

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**A MUDANÇA DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA POR
TRÊS FATORES: PROÁLCOOL, COGERAÇÃO E LIVRE
MERCADO DE ENERGIA**

Aluno: Guilherme Pereira da Silva

Orientador: Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino

São Carlos
2018

GUILHERME PEREIRA DA SILVA

**A MUDANÇA DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA POR
TRÊS FATORES: PROÁLCOOL, COGERAÇÃO E LIVRE
MERCADO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

P586a Pereira da Silva, Guilherme
A mudança da matriz energética brasileira por três
fatores: Proálcool, cogeração e livre mercado de
energia / Guilherme Pereira da Silva; orientador
Rogério Andrade Flauzino. São Carlos, .

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,

1. Matriz energética. 2. Proálcool. 3. Etanol. 4.
Cogeração. 5. Mercado livre de energia. 6. Eficiência.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Guilherme Pereira da Silva

Título: "A mudança da matriz energética brasileira por três fatores:
Proálcool, cogeração e livre mercado de energia"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 15 / 6 / 2018,

com NOTA 9,0 (Nove, zero), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - Orientador -
SEL/EESC/USP*

*Mestre Thamyres Tâmulla Cavalcante Palitó - Doutoranda -
SEL/EESC/USP*

*Mestre Murilo Eduardo Casteroba Bento - Doutorando -
SEL/EESC/USP*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Aos meus pais, Carlos e Gislaine,
que me deram tudo sem pedir nada em troca.

À minha namorada, Eliana,
que participou dessa caminhada ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que possibilitaram toda minha caminhada durante a Universidade, sempre me apoiando e incentivando independentemente da situação. Eles me permitiram sonhar, acreditaram em meus sonhos e fizeram com que fosse possível eu alcançá-los. Agradeço, novamente, pai e mãe, por todo amor a mim dedicado, todos os sacrifícios feitos para possibilitar minha formação e por serem a minha base durante toda a minha vida.

À minha namorada Eliana, que esteve comigo durante estes anos acompanhando-me e ajudando-me em todos os momentos. Não foram poucas as fases difíceis, mas lá estava ela sempre comigo, acreditando, mais do que eu mesmo, em meu potencial e capacidade de superar as adversidades. Ela fez parte da caminhada, não como uma espectadora, mas como minha companheira.

À minha turma, a Automação 012, Fabiano, Murilo, Vitor, Pedro, Harley, Eduardo, Gustavo, Daniel, Lahiri, Graciano, André, Marcelo e Vitória. Ao longo dos anos, nos tornamos mais que amigos, nos tornamos uma família. Cada um de nós com certeza vai levar consigo um pedaço dos momentos que passamos esses anos para a vida toda.

Aos meus eternos companheiros de apartamento, Bob e Alessandro, que me receberam em uma nova cidade e permitiram que eu tivesse uma nova casa. Agradeço por terem ensinado muito, não somente sobre a universidade, mas sobre a vida e as pessoas.

A todo corpo docente da Universidade de São Paulo, que contribuiu com a minha formação, principalmente ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino, pela oportunidade de elaboração deste trabalho, por todas as contribuições e ensinamentos.

Ao meu tio, José Silva, e Rafael Ometto do Amaral, que prontamente se colocaram à disposição para auxiliar a elaboração dessa monografia através da apresentação do funcionamento da Usina Santa Lúcia e fornecimento dos dados que necessários para a construção do estudo de caso.

RESUMO

DA SILVA, Guilherme Pereira. A mudança da matriz energética brasileira por três fatores: Proálcool, cogeração e livre mercado de energia. 2018. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2018.

O Brasil possui características específicas, capazes de torná-lo pioneiro na utilização de fontes alternativas de energia. Alterando a forma como os geradores e consumidores interagem com a matriz energética tradicional, é possível buscar maior eficiência no uso de recursos e diversificação das fontes de geração. Dessa forma, o presente trabalho, através de revisão bibliográfica e estudo de campo na Usina Santa Lúcia em Araras-SP, aborda como a mudança da matriz energética brasileira pode ser alcançada, por meio de três fatores: o Proálcool, a cogeração e o mercado livre de energia. O Proálcool constituiu-se por uma política governamental de incentivo ao etanol como combustível, que permitiu o desenvolvimento de uma frota movida a biocombustíveis, além do crescimento e desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro, o qual pode contribuir com grande parcela do fornecimento de energia elétrica do país através da cogeração. O emprego da cogeração aumenta a eficiência dos processos nas usinas, permitindo que elas se tornem autossuficientes energeticamente, e ainda vendam seu excedente de energia. Por fim, a venda ocorre no livre mercado de energia, alterando a dinâmica tradicional do setor energético ao incentivar a geração distribuída e o uso de fontes alternativas de energia, criando, assim, uma matriz energética exclusivamente brasileira, baseada em energia limpa, como demonstrado ao longo desta monografia.

Palavras-chave: Matriz Energética. Proálcool. Etanol. Cogeração. Mercado Livre de Energia. Eficiência.

ABSTRACT

DA SILVA, Guilherme Pereira. The change of the Brazilian energy matrix by three factors: Proálcool, cogeneration and free energy market. 2018. 77 p. Final paper (Bachelor of Electrical Engineering with emphasis on Energy Systems and Automation) – School of Engineering of São Carlos, São Carlos, 2018.

Brazil has specific characteristics capable of making it a pioneer in the use of alternative sources of energy. By changing the way generators and consumers interact with the traditional energy matrix, it is possible for the country to seek greater efficiency in the use of resources and diversify the sources of generation. Thus, the present work, through a literature review and field study at the Santa Lúcia Sugarcane Plant in Araras-SP, addresses how the change in the Brazilian energy matrix can be achieved through three factors: Proálcool, cogeneration and the free market power. Proálcool was a government policy to encourage ethanol as a fuel, which allowed the development of a biofuel fleet, in addition to the growth and technological development of the sugar and alcohol industry, which can contribute a large share of the country's electricity supply through cogeneration. The use of cogeneration increases the efficiency of the processes at the sugar cane plants, allowing them to become self-sufficient energetically and still sell their surplus energy. Finally, the sale occurs in the free energy market, changing the traditional dynamics of the energy sector by encouraging distributed generation and the use of alternative energy sources, therefore creating an exclusively Brazilian energy matrix based on clean energy, as demonstrated throughout this paper.

Keywords: Energy Matrix. Proálcool. Ethanol. Cogeneration. Free Energy Market. Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Mapa do Brasil apresentando as principais áreas de plantio de cana-de-açúcar e seus padrões de crescimento.....	33
Figura 02 – Ilustração do Ciclo ideal de Rankine. As turbinas a vapor são uma tecnologia clássica, sendo amplamente utilizadas em ciclos indústrias e de geração de energia em todo o mundo. O seu princípio de funcionamento teórico é baseado no Ciclo de Rankine, responsável por gerar até 90% de toda a energia consumida no mundo (WISER, 2000)....	37
Figura 03 – Ilustração do Ciclo a Vapor com Turbinas de Contrapressão no qual o processo da usina demanda a necessidade de pressão e, portanto, controla a quantidade de eletricidade gerada.....	38
Figura 04 – Ciclo a Vapor com Turbinas de Condensação e Extração mais eficiente, permitindo a geração de energia independentemente da necessidade de vapor da usina... Figura 05 – Gráfico apresentando a relação das fontes internas de energia, onde, a biomassa só foi superada pela hidroeletricidade.....	39
Figura 06 – Infográfico do potencial energético da cana-de-açúcar.....	40
Figura 07 – Mapa das Usinas de biomassa em operação no Brasil em Novembro de 2008....	41
Figura 08 – Infográfico Simplificado dos Mercados Livre e Cativo de energia.....	44
Figura 09 – Representação Gráfica do Sistema Interligado Nacional.....	45
Figura 10 – Infográfico dos diferentes clientes do Mercado Livre de Energia.....	46
Figura 11 – Uma rede de supermercados, com dez unidades consumidoras (todas com o mesmo CNPJ), cada uma com 50 kW de demanda contratada, poderá se tornar um consumidor especial por comunhão de cargas, atingindo a demanda requisitada de 500 kW.	47
Figura 12 – Infográfico dos diferentes fornecedores de energia para o Mercado Livre.....	48
Figura 13 – Comparativo entre a composição dos preços praticados no ACR e ACL.....	50
Figura 14 – Infográfico do balanço energético no mercado livre de energia.....	51
Figura 15 – Infográfico do cálculo do montante a ser pago no MCP pelo consumidor.....	51
Figura 16 – Infográfico do cálculo do montante a ser recebido no MCP pelo consumidor.....	52
Figura 17 – Infográfico ilustrando as etapas para a entrada de um consumidor no Livre Mercado de Energia.....	52
Figura 18 - O produto interno bruto (PIB) representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região durante um período	

determinado. O PIB do agronegócio considera os segmentos de insumos, produção primária, agroindústria e serviços, tanto no ramo agrícola quanto no pecuário.....	53
Figura 19 - Evolução da produção brasileira de cana, açúcar e etanol. Pode-se observar todas as fases do programa Proálcool: Fase Inicial (1975-1979) com início do crescimento da produção de etanol e diminuição da produção de açúcar; Fase de Afirmação (1980-1986) com grande crescimento da produção de etanol e aumento da produção de cana; Fase da Estagnação (1986-1995) com a produção de etanol e volume de cana praticamente congelados e Fase da Redefinição (1995-2000) declínio da produção do etanol como combustível e crescimento da produção do açúcar; Fase Atual (2000-Atualmente) novo crescimento da produção de etanol como combustível, graças a popularização da tecnologia flex no Brasil.....	55
Figura 20 – Diagramas ilustrando a eficiência agregada ao emprego da cogeração em um ciclo industrial.....	56
Figura 21 – Crescimento do Mercado livre de energia no Brasil por meio do aumento de comercializadoras e consumidores.....	57
Figura 22 – Ilustração dos processos e funcionamento de uma Usina de Álcool. O processo de produção de açúcar se diferencia depois da extração do caldo da cana, o qual, para o açúcar, será tratado de forma diferente.....	59
Figura 23 – Diagrama dos processos industriais de uma Usina de Açúcar e Álcool.....	61
Figura 24 – Vista Panorâmica da Usina Santa Lucia.....	63
Figura 25 – Caldeira de 42 bar de pressão e 450 °C.....	65
Figura 26 – Turbina TGM (Verde) e Gerador WEG (Azul) responsáveis pelo processo de cogeração.....	66
Figura 27 – Entrada da moenda de cana-de-açúcar. Aqui se inicia o processo de transformação da cana em açúcar ou etanol.....	67
Figura 28 – Bagaço armazenado no pátio para venda.....	68
Figura 29 – Painéis elétricos para controle do sistema de geração da usina.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Participação da cana em relação a outras plantas cultivadas no Brasil.....	54
Tabela 02 - Produção da cana-de-açúcar no Mundo.....	54

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores
BEN	Balanço Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CENAL	Comissão Executiva Nacional do Álcool
CMO	Custo Marginal de Operação
CNAL	Conselho Nacional do Álcool
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
ONS	Operador Nacional do Sistema
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PdC	Procedimento de Comercialização
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
ÚNICA	União da Indústria de cana-de-açúcar de São Paulo
USL	Usina Santa Lúcia

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	23
2.	PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL – O PROÁLCOOL E SEUS DESDOBRAMENTOS NO BRASIL	27
2.1.	Fase Inicial - 1975 a 1979	28
2.2.	Fase de Afirmação - 1980 a 1986	28
2.3.	Fase de Estagnação - 1986 a 1995.....	29
2.4.	Fase de Redefinição - 1995 a 2000	30
2.5.	Fase Atual	31
2.6.	Perspectivas para o Futuro do Proálcool	32
3.	A BIOMASSA E A COGERAÇÃO	35
4.	MERCADO LIVRE DE ENERGIA	43
5.	UMA REVOLUÇÃO DE TRÊS FACETAS	53
6.	A REALIDADE BRASILEIRA	59
6.1.	Estudo de Caso - Usina Santa Lúcia	63
7.	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

No final do século XX e início do século XXI, o mundo passou por um processo de transformação inédito, conhecido como globalização (RODHAN e STOUDMANN, 2006), sendo algumas de suas marcantes características a velocidade e o dinamismo. Devido a isso, houve um aprofundamento internacional da integração econômica, social, cultural e política, graças à redução de custos dos meios de transporte e comunicação (INTERNATIONAL MONETARY FOUNDATION, 2000; BRIDGES, 2002).

