

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO

EDER LUIZ MARTINS IORI

**ESTUDO SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SETOR  
SUCROENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA A ENERGIA GERADA PELAS  
TERMELÉTRICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2020

EDER LUIZ MARTINS IORI

**ESTUDO SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SETOR  
SUCROENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA A ENERGIA GERADA PELAS  
TERMELÉTRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof. Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto.

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2020



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Cornélio Procópio**  
**Departamento Acadêmico de Elétrica**  
**Curso de Engenharia Elétrica**



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Eder Luiz Martins Iori**

**ESTUDO SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SETOR SUCROENERGÉTICO COMO  
ALTERNATIVA A ENERGIA GERADA PELAS TERMELÉTRICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:00hs do dia 11/06/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - (Membro)

---

Prof(a). Dr(a). Rafael Rorato Londero - (Membro)

Aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora de Aparecida por sempre estarem presentes comigo, iluminando o meu caminho mesmo nas horas mais sombrias.

Agradeço aos meus pais, Rosângela e Gilson, por toda a dedicação que tiveram na realização do meu sonho, sempre acreditando no meu potencial.

Agradeço ao meu irmão, Alexandre, que junto com meus pais sempre me apoiou e a minha madrinha Sebastiana por todas as orações e conselhos.

Aos meus amigos Carol Gasperoni, Bacon (Matheus Presotto), Vizinha (Leticia Cena), Letícia Sanches, Rafael Dantas e Thayna Gimenez, que contribuíram com boas risadas durante os anos de graduação e estão presentes na minha vida, apesar da distância.

A minha orientadora, Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto pelos ensinamentos, dedicação e paciência para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre a utilização da energia elétrica gerada pelo setor sucroenergético em substituição a geração por combustíveis fósseis, que tendem a ser maior durante o período seco, na matriz energética brasileira. O estudo apresentado possui informações sobre o setor elétrico Nacional, como a atual divisão da matriz energética brasileira, a relevância de cada tipo de geração, destacando os principais tipos de combustíveis utilizados nas termelétricas (UTE), assim como os principais problemas associados a utilização desses combustíveis, além disso é apresentado uma análise sobre os critérios técnicos da geração de energia, associado com a capacidade de geração de cada setor (térmico fóssil e biomassa sucroenergética) e a sua localização dentro do território brasileiro. A forma de negociação de energia elétrica também é abordada neste trabalho, apresentado os ambientes de contratação, execução e liquidação dos contratos, e os empecilhos enfrentados pelo setor sucroenergético na negociação de energia excedente para o Sistema Elétrico Nacional (SIN).

**Palavras-chave:** Biomassa. Bioeletricidade. Sucroenergética. Geração Térmica. Comercialização. Combustíveis fósseis. Substituição.

## **ABSTRACT**

In this work was produced a studied about the electricity generated by sugarcane power plant to replace the energy generated by fossil fuel in the Brazilian energy grid. It was analyzed aspects about the power plants capacity, geographic location in Brazilian territory, used fuels and the problems associated with these fuels. Furthermore, the form of Brazilian commercialization of electricity was introduce in this work with some analysis about the problems faced by sugar cane sector to sell the energy produced by them.

**Keywords:** Biomass fuels. Bioelectricity. Sugarcane industry. Thermal Generation. Commercialization. Fossil fuels. Replacement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapeamento Organizacional das Instituições do Setor Elétrico Nacional.	14
Figura 2 - Capacidade de geração da matriz de energia elétrica. ....	15
Figura 3 - Capacidade de geração por biomassa da matriz de energia elétrica brasileira.....	16
Figura 4 - Comparativo entre a geração de energia térmica e hidrelétrica em GWh no período de 12/2017 a 11/2018. ....	17
Figura 5 - Alimentação das UTE do Brasil.....	20
Figura 6 - Volumes de gás natural declarados pelos operadores das bacias por ambiente.....	23
Figura 7 - Localização das bacias produtoras de petróleo. ....	25
Figura 8 - Volumes de petróleo declarados pelos operadores. ....	25
Figura 9 - Localização das UTE em território brasileiro.....	26
Figura 10 - Infraestrutura de produção e movimentação de gás natural. ....	28
Figura 11 - Principais jazidas brasileiras de carvão mineral.....	29
Figura 12 - Bandeiras tarifárias. ....	32
Figura 13 - Produção brasileira de açúcar e etanol entre as safras de 1948/49 a 2018/19. ....	36
Figura 14 - Porcentagem de usinas por Regiões brasileiros e sua concentração por região. ....	39
Figura 15 - Potência Outorgada pela ANEEL por Regiões.....	40
Figura 16 - Capacidade Instalada e número de usinas que compõem a geração por biomassa. ....	42
Figura 17 – Geração para o SIN pela biomassa sucroenergética e moagem de cana-de-açúcar acumulados. ....	43
Figura 18 - Bioeletricidade sucroenergética ofertada para a rede em GWh, Energia Armazenada nos Reservatórios (EAR) em (%) da região SE/CO e Bandeira tarifária no período de jan. a dez/2018.....	45
Figura 19 - Potencial técnico em TWh de bioeletricidade sucroenergética para a rede elétrica em 2018.....	46
Figura 20 - Visão geral da comercialização de energia.....	49
Figura 21 - Diferenças entre o ACL e o ACR na contratação de energia elétrica. ....	50



Figura 22 - Comercialização de energia no Mercado de Curto Prazo. ....53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bandeiras tarifárias. ....	18
Tabela 2 - Subdivisões do carvão mineral.....	22
Tabela 3 - Quantidade e potência de UTE no Brasil. ....	27
Tabela 4 - Reservas de carvão mineral em território Nacional.....	29
Tabela 5 - Localização das UTE operadas a óleo combustível no Brasil .....	30
Tabela 6 - Localização das UTE operadas a óleo diesel no Brasil.....	31
Tabela 7 - Localização das usinas de cana-de-açúcar pelo Brasil.....	38
Tabela 8 - Potência Outorgada pela ANEEL por Estados.....	40

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1.	Justificativa	16
1.2.	Objetivos	19
<b>2.</b>	<b>SETOR TERMELÉTRICO BRASILEIRO</b>	<b>20</b>
<b>2.1.</b>	<b>Tipos de Combustíveis Fósseis Empregados na Geração de Energia Elétrica</b>	<b>21</b>
2.1.1.	Carvão Mineral	21
2.1.2.	Gás Natural	22
2.1.3.	Petróleo	24
<b>2.2.</b>	<b>Capacidade instalada e localização das usinas no Brasil</b>	<b>26</b>
2.2.1.	Gás Natural	27
2.2.2.	Carvão Mineral	28
2.2.3.	Petróleo	30
<b>2.3.</b>	<b>Bandeiras tarifárias e as UTE</b>	<b>32</b>
<b>3.</b>	<b>SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL</b>	<b>34</b>
3.1.	Contextualização histórica do setor no Brasil	34
3.2.	Capacidade instalada e localização das usinas no Brasil	37
3.3.	Panorama do setor e da bioeletricidade no cenário Nacional	41
<b>4.</b>	<b>COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>48</b>
4.1.	Modelo brasileiro de comercialização de energia elétrica	48
4.2.	Ambiente de contratação regulado (ACR)	50
4.3.	Ambiente de contratação livre (ACL)	52
4.4.	Mercado de curto prazo (MCP)	52
4.5.	Preço de Liquidação das Diferenças (PLD)	53
4.6.	Leilões de energia elétrica	54
4.7.	Comercialização da bioeletricidade sucroenergética	55
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O surgimento da eletricidade no Brasil se deu na segunda metade do século XIX, quando em 1879, D. Pedro II, imperador do país na época, “concedeu a Thomas Alva Edson o privilégio de introduzir no Brasil aparelhos e processos destinados à utilização da luz elétrica na iluminação pública” (CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL, 2018).

Ainda durante o período do segundo reinado, entrou em funcionamento a primeira hidrelétrica do Brasil, localizada no Ribeirão do Inferno na cidade de Diamantina (MG). A usina, idealizada pelo engenheiro Arthur Thiré, tinha uma potência instalada de 0,5MW (Megawatt) e contava com uma linha de transmissão de dois quilômetros, considerada longa para a época.

Em meados do século passado, o Brasil vivenciou a expansão das suas atividades industriais, assim como o avanço da urbanização. Esses fatos corroboraram para a ampliação da matriz elétrica nacional.

Com o aumento da demanda, algumas iniciativas foram tomadas pelo Governo Federal na década de 60, entre elas a criação do Ministério de Minas e Energia (MME) e a criação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, que “recebeu a atribuição de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país” (ELETROBRÁS, 2018).

A crise enfrentada pelo setor entre as décadas de 70 e 90, motivadas pelo crescimento acelerado das cidades e da indústria, acabaram elevando os índices de consumo, gerando uma situação de instabilidade no setor, já que a malha existente não era suficiente para suprir toda a demanda. Sem recursos para investimento, o governo viu na iniciativa privada a solução para os problemas na área e, em 1995, iniciou a reformulação do setor (QUEIROZ, 2008).

Conhecido como Projeto de Reestruturação do setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB) e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o RE-SEB tinha como finalidade a desverticalização das empresas, dividindo-as em segmentos de geração, transmissão e distribuição, privatizando-as posteriormente (QUEIROZ, 2008).

Neste período também se deu a criação de vários órgãos de fiscalização, como o órgão regulador, conhecido como Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com a prerrogativa de fiscalizar o fornecimento de energia elétrica à sociedade; o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que é “responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN)”; e do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), onde era realizada a comercialização de energia. (ONS, 2018)

Apesar das medidas tomadas na década anterior, o setor voltou a passar por uma nova crise em 2001. A falta de investimentos em geração e transmissão, combinadas com uma estiagem prolongada que reduziu os níveis dos reservatórios do país ameaçou mais uma vez o fornecimento de energia elétrica, obrigando novamente uma intervenção governamental.

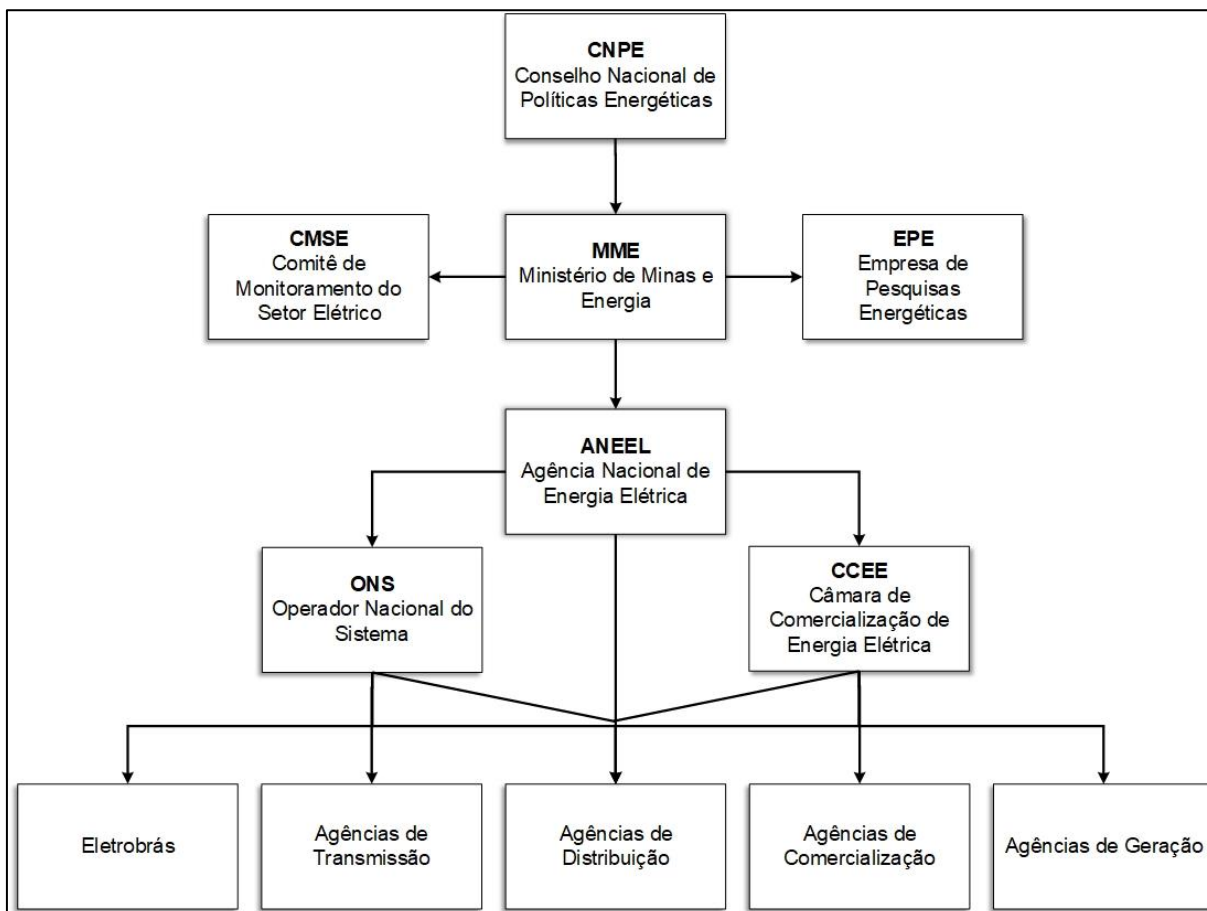
Visando a estabilidade do setor, em 2004, o governo implementou mais mudanças na estrutura administrativa do sistema. Criou uma instituição encarregada do desenvolvimento de pesquisas e estudos relacionados ao planejamento energético, denominada de Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), e substituiu a MAE pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), incumbida da contabilização e comercialização de energia no SIN (QUEIROZ, 2008).

