUATO, S. A.; RAMOS, R. C. **Biomassa da cana-de-açúcar e a geração de bioeletricidade em São Paulo: usinas signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista**. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 43, n. 5, p.59-68, out. 2013.

TROMBETA, N. C. **Potencial e disponibilidade de biomassa de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: uma aplicação de modelos de localização ótima para fins energéticos**. 2015. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em

Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Bioeletricidade – A energia Verde e Inteligente do Brasil.**, São Paulo, 2011. 15 p.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Mapa da produção – 2016.** Disponível em: < <http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Regulamento para a obtenção do Certificado Energia Verde – Bioeletricidade.** São Paulo, 2018. 32 p.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Propostas para o setor sucroenergético no estado de São Paulo.** São Paulo, 2018b. 5 p.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados.** São Paulo, 2018c. 4 p.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Alguns números da bioeletricidade em 2018.** São Paulo, 2019. 1 p.