O catalizador para esse processo é a tecnologia (BAUMAN, 1999), que possibilitou o amplo acesso à informação e aos meios de comunicação, desconstruindo barreiras físicas, ou mesmo permitindo que elas fossem substituídas por meios de transporte mais eficientes e acessíveis à população (BAUMAN, 1999).

Assim, pode-se afirmar que a globalização mudou a forma como as pessoas se comunicam, tornando-se um marco na história da humanidade, tal como a Revolução Industrial do final do século XVIII e início do século XIX (HOBSBAWM, 2003). Enquanto o combustível para a revolução industrial foi o carvão, entra o questionamento: qual foi o combustível para a globalização?

A alta utilização de combustíveis fósseis na geração de energia para as indústrias, para uso e aquecimento domiciliar, para a propulsão das frotas de transportes coletivos e dos carros particulares, tem se transformado em uma intervenção danosa do homem na natureza, tendo causado efeitos nocivos para o meio ambiente pós-período da revolução industrial. Desde 1860 têm sido lançadas na atmosfera de 90 a 180 bilhões de toneladas de carbono, em decorrência das queimadas para desmatamento, somadas ao intervalo de 150 a 190 bilhões de toneladas advindas da combustão de carvão, petróleo e gás natural para produção de energia elétrica (HOBSBAWM, 2003). Assim, os combustíveis fósseis foram os grandes responsáveis pelo impulso da globalização, dando subsídios para o crescimento tecnológico e para a diminuição das fronteiras tecnológicas e físicas do mundo.

No entanto, os combustíveis fósseis trouxeram consigo inúmeros problemas ambientais e socioeconômicos. O aquecimento global, efeito mais sentido pela população mundial, revela-se um fenômeno natural não cíclico, e sim o mais claro resultado do grande e indiscriminado derramamento na atmosfera de dióxido de carbono, dióxido de enxofre, metano, entre outros compostos químicos, devido à queima de petróleo e seus derivados. (BARROS, 2007).

Já os problemas socioeconômicos, como conflitos armados e recessões econômicas relacionados ao petróleo, vêm do fato de grande parte de sua oferta ser controlada por um pequeno grupo de países. Inclusive, estes problemas ficaram marcados como a crise do

petróleo, que aconteceu em cinco fases – todas após a Segunda Guerra Mundial – provocada pelo embargo dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) à distribuição de petróleo para os Estados Unidos e países da Europa (LANDON, 2014; SCHOENBERG, 2017).

A crise do petróleo foi desencadeada num contexto de déficit de oferta, com o início do processo de nacionalizações e de uma série de conflitos envolvendo os produtores árabes da OPEP, como a guerra dos Seis Dias (1967), a guerra do Yom Kipur (1973), a revolução islâmica no Irã (1979) e a guerra Irã-Iraque (a partir de 1980), além de uma excessiva especulação financeira. Os preços do barril de petróleo atingiram valores altíssimos, aumentando em até 400% em cinco meses (17 de outubro de 1973 – 18 de março de 1974), o que provocou prolongada recessão nos Estados Unidos e na Europa e, consequentemente, desestabilizando a economia mundial (LANDON; 2014 e SCHOENBERG, 2017).

Com a intensificação das mudanças climáticas, crescente preço do barril de petróleo, aumento da pressão internacional para a diminuição do uso dos combustíveis fósseis e a crescente insegurança em relação ao fornecimento e durabilidade dos estoques de petróleo, os países foram em busca de soluções energéticas alternativas, a fim de garantir maior independência, sustentabilidade ambiental e econômica.

Atualmente, o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. Graças às condições geográficas favoráveis e à política energética adotada, as usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do Brasil.¹

O Brasil também é o segundo maior produtor mundial de combustível etanol¹, e, até 2010, o maior exportador do mundo. Juntos, Brasil e Estados Unidos lideram a produção industrial de etanol mundial, representando em conjunto 87,1% em 2011. Nesse mesmo ano o Brasil também produziu 21,1 bilhões de litros, o que representava 24,9% do total de etanol do mundo usado como combustível (LICHTS, 2017 e THE WORLD BANK, 2008).

A política brasileira de produção de etanol teve um grande crescimento graças ao Proálcool, ou Programa Nacional do Álcool, um programa de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool combustível, financiado pelo governo do Brasil a partir de 1975. Devido à crise do petróleo em 1973 – e mais agravante

¹ GOVERNO DO BRASIL, *Matriz energética*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

depois da crise de 1979 – o programa teve fim no final do século XX, alterando para sempre o papel do Brasil no mundo frente aos combustíveis. (SILVA e FISCHETTI, 2008)

O país, hoje, é classificado como a primeira economia sustentável com base em biocombustíveis do mundo, além de ser um líder da indústria de biocombustíveis (BUDNY e SOTERO, 2007; THE ECONOMIST, 2008). O etanol de cana-de-açúcar é considerado o combustível alternativo mais bem-sucedido até o momento (NOGUEIRA, 2008). Já não há quaisquer veículos leves no Brasil rodando apenas através de gasolina, pois, desde 1976, o governo tornou obrigatória a mistura de etanol à gasolina. E, desde 2003, os veículos bicombustíveis ou *flex* vêm ganhando espaço no mercado brasileiro: em 2013 mais 50% da frota de carros brasileiro tornou-se bicombustível, permitindo o abastecimento com o etanol² (LIMA, 2009).

Para abastecer toda essa frota de veículos foi necessário um grande investimento das usinas sucroalcooleiras para a produção de álcool, tanto nas tecnologias de produção, quanto no volume de produção e, consequentemente, na área de plantio de cana-de-açúcar. Logo, com o crescimento da produção de etanol, cresceu também o resíduo dessa produção, mais especificamente a biomassa da cana-de-açúcar (SILVA e FISCHETTI, 2008).

A biomassa da cana-de-açúcar é composta principalmente pelo bagaço, que se constitui pelo resíduo após a cana ser moída para a produção de álcool ou açúcar (ROSILLO-CALLE, BAJAY e ROTHMAN, 2005). Este subproduto pode ser empregado na cogeração de energia, podendo alavancar um novo mercado para as usinas, bem como uma nova forma de geração de energia renovável, devido ao seu alto potencial energético para queima.

A cogeração de energia é a produção simultânea de duas ou mais utilidades, como calor de processo e energia eletromecânica, a partir de uma mesma fonte energética. Isto resulta em um aumento de eficiência do projeto, trazendo benefícios econômicos ao reduzir os custos de combustíveis, quando comparada à produção das utilidades separadamente. Além disso, traz benefícios ambientais, como a redução de emissões de poluentes decorrentes da queima de combustíveis (BARJA, 2006).

A energia produzida através da cogeração nas usinas sucroalcooleiras pode ser usada pela própria usina, ou então ser injetada no sistema de distribuição para a utilização de outros consumidores. Este conceito de geração distribuída depende do acesso e da participação do gerador no livre mercado de energia, sendo este o ambiente de contratação livre, no qual o consumidor pode comprar o suprimento para o seu consumo, negociando

² ESTADÃO. *Carros Flex já são maioria na frota brasileira*. O Estado de São Paulo, agosto de 2013. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,carros-flex-ja-sao-maioria-na-frota-brasileira-imp-,1060477>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

livremente suas condições, como por exemplo, preço, prazo de entrega, flexibilidade de volume e indexadores de correção. Diferentemente do Mercado Cativo de energia, o consumidor passa a colher os benefícios e também torna-se responsável pela decisão.³ Nesse sistema, os monopólios naturais das distribuidoras de energia são colocados em xeque e os consumidores finais, ao menos os que têm acesso ao mercado livre, passam a escolher a energia que compram.

Assim, uma cadeia de produção e distribuição de energia renovável é formada, no qual o estímulo da utilização do etanol como combustível resulta em mais matéria prima para a queima da biomassa da cana e diminuição da utilização de combustíveis fósseis, seja nos meios de transportes ou na geração de energia elétrica. Todo esse processo pode fortalecer o Brasil como um país com uma matriz energética renovável, mas também traz alguns empecilhos, os quais serão discutidos ao longo desse trabalho.

O objetivo desta monografia, é, portanto, mostrar a força das conexões que permitem o pioneirismo do Brasil na forma como gera e distribui energia. A primeira conexão explorada é como as políticas energéticas brasileiras para combustíveis influenciaram o crescimento e estabelecimento das usinas sucroalcooleiras no Brasil, possibilitando, hoje, a sua diversificação da matriz energética através da cogeração de energia. Posteriormente, será verificado como o Brasil pode diminuir o monopólio das distribuidoras e alavancar o livre mercado de energia através da cogeração, permitindo uma maior flexibilidade nas decisões e um estímulo à geração distribuída e a fontes renováveis.

³ CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTICA. *Entenda o Mercado e a CCEE*. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_afrLoop=536056049619753#!%40%40%3F_afrLoop%3D536056049619753%26_adf.ctrl-state%3Dlqi9npzog_61>.

2. PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL – O PROÁLCOOL E SEUS DESDOBRAMENTOS NO BRASIL

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) foi criado em 14 de novembro de 1975 (SILVA e FISCHETTI, 2008), durante o governo do presidente Ernesto Geisel em pleno regime militar. O decreto nº 76.593, responsável pelo programa, objetivava estimular a produção de etanol para fortalecimento do mercado interno de combustíveis e diversificação das exportações (SILVA e FISCHETTI, 2008). Ele foi idealizado pelos engenheiros Lamartine Navarro Júnior e Cícero Junqueira Franco. Além disso, com o foco da disseminação do etanol como combustível veicular no Brasil, houve o desenvolvimento paralelo de outro programa, “o programa de motores à álcool”, conduzido pelo físico José Walter Bautista Vidar e pelo engenheiro Urbano Ernesto Stumpf (SILVA e FISCHETTI, 2008).