Outras medidas tomadas foram a criação dos:

- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por fontes alternativas, diversificando a matriz energética brasileira, e assim assegurar o abastecimento do setor (MME, 2018).
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), “com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo território nacional” (MME, 2018)

A Figura 1 apresenta a hierarquia atual do setor elétrico brasileiro, sendo o Conselho Nacional de Políticas Energética (CNPE) o órgão que assessoria a presidência da República na formulação de políticas e diretrizes energéticas (MME, 2018)

**Figura 1 - Mapeamento Organizacional das Instituições do Setor Elétrico Nacional.**

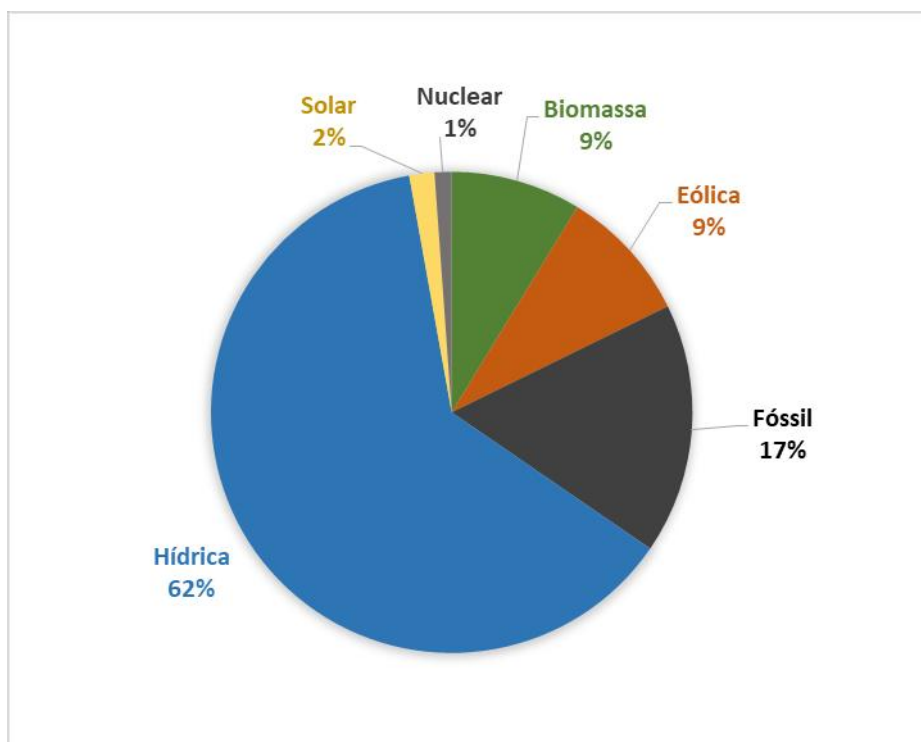


**Fonte: Adaptado Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), 2018.**

O Brasil atualmente está diversificando sua matriz de energia elétrica. No entanto, o potencial hídrico ainda é responsável pela maior parte da energia gerada no país. Segundo dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), o país possui 219 Usinas Hidrelétrica (UHE), 417 Pequenas Centrais Elétricas (PCH) e 732 Centrais Geradoras Hidrelétrica (CGH), totalizando 1368 usinas com uma capacidade instalada de 109.132.246kW, o que representa 62,60% da capacidade de geração da matriz energética brasileira, sendo

Os outros 37,4% provém de outras fontes de geração, tais como a da biomassa, eólica, nuclear, etc, como pode ser observado na Figura 2.

**Figura 2 - Capacidade de geração da matriz de energia elétrica.**



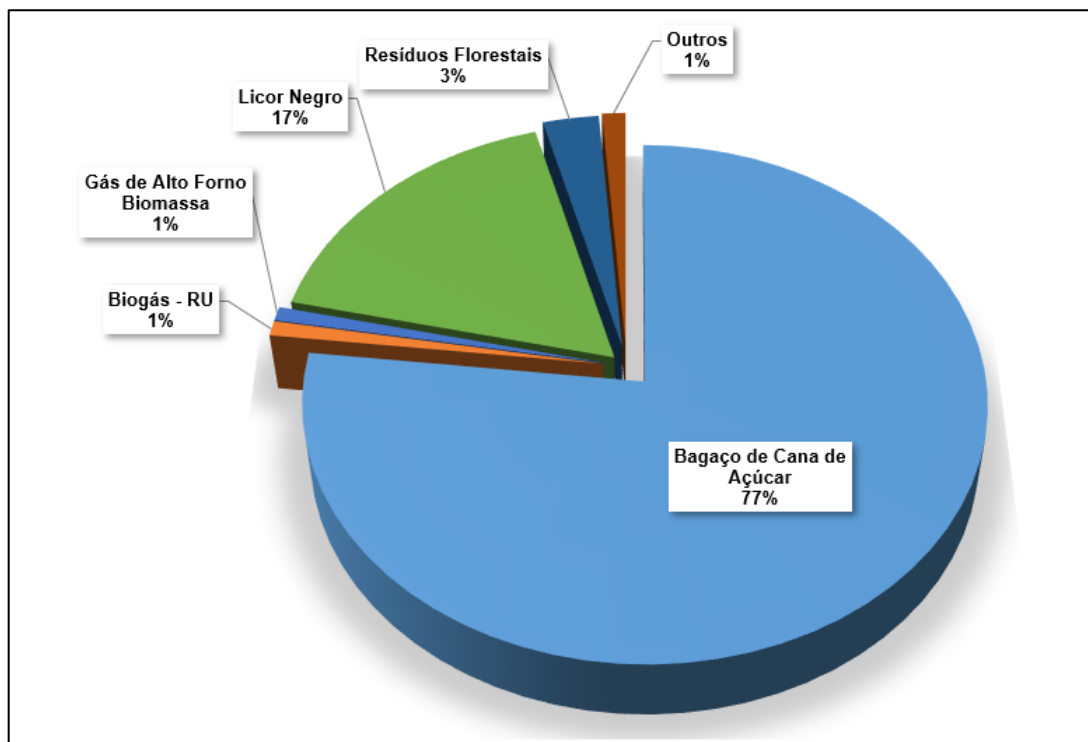
Fonte: Adaptado de SIGA,2020.

A geração através do uso de fontes alternativas teve um crescimento significativo após a implementação do PROINFA. Neste cenário tanto a geração por biomassa quanto pela eólica ganharam destaque.

Com elevado potencial de uso e grande disponibilidade, a biomassa tem se destacado como matéria-prima para geração, em especial as oriundas da indústria sucroalcooleira. O recentemente setor sucoenergético tem se sobressaído na cogeração de energia elétrica a partir dos subprodutos da cana-de-açúcar (TROMBETA; CAIXETA FILHO, 2017).

O setor sucoenergético brasileiro conta com 407 usinas espalhadas pelo país e com uma potência instalada de 11.669.341kW. Isso o torna responsável por cerca de 6,7% da potência outorgada pela ANEEL no Brasil e responsável por quase 77% da capacidade de geração da fonte de biomassa no país, como pode ser observado na figura abaixo.

**Figura 3 - Capacidade de geração por biomassa da matriz de energia elétrica brasileira.**



Fonte: Adaptado de BIG, 2018.

De acordo com a resolução normativa 235 de 2006 da ANEEL (2006, p. 1), define-se cogeração como:

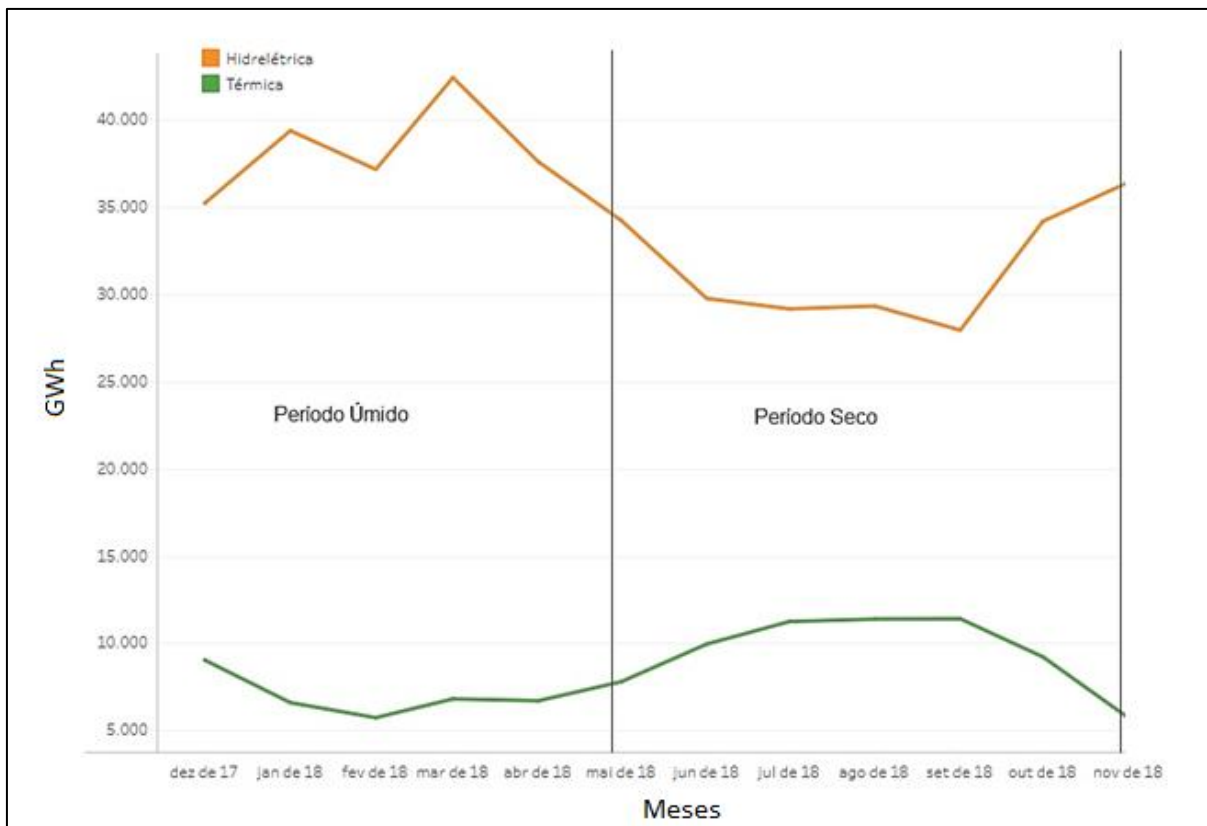
Processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária.

### 1.1. Justificativa

O potencial hídrico na geração, apesar de eficiente, depende das chuvas para abastecer os reservatórios. Assim, no período seco, definidos no setor elétrico como os meses de maio a novembro, os níveis de água acumulada nas represas tendem a abaixar. Isso obriga o uso de outras formas de geração para satisfazer a demanda e a utilização de energia termelétrica tem se destacado nesse período como complemento a hidrelétrica.



**Figura 4 - Comparativo entre a geração de energia térmica e hidrelétrica em GWh no período de 12/2017 a 11/2018.**



Fonte: ONS, 2018.

O gráfico apresentado na Figura 4 traz um comparativo entre a geração hidrelétrica e térmica em GWh, durante o período de dezembro de 2017 a novembro de 2018. Pela análise da figura fica evidente que durante os meses mais secos, houve um aumento na geração de energia pelas termelétricas, enquanto a geração por hidrelétricas diminuiu neste período, comprovando a sazonalidade do sistema hidrelétrico.

No entanto, colocar termelétricas a gás ou carvão no sistema para ajudar a suprir a demanda não é vantajoso tanto economicamente quanto ecologicamente para o consumidor, visto que o combustível utilizado nas usinas provém de fontes não renováveis, o que eleva o nível de poluição e o custo financeiro para a geração de energia. Esse custo então é repassado ao consumidor final através de um acréscimo na tarifa de energia.

A Tabela 1 apresenta o Sistema de Bandeiras Tarifárias, que é dividido em três modalidades e indica se haverá ou não acréscimo no valor da energia repassada ao consumidor em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, 2015).

**Tabela 1 - Bandeiras tarifárias.**

<b>Bandeiras</b>	<b>Comentários</b>	<b>Acréscimo para cada kWh consumidos</b>
Verde	Condições favoráveis de geração de energia	-
Amarela	Condições de geração menos favoráveis.	R\$ 0,01343
Vermelha Patamar 1	Condições mais custosas de geração	R\$ 0,04169
Vermelha Patamar 2	Condições mais custosas de geração.	R\$ 0,06243

**Fonte: Adaptado ANEEL, 2020.**

Coincidentemente, nos períodos mais secos ocorre a maior produção do setor canavieiro. Estudos realizados pelo EPE em conjunto com o MME detectaram potencial de aumento do processamento de biomassa de cana-de-açúcar, a capacidade de geração deve aumentar 19 vezes entre 2005 e 2030 (TROMBETA; CAIXETA FILHO, 2016).

O termo cogeração no setor sucroalcooleiro está relacionado à produção de energia pela queima do bagaço ou da palha de cana-de-açúcar. A queima de biomassa nas caldeiras gera três diferentes formas de energia: a energia térmica, utilizada para aquecimento no processo de produção de etanol e açúcar. Posteriormente é transformada em energia mecânica, utilizada para movimentar as máquinas, equipamentos de extração e turbogeradores, sendo estes últimos os responsáveis pela geração de energia elétrica (UNICA, 2010).

Desta forma, a energia elétrica ou bioeletricidade pode ser usada para o consumo da usina e o excedente comercializado para o SIN (UNICA, 2010). A utilização desse tipo de energia pode trazer vantagens macroeconômicas, como o interesse de investidores estrangeiros e por se tratar de uma fonte de combustível mais barata, os consumidores não precisariam arcar com os custos referentes à utilização de combustíveis mais caros, além das vantagens ambientais, já que é uma energia limpa se comparada com outras.

## 1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor um estudo sobre a utilização da energia elétrica gerada pelo setor sucroalcooleiro para complementar a geração de energia por hidrelétricas no Brasil, substituindo assim, a utilização de termelétricas movidas a combustíveis fósseis, em especial durante os meses do período seco.

A partir deste objetivo principal, surgem os seguintes objetivos específicos e metas a serem atingidas:

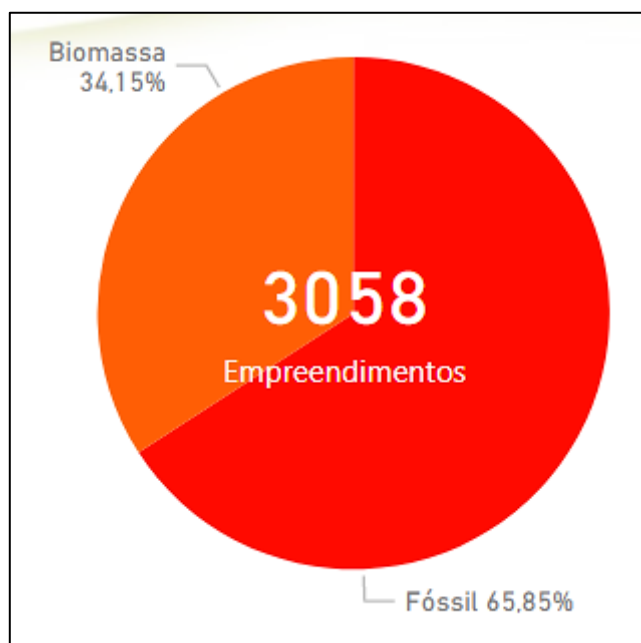
- Estudo sobre o cenário energético brasileiro e do mercado de energia, com ênfase no setor sucroalcooleiro;
- Análise da localização das usinas sucroalcooleiras no cenário nacional, assim como da sua capacidade instalada para cogeração;
- Análise da localização das usinas termelétricas em âmbito nacional, assim como sua capacidade instalada para geração de energia elétrica;
- Análise das barreiras na comercialização de energia excedente.

## 2. SETOR TERMELÉTRICO BRASILEIRO

Apesar de a matriz elétrica brasileira estar baseada majoritariamente em fontes renováveis, cerca de mais de 82%, ainda encontram-se algumas fontes de geração baseadas em combustíveis não-renováveis, sendo os combustíveis fósseis os maiores responsáveis por esse valor.