De acordo com o decreto citado acima (SILVA e FISCHETTI, 2008), a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar deveria ser incentivada por meio dos incentivos fiscais do governo e da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras.

O motivo pelo qual a cana-de-açúcar foi a matéria-prima escolhida para a produção de etanol foi a baixa nos preços do açúcar na época. Foram testadas outras alternativas de fonte de matéria-prima, como a mandioca, por exemplo. A cana-de-açúcar, no entanto, apresentava um alto retorno para os agricultores por hectare plantado, além da possibilidade de usufruir da estrutura já existente para a produção de açúcar (BARROS, 2007).

A distinção das etapas na produção do açúcar e do álcool ocorrem apenas após a obtenção do suco, que pode ser fermentado para a produção de álcool ou tratado para o refinamento do açúcar. Logo, o sucesso nos anos iniciais da produção do etanol por meio da cana-de-açúcar deveu-se à estrutura já existente nas usinas para a produção dela. Ademais, a implementação da produção do etanol também trouxe diversidade para os produtores, pois eles poderiam alternar a produção – em caso de possíveis reduções de preços internacionais levarem à queda do preço do açúcar, algo que frequentemente ocorria, dado à instabilidade desse mercado internacional. Portanto, era mais vantajosa a mudança para produção do álcool combustível (BARROS, 2007).

Desse modo, o governo passou a incentivar a migração da produção das usinas do açúcar para o etanol, de modo a injetar o combustível no mercado brasileiro, diminuindo a dependência da importação do petróleo e movimentando a economia nacional. O sucesso do Proálcool é difícil de ser medido, devido a suas diferentes fases – as quais serão citadas nos próximos subtópicos –, sendo ainda discutido por muitos pesquisadores. É importante frisar

que as mudanças trazidas com cada uma de suas fases mudaram o país, e ecoam na economia e na matriz energética brasileira até os tempos atuais.

2.1. Fase Inicial - 1975 a 1979

Na primeira fase do programa, todo o esforço foi dirigido para a produção de etanol anidro para a mistura com gasolina. O etanol hidratado é o etanol comum vendido nos postos atualmente, enquanto o etanol anidro é misturado à gasolina. A diferença entre os dois diz respeito à quantidade de água presente em cada um deles. O etanol hidratado combustível possui em sua composição entre 95,1% e 96% de etanol e o restante de água, enquanto o etanol anidro (também chamado de etanol puro ou etanol absoluto) possui pelo menos 99,6% de graduação alcoólica, sendo praticamente etanol puro (MILANEZ, 2008).

A porcentagem da mistura de etanol anidro na gasolina comum não era padronizada e variava entre regiões. Em algumas regiões a porcentagem era 10% em outras 15%, até que finalmente estabilizou-se em 20%, sendo atualmente 25% (MILANEZ, 2008).

Nessa fase inicial, o esforço principal coube às destilarias já existentes e anexas às usinas, que tiveram que maximizar sua produção, enquanto a maior parte dos produtores aderiam ao programa. Mesmo assim, a produção alcooleira cresceu de 600 milhões de litros/ano (1975-76) para 3,4 bilhões de litros/ano (1979-80). (BARROS, 2007)

A primeira fase tem seu final marcado pelo início pioneiro da produção em série de um veículo movido exclusivamente a etanol, o Fiat 147, lançado em 1978 (SILVA e FISCHETTI, 2008).

2.2. Fase de Afirmação - 1980 a 1986

O segundo choque do petróleo (1979-1980), ocasionado pela paralisação da produção iraniana, triplicou o preço do barril de petróleo e as compras desse produto passaram a representar 46% da pauta de importações brasileiras em 1980, gerando grande desconforto e preocupação para o Brasil (SILVA e FISCHETTI, 2008).

O governo resolveu, então, adotar medidas para intensificar a implementação do Proálcool. Foram criados organismos como o Conselho Nacional do Álcool (CNAL) e a Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL) para agilizar o programa, permitindo maior controle e incentivos à produção do etanol (BARROS, 2007).

A produção alcooleira atingiu um pico de 12,3 bilhões de litros em 1986-1987, superando em 15% a meta inicial do governo de 10,7 bilhões de litros/ano para o fim do período (SILVA e FISCHETTI, 2008). Assim como a frota nacional de veículos leves sofreu

uma profunda transformação, acompanhando o crescimento da produção de etanol. A proporção de carros movidos a etanol aumentou de 0,46% em 1979 para 26,8% em 1980, atingindo um teto de 76,1% em 1986 (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Nessa fase do projeto, os subsídios do governo chegaram a cobrir 80% do investimento das destilarias, garantindo o sucesso do etanol em conjunto com o lobby dos grandes canavieiros (BARROS, 2007).

2.3. Fase de Estagnação - 1986 a 1995

Em 1985 é eleito o primeiro presidente civil após o regime militar e sucessivos representantes militares, José Sarney. Na verdade, José Sarney assumiu a presidência depois que Tancredo Neves, eleito pelo colégio eleitoral, faleceu antes da posse. Com essa mudança no governo, grandes mudanças ocorreram no país na tentativa de estabilizar a economia, que apresentava taxas de inflação gigantescas. Entretanto, todas as medidas falharam, e a economia brasileira só viria a melhorar realmente com a implementação do plano real, em 1994 (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Em 1986 a produção de automóveis movidos a álcool chegou a 95% do total e a produção de etanol atingiu 12 bilhões de litros, chegando a patamares inéditos. Contudo, algo que deveria se tornar motivo de comemoração para os defensores e entusiastas do Proálcool, tornou-se mais um problema, pois os produtores perceberam-se incapazes de suprir toda demanda, resultando numa elevação dos preços e falta de combustível para os veículos, sendo até mesmo necessário importar etanol para abastecer os postos. Esse processo acarretou no aumento da desconfiança da população e intensificação das críticas ao Proálcool (SILVA e FISCHETTI, 2008).

O cenário internacional também não colaborava com o programa, visto que os preços do barril de óleo bruto caíram de um patamar de US\$ 30 a 40 para um nível de US\$ 12 a 20, barateando novamente a gasolina. Esse novo período, denominado “contrachoque do petróleo”, colocou em xeque os programas de substituição de hidrocarbonetos fósseis e do uso eficiente da energia em todo o mundo (BARROS, 2007).

Na política energética brasileira os efeitos do cenário internacional foram muito sentidos na política econômica e de combustíveis, pois coincidiram com um período de escassez de recursos públicos para o subsídio dos programas de estímulo aos combustíveis alternativos, como o Proálcool, resultando num sensível decréscimo no volume de investimentos em tais projetos (BARROS, 2007).

Segundo as políticas adotadas pelo Proálcool, os preços do etanol estavam atrelados aos da gasolina; dessa forma, os produtores de etanol estavam recebendo cada vez menos

dinheiro pelo seu produto – uma vez que o preço da gasolina tinha despencado –, levando consigo o preço do etanol. Isso acarretou na impossibilidade de elevação da produção interna de etanol, devido à falta de interesse dos produtores em aumentar a quantidade de combustível produzida, visto a baixa remuneração. Por outro lado, por parte dos consumidores finais, a demanda pelo etanol continuava a ser estimulada por meio da manutenção de preço – relativamente atrativo ao da gasolina –, e da manutenção de menores impostos nos veículos movidos a álcool, comparados aos à gasolina.

Essa combinação de desestímulo à produção de álcool e de estímulo à sua demanda – pelos fatores de mercado e intervenção governamental assinalados –, gerou a crise de abastecimento da entressafra 1989-1990 (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Apesar de seu caráter efêmero, a crise de abastecimento de álcool no fim dos anos 1980 afetou a credibilidade do Proálcool. Ao mesmo tempo, houve uma tendência à redução de estímulos ao uso do etanol – inclusive com o fim da política de cotas fixas de produção de etanol e açúcar por parte das usinas –, o que, provocou, nos anos seguintes, um significativo decréscimo da demanda por esse combustível e, consequentemente, diminuição das vendas de automóveis movidos a etanol.

2.4. Fase de Redefinição - 1995 a 2000

Depois do declínio do Proálcool e fim dos incentivos governamentais, os mercados de etanol, tanto anidro quanto hidratado, encontravam-se liberados em todas as suas fases de produção, distribuição e revenda – sendo seus preços determinados pelas condições de oferta e procura. Com isso, a produção apresentou um declínio significativo, enquanto a produção de açúcar se expandia. De cerca de 1,1 milhão de toneladas de açúcar que o país exportava em 1990, o nível estendeu-se a 10 milhões de toneladas por ano no final do século (ROSILLO-CALLE, BAJAY e ROTHMAN, 2005).

Aos usineiros não interessava mais a produção do etanol, visto o alto preço do açúcar no mercado internacional. Iniciavam-se questionamentos políticos e científicos de como o Brasil, sem a presença da gestão governamental no setor, encontraria mecanismos de regulação para os seus produtos (altamente competitivos): açúcar para o mercado interno, açúcar para o mercado externo, etanol para o mercado interno e etanol para o mercado externo (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Tratava-se de um mercado em extinção, segundo os dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA): de 1998 a 2000, a produção de veículos a álcool manteve-se em níveis de cerca de 1%, 94% menor que na década anterior (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Numa tentativa de retomada da produção do etanol em 1997, foi criado o Conselho Interministerial do Açúcar e Álcool, com o intuito de direcionar políticas para o setor sucroalcooleiro. Esse órgão auxiliou o estabelecimento de uma relação de paridade de preços entre o etanol e o açúcar, além de incentivos de financiamento para as fases agrícola e industrial de produção do combustível (SILVA e FISCHETTI, 2008).

2.5. Fase Atual

No início do século XXI a produção de etanol continuava baixa, sem perspectivas de crescimento, até a implementação de uma nova tecnologia. Foi com a introdução dos veículos bicompostíveis que o etanol ganhou uma nova face como combustível e voltou a receber investimentos e atenção, tanto do governo quanto da iniciativa privada.

Mais de trinta anos depois do início do Proálcool, o Brasil viveu uma nova expansão dos canaviais entre os anos de 2006 e 2011, com o objetivo de oferecer o etanol em grande escala. O plantio avançou além das áreas tradicionais, como o interior paulista e o Nordeste, tendo se espalhado pelos cerrados. A nova escalada não foi um movimento comandado pelo governo, como a ocorrida no final da década de 70, quando o Brasil encontrou no álcool a solução para enfrentar o aumento abrupto dos preços do petróleo que importava. Essa nova corrida para ampliar unidades e construir novas usinas partiu de decisões da iniciativa privada, convicta de que o etanol teria, a partir dali, um papel cada vez mais importante como combustível, no Brasil e no mundo (SILVA e FISCHETTI, 2008).

A tecnologia dos motores *flex* já vinha sendo estudada no Brasil desde 1993, mas só se popularizou após a importação de tecnologia americana no início dos anos dois mil, tendo sido a grande responsável por dar um novo fôlego ao consumo interno de etanol (NOGUEIRA, 2008). O carro que pode ser movido tanto à gasolina, ao etanol ou a uma mistura dos dois combustíveis foi introduzido no país em março de 2003, por meio do Gol 1.6 Total Flex, pertencente à marca Volkswagen – o primeiro veículo de combustível *flex* desenvolvido e comercializado no Brasil, com capacidade de operar com qualquer mistura de gasolina e etanol (LIMA, 2009).

Os veículos *flex* conquistaram rapidamente o consumidor e hoje a opção já é oferecida para quase todos os modelos das indústrias. Os automóveis bicompostíveis ultrapassaram na corrida do mercado interno, pela primeira vez, os movidos à gasolina; e, diante do nível elevado das cotações de petróleo no mercado internacional, a expectativa da indústria é que essa participação se amplie cada vez mais, mas desde que a relação de preços faça com que os usuários dos modelos bicompostíveis deem preferência ao etanol (LIMA, 2009).

2.6. Perspectivas para o Futuro do Proálcool

Como na época das crises do petróleo dos anos 70, o mundo está empenhado em encontrar uma solução duradoura para seu problema energético. A preocupação ambiental crescente somou-se à redução dos estoques e à alta dos preços dos combustíveis fósseis, a fim de valorizar as fontes renováveis e menos poluentes de energia.

Estudos mostram que, se o consumo de combustíveis fósseis continuar na escala atual, começaremos a ter problemas com o fornecimento até o final do século XXI (BARROS, 2007). Logo, encontrar alternativas viáveis para esses combustíveis é essencial para a economia mundial. O aquecimento global é uma realidade que poucos ousam duvidar, sendo, assim, imprescindível reduzir a eliminação de poluentes e gases estufa na atmosfera, afim de diminuir o impacto que a humanidade vem causando no planeta.

O surgimento ao redor do mundo de novos tipos de veículos e tecnologias de motores tem provocado mudanças importantes na tradicional postura da indústria automobilística e de outros agentes atuantes no mercado, aumentando o espaço para o etanol brasileiro. As perspectivas de elevação do consumo do etanol são promissoras para o Brasil. Entre 2006 e 2010, cerca de 40 novas usinas entraram em operação, com um total de investimentos calculado em 3 bilhões de dólares. A maior parte delas concentra-se no oeste do estado de São Paulo, ocupando espaço aberto pelo deslocamento da pecuária de aproximadamente 2,5 milhões de hectares até 2010, como apresentado pela Figura 1. Esses investimentos criaram aproximadamente 360 mil novos empregos diretos e 900 mil indiretos (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Figura 01 – Mapa do Brasil apresentando as principais áreas de plantio de cana-de-açúcar e seus padrões de crescimento.



(as áreas de maior concentração estão distantes da Floresta Amazônica)

FONTE:: SILVA e FISCHETTI, 2008

O Proálcool teve seu fim no início dos anos 2000, mas seus efeitos são sentidos ainda atualmente. Graças à política de incentivo ao etanol, o Brasil é hoje o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás apenas dos EUA, além de líder mundial em tecnologias relacionadas à cana-de-açúcar, sendo considerado como a primeira economia sustentável com base em biocombustíveis do mundo (BUDNY e SOTERO, 2007 e THE ECONOMIST, 2008). O etanol gera milhares de empregos diretos ou indiretos por todo o Brasil e é um dos principais produtos de exportação do país (NOGUEIRA, 2008).

3. A BIOMASSA E A COGERAÇÃO

Como vem sendo discutido ao longo deste trabalho, o tema energético tem ganhado cada vez mais importância e espaço em decisões tecnológicas, econômicas e políticas. Ao discutir-se sobre energia, sempre se leva em consideração a sua eficiência. O termo refere-se à característica de ser produtivo, de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de desperdício (EFICIÊNCIA, 2018). Tal uma característica é algo indispensável para todas as fontes energéticas do futuro.

A preocupação com a eficiência energética em sistemas de geração de energia não é recente. Em 1763 James Watt já estudava esse campo, e, após receber uma máquina a vapor para ser consertada, proporcionou grandes avanços na concepção de sistemas mais eficientes, conforme cita THURSTON (1901). As modificações realizadas por Watt melhoraram o rendimento da máquina através da instalação de um condensador externo e isolamento térmico para a caldeira. James Watt viria, inclusive, em 1781, a patentar um novo tipo de máquina à vapor. Mais de 250 anos depois de Watt ainda se busca alcançar a melhor eficiência em processos de geração de energia através de novas tecnologias e melhorias de processo.

Um dos processos mais difundidos e eficientes é o emprego da cogeração de energia. Segundo o Dicionário de Terminologia Energética do Conselho Mundial, trata-se de um processo de produção simultânea e sequencial de duas ou mais utilidades – calor de processo e potência mecânica e (ou) elétrica, a partir da energia disponibilizada por um ou mais combustíveis, aumentando, assim, a eficiência do processo de geração de energia (COGERAÇÃO, 2001).

Do ponto de vista da termodinâmica, a cogeração utiliza o calor excedente ou restante de um ciclo térmico ou sistema para produzir um novo subproduto como calor ou eletricidade. (BOYCE, 2010). Logo, para um dado processo industrial de produção, na condição em que há demanda simultânea de energia térmica e elétrica, a aplicação da cogeração apresenta-se como provável alternativa, com a vantagem do uso racional de combustível (BOYCE, 2010).

No Brasil, a cogeração encontrou um grande espaço nas usinas sucroalcooleiras. As necessidades de energia das usinas de cana no passado eram supridas por terceiros, seja através do óleo combustível, ou da compra da energia elétrica das concessionárias. Enquanto

isso, queimavam nos campos ou em grandes piras os resíduos combustíveis da agroindústria, que continham cerca de dois terços da energia da cana.⁴

As crises do petróleo obrigaram as usinas a dominarem a tecnologia da queima do bagaço, afim de atingir a autossuficiência energética e o aumento dos lucros. No início deste século, com o avanço da tecnologia de cogeração, elas iniciaram a exportação de energia para o setor elétrico, em um processo que vem ganhando espaço com o desenvolvimento do mercado livre de energia e intensificação das políticas de incentivo à geração distribuída.

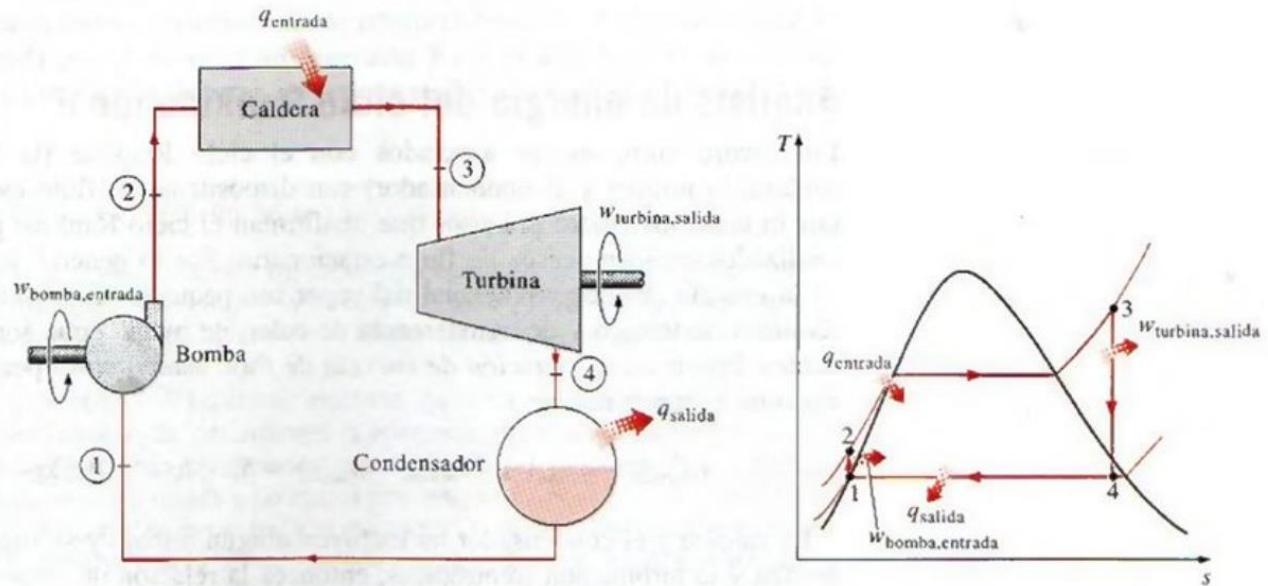
Como o conteúdo energético do bagaço e da palha da cana-de-açúcar equivale à metade do petróleo produzido no país, o novo biocombustível pode ter nele um papel cada vez mais importante nas políticas econômicas e ambientais. (ANEEL, 2008). A cadeia de transformações e de usos da cana-de-açúcar apresenta grandes oportunidades de aumento da sua eficiência energética com agregação de valor, custos decrescentes e forte desenvolvimento econômico para os envolvidos. Em contraste, nas cadeias do petróleo e na energia hidroelétrica, os desafios tecnológicos e riscos ambientais tendem a aumentar, enquanto suas cadeias de produção, transformação e uso já operam com eficiências elevadas. (ANEEL, 2008)

As principais rotas tecnológicas para a transformação da biomassa da cana-de-açúcar – principalmente o bagaço e a palha da cana – são analisados no estudo sobre biomassa constante do Plano Nacional de Energia 2030 (ANEEL, 2008). A biomassa da cana-de-açúcar é formada pelo bagaço e pelo palhiço (ou palha). O bagaço é o produto fibroso resultante do esmagamento da cana-de-açúcar para extração do caldo, e o palhiço é o material remanescente da colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia (palha, folhas verdes, ponteiros e/ou suas frações, frações de colmos industrializáveis ou não, eventualmente frações de raízes e partículas de terra a eles aderida) (RIPOLI, 2005).

No Brasil, a biomassa vira energia nas usinas através da queima para a geração de calor nas caldeiras. Este calor é responsável pela evaporação da água das caldeiras à alta pressão e mobilização todo de operação dos processos da usina. Por se tratar de um processo em que uma mesma fonte energética providencia duas fontes distintas de energia (térmica e elétrica), que serão utilizadas ao longo do processo, pode-se afirmar que a biomassa é o combustível para a cogeração de energia (ROSILLO-CALLE, BAJAY e ROTHMAN, 2005) através do processo físico-químico conhecido como Ciclo de Rankine, representado na Figura02.

⁴ INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. *Cana-de-açúcar*. Disponível em: <http://www.inee.org.br/biomassa_cana.asp?Cat=biomassa>. Acessado em: 10 de março de 2018.