No Brasil hoje, as usinas termelétricas (UTE) são, em sua maioria, alimentadas por combustíveis fósseis. Esse tipo de combustível corresponde por quase 66% da geração brasileira das UTE, enquanto a biomassa fica responsável pelo restante, conforme Figura 5.

**Figura 5 - Alimentação das UTE do Brasil.**



Fonte: SIGA, 2020.

Analisando a matriz elétrica brasileira, a geração por combustíveis fósseis representa 16% da nossa capacidade de geração, contando com 2485 empreendimentos em operação espalhados pelo Brasil e com uma potência outorgada de 29.371.170 kW, os empreendimentos desse grupo vão desde simples geradores de energia elétrica para empresas ou residenciais até grandes usinas geradoras (SIGA, 2020).

## 2.1. Tipos de Combustíveis Fósseis Empregados na Geração de Energia Elétrica

Para efeito de estudos, serão desconsideradas neste trabalho as gerações por calor de processo do beneficiamento de carvão mineral (CM), gás natural (GN) e outros tipos de fósseis (OF). Também será desconsiderada a produção de energia pelas UTE movidas a gás de alto forno de (CM) e de petróleo (PE) e gás de refinaria, além das geradoras que utilizam como combustível resíduos originados durante o processo de refino do petróleo.

Esses empreendimentos somam 35 unidades, com potência de outorga total de 1.924.618 kW e em 2018 foram responsáveis pela geração de menos de 1% da energia brasileira.

No estudo, só serão consideradas as gerações por Carvão Mineral (CM), Gás Natural (GN) e Petróleo (PE), que inclui somente as gerações por óleo combustível e óleo diesel.

### 2.1.1. Carvão Mineral

O carvão mineral é formado pela decomposição da matéria orgânica, ou seja, de restos vegetais, durante milhões de anos sob certas condições de temperatura e pressão (ANEEL, 2008) e pode ser encontrado em bacias sedimentares, assim como o petróleo.

A utilização do carvão mineral como fonte de energia remonta desde o século XVIII, com Primeira Revolução Industrial, quando o homem descobriu sua aplicação para a geração de vapor para movimentar as máquinas, desde então ele passou a ser utilizado em larga escala (ANEEL, 2008).

No final do século XIX, o mineral também passou a ser utilizado para a geração de energia elétrica. No entanto, com as descobertas do uso do petróleo e do gás natural, o carvão foi perdendo espaço na matriz elétrica com o desenvolvimento do motor a explosão.

O poder calorífico do carvão mineral, ou seja, a capacidade de produção de calor expressa em kcal/kg (quilocaloria obtida por quilo de combustível), é favorecido de acordo com incidências de carbono e prejudicado pela quantidade de impurezas. Isso determina as subdivisões do mineral em baixa qualidade e alta

qualidade ou *hulha* (ANEEL, 2008). A classificação do carvão mineral está apresentado na Tabela 2:

<b>Tabela 2 - Subdivisões do carvão mineral.</b>	
<b>Baixa Qualidade</b>	<b>Alta Qualidade ou <i>hulha</i></b>
Linhito	Betuminoso
Sub-betuminoso	Antracito

**Fonte: Autoria própria, 2020.**

As reservas do Brasil totalizam 3,799 bilhões de toneladas de carvão e correspondem a 0,4% das reservas mundiais e estão, quase em sua totalidade, localizadas no Sul do país. O Rio Grande do Sul possui 89,25% das reservas brasileiras em seu território, já as jazidas catarinenses respondem por 10,41% do montante, enquanto as do Paraná por 0,32%. São Paulo é o único estado fora da região sul com jazidas conhecidas, no entanto as reservas paulistas somam apenas 0,02% do montante Nacional (ANEEL,2008; MME,2019;).

Ainda que a extração e a utilização do carvão para a produção de energia gerem benefícios econômicos diretos e indiretos, o processo de extração, produção e combustão provocam impactos socioambientais significativos no meio ambiente, sendo uma das formas de produção de energia mais agressiva atualmente (ANEEL, 2008).

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, publicado pela ANEEL (2008, 140 p.),

A ocupação do solo exigida pela exploração das jazidas, por exemplo, interfere na vida da população, nos recursos hídricos, na flora e fauna locais, ao provocar barulho, poeira e erosão. O transporte gera poluição sonora e afeta o trânsito. O efeito mais severo, porém, é o volume de emissão de gases como o nitrogênio (N) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), também chamado de gás carbônico, provocado pela combustão. Estimativas apontam que o carvão é responsável por entre 30% e 35% do total de emissões de CO<sub>2</sub>, principal agente do efeito estufa.

### 2.1.2. Gás Natural

Assim como o petróleo e o carvão mineral, o gás natural é resultante da decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos. Em suas primeiras etapas de decomposição, a matéria orgânica produz o petróleo, quando está em seus

últimos estágios de degradação produz o gás natural, este podendo estar associado ao petróleo ou em campos isolados (não associados) (ANEEL, 2008).

A principal característica do gás natural é a versatilidade, podendo ser utilizado na geração de energia elétrica, na indústria, comércio, serviços ou nas residências, substituindo o gás liquefeito de petróleo (GLP).

As reservas brasileiras de gás natural, em geral, estão associadas com o petróleo, logo a maior parte das jazidas encontra-se no mar e não em terra, sobretudo nos litorais do Espírito Santo ao Paraná.

Na Figura 6 é possível observar a localização das reservas de gás natural Brasileira, sendo que no ano de 2019 foram declarados para a ANP 368.450MMm<sup>3</sup> de reservas provadas (1P) e 569.845MMm<sup>3</sup> de reservas provadas, prováveis e possíveis (3P), além de 81.101MMm<sup>3</sup> de recursos contingentes de gás natural, que incluem gás associado e gás não associado (ANP, 2018).

**Figura 6 - Volumes de gás natural declarados pelos operadores das bacias por ambiente.**

<b>Gás natural (MMm<sup>3</sup>)</b>			
	<b>Reservas 1P</b>	<b>Reservas 3P</b>	<b>Recursos Contingentes</b>
<b>Mar</b>			
<i>Alagoas</i>	341,39	341,39	0,00
<i>Camamu</i>	5.800,69	8.328,30	2.264,78
<i>Campos</i>	78.996,77	118.617,06	46.716,03
<i>Ceará</i>	353,81	359,90	60,52
<i>Espírito Santo</i>	4.516,12	8.812,89	1.385,42
<i>Potiguar</i>	1.849,74	2.827,34	142,20
<i>Recôncavo</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Santos</i>	207.512,50	348.315,22	18.643,94
<i>Sergipe</i>	81,65	157,60	2.951,10
<b>Mar Total</b>	<b>299.452,66</b>	<b>487.759,71</b>	<b>72.164,00</b>
<b>Terra</b>			
<i>Alagoas</i>	867,51	2.238,56	606,46
<i>Amazonas</i>	3.631,00	4.303,30	0,00
<i>Barreirinhas</i>	143,78	143,78	0,00
<i>Camamu</i>	34,88	34,88	0,00
<i>Espírito Santo</i>	213,99	395,73	182,34
<i>Mucuri</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Parnaíba</i>	20.528,68	25.576,98	0,00
<i>Potiguar</i>	1.572,56	1.948,48	108,48
<i>Recôncavo</i>	5.630,79	9.344,25	1.971,19
<i>Sergipe</i>	1.093,97	1.308,59	283,72
<i>Solimões</i>	35.260,19	36.770,55	5.735,36
<i>Tucano Sul</i>	20,46	20,46	49,66
<b>Terra Total</b>	<b>68.997,82</b>	<b>82.085,57</b>	<b>8.937,20</b>
<b>Total (MMm<sup>3</sup>)</b>	<b>368.450,48</b>	<b>569.845,28</b>	<b>81.101,20</b>

Fonte: ANP, 2018.

Comparado com os outros tipos de combustíveis fósseis o gás natural apresenta uma vantagem ambiental significativa, visto que emite menos gases

poluentes que contribuem com o efeito estufa. De acordo com dados fornecidos pela EPE, o volume de CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera pode ser entre 20 e 23% inferior àquela produzido pela geração a partir de óleo combustível e entre 40 e 50% inferior a produção por carvão mineral (ANEEL, 2008).

Uma das desvantagens do gás natural está relacionada com o transporte, visto que, para chegar dos poços de produção até as unidades de armazenamento ou consumo, é necessário a construção de uma rede de gasodutos de capacidade e pressão variáveis, quando isso não é possível, o gás precisa passar por um processo de liquefação, no qual atinge uma temperatura de -120°C, reduzindo o seu volume em até 600 vezes para ser transportado por navios até o porto receptor para gaseificação (ANEEL, 2008).

### 2.1.3. Petróleo

Assim como as outras formas de combustível citadas, o petróleo também é um produto formado a partir da decomposição de matéria orgânica durante milhões de anos e encontrado apenas em terreno sedimentar.

O petróleo, para ter utilidade comercial, precisa passar por um processo de refino, visto que na sua forma crua ele não tem aplicação direta. Através do refino se obtém os derivados que são distribuídos a um mercado consumidor diversificado. Entre os derivados do petróleo pode-se destacar a gasolina e o óleo diesel, utilizados como combustíveis, e a nafta, muito utilizada na indústria para a fabricação de tintas, fertilizantes, tecidos sintéticos plástico etc. (ANEEL, 2008).

As principais reservas brasileiras de petróleo estão localizadas em campos marítimos, de águas profundas e ultra profundas (PETROBRAS, 2020).

De acordo com os dados fornecidos pela ANP, em 2018 as reservas provadas (1P) brasileiras somaram mais de 13 bilhões de barris, colocando as jazidas brasileiras entre as 20 maiores do mundo.

A descoberta de campos de petróleo em uma região pode mudar drasticamente as características socioeconômicas dela. No entanto, o impacto ambiental é proporcional aos efeitos socioeconômicos, visto que em terra a exploração, prospecção e produção do petróleo pode resultar em alterações e degradação do solo e no mar, sempre existe o risco da ocorrência de vazamentos, que podem colocar em risco toda a fauna e flora aquática da área, além do litoral no



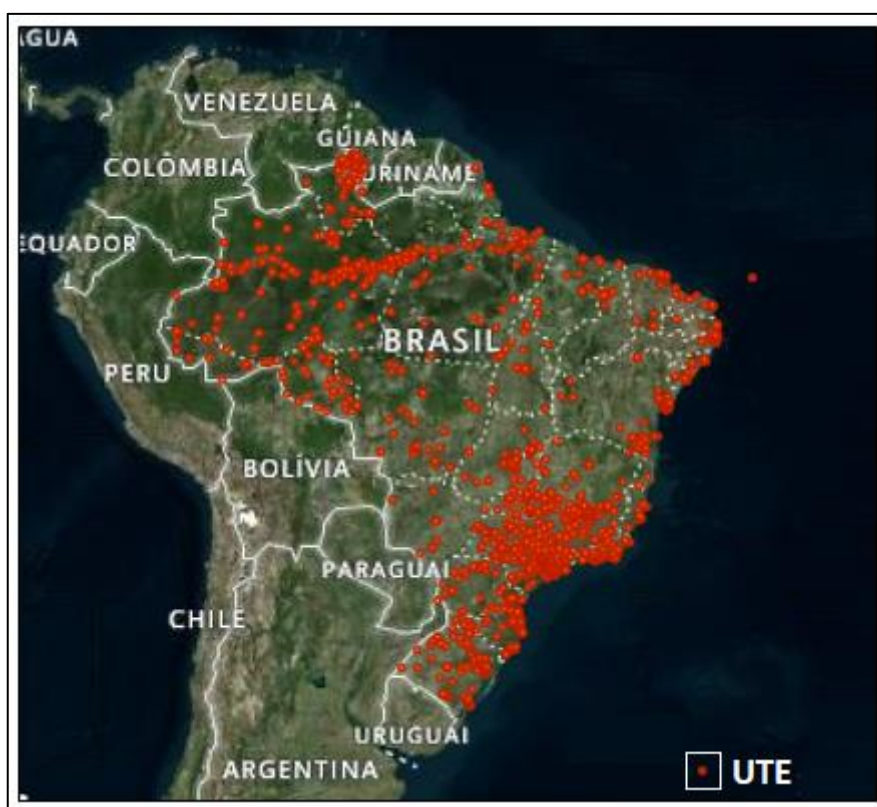


## 2.2. Capacidade instalada e localização das usinas no Brasil

Apesar de possuir uma matriz energética quase majoritariamente composta por fontes renováveis, o Brasil ainda utiliza algumas fontes não-renováveis para complementar a geração de energia elétrica, principalmente no período seco.

Na Figura 9 é possível observar a distribuição dos empreendimentos termelétricos no território Nacional, que utilizam como fonte primária algum tipo de combustível fóssil.

Figura 9 - Localização das UTE em território brasileiro.



Fonte: SIGA, 2020.

A matriz não-renovável brasileira possui uma potência outorgada de 28.450.380kW, sendo o gás natural responsável por 55% dessa potência, já o carvão mineral é responsável por 11% da outorga nacional, enquanto o petróleo fica com 32% da capacidade restante. Vale ressaltar que estão sendo considerada nas análises somente os dados referentes das UTE que operam a carvão vegetal, gás natural e petróleo (óleo diesel e óleo combustível), ou seja fontes primárias de combustíveis. (SIGA, 2020)

### 2.2.1. Gás Natural

Existem em operação no Brasil hoje 166 UTE que utilizam o gás natural para gerar energia, com uma potência de mais de 15.675.027 kW. Essas usinas estão espalhadas por 18 estados da Federação, no entanto é possível observar uma concentração maior desses empreendimentos na Região Sudeste. Atualmente a região conta com 96 UTE em operação e uma potência de 6.762.355kW. Em segundo lugar no *ranking* de potência, com mais de 5 milhões de kW em instalações, vem a região Nordeste, seguida pela Norte e a Sul, já a potência instalada na região Centro-Oeste não chega a 1 milhão de kW, como pode ser visto na Tabela 3.