Figura 02 – Ilustração do Ciclo ideal de Rankine. As turbinas a vapor são uma tecnologia clássica, sendo amplamente utilizadas em ciclos industriais e de geração de energia em todo o mundo. O seu princípio de funcionamento teórico é baseado no Ciclo de Rankine, responsável por gerar até 90% de toda a energia



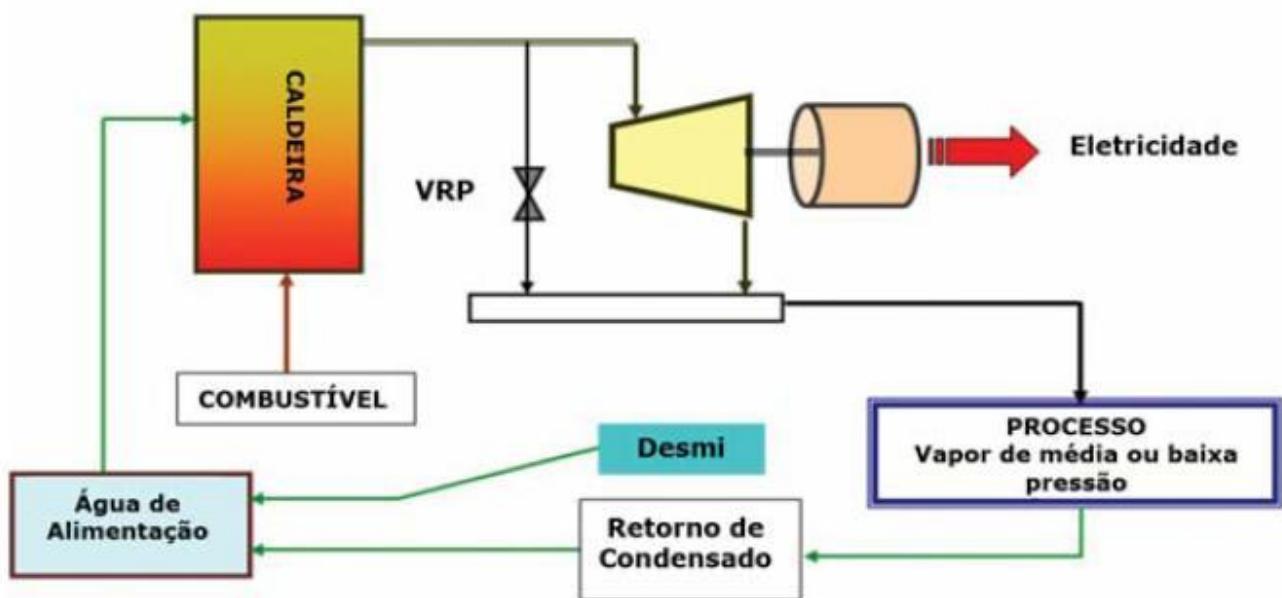
consumida no mundo (WISER, 2000).

FONTE: ROCHA, 2016.

As usinas brasileiras realizam a cogeração, majoritariamente, através de duas configurações de processo distintas. A primeira forma é através do ciclo a vapor com turbinas de contrapressão (representado pela Figura 3) – que são caracterizadas por apresentar vapor de descarga com pressão superior à atmosférica. Este vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico das usinas ou as turbinas para geração de energia elétrica. Além disso, o vapor que seria liberado na atmosfera após a realização desses processos pode ser encaminhado para o atendimento das necessidades térmicas do processo de produção (ANEEL, 2008)

Nesta configuração, a quantidade de energia gerada está condicionada à quantidade de vapor demandada pela usina e, portanto, limita a geração de energia para venda. Este é o processo mais maduro do ponto de vista comercial, sendo também o mais disseminado atualmente. O Brasil conta, inclusive, com diversos produtores nacionais da maior parte dos equipamentos necessários (ANEEL, 2008).

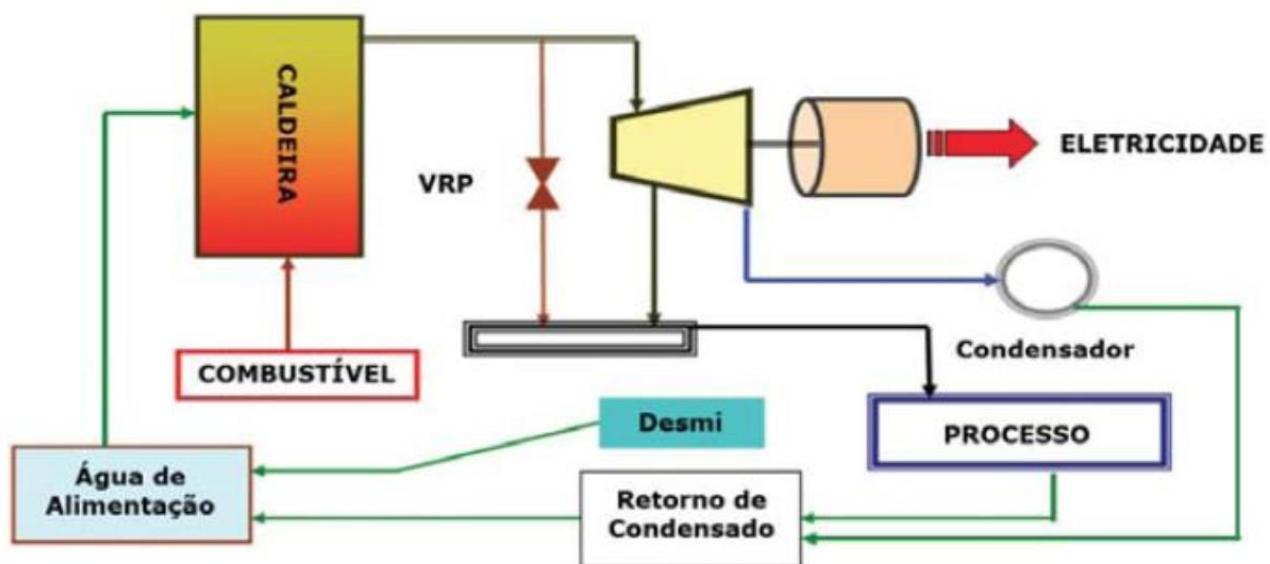
Figura 03 – Ilustração do Ciclo a Vapor com Turbinas de Contrapressão no qual o processo da usina demanda a necessidade de pressão e, portanto, controla a quantidade de eletricidade gerada.



FONTE: ROTHBARTH, 2010.

O segundo método é o ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração (representado pela Figura 04), que consiste na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas da usina ou térmicas do processo produtivo. Esta energia a ser condensada, quando inserida em um processo de cogeração, é retirada em um ponto intermediário da expansão do vapor que irá movimentar as turbinas. A diferença fundamental deste método em relação à contrapressão é a existência de um condensador na exaustão da turbina e de níveis determinados para aquecimento da água que alimentará a caldeira. A primeira característica proporciona maior flexibilidade da geração termelétrica, que deixa de ser condicionada ao consumo de vapor de processo. A segunda proporciona aumento na eficiência global da geração de energia. Este sistema, portanto, permite a obtenção de maior volume de energia elétrica. No entanto, sua instalação exige investimentos muito superiores aos necessários para implantação do sistema simples de condensação. (ANEEL, 2008; MACEDO, 2005)

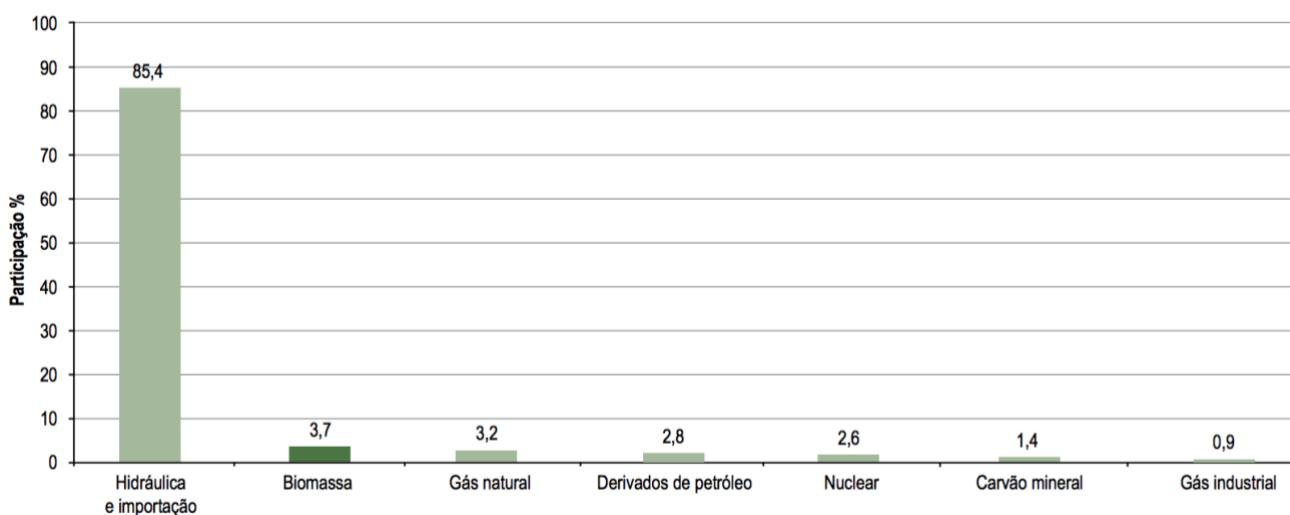
Figura 04 – Ciclo a Vapor com Turbinas de Condensação e Extração mais eficiente, permitindo a geração de energia independentemente da necessidade de vapor da usina.



FONTE: ROTHBARTH, 2010.

Em 2007, a utilização da biomassa como fonte de energia elétrica através de sistemas cogeração foi responsável pela oferta de 18 TWh (terawatts-hora), segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008. Este volume foi 21% superior ao de 2006 e, ao corresponder a 3,7% da oferta total de energia elétrica, representou a segunda posição na matriz da eletricidade nacional (ANEEL, 2008), como apresentado na Figura 05.

Figura 05 – Gráfico apresentando a relação das fontes internas de energia, onde, a biomassa só foi superada pela hidroeletricidade.