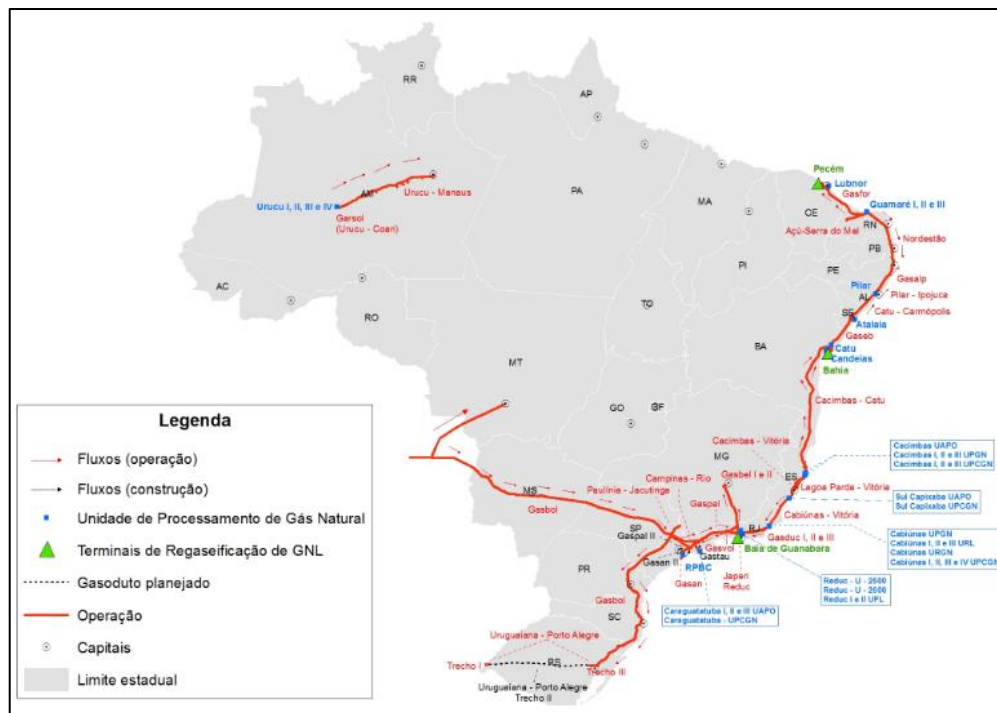
<b>Tabela 3 - Quantidade e potência de UTE a Gás Natural no Brasil.</b>		
<b>Região</b>	<b>Qtda UTE</b>	<b>Potência outorgada (kW)</b>
<b>Centro-Oeste</b>	<b>5</b>	<b>920.974</b>
MS	4	391.774
MT	1	529.200
<b>Nordeste</b>	<b>37</b>	<b>5.033.902</b>
AL	3	6.877
BA	10	486.292
CE	6	564.975
MA	7	1.527.918
PE	5	595.153
RN	2	328.647
SE	4	1.524.040
<b>Norte</b>	<b>14</b>	<b>1.528.843</b>
AM	13	1.102.313
RO	1	426.530
<b>Sudeste</b>	<b>96</b>	<b>6.762.355</b>
ES	4	219.966
MG	7	341.698
RJ	34	5.096.375
SP	51	1.104.316
<b>Sul</b>	<b>15</b>	<b>1.410.953</b>
PR	5	504.689
RS	8	903.259
SC	2	3.005
<b>Brasil</b>	<b>166</b>	<b>15.657.027</b>

Fonte: SIGA, 2020.

Analisando a Figura 10 e os dados da Tabela 3, é possível observar a presença de UTE a gás natural apenas em áreas onde existem gasodutos em operação, favorecendo o acesso ao combustível para essas centrais geradoras. A

única exceção acontece no estado de Rondônia, que mesmo não tendo gasodutos no seu território, ainda sim possui uma usina termelétrica.

**Figura 10 - Infraestrutura de produção e movimentação de gás natural.**



Fonte: ANP, 2020.

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), o Brasil gerou em 2018 o montante de 54,5TWh de energia elétrica utilizando o gás natural como combustível, esse valor corresponde a 60% da geração por fontes não renováveis.

### 2.2.2. Carvão Mineral

Já as usinas operadas a carvão mineral em 2018, geraram 3% da energia total consumida no Brasil, ou seja 18,2TWh de energia elétrica. O País, atualmente, conta com 13 UTE que utilizam esse tipo de combustível, que somam uma capacidade de geração de 3.202.740kW (SIGA, 2020; EPE, 2019).

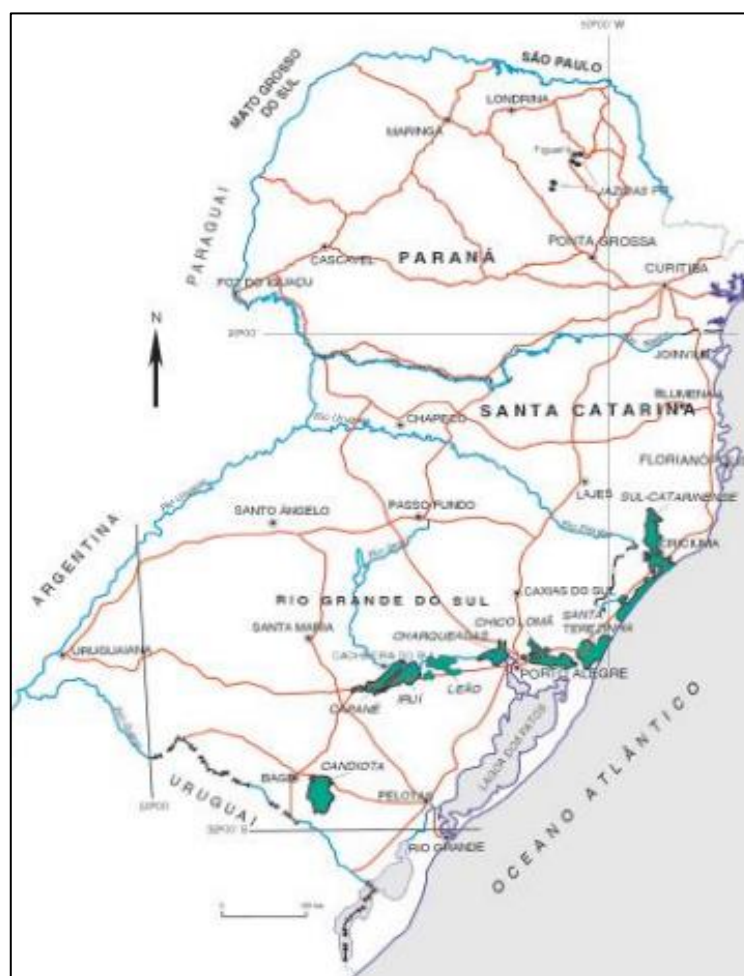
Como a grande maioria das reservas brasileira de carvão estão localizadas em solo sulista (Figura 11), era esperado que os estados da região tivessem a maior quantidade de usinas e capacidade de geração, já que usinas estão localizadas próximas às minas de extração (Tabela 4). No entanto, isso não é observado nas

usinas nordestinas, visto que os estados não possuem reservas de carvão mineral, o que os obriga a recorrer a importação para a alimentação das usinas, como é o caso da UTE de Pecém no CE, que recorre a importação do produto da Colômbia para a alimentação da planta de geração elétrica.

Tabela 4 - Reservas de carvão mineral em território Nacional.		
Região	Qtda. UTE	Potência outorgada [kW]
<b>Nordeste</b>	<b>4</b>	<b>1.520.611</b>
CE	2	1.085.274
MA	2	435.337
<b>Norte</b>	<b>1</b>	<b>103.854</b>
PA	1	103.854
<b>Sudeste</b>	<b>1</b>	<b>1.275</b>
MG	1	1.275
<b>Sul</b>	<b>7</b>	<b>1.577.000</b>
PR	1	20.000
RS	2	695.000
SC	4	862.000
<b>Brasil</b>	<b>13</b>	<b>3.202.740</b>

Fonte: SIGA, 2020.

Figura 11 - Principais jazidas brasileiras de carvão mineral.



Fonte: MME, 2013.

### 2.2.3. Petróleo

Apesar de o petróleo ocupar o segundo lugar em capacidade instalada dentro do segmento de UTE que utilizam fontes não renováveis, com 9.590.610kW, a quantidade de UTE movidas a derivados do petróleo (óleo combustível, óleo diesel e outros energéticos de petróleo) é muito superior ao restante das usinas que utilizam outras formas de combustível. De acordo com o SIGA, no Brasil hoje existem 2284 empreendimentos autorizados a fornecer energia para o SIN.

Mesmo o número de UTE movidas a derivados do petróleo ser quase 13 vezes maior que a do restante do parque gerador a fontes não-renováveis, a geração por esse tipo de combustível, em 2018, foi de apenas 14,9TWh, inferior ao número gerado pelas UTE a gás natural e carvão mineral (BEN, 2018).

As usinas operadas a óleo diesel estão espalhadas por todo o território nacional, no entanto apesar da região Sudeste concentrar o maior número de UTE, a capacidade instalada da região Norte é muito superior.

De acordo com a ONS (2020),

Atualmente, existem 235 localidades isoladas no Brasil. A maior parte está na região Norte, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. A ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e algumas localidades de Mato Grosso completam a lista. Entre as capitais, Boa Vista (RR) é a única que ainda é atendida por um sistema isolado. O consumo nessas localidades é baixo e representa menos de 1% da carga total do país. A demanda por energia dessas regiões é suprida, principalmente, por térmicas a óleo diesel.

Nas Tabela 6 é possível observar a distribuição das UTE movidas a óleo diesel no Brasil. Essas termelétricas foram responsáveis pela geração de 7,04TWh da energia elétrica consumida em 2018.

<b>Tabela 5 - Localização das UTE operadas a óleo combustível no Brasil</b>		
<b>Região</b>	<b>Qtda. UTE</b>	<b>Potencia outorgada [kW]</b>
Centro-Oeste	1	36.000
Nordeste	14	2.339.323
Norte	44	709.807
Sudeste	11	890.710
Sul	5	76.070
<b>Brasil</b>	<b>75</b>	<b>4.051.910</b>

Fonte: SIGA, 2020.

<b>Tabela 6 - Localização das UTE operadas a óleo diesel no Brasil.</b>		
<b>Região</b>	<b>Qtda. UTE</b>	<b>Potência outorgada [kW]</b>
<b>Centro-Oeste</b>	<b>153</b>	<b>591.779</b>
DF	21	16.358
GO	62	485.418
MS	14	7.926
MT	56	82.077
<b>Nordeste</b>	<b>260</b>	<b>924.734</b>
AL	14	10.263
BA	83	121.891
CE	26	116.909
MA	11	8.066
PB	6	6.074
PE	41	424.559
PI	20	69.486
RN	28	135.891
SE	31	31.595
<b>Norte</b>	<b>445</b>	<b>1.759.950</b>
AC	25	71.203
AM	166	872.856
AP	9	44.527
PA	81	248.000
RO	45	182.547
RR	95	330.308
TO	24	10.509
<b>Sudeste</b>	<b>1104</b>	<b>1.046.498</b>
ES	21	22.566
MG	343	215.108
RJ	108	142.885
SP	632	665.939
<b>Sul</b>	<b>230</b>	<b>211.898</b>
PR	46	61.060
RS	97	83.140
SC	87	67.698
<b>Brasil</b>	<b>2192</b>	<b>4.534.859</b>

Fonte: SIGA, 2020.

As usinas operadas com óleo combustível, um tipo de óleo derivado do refino do petróleo e classificado de acordo com a viscosidade e teor de enxofre (ANP, 2020), somam 75 usinas e potência de 4.051.912kW (Tabela 5). Essas plantas de geração em 2018, foram responsáveis por cerca de 6,3TWh da energia gerada no país.





Na Tabela 5 é possível observar a distribuição das UTE operadas a óleo combustível no Brasil, também é possível observar a concentração desse tipo de usina na região Norte do país, principalmente no estado de Roraima, no entanto a capacidade de geração para esse tipo de planta elétrica é maior na região Nordeste, conforme dados do SIGA.

### 2.3. Bandeiras tarifárias e as UTE

Com exceção do que ocorre nos sistemas isolados ou com autoprodutores, as UTE que operam com combustíveis fósseis e fornecem energia para o SIN só entram em operação nos horários de pico de demanda ou para complementar a oferta proveniente das hidrelétricas no período seco.

Desde 2015, são sinalizados ao consumidor os custos reais da geração de energia elétrica por um sistema de bandeiras tarifárias (Figura 12). Esse sistema de informação leva em consideração as condições de geração de eletricidade e permite uma transparência maior na conta de luz, dando a possibilidade de o consumidor utilizar a energia de forma mais consciente (ANEEL, 2020).

**Figura 12 - Bandeiras tarifárias.**

<b>Bandeira verde</b>	Condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;	
<b>Bandeira amarela</b>	Condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 1,343 para cada 100 quilowatts-hora (kWh) consumidos;	
<b>Bandeira vermelha Patamar 1</b>	Condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 4,169 para cada 100 quilowatts-hora kWh consumidos;	
<b>Bandeira vermelha Patamar 2</b>	Condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 6,243 para cada 100 quilowatts-hora kWh consumidos.	

Fonte: ANEEL, 2020.

As bandeiras tarifárias refletem os custos variáveis da geração de energia elétrica, custos esses que podem ser maiores ou menores, dependendo das usinas utilizadas para a geração. Quando as condições hidrológicas estão favoráveis não ocorre qualquer acréscimo à conta (ANEEL, 2020).

No entanto, quando as condições hidrológicas não estão tão favoráveis, como ocorre no período seco, é necessário colocar no sistema outros tipos de usinas para suprir a demanda, o que torna a geração mais cara devido ao tipo de combustível utilizado. Esses custos, então, são repassados ao consumidor e apresentado em formas de bandeiras (ANEEL, 2020).



As termelétricas movidas a combustíveis fósseis são as maiores responsáveis por esse aumento nos custos da geração de energia, visto que os combustíveis utilizados nessas operações são considerados *commodities*, sendo, assim, mais caros devido aos gastos com logística, custos de produção, tarifas portuárias, reservas, etc.

Apesar da geração termelétrica brasileira ser quase 66% fóssil, a biomassa responde pelos 34% restante da geração das UTE e por se tratar de uma fonte renovável, pode ser mais barata do ponto de vista dos custos de operação. O setor sucroalcooleiro, ou chamado atualmente de sucroenergético, tem se sobressaído nesse tipo de geração.

### **3. SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL**

#### **3.1. Contextualização histórica do setor no Brasil**

A cana-de-açúcar começou a ser cultivada inicialmente pelos povos antigos que habitavam a ilha de Nova Guiné, por volta de 6000 A.C., tendo a cultura se espalhado pelo restante do mundo desde então.

O fidalgo português Martim Affonso de Souza foi o responsável por trazer a planta para o Brasil para cultivá-la na Capitania de São Vicente, construindo lá o primeiro engenho para a produção de açúcar do país. No entanto, foi nas capitanias do Nordeste, principalmente nas de Pernambuco e Bahia, que o cultivo se espalhou e os engenhos se multiplicaram (MACHADO, 2003).

Em um curto período de tempo a produção brasileira de açúcar prosperou e estabeleceu para o país o monopólio da produção mundial, posto perdido somente em meados do século XVII com o início do cultivo e produção de açúcar nas ilhas do Caribe. No início do século XVIII, devido à concorrência, o Brasil já não tinha mais o título de maior produtor mundial de açúcar, sendo este agora disputado pelas colônias inglesas e francesas nas ilhas caribenhas (MACHADO, 2003).

Com a utilização dos motores a vapor no início do século XIX, a produção de açúcar atingiu patamares de qualidade e eficiência nunca antes observados pelos meios tradicionais, o que resultou na mudança do modelo de produção vigente até então (MACHADO, 2003).

Apesar dos avanços tecnológicos ocorridos nos meios de produção do restante do mundo, no Brasil os antigos engenhos ainda persistiam. Somente na segunda metade do século XIX é que medidas foram tomadas para modernizar a produção de açúcar no país.

Foi nesse cenário que surgiram os Engenhos Centrais, ou também chamados de “usinas de açúcar”. Essas instalações deveriam apenas moer e processar a cana, enquanto o cultivo ficava a cargo de fornecedores. Com a eclosão da Primeira Guerra Mundial, em 1914, o preço do açúcar aumentou no mercado mundial, levando à construção de novas usinas no Brasil, especialmente no estado de São Paulo (MACHADO, 2003).

Devido a rápida expansão do setor e o risco de superprodução foi criado, em 1933, pelo governo Vargas, o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA), com o intuito de

controlar a produção brasileira através do regime de cotas, onde se atribuía a cada usina brasileira uma quantidade de cana para ser moída (MACHADO, 2003).

Por consequência, da Segunda Guerra Mundial e a ameaça que os submarinos alemães representavam aos navegantes na costa brasileira, os produtores paulistas reivindicaram o aumento de suas cotas para que não houvesse desabastecimento nas regiões do Sul. Isso culminou com o fim da hegemonia produtiva do Nordeste, já que no início da década de 50 a produção paulista ultrapassou a nordestina pela primeira vez em quatrocentos anos (MACHADO, 2003).

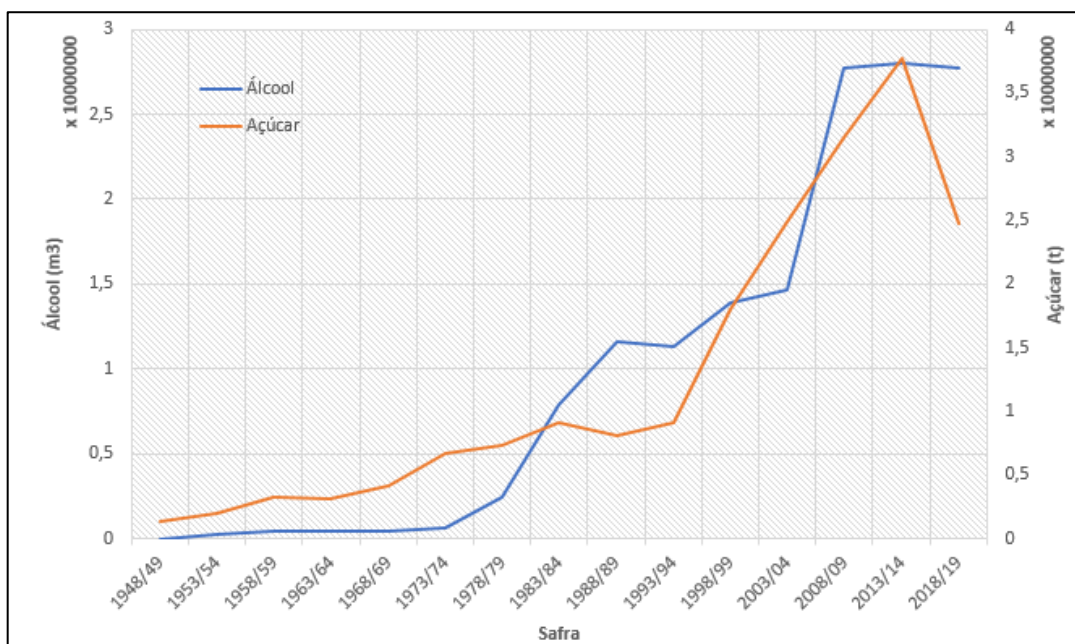
Com elevação do preço do açúcar no mercado internacional, a IAA criou o FUNPROÇUCAR, que, em 1973, financiou a modernização das indústrias do setor. Esse fato, aliado a Crise do Petróleo na década de 70, foi fundamental para a criação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), em 1975, um programa que visava a substituição da gasolina por etanol como forma de reduzir a dependência externa por combustíveis fósseis e, assim, manter o crescimento da economia (ENSINAS, 2008).

A primeira fase do programa foi caracterizada pelo incentivo da produção de etanol anidro para serem misturados à gasolina, com a instalação de destilarias anexas às usinas de açúcar. Já a segunda etapa do programa, compreendida entre os anos de 1979 a 1985, foi caracterizada pelo incentivo a produção de etanol hidratado, além da fabricação de automóveis movidos exclusivamente por etanol hidratado (ENSINAS, 2008).

A alta no preço do açúcar no mercado externo e o início das exportações do produto pelo setor privado na década de 90, associado com o fim das políticas de subsídios oferecidos pelo governo federal à produção de etanol a partir de 1985, além da redução do preço do petróleo nos anos seguintes, fez com que a produção de etanol deixasse de ser vantajosa para o setor, que passou priorizar novamente a produção de açúcar (ENSINAS, 2008).

A partir da década de 2000, motivada por uma nova alta no preço dos combustíveis fósseis e o início da fabricação de carros *flex-fuel* no país, a produção de etanol hidratado para uso veicular ganhou novo fôlego (ENSINAS, 2008).

**Figura 13 - Produção brasileira de açúcar e etanol entre as safras de 1948/49 a 2018/19.**



**Fonte:** Autoria própria baseada em dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2007 e 2018.

Na Figura 13 é possível observar o crescimento da produção de açúcar e etanol entre as safras de 1948/49 até 2018/19. Também é possível observar o efeito das ações do PROALCOOL na moagem da cana-de-açúcar e os efeitos após o fim dos incentivos governamentais. Cabe destacar também o crescimento da produção de etanol durante a década de 2000, proporcionada pela introdução dos veículos *flex* no mercado brasileiro. Outro fato observado pela análise da figura é o crescimento quase linear da produção de açúcar após a safra de 1993/94, motivada pela abertura das exportações e o bom preço do produto no mercado externo.

Atualmente, a maior parte da cana-de-açúcar processada no Brasil é destinada à produção de açúcar e etanol, graças aos bons preços dos produtos no mercado internacional e ao aumento expressivo do consumo de etanol para veículos.

O setor sucroenergético pode ser considerado estratégico para a economia brasileira, já que em 2017 ele foi responsável por 2% do PIB do país, além de ter sido o terceiro segmento em exportação do agronegócio, gerando US\$12,2 bilhões em divisas para a nação, sendo superado apenas pelo complexo da soja, carnes e produtos florestais. A cadeia de transformação da cana-de-açúcar também é uma

grande geradora de empregos, cerca de 2,4 milhões de pessoas são empregadas pelo setor, espalhadas por todas as regiões do Brasil (UNICA, 2018).

Esses dados contribuem para a posição de destaque que o Brasil ocupa no mercado sucroenergético mundial. Atualmente, o país é o maior produtor de cana-de-açúcar e açúcar e o segundo maior produtor de etanol do mundo (UNICA, 2018).

### **3.2. Capacidade instalada e localização das usinas no Brasil**

Atualmente, existe, em operação, 407 usinas de açúcar e álcool no Brasil, somente na região Sudeste o número de usinas chega a 255, sendo o Estado de São Paulo responsável por 80% desse número. Seguido da região Centro-Oeste que conta com um total de 63 usinas, já a região Nordeste, outrora detentora do título de maior produtora de bens oriundos da cana-de-açúcar do Brasil, ocupa a quarta colocação com 55 usinas.

O Sul do Brasil também tem um número considerável de usinas no seu território, se comparado a região Norte. Atualmente, o Sul conta com 30 plantas industriais, sendo que a maior parte desse número concentra-se no Paraná, que detém 90% do total de empresas, os 10% restantes ficam localizadas em Santa Catarina.

Na Tabela 7 é possível observar a localização por estados das usinas de cana-de-açúcar do Brasil, assim como a quantidade de empresas existentes em cada estado da Federação.

**Tabela 7 - Localização das usinas de cana-de-açúcar pelo Brasil.**

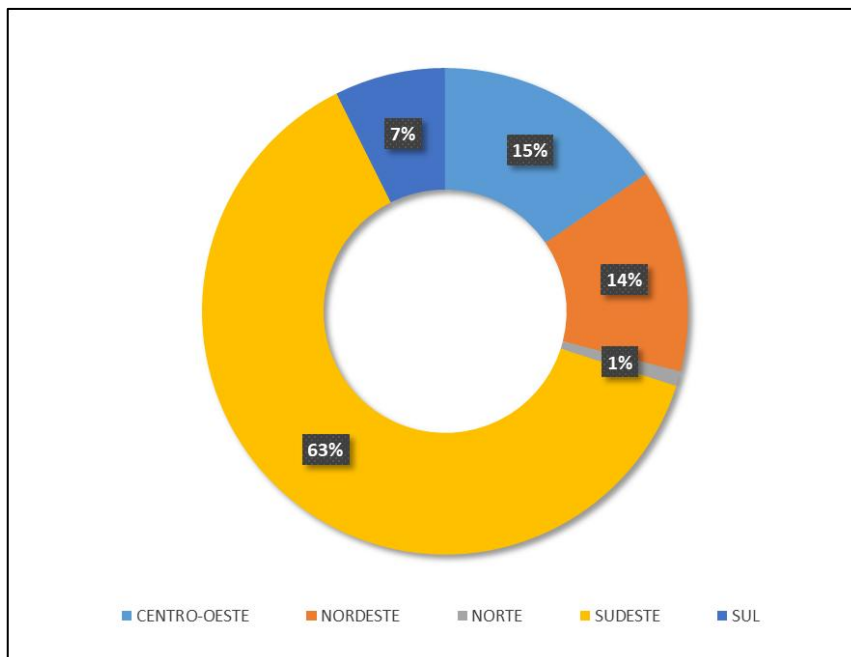
<b>REGIÃO</b>	<b>UF</b>	<b>QTDA DE USINAS</b>
Centro-oeste	GO	32
Centro-oeste	MS	23
Centro-oeste	MT	8
Nordeste	AL	20
Nordeste	BA	1
Nordeste	MA	2
Nordeste	PB	5
Nordeste	PE	19
Nordeste	PI	1
Nordeste	RN	2
Nordeste	SE	5
Norte	AM	1
Norte	PA	2
Norte	TO	1
Sudeste	ES	3
Sudeste	MG	45
Sudeste	RJ	2
Sudeste	SP	205
Sul	PR	27
Sul	SC	3

**Fonte: SIGA, 2020.**

Analisando a Tabela 7, nota-se que a quantidade de usinas presentes no Estado de São Paulo é superior à soma do restante das usinas existentes no país, enquanto o restante do Brasil conta com 202 unidades de produção, o estado paulista conta, sozinho, com 205 usinas.

Na Figura 14 é possível observar a divisão regional das usinas de cana-de-açúcar no Brasil e a sua concentração nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste.

**Figura 14 - Porcentagem de usinas por Regiões brasileiros e sua concentração por região.**

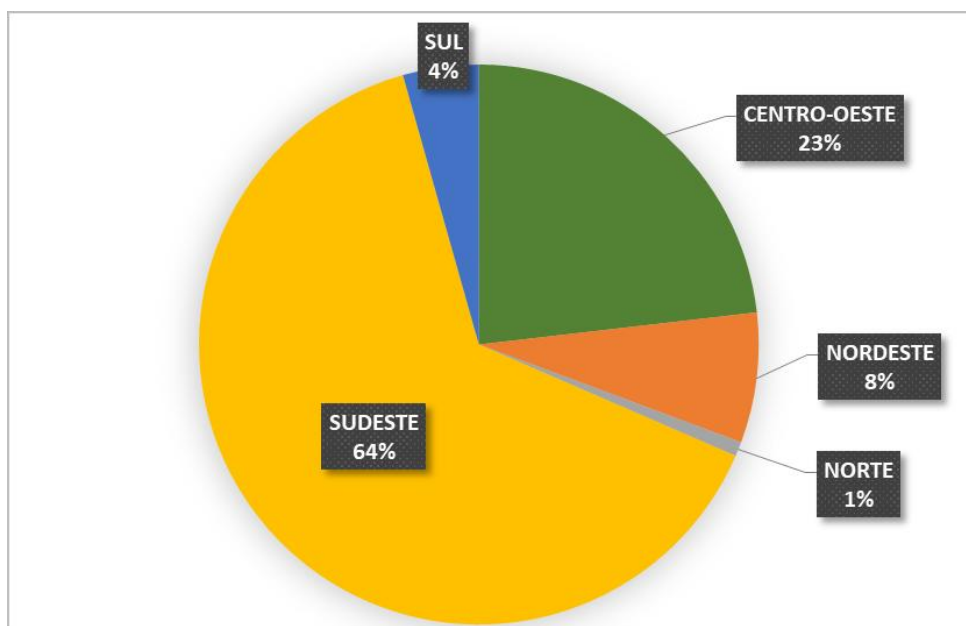


**Fonte: SIGA, 2020.**

A concentração das usinas nessas áreas se devem sobretudo as características agrônômicas da cana-de-açúcar, visto que sua produção só pode ser realizada em regiões tropicais que intercalem os períodos úmidos com o seco, limitando sua produção na maior parte do Sul e do Norte do Brasil (MILANEZ; SOUZA, 2017).

Atualmente, as usinas sucroenergéticas do país somam 11.669.341 kW de potência outorgada para a geração de energia. Por concentrar o maior número de usinas, o Sudeste é responsável por 64% da potência outorgada, seguido da região Centro-Oeste com 23% e da Nordeste com 8%, já a Norte e Sul somam 5%, como pode ser observado na Figura 15.

**Figura 15 - Potência Outorgada pela ANEEL por Regiões.**



Fonte: SIGA, 2020.

Considerando apenas a potência paulista, o estado sozinho é responsável por mais de 50% da potência do setor, o que o torna um grande produtor de energia através da biomassa, conforme Tabela 8.

**Tabela 8 - Potência Outorgada pela ANEEL por Estados.**

REGIÃO	UF	QTDA	POTENCIA OUTORGADA (KW)
Sudeste	SP	205	5.990.285
Centro-oeste	GO	32	1.407.868
Sudeste	MG	45	1.371.920
Centro-oeste	MS	23	1.106.768
Sul	PR	27	500.020
Nordeste	AL	20	317.462
Nordeste	PE	19	297.770
Centro-oeste	MT	8	188.928
Nordeste	PB	5	101.500
Norte	TO	1	80.000
Sudeste	ES	3	69.200
Nordeste	SE	5	59.700
Nordeste	RN	2	57.000
Sudeste	RJ	2	49.000
Nordeste	PI	1	18.000
Nordeste	BA	1	16.000
Norte	PA	2	12.450
Sul	SC	3	11.070
Nordeste	MA	2	9.400
Norte	AM	1	5.000

Fonte: SIGA, 2020.