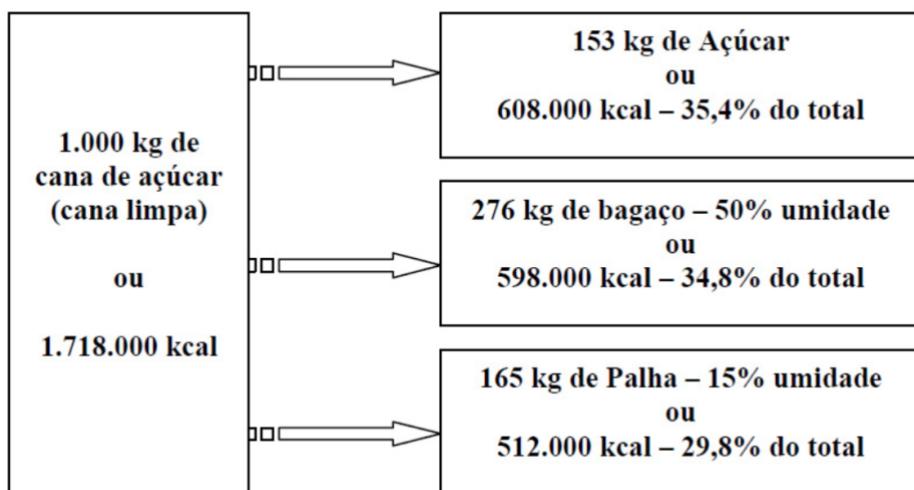
FONTE: ANEEL, 2008.

Esses números representam um mercado em crescimento, com cada vez mais apoio à geração distribuída e facilidades de acesso ao mercado livre de energia, afinal, as usinas sucroalcooleiras possuem, em sua maioria, uma potência instalada de até 60 MW, favorecendo a instalação nas proximidades dos centros de consumo e suprimento.

De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em novembro de 2008 existiam 302 termelétricas movidas à biomassa no país, que correspondiam a um total de 5,7 mil MW (megawatts) instalados. Do total de usinas relacionadas, 13 eram abastecidas por licor negro (resíduo da celulose) com potência total de 944 MW, 27 por madeira (232 MW), três por biogás (45 MW), quatro por casca de arroz (21 MW) e 252 por bagaço de cana (4 mil MW). (ANEEL, 2008).

A cana-de-açúcar (cujo potencial energético é detalhado na Figura 06), portanto, é o recurso com maior potencial – dentre as fontes de biomassa – para geração de eletricidade existente no país, através da utilização do bagaço e da palha. A participação é importante não só para a diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste e Centro-Oeste, regiões onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, na preservação dos níveis dos reservatórios das hidroelétricas e na manutenção das tarifas de energia. (ANEEL, 2008)

Figura 06 – Infográfico do potencial energético da cana-de-açúcar.



FONTE: SILVA e FISCHETTI, 2008

Vários fatores contribuem para o cenário continuar com sua expansão. Um deles é o volume já produzido e o potencial de aumento da produção da cana-de-açúcar, estimulada pelo consumo crescente de etanol. Desde o Proálcool nos anos 70, até à nova expansão do consumo, o etanol tem crescido no Brasil como combustível e em importância – como produto

nacional, mostrando-se com uma fonte sólida de investimentos e lucros para o mercado brasileiro, além de se garantir como o pioneiro em tecnologia e uso de combustíveis alternativos (SILVA e FISCHETTI, 2008).

De acordo com estimativas da União da Indústria de cana-de-açúcar de São Paulo (ÚNICA), em 2020 a eletricidade produzida pelo setor poderá representar 15% da matriz brasileira, considerando-se tanto o potencial energético da palha e do bagaço quanto a estimativa de produção da cana, que deverá dobrar em relação a 2008, e atingir 1 bilhão de toneladas. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, o maior potencial de produção de eletricidade encontra-se na região Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo (como apresentado pela Figura 07), sendo estimado em 609,4 milhões de giga joules (GJ) por ano. Na sequência estão Paraná (65,4 milhões de GJ anuais) e Minas Gerais (63,2 milhões de GJ anuais) (ANEEL, 2008).

Figura 07 – Mapa das Usinas de biomassa em operação no Brasil em Novembro de 2008.



FONTE: ANEEL, 2008.

A evolução da regulamentação, da legislação e dos programas oficiais também estimulam os empreendimentos. Em 2008, novas condições de acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN) foram definidas pela Aneel, o que abriu espaço para a conexão, principalmente, das termelétricas localizadas em usinas de açúcar e álcool mais distantes dos centros de consumo, como o Mato Grosso. Desse modo, através do Mercado Livre de Energia, a cogeração pode começar a mudar a forma da matriz energética brasileira.

4. MERCADO LIVRE DE ENERGIA

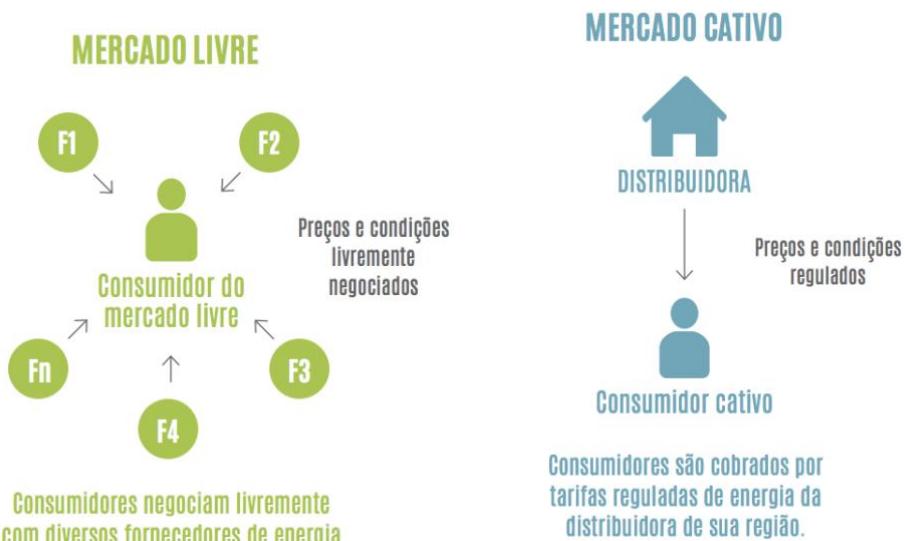
O mercado livre de energia elétrica, livre mercado de energia ou Ambiente de Contratação Livre (ACL), é um ambiente em que os consumidores podem escolher livremente seus fornecedores de energia, exercendo seu direito à portabilidade da conta de luz. Nesse ambiente, consumidores e fornecedores negociam as condições de contratação de energia. Instaurado em 1995, no governo de Fernando Henrique Cardoso, seu objetivo é promover a competição no setor elétrico, provendo melhores condições para os consumidores. Atualmente, a gestão do ACL e de seus clientes é responsabilidade da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que tem seu funcionamento descrito na Lei 10.848/04 e no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.^{5 6}

A opção tradicional dos consumidores é adquirir a energia no Mercado Cativo ou Ambiente de Contratação Regulada (ACR) – a diferença entre o ACL e o ACR pode ser observada na Figura 08. Neste ambiente existe um monopólio natural das distribuidoras, no qual os clientes são obrigados a realizar a contratação dos serviços da distribuidora de sua posição geográfica. As tarifas pelo consumo da energia são fixadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e não podem ser negociadas. Todos os consumidores residenciais estão nesse mercado, assim como algumas empresas comerciais, indústrias e consumidores rurais.⁶

⁵ ABRACEEL - ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, Cartilha Mercado Livre de Energia Elétrica – Um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

⁶ CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *História*. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/historia?_adf.ctrl-state=9bd72urct_4&_afrLoop=59898064881348#!>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

Figura 08 – Infográfico Simplificado dos Mercados Livre e Cativo de energia.

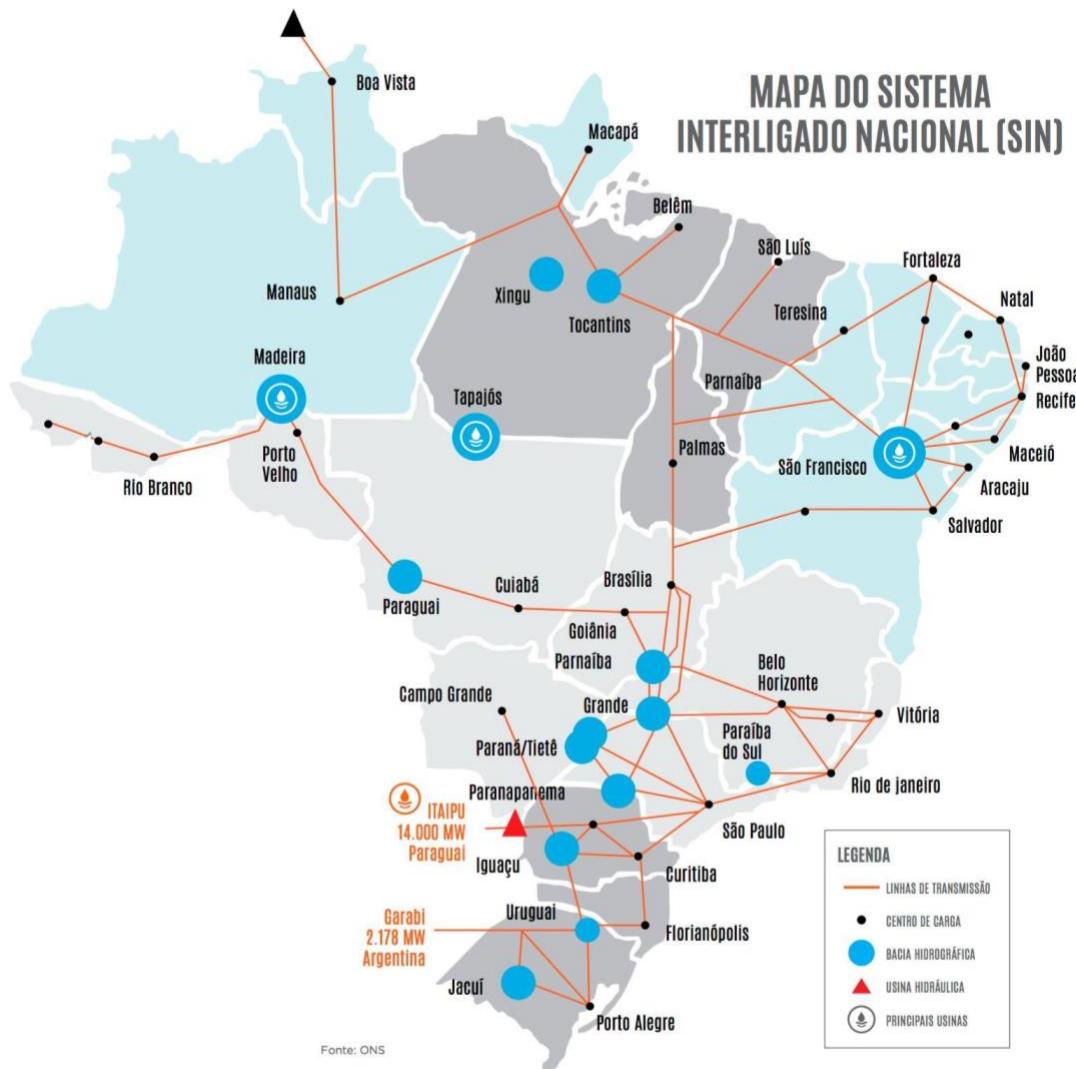


FONTE: ABRACEEL.