Apesar do elevado número de usinas espalhados pelo território Nacional, apenas 209 usinas comercializaram energia em 2018, enquanto o restante das indústrias do setor sucroenergético produziram energia apenas para o autoconsumo, ou seja, sem geração/exportação de excedente para o mercado externo (UNICA, 2019).

### **3.3. Panorama do setor e da bioeletricidade no cenário Nacional**

O setor sucroalcooleiro tem se sobressaído quando se trata de sustentabilidade, sendo uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis. Devido ao grande potencial de produção de etanol, que é obtido de uma fonte renovável, ele não afeta severamente a camada de ozônio como os combustíveis derivados do petróleo, visto que sua queima não emite muitos gases poluentes na atmosfera, sendo assim é um combustível ecologicamente correto (CONAB, 2018).

Além da produção de etanol e açúcar, a agroindústria sucroalcooleira também tem se destacado na produção de energia elétrica, conhecida como bioeletricidade. A bioeletricidade é “uma energia limpa e renovável, feita a partir da biomassa advinda da moagem da cana-de-açúcar (bagaço e palha), de restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante e outras biomassas” (UNICA, 2019).

Para a ANEEL, “biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia” (ANEEL, 2002).

Atualmente, a biomassa ocupa o quarto lugar na matriz energética brasileira, correspondendo a quase 9% da potência outorgada, perdendo apenas para as fontes hídricas, fósseis e a eólica.

De acordo com os dados consolidados sobre a bioeletricidade, em 2018, as 200 usinas sucroalcooleira que comercializaram energia para o mercado externo, forneceram 21,5 mil GWh de energia para o SIN, em termos de comparação, a energia gerada/fornecida é suficiente para abastecer 11,4 milhões de residências durante um ano (UNICA, 2019).

Nesse cenário, o setor sucroenergético tem se sobressaído na geração de energia elétrica a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar.

Com mais de 400 usinas espalhadas pelo território nacional e uma potência de mais de 11.669.341,2kW, o setor é dono de 71% do total de usinas que utilizam alguma das fontes de biomassa para a geração de energia e é o responsável por quase 77% da potência outorgada.

**Figura 16 - Capacidade Instalada e número de usinas que compõem a geração por biomassa.**

Origem	Tipo	Combustível	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	% Potência Outorgada
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	407	11.669.341,20	76,60%
Biomassa	Floresta	Licor Negro	18	2.538.634,00	16,66%
Biomassa	Floresta	Resíduos Florestais	60	473.317,00	3,11%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	21	171.588,60	1,13%
Biomassa	Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705,05	0,84%
Biomassa	Floresta	Lenha	7	82.215,00	0,54%
Biomassa	Agroindustriais	Casca de Arroz	13	53.333,00	0,35%
Biomassa	Floresta	Carvão Vegetal	8	48.197,00	0,32%
Biomassa	Agroindustriais	Capim Elefante	2	31.700,00	0,21%
Biomassa	Agroindustriais	Biogás-AGR	3	10.974,00	0,07%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Carvão - RU	3	8.250,00	0,05%
Biomassa	Floresta	Biogás - Floresta	1	5.000,00	0,03%
Biomassa	Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481,20	0,03%
Biomassa	Biocombustíveis líquidos	Óleos vegetais	2	4.350,40	0,03%
Biomassa	Resíduos sólidos urbanos	Resíduos Sólidos Urbanos - RU	1	4.278,00	0,03%
Biomassa	Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320,00	0,00%
<b>Total</b>			<b>573</b>	<b>15.233.684,45</b>	<b>100,00%</b>

**Fonte: Sistema de Informação de Geração da ANEEL (SIGA), 2020.**

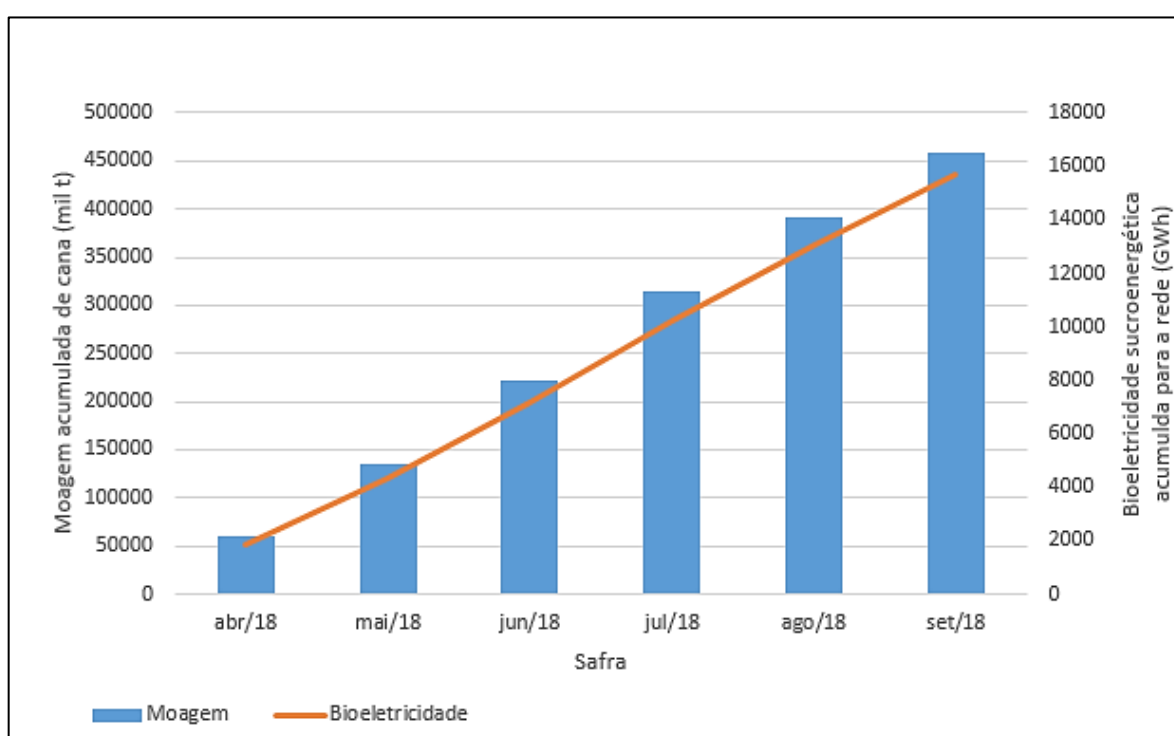
Devido às dimensões do setor, a maior parte da geração por biomassa entregue ao SIN vem do setor sucroenergético. Em 2018, o setor foi o responsável pela geração de 82% da energia fornecida ao sistema brasileiro (UNICA, 2019).

Ao contrário do que ocorre com o setor hidrelétrico, onde a geração de energia elétrica aumenta no período úmido devido às chuvas, que elevam os níveis de água nos reservatórios, no setor sucroenergético os picos de produção de energia acontecem sempre nos meses que compreendem o período seco, ou seja, nos meses de maio a novembro.

A geração por biomassa açucareira tende a acompanhar o ritmo de moagem do setor sucroalcooleiro, ou seja, quanto mais cana-de-açúcar é processada, mais bioeletricidade é gerada.

Na Figura 17 pode-se observar a oferta acumulada de bioeletricidade sucroenergética para a rede em comparação com a moagem acumulada de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do país no período de abril a setembro de 2018 (UNICA, 2018).

**Figura 17 – Geração para o SIN pela biomassa sucroenergética e moagem de cana-de-açúcar acumulados.**



**Fonte: UNICA, 2018, dados básicos da CCEE, 2018. Informações de geração no centro de gravidade.**

Pela análise da Figura 17 é notável que a oferta de bioeletricidade para a rede elétrica aumenta conforme a moagem de cana aumenta, enquanto no início da safra o valor ofertado de energia para a rede era de 1.839GWh para 59.877 toneladas de cana moída, em setembro, quase final de safra, esse valor chegou a 15.677GWh para 457.999 toneladas de cana moída.

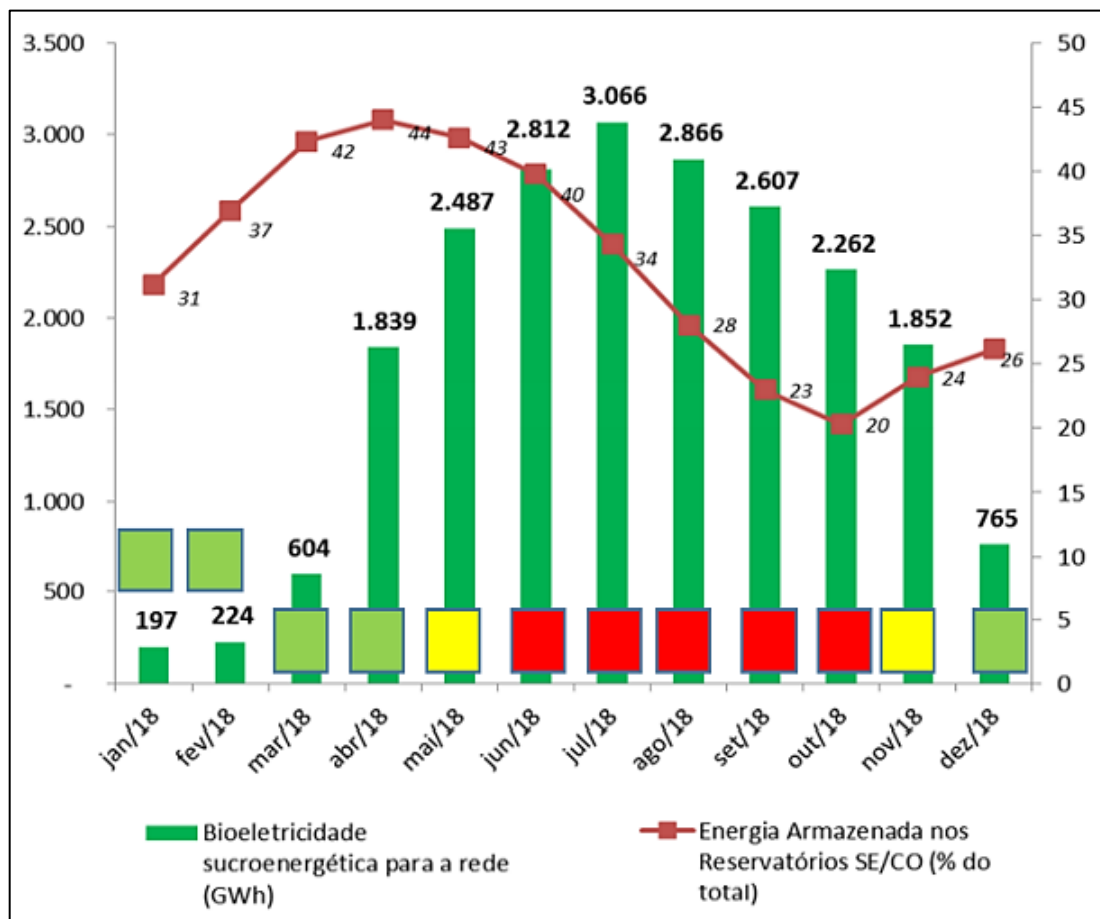
Esta correlação entre colheita/moagem de cana e geração de energia para o SIN torna a biomassa sucroalcooleira estratégica para a complementariedade da geração hidrelétrica do país (UNICA, 2018).

Durante a safra 2017/18, 96% da cana foi moída entre abril e novembro, compreendendo os meses do período seco. Durante esse período, que é considerado o mais crítico para setor elétrico devido às condições hidrológicas, o setor sucroenergético entregou mais de 80% da bioeletricidade gerada para o SIN, colaborando para o suprimento de energia do país e afirmando sua posição estratégica (UNICA, 2018).

Quando se analisa a Energia Armazenada nos Reservatórios (EAR), ou seja, a “energia potencialmente disponível nos reservatórios das hidrelétricas, cujo cálculo considera o volume de água armazenado e a capacidade de geração da usina” (UNICA, 2018), é possível ver claramente a importância do setor para o suprimento de energia no país durante o período seco.

Na Figura 18 encontra-se o gráfico da geração de bioeletricidade sucroenergética para a rede em GWh e a energia armazenada nos reservatórios (EAR) em porcentagem (%) da região Sudeste/Centro-Oeste do Brasil.

**Figura 18 - Bioeletricidade sucoenergética ofertada para a rede em GWh, Energia Armazenada nos Reservatórios (EAR) em (%) da região SE/CO e Bandeira tarifária no período de jan. a dez/2018.**



Fonte: UNICA, 2019.

A EAR do submercado Sudeste/Centro-Oeste em abril de 2018 era de 44% de sua capacidade total, com a escassez de chuva no período seco os reservatórios da região foram esvaziando naturalmente nos meses subsequentes, chegando ao seu menor nível em outubro com 20% de sua capacidade. No entanto, em virtude do maior ritmo de produção nas usinas sucoalcooleiras na região Centro-Sul, a geração de bioeletricidade pelo setor saltou de 1.839GWh em abril, período em que os reservatórios começam a esvaziar, para 2.262GWh em outubro, durante o nível mais baixo nos reservatórios, com pico de produção em julho, chegando a gerar mais de 3.000GWh.

Outra constatação que pode ser feita pela análise do gráfico da Figura 18 é que, durante o período seco o setor entregou 83% da energia gerada para a rede,

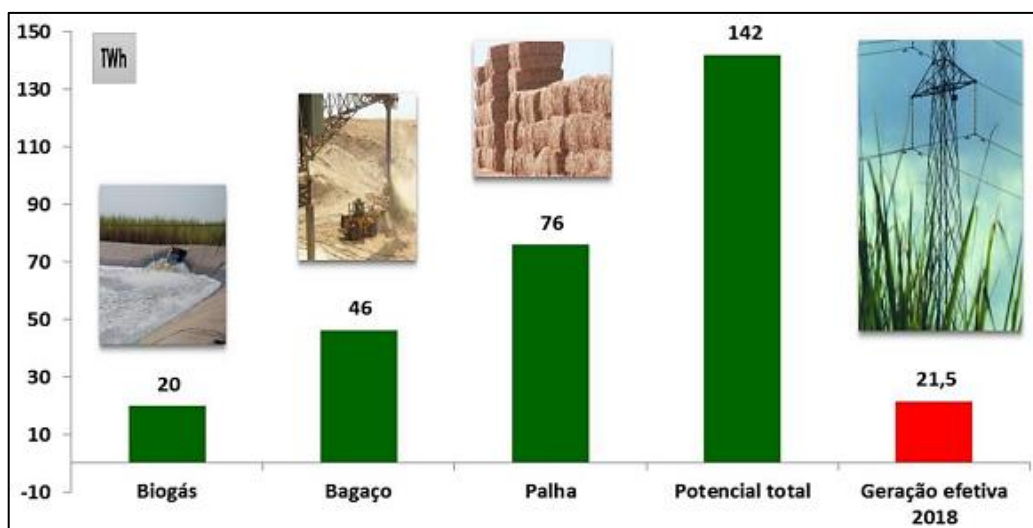
quando a bandeira tarifária estava amarela ou vermelha, elevando o preço da energia elétrica paga pelos consumidores.