Em 2016, mais de 60% da energia consumida pelas indústrias do País foi adquirida no mercado livre de energia. Com isso, as empresas buscam, principalmente, a redução nos custos e previsibilidade na fatura de energia. Segundo estudos da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel), desde 2003 o mercado livre proporcionou, em média, uma economia de 18% em comparação com o mercado cativo. As regras de ambos os mercados são definidas pela ANEEL e todos os contratos de energia são contabilizados mensalmente pela CCEE (ABRACEEL,2017).

Para obter maior clareza a respeito da dinâmica e vantagens do livre mercado de energia é importante entender o funcionamento do Sistema Interligado Nacional (SIN), apresentado na Figura 09, que comprehende as principais usinas de geração de energia e consumidores do país. É graças à união gerada pelo SIN que existe a possibilidade de intercâmbio de energia entre as diferentes regiões do país. Quem coordena esses intercâmbios é o Operador Nacional do Sistema (ONS), seguindo regras para otimização da operação.

Figura 09 – Representação Gráfica do Sistema Interligado Nacional.



FONTE: ABRACEEL

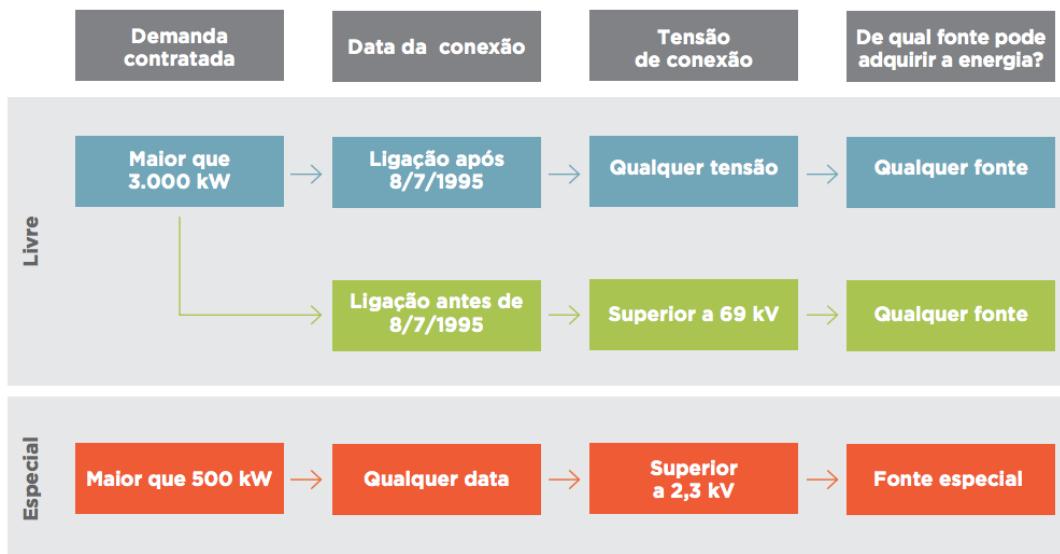
A operação do sistema não possui relação com os contratos de energia realizados entre os agentes, ou seja, ela se encontra em um ambiente físico e a contratação de energia em um ambiente apenas financeiro. Dessa forma, o SIN busca sempre combinar o menor custo e as melhores condições de segurança para todo o sistema, seja dentro do ambiente cativo ou do livre.⁶ Por exemplo, caso um consumidor próximo a Porto Alegre, no Sul do Brasil, contrate a energia de uma usina no Nordeste, por meio do livre mercado de energia, a energia efetivamente entregue terá tido origem em outra usina, mais próxima do local em que o consumidor se encontra. E caso tal usina, por qualquer motivo, não o forneça a energia requisitada, tal consumidor não ficará sem eletricidade, pois o fornecimento é garantido por seus contratos de energia (ANEEL, 2017).

Um dos problemas vinculados ao ACL é a restrição ao acesso. Ou seja, não são todos os consumidores que podem ter acesso a esse tipo de mercado. Na verdade, existem apenas dois tipos distintos de consumidores no ACL. (JANUÁRIO, 2007). O primeiro grupo de

consumidores do mercado livre de energia é formado pelos consumidores livres tradicionais que possuem, no mínimo, 3.000 kW de demanda contratada. Eles podem contratar energia proveniente de qualquer fonte de geração. Caso a ligação dos clientes ao sistema elétrico nacional seja anterior a 8 de julho de 1995, a tensão de conexão será de 69 kV e, se, a ligação for mais recente, a energia poderá ser recebida em qualquer nível de tensão (JANUÁRIO, 2007).

O outro grupo de consumidores do ACL é chamado de grupo dos consumidores especiais. Estes possuem demanda contratada igual ou maior que 500 kW e menor que 3.000 kW, independentemente do nível de tensão, podendo contratar energia proveniente apenas de fontes especiais de geração.⁶ Estas são formadas por fontes de energia renováveis e de pequeno porte, como usinas eólicas, solares, a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) ou hidráulicas de empreendimentos com potência inferior ou igual a 50.000 kW. Os consumidores do ACEL podem ser observados na Figura 10.

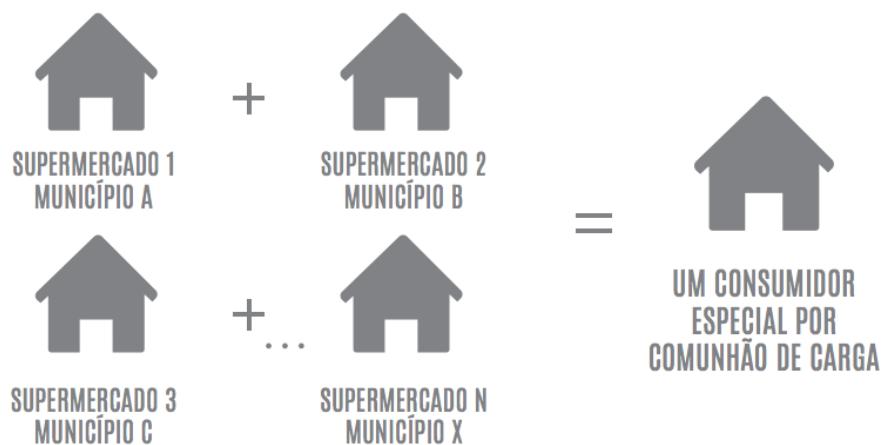
Figura 10 – Infográfico dos diferentes clientes do Mercado Livre de Energia.



FONTE: ABRACEEL.

Uma característica interessante do mercado livre de energia, principalmente para comerciantes, é que consumidores com o mesmo CNPJ, ou localizados em área contígua (sem separação por vias públicas), podem agrregar suas cargas para atingir o nível de demanda de 500 kW, exigido para se tornar consumidor especial e participar do ACL⁷ (como representado pela figura 11).

Figura 11 - Uma rede de supermercados, com dez unidades consumidoras (todas com o mesmo CNPJ), cada uma com 50 kW de demanda contratada, poderá se tornar um consumidor especial por comunhão de cargas, atingindo a demanda requisitada de 500 kW.

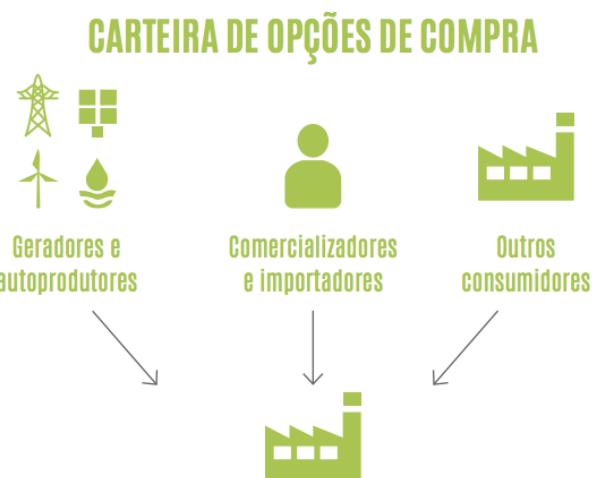


FONTE: ABRACEEL.

Assim como os consumidores do mercado livre de energia são bem definidos, seus fornecedores também são. Agentes comercializadores, importadores, autoprodutores (que podem vender apenas seu excedente), geradores e até mesmo outros consumidores livres com excedente de energia podem atuar como fornecedores de energia para os consumidores livres (JANUÁRIO, 2007), como apresentado pela Figura 12.

⁷ CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTICA. Entenda o Mercado e a CCEE. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_afrLoop=536056049619753#!%40%40%3F_afrLoop%3D536056049619753%26_adf.ctrl-state%3Dlqi9npzog_61>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

Figura 12 – Infográfico dos diferentes fornecedores de energia para o Mercado Livre.



FONTE: ABRACEEL.

No mercado cativo de energia, devido ao intermédio das distribuidoras, os clientes não podem decidir qual a origem da energia que estão consumindo. Porém, conforme já visto, no ambiente livre essa possibilidade é real. Isso permite que clientes possam optar pela compra de energia advinda de fontes renováveis e de pequenos geradores – e, assim, estimular a geração distribuída, contribuindo para tornar a matriz energética do Brasil mais sustentável, além de atribuir poder de decisão aos consumidores.

Mesmo que o ambiente de livre comércio incentive o desenvolvimento de fontes renováveis no país – por exemplo, ao fornecer aos consumidores de energia advindas de fontes especiais uma redução entre 50% e 100% nas tarifas de uso do sistema de distribuição e transmissão (TUSD e TUST) – ainda é possível para os consumidores do ACL adquirir a chamada energia convencional, proveniente de usinas hidrelétricas de grande porte e usinas termelétricas (ANEEL, 2017).

A compra de energia dos consumidores livres também pode ser feita indiretamente, através de comercializadores que, diferentemente dos agentes de geração, não possuem usinas para gerar energia elétrica, mas adquirem-na de diferentes fornecedores, seguindo todas as regulamentações da ANEEL e criando um portfólio diversificado de energia a ser ofertado aos consumidores. Tais comercializadores funcionam como intermediários entre os fornecedores e consumidores no mercado livre, sendo responsáveis por, aproximadamente, 50% de toda energia comercializada no ACL.

O mercado livre de energia apresenta, assim, inúmeras vantagens para seus participantes: dentre elas, destaca-se a concorrência entre geradores e comercializadores pelo atendimento aos consumidores do mercado livre, reduzindo preços e promovendo

aumento da eficiência. Além disso, ela também estimula a inovação em relação aos produtos e serviços disponibilizados (ABRACEEL, 2017).

Como explícito no próprio nome, o mercado livre trata-se de um ambiente livre, no qual todas as condições de contratação de energia são negociadas entre o consumidor e o fornecedor. Ou seja, questões como preço, volume, prazo, fonte de geração, e flexibilidades contratuais são definidas entre os participantes diretamente interessados, sendo possível até mesmo definir preços ou quantidades de energia diferentes, conforme a época do ano.