Se forem considerados apenas os meses entre janeiro a setembro, é possível dizer que o total de energia fornecido ao SIN pela biomassa de cana foi equivalente a economizar 10% da EAR do submercado Sudeste/Centro-Oeste (UNICA, 2018).

Logo, pelas características apresentadas quanto ao nível de produção e ao período em que ele ocorre, a bioeletricidade pode ser considerada uma fonte sazonal, devido a sua previsibilidade e confiabilidade, assim como a hidrelétrica.

Apesar disso, a bioeletricidade não é aproveitada plenamente, de acordo com dados da UNICA (2019). Aproveita-se apenas 15% do potencial da biomassa presente nos canaviais. Se fossem aproveitados totalmente os recursos, a bioeletricidade teria o potencial para chegar a 142mil GWh, quase 7 vezes o volume ofertado em 2018, atendendo a mais de 30% do consumo de energia no SIN.

**Figura 19 - Potencial técnico em TWh de bioeletricidade sucroenergética para a rede elétrica em 2018.**



Fonte: UNICA, 2019.

Em um ambiente de negócios favorável dentro do setor elétrico e incentivada pelas políticas do RenovaBio, que segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020), tem como principal objetivo o “estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de

biocombustíveis na matriz energética de transportes do país”, a capacidade de crescimento da bioeletricidade sucroenergética entregue a rede seria enorme (ÚNICA, 2019).

Estimativas da UNICA (2020) apontam que se essas expectativas se mantiverem nos próximos anos, o crescimento da energia produzida pelas usinas e entregues a rede saltariam de 21,5mil GWh em 2018 para 34 mil GWh em 2030, ou seja um crescimento de quase 60%.

No entanto, ainda sim estaríamos aproveitando menos de 20% do potencial dessa matriz energética em 2030, deixando claro que para se atingir o potencial total de geração precisa-se assegurar algumas mudanças no mercado de comercialização de energia elétrica (UNICA,2020).

#### **4. COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

As crises enfrentadas pelo setor em anos anteriores obrigaram o governo federal a intervir na estrutura organizacional do sistema. Uma das mudanças implementadas foi a substituição do MAE pela CCEE.

A câmara de comercialização foi incumbida de atuar como operadora do mercado de energia, tendo a contabilização das operações de compra e venda de energia elétrica como uma de suas principais atividades. A realização de leilões, assim como a gerência dos contratos firmados são outras das atribuições da CCEE (CCEE, 2018).

Cabe a CCEE também desenvolver e aprimorar as regras e os procedimentos para o comércio de energia, além de monitorar continuamente o mercado para identificar ações em desacordo com a legislação vigente (CCEE, 2018).

##### **4.1. Modelo brasileiro de comercialização de energia elétrica**

De acordo com o novo modelo do setor elétrico, a comercialização passou a ser realizada em dois ambientes de negociações: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (CCEE, 2018).

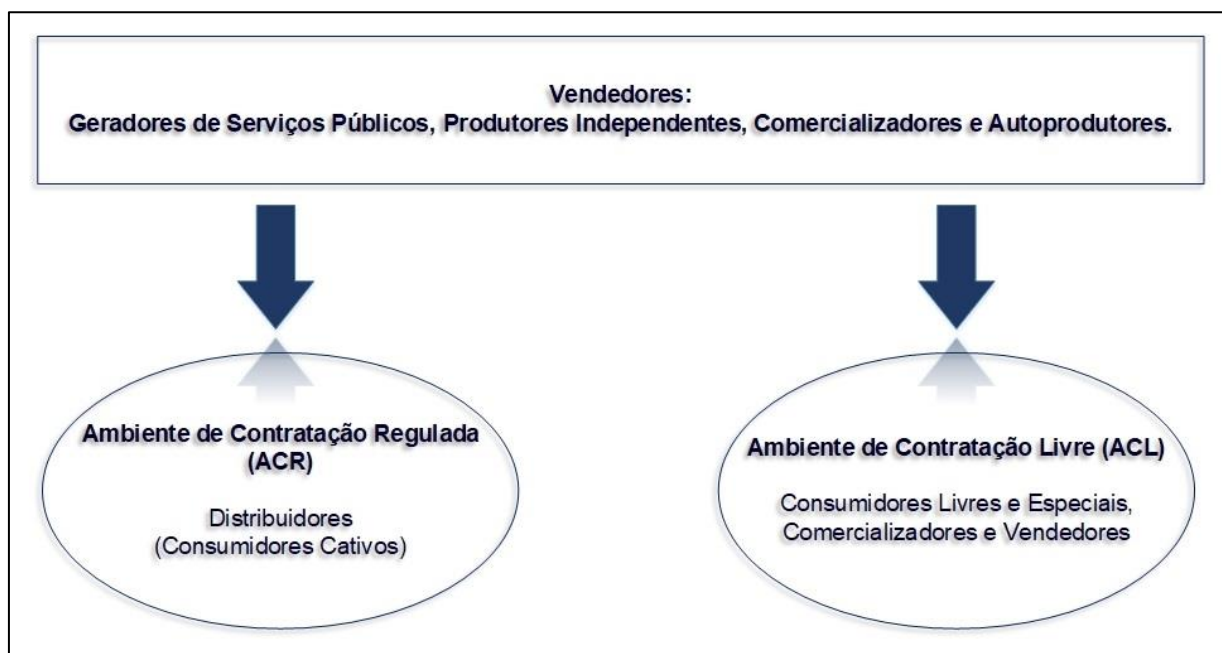
Os acordos bilaterais entre agente vendedor e agente de distribuição celebrados no âmbito do ACR são chamados de Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR). Já os firmados no ACL entre agentes de geração, comercializadores, importadores e exportadores são denominados Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) (CCEE, 2018).

Todos os negócios realizados tanto no ACR como no ACL são registrados na CCEE e servem de base para a contabilização dos montantes produzidos/consumidos de cada agente e assim, posteriormente, realizar a valoração no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) e a liquidação financeira no Mercado de Curto Prazo (MCP) (CCEE, 2018).

Uma visão geral da comercialização, envolvendo os dois ambientes de contratação, é apresentado na Figura 20.



**Figura 20 - Visão geral da comercialização de energia.**



Fonte: Adaptado de Visão Geral das Operações na CCEE, 2010.

As usinas cogedoras podem comercializar energia excedente nos dois ambientes de negociação e podem ser classificadas como Autoprodutores (AP) ou Produtores Independentes de Energia Elétrica (PIE) (CCEE, 2010).

Os AP são agentes com autorização da ANEEL para produzir energia elétrica destinada a seu uso, podendo comercializar o seu excedente, enquanto os PIE são agentes individuais ou reunidos que recebem permissão para produzir energia elétrica destinada à comercialização por sua conta e risco (CCEE, 2010).

A Figura 21 apresenta um comparativo entre os ambientes de negócios instituídos pela CCEE para a comercialização de energia elétrica.

Figura 21 - Diferenças entre o ACL e o ACR na contratação de energia elétrica.

	Ambiente Livre	Ambiente Regulado
<b>Participantes</b>	Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais.	Geradoras, distribuidoras e comercializadoras. As comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente.
<b>Contratação</b>	Livre negociação entre os compradores e vendedores.	Realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da Aneel.
<b>Tipo de Contrato</b>	Acordo livremente estabelecido entre as partes.	Regulado pela Aneel, denominado Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR).
<b>Preço</b>	Acordado entre comprador e vendedor.	Estabelecido no leilão.

Fonte: Adaptado de CCEE, 2018.

#### 4.2. Ambiente de contratação regulado (ACR)

Dentro do ACR os leilões de compra de energia elétrica realizados pela CCEE por determinação da ANEEL, constituem o principal papel do ambiente regulado. É no ACR que os compradores e vendedores de energia participantes dos leilões formalizam suas relações comerciais por meios de contratos registrados no ACR (CCEE, 2020).

Os contratos selados no âmbito do ACR possuem regulação específica para preços da energia, submercados de registro do contrato e vigência de suprimento, além de não serem passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes (CCEE, 2020).

A energia gerada por ações do PROINFA e pela binacional Itaipu, apesar de não serem negociadas em leilões, se enquadram no ACR, visto que possuem contratação regulada e condições específicas definidas pela ANEEL (CCEE, 2020).

Existem seis tipos de contratos negociados no ACR, são eles:

- **Contratos de Geração Distribuída:** a energia elétrica negociada por esse tipo de contrato provém da conexão direta entre o sistema elétrico do agente distribuidor e os empreendimentos de geração dos agentes concessionários, permissionários ou autorizados. As contratações desse tipo de energia sempre são precedidas por chamada pública, promovida pelo agente distribuidor (CCEE, 2020).
- **Contratos de Ajustes:** esses contratos são firmados com a finalidade de complementação de carga necessária para o atendimento total do mercado consumidor das concessionárias de distribuição (CCEE, 2020).
- **Contratos do PROINFA:** de acordo com a CCEE (2020), esses contratos representam os montantes comercializados pela Eletrobrás na CCEE, tendo como vendedoras as usinas participantes do PROINFA, representados pela Eletrobrás, e como compradoras as concessionárias de distribuição de energia, consumidores livres e especiais e autoprodutores adquirentes da quota-parte deste programa.
- **Contratos de ITAIPU:** são referentes a comercialização da energia produzida pela Binacional na CCEE pela Eletrobrás e destinada aos agentes distribuidores (CCEE, 2020).
- **Contratos de Energia de Reserva (CER):** esse sistema de contratação foi criado para dar mais segurança ao fornecimento de energia elétrica do SIN, os contratos são firmados em leilões entre os agentes vendedores e a CCEE, que desempenha o papel de representante dos agentes de consumo (CCEE, 2020).
- **Contratos de Uso de Energia de Reserva (CONUER):** são contratos celebrados entre a CCEE e os agentes de consumo do ACR e do ACL, em decorrência dos CER (CCEE, 2020).
- **Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR):** são os contratos celebrados entre o agente vendedor

e o agente de distribuição no âmbito do ACR, os contratos contêm cláusulas e condições fixas, não passíveis de mudança, especificados por meio dos editais publicados para cada leilão. Após a assinatura, os contratos seguem para registro no Sistema de Contabilização e Liquidação (SCL), para que possam ser considerados no processo de contabilização e liquidação financeira (CCEE, 2020).

### **4.3. Ambiente de contratação livre (ACL)**

Neste ambiente a comercialização é realizada entre os agentes detentores de registros de geração, comercializadores, importadores/exportadores de energia, além dos consumidores livres e especiais, que atendam as condições prevista na regulamentação (CCEE, 2017).

Os contratos negociados no ACL, denominados CCEAL, têm suas condições de atendimento, volumes de compra e venda, preços e demais cláusulas de contratação livremente negociadas entre as partes (CCEE, 2017).

Para ser considerado um Consumidor Livre e assim escolher o seu fornecedor de energia elétrica através da livre negociação, o consumidor precisa atender certos requisitos estabelecidos pela legislação vigente, dentre eles ter uma demanda mínima de 3MW, independente da tensão de fornecimento (CCEE, 2010).

Os consumidores que se enquadram e optam por se tornarem livres devem ser agentes da CCEE e devem arcar com o pagamento de todos os encargos, taxas e contribuições setoriais previstas na legislação (CCEE, 2010).

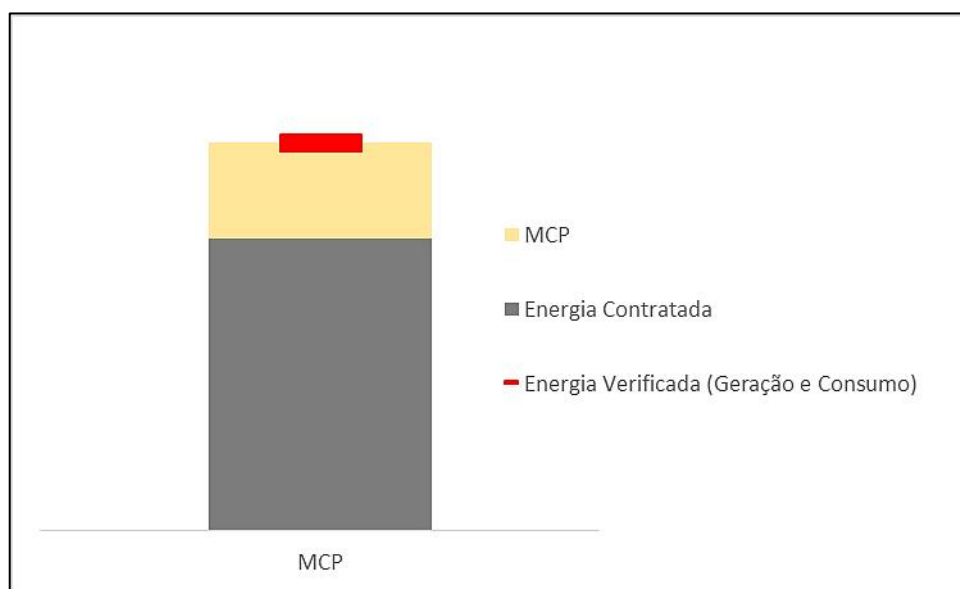
Já a classificação de Consumidores Especiais é reservada a consumidores com demanda entre 500kW e 3MW e que, obrigatoriamente, compram energia gerada exclusivamente por usinas incentivadas, ou seja, usinas que utilizam fontes alternativas para gerar energia, tais como eólica, biomassa, solar, PCH etc. (CCEE, 2010).

### **4.4. Mercado de curto prazo (MCP)**

O MCP é o segmento da CCEE responsável por contabilizar as diferenças entre os montantes de energia contratada e os montantes de geração e consumo verificados (Figura 22), atribuindo-os a cada agente.

No processo de contabilização, a CCEE realiza as medições dos montantes efetivamente produzidos e consumidos de cada agente e as diferenças apuradas, sendo elas positivas ou negativas, são então contabilizadas para liquidação no MCP e valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) (CCEE, 2020).

**Figura 22 - Comercialização de energia no Mercado de Curto Prazo.**



Fonte: Adaptado Silva, 2017

#### 4.5. Preço de Liquidação das Diferenças (PLD)

Devido a predominância de usinas hidrelétricas na matriz elétrica brasileira, o cálculo do PLD parte do princípio de que a máxima utilização dos recursos hídricos disponíveis em cada período é a forma mais econômica de gerar energia, visto que isso minimiza os custos de combustível (CCEE, 2020).

No entanto, a geração de energia por hidrelétricas não é constante durante o ano todo, nos meses do período seco ou em períodos de estiagem, é necessário colocar em operação termelétricas para garantir a confiabilidade do sistema, poupando, assim o nível dos reservatórios. Entretanto essa conservação de volume de água nos reservatórios tem um preço, visto que a utilização de UTE aumentam o custo de operação, principalmente se forem movidas a combustíveis fósseis (CCEE, 2020).

Por meio das condições hidrológicas do submercado, da demanda de energia, do preço dos combustíveis e da disponibilidade de equipamentos de geração e transmissão, o modelo de precificação obtém o resultado ótimo para o período avaliado, definindo a participação da geração hidráulica e da geração térmica para cada submercado. Como resultado dessa análise, são definidos os Custos Marginais de Operação (CMO) para o período avaliado, para cada patamar de carga e para cada submercado (CCEE, 2020).

Logo, para a determinação do PLD, atualizado semanalmente, leva-se em consideração o patamar de carga, baseado no CMO. O valor do PLD é então determinado dentro de um intervalo, sendo limitado por um preço máximo e um preço mínimo, vigentes para cada período de apuração e submercado CCEE, 2020).

#### **4.6. Leilões de energia elétrica**

A principal forma de contratação de energia elétrica no Brasil atualmente é através de leilões, por meio deles as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços públicos de distribuição de energia elétrica do SIN garantem o atendimento integral do seu mercado consumidor no âmbito do ACR (CCEE, 2020).

Os leilões são realizados pela CCEE, por delegação da ANEEL, e utiliza o critério da menor tarifa para definir os vencedores da disputa, visando sempre a eficiência na contratação de energia (CCEE, 2020).

Além da contratação de energia pelo menor preço possível, outro objetivo dos leilões é atrair investidores para a construção de novas usinas, tendo em vista a expansão do parque gerador do país (ANEEL, 2020).

Como forma de aumentar a participação de fontes renováveis (eólica, biomassa e energia de PCH) na matriz elétrica brasileira e atender o crescimento do mercado do ACR, foi criado em 2007 o Leilão de Fontes Alternativas.

Para as compras de energia provenientes de projetos de geração indicados por resolução do CNPE e aprovados pela presidência da República, existem os Leilões Estruturantes, esses leilões são voltados para empreendimentos estratégicos e de interesse público, que visam assegurar a confiabilidade do sistema elétrico, garantindo o atendimento da demanda Nacional de energia elétrica (CCEE, 2020).

Os Leilões de Compra de Energia nova têm a finalidade de atender o aumento de carga das distribuidoras e promover a expansão do parque gerador, visto que nessa modalidade são negociadas energia proveniente de usinas que ainda serão construídas ou estão em construção. O leilão pode ser de dois tipos: A-5, voltados para usinas que entram em operação comercial em até cinco anos e o A-3, voltados para empreendimentos que entram em operação comercial em até três anos (CCEE, 2020).

Ao contrário dos leilões de energia nova, o Leilão de Energia Existente foi criado para a contratação de energia de usinas já concluídas e que estão em operação, cujos investimentos já foram amortizados, possuindo um custo mais baixo.

Para aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica no SIN, foi criado em 2004 o Leilão de Energia de Reserva, nesse leilão ocorre a contratação da energia reserva, proveniente de usinas contratadas especificamente para essa finalidade, ou seja, assegurar o fornecimento de energia elétrica para atendimento de toda a demanda do SIN. A contabilização e liquidação da energia reserva ocorre no Mercado de Curto Prazo (MCP), já os Encargos de Energia Reserva (EER) - custos decorrentes da contratação - são rateados entre todos os usuários da energia reserva, ou seja, agentes de distribuição, consumidores livres, consumidores especiais, autoprodutores, agente de exportação e agente de geração com perfil de consumo.

Por último, existem os Leilões de Ajuste, que tem o objetivo de adequar a contratação de energia pelas distribuidoras, corrigindo desvios decorrentes de diferenças no comportamento do seu mercado consumidor ou de previsões subestimadas.

#### **4.7. Comercialização da bioeletricidade sucroenergética**

Pelas normas de comercialização vigente atualmente é permitido as usinas do setor sucroenergético a comercialização de energia nos dois ambientes de negociação.

De acordo com a UNICA (2019), 54% das usinas do Brasil comercializaram energia, enquanto os 46% restante geraram apenas para autoconsumo.

Avaliando os ambientes de negociação ACR e ACL, em 2018, 60% dos agentes geradores do setor sucroenergético comercializaram energia exclusivamente no Ambiente de Contratação Livre (ACL), enquanto 20% dos produtores celebraram contratos apenas no ACR, os outros 20% restante fizeram negócios nos dois ambientes (UNICA, 2019).

As políticas atuais do ambiente de contratação regulados não são atrativas para a comercialização de bioeletricidade, visto que nos leilões de energia a bioeletricidade concorre diretamente com as fontes não renováveis, tais como carvão mineral e gás natural, não tendo uma distinção dos tributos positivos e negativos dessas fontes de geração (UNICA, 2019).

Além disso, de acordo com a UNICA, os agentes geradores a biomassa não recebe adequadamente pela geração de excedentes vinculadas em seus contratos desde 2015, estima-se que esses agentes tenham R\$500 milhões retidos no MCP.



## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho tinha como objetivo analisar o potencial técnico para a utilização da cogeração de energia elétrica do setor sucroenergético em complementação a geração de energia por hidrelétricas no Brasil, substituindo assim, a utilização de termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

Pelos dados que foram apresentados e analisados, além dos problemas socioambientais causados pela geração de energia por combustíveis fósseis, principalmente carvão mineral e petróleo, ainda temos o problema relacionado ao custo do combustível para esse tipo de geração.

Conforme descrito na seção 4.5, os Custos Marginais de Operação (CMO) levam em consideração o preço do combustível e as condições hidrológicas no seu cálculo, logo quando colocamos UTE operadas a combustíveis fósseis em operação, o valor da energia elétrica tende a ficar mais caro para o consumidor final, o que é facilmente observável pelo sistema de Bandeiras Tarifárias.

Para efeito de comparação, durante o mês de junho de 2019 devido as condições favoráveis a geração de energia, a bandeira tarifária adotada foi a verde, ou seja, sem acréscimo no valor da geração, o CMO para o período ficou em torno de R\$89,07/MWh. No entanto, analisando o mesmo período para o ano anterior, 2018, que não tinha as mesmas condições para a geração hidrelétrica, a bandeira tarifária adotada foi a vermelha patamar 2, elevando os custos marginais de operação para R\$471,06/MWh e encarecendo a conta de luz em R\$5,00 para cada 100kWh.

Para conseguirmos baratear essa conta, precisaríamos aumentar a participação da geração por biomassa, em específico a sucroenergética, e diminuir a participação dos combustíveis fósseis, visto que o preço da energia contrata nos últimos leilões a empreendimentos por biomassa foi relativamente menor que o das outras fontes térmicas.

No entanto para isso acontecer, o setor sucroenergético precisaria aumentar a quantidade de energia entregue ao SIN, comparando com os dados de 2018, seria necessário aumentar essa disponibilização para quase 3 vezes ao que foi entregue naquele ano, visto que naquele o setor sucroenergético entregou para o sistema 21,5TWh de energia, enquanto carvão mineral e o petróleo foram responsáveis por 33,1TWh da energia consumida no país.

Logo, para ficarmos independentes do carvão e do petróleo na matriz elétrica brasileira, as usinas sucroenergética precisariam entregar no mínimo 55TWh de energia para o SIN.

Se o potencial da bioeletricidade do setor fosse 100% aproveitada, a biomassa da cana-de-açúcar teria potencial técnico para chegar a 146TWh, suficiente para suprir as gerações de carvão mineral, petróleo e gás natural, que juntas somaram 87,6TWh de energia fornecida para consumo.

No entanto para que isso seja possível, são necessárias algumas mudanças nas contratações de energia elétrica no ACR, como a promoção de leilões dentro do ambiente regulado no setor sucroenergético e a criação de um produto para a bioeletricidade dentro dos leilões, nos moldes criados para as fontes eólicas e solar, visto que no modelo atual a bioeletricidade concorre diretamente com fontes não renováveis, como carvão e gás natural, sem qualquer tipo de diferenciação entre os pros e os contras da utilização dessas fontes de energia no SIN.

No leilão A-6/2019, por exemplo, a biomassa respondeu por apenas 1% do volume de energia contratado, enquanto o volume contratado de energia de termelétricas a gás natural chegou a 40%, isso aconteceu em grande parte devido à essa concorrência direta entre as fontes não-renováveis (GN e CM) e a bioeletricidade dentro do bloco termelétrico nos leilões.

Além disso, também é preciso fortalecer a bioeletricidade dentro do ACL, para que o número de projetos contratos seja cada vez maior dentro desse ambiente, despertando parte do potencial adormecido do setor.

Portanto, um dos fatores que poderiam contribuir para a substituição dos combustíveis fósseis na matriz energética brasileira por fontes de biomassa sucroenergética, seria a modernização do setor de comercialização de energia elétrica. Para isso seria necessário implementar mudanças no Ambiente de Contratações Regulado (ACR) de energia, assim como no fortalecimento do setor sucroenergético dentro do Ambiente de Contratação Livre (ACL), isso estimularia a entrada de mais usinas do setor sucroenergético na geração de energia elétrica para entrega de excedente ao SIN, aumentando a participação da biomassa na matriz elétrica brasileira e diminuindo efetivamente a dependência por combustíveis fósseis, sem correr risco de desabastecimento.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de informações de geração - SIGA**. Disponível em: < <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdKNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9> >. Acesso em: 27 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **Como a ANEEL atua**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/home> >. Acesso em 20 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa 235 de 2006**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Bandeiras Tarifárias**. 2020. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. **Visão Geral do setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2008. 236 p. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb](https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb)>. Acesso em: 28 abr. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2002. 153 p. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **RenovaBio**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim de recursos e reservas de petróleo e gás natural 2018**. Disponível em: < [http://www.anp.gov.br/images/DADOS\\_ESTADISTICOS/Reservas/Boletim\\_Reservas\\_2018.pdf](http://www.anp.gov.br/images/DADOS_ESTADISTICOS/Reservas/Boletim_Reservas_2018.pdf) >. Acesso em: 27 mai. 2020.

ALVEZ, Moisés. **Estudo de sistemas de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com utilização do bagaço e palha de cana**. Campinas, 2011. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, 2011.

CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL. **História do Setor Elétrico: 1879-1896 – Experiências e empreendimentos pioneiros**. Disponível em:< <http://portal.memoriadaeletricidade.com.br/historia-do-setor-eletrico/1879-1896-experiencias-e-empreendimentos-pioneiros/>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Regras de comercialização.** Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos\\_menu\\_lateral/regras?\\_afLoop=75158023628662&\\_adf.ctrl-state=117tu1bex9\\_1#!%40%40%3F\\_afLoop%3D75158023628662%26\\_adf.ctrl-state%3D117tu1bex9\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/regras?_afLoop=75158023628662&_adf.ctrl-state=117tu1bex9_1#!%40%40%3F_afLoop%3D75158023628662%26_adf.ctrl-state%3D117tu1bex9_5)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Comercialização.** Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao?\\_adf.ctrl-state=12fp0hjdjr\\_1&\\_afLoop=86116127163007#!%40%40%3F\\_afLoop%3D86116127163007%26\\_adf.ctrl-state%3D12fp0hjdjr\\_5](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_adf.ctrl-state=12fp0hjdjr_1&_afLoop=86116127163007#!%40%40%3F_afLoop%3D86116127163007%26_adf.ctrl-state%3D12fp0hjdjr_5)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Visão geral das operações na CCEE.** 2010. Disponível em: <<http://www.ccee.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Procedimento de comercialização:** Módulo 3 – Contratação de energia e potência: contratos do ambiente livre. 2017, 18 p.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Procedimento de comercialização:** Módulo 5 – Mercado de curto prazo: contabilização e recontabilização. 2013, 18 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar. V.5 – Safra 2018/19 N.2. Segundo levantamento. Brasília, 2018. 72 p.

ELETROBRÁS. **História.** Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Historia.aspx>>. Acesso em 18 mar. 2018.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. **Balço energético Nacional 2019:** ano base 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2019. 303 p. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

ENSINAS, Adriano Viana. **Integração térmica e otimização termoeconômica aplicada ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.** Campinas, 2008. 229 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 2008.

MILANEZ, Arthur Yabe; SOUZA, Jose Antonio. **Panoramas Setoriais 2030:** desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: BNDS, 2017. p. 108 – 121. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14214>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Proinfa.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **CMSE.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmse>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **CNPE**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Boletim do setor mineral**. Brasília, 2019. 28 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/78404/0/BOLETIM+SETOR+MINERAL.pdf/acb1ca8d-b2bd-825c-03e8-939e87f94682>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Participação do carvão mineral na matriz energética brasileira**. Brasília: 2013. 10 p. Disponível em:< <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/audiencias-publicas/anos-anteriores/arquivos-anteriores-a-2015/09-10-2013-mme>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

MACHADO, Fúlvio de Barros Pinheiro. **Brasil, a doce terra**: História do setor, 2003. 8 p. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia\\_da\\_cana\\_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf)>. Acesso em 15 dez. 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Balanco Nacional da Cana-de-açúcar e Agroenergia**. Depto. de Cana-de-açúcar e Agroenergia. Secretaria de Produção e Agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2007. 139 p. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007/balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Produção Brasileira de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol**. Depto. de Café, Cana-de-açúcar e Agroenergia. Secretaria de Produção e Agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2018. 2 p. Disponível em:< [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/copy2\\_of\\_PRODUBRASILEIRADECANADECARACAREETANOL.pdf](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/copy2_of_PRODUBRASILEIRADECANADECARACAREETANOL.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2018.

NOVA CANA. **Usinas Brasil**. 2020. Disponível em: <[https://www.novacana.com/usinas\\_brasil](https://www.novacana.com/usinas_brasil)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **O que é o ONS**. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Sistemas isolados**. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>>. Acesso em: 26 mar. 2020.

PETROBRAS. **Bacias**. 2020. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

QUEIROZ, Gil Mesquita de Oliveira Rabello. **Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcooleiras**. Ilha Solteira, 2008.135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

RIBEIRO, Marcelo de Paula. **Estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina termelétrica movida à bagaço de cana no sistema elétrico do Paraná.** Cornélio Procópio, 2015. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

SILVA, Caique Carvalho. **Estudo de viabilidade econômica da interligação de uma central termelétrica de papel e celulose no sistema elétrico do Paraná.** Cornélio Procópio, 2017. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

TROMBETA, Natália de Campos; CAIXETA FILHO, José Vicente. Potencial e Disponibilidade de Biomassa de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil: indicadores agroindustriais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba, v.55, n.3, p.479-496. Jul./Set. 2017.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Bioeletricidade: a energia verde e inteligente do Brasil.** São Paulo, 2010. 15 p. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/Cartilha-da-Bioeletricidade.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Boletim/UNICA a bioeletricidade em números: posição até novembro de 2018.** São Paulo, 2018. 6 p. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/documentos/>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados.** São Paulo, 2018. 4 p. Disponível em: <[www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=35831777](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=35831777)>. Acesso em: 20 dez. 2018.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **A Bioeletricidade da cana: junho de 2019.** São Paulo, 2019. 9 p. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/documentos/>>. Acesso em: 16 dez. 2019.