A previsibilidade de gastos é outro aspecto importante para os consumidores do ACL. Uma vez firmado o contrato, o consumidor consegue prever os custos que terá com energia elétrica pela vigência de sua contratação. Riscos associados a mudanças repentinas nas revisões de tarifas não existem, pois os preços são previamente definidos no contrato inicial.

Mas, para ser beneficiado por todas essas vantagens do mercado livre, o consumidor também precisará cumprir alguns requisitos: além de atender aos níveis de tensão, ele deverá adequar seus medidores de energia ao padrão especificado pela CCEE, assim como instalar um sistema de telemetria para permitir a aquisição remota dos dados de medição pela Câmara.

Sendo o consumidor responsável por determinar a quantidade de energia necessária, é importante que ele seja capaz de prever seu consumo de energia com precisão, pois uma previsão inadequada pode fazer com que ele fique sobre ou subcontratado, deixando-o exposto a preços elevados de curto prazo. Assim, caso haja energia remanescente, é possível vendê-la novamente no mercado, por meio de cessão de montantes.

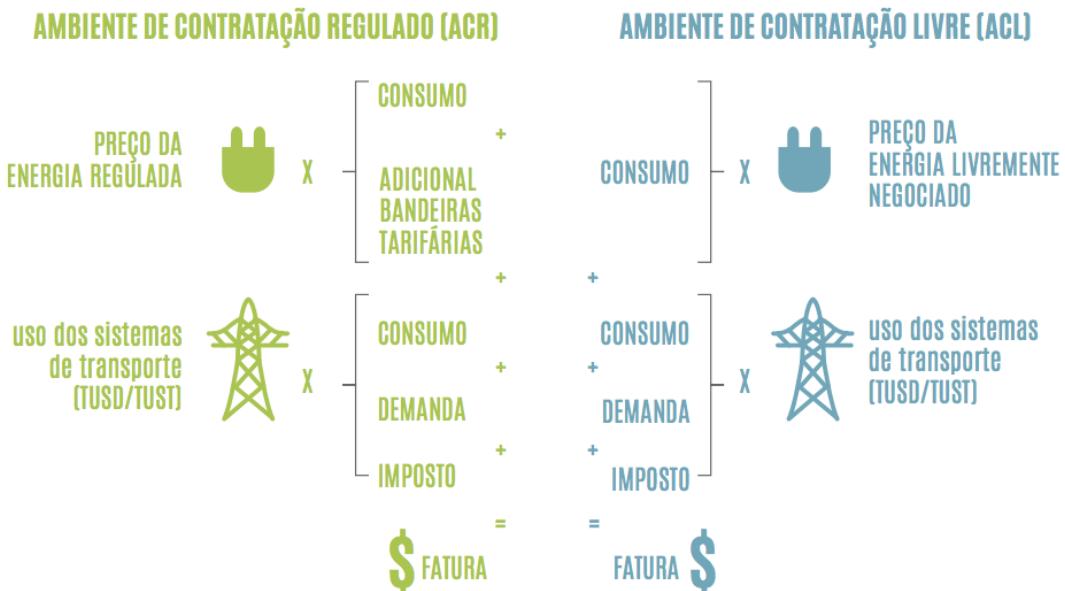
Por fim, todos os consumidores livres também devem efetuar as contribuições financeiras obrigatórias à CCEE, tornando-se agentes da mesma ou sendo representados por um comercializador varejista (ABRACEEL, 2017).

No mercado cativo, ao realizar o pagamento da conta de luz, o consumidor paga por dois produtos distintos: a energia que está consumindo e o transporte dela, desde a fonte de geração, até sua casa. Desse modo, cerca de 80% do valor da conta é relativo ao custo da energia elétrica, e os outros 20% são referentes ao transporte.

Para as distribuidoras que operam no mercado cativo, da mesma forma que para os consumidores, os custos da energia são divididos em duas parcelas distintas. A primeira parcela refere-se ao preço da energia, aos encargos e custos da transmissão, sobre os quais a distribuidora não tem controle, sendo esta parcela, então, repassada aos clientes. Já a segunda parcela é referente à infraestrutura de distribuição, a serviços de manutenção e operação, ou seja, à disponibilidade do sistema de transporte da energia da própria distribuidora. Essa parcela é a que remunera as concessionárias, que têm controle sobre seus custos (ANEEL, 2017).

Quando um consumidor efetua sua migração para o mercado livre, continua pagando os custos dos encargos e transmissão (custos regulados) e de distribuição, obrigatórios pela distribuidora de sua região geográfica; afinal, o cliente continuará utilizando a mesma estrutura da distribuidora para ter sua energia transportada. A alteração no valor da energia pelo mercado livre. Como apresentado pela Figura 13, estará no custo da energia propriamente dita, negociado diretamente com os fornecedores.

Figura 13 – Comparativo entre a composição dos preços praticados no ACR e ACL.

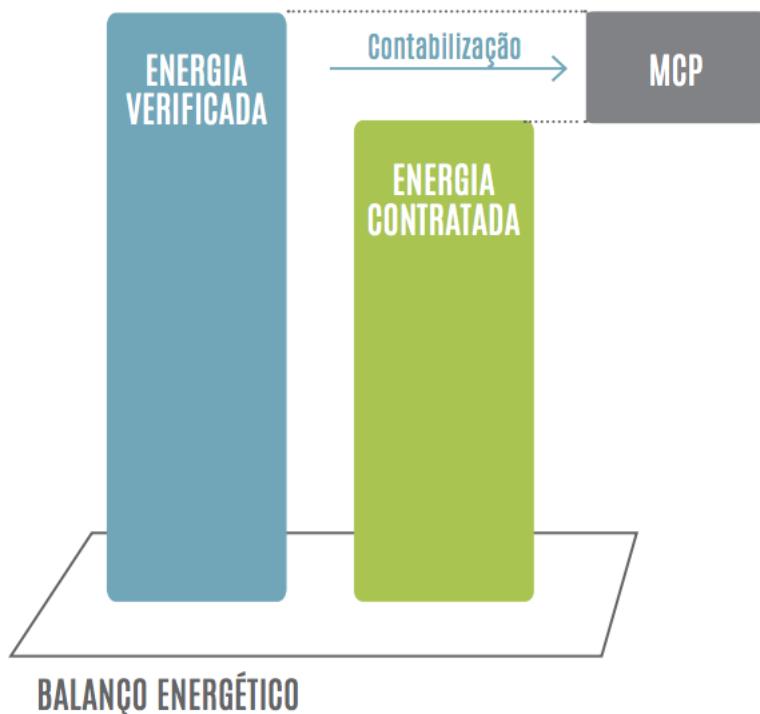


FONTE: ABRACEEL.

No livre mercado de energia, como já dito anteriormente, os contratos de compra e venda de energia não possuem ligação direta com a geração e o consumo de energia pelos consumidores. Assim, situações como, por exemplo, quando uma usina gera menos ou mais do que estava previsto em contrato, ou mesmo quando o consumidor consome uma quantidade diferente da contratada, são passíveis de ocorrer.

Para resolver questões como as citadas acima, existe o mercado de curto prazo (MCP), no qual essas diferenças são liquidadas e os valores são devidos aos agentes envolvidos, como crédito ou débito – representado pelas Figuras 14, 15 e 16. O MCP é controlado pela CCEE, que compara os montantes verificados, ou seja, a geração e o consumo registrados nos medidores de energia, e os montantes contratados de venda ou compra (ABRACEEL, 2017).

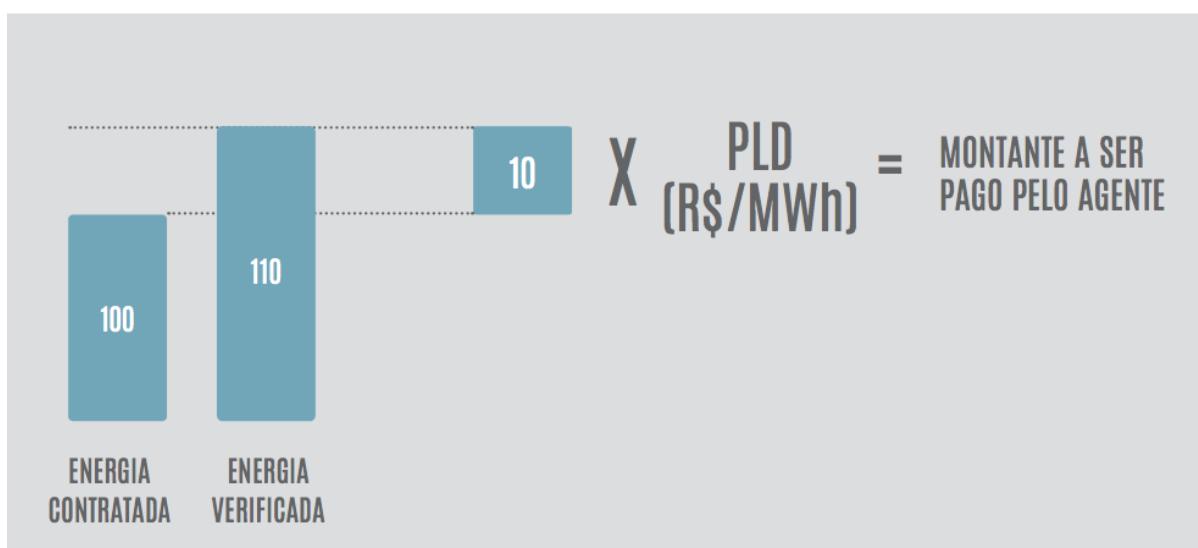
Figura 14 – Infográfico do balanço energético no mercado livre de energia.



FONTE: ABRACEEL.

Quando as diferenças são liquidadas no mercado de curto prazo, o preço praticado é o de liquidação das diferenças (PLD) ou preço da energia no mercado de curto prazo. Ele é baseado no custo marginal de operação (CMO), e pode variar semanalmente, entre o limite inferior e o limite superior, determinados pela ANEEL (ABRACEEL,2017).

Figura 15 – Infográfico do cálculo do montante a ser pago no MCP pelo consumidor.



FONTE: ABRACEEL.

Figura 16 – Infográfico do cálculo do montante a ser recebido no MCP pelo consumidor.



FONTE: ABRACEEL.

A migração para o mercado livre de energia traz inúmeras vantagens para o consumidor, mas aumenta a complexidade da gestão, e exige que a demanda do cliente se mantenha em determinados níveis – a dinâmica de entrada no ACL está representada pela Figura 17. Caso não seja mais possível ou interessante ao cliente se manter no ACL, ele pode retornar ao mercado cativo de energia. Para tanto, deve avisar a concessionária de distribuição com 5 anos de antecedência de sua decisão, salientando a importância de um bom planejamento. A concessionária pode ou não aceitar o retorno do consumidor ao mercado cativo em prazo inferior, dependendo de seu nível de contratação de energia e seus interesses.

Figura 17 – Infográfico ilustrando as etapas para a entrada de um consumidor no Livre Mercado de Energia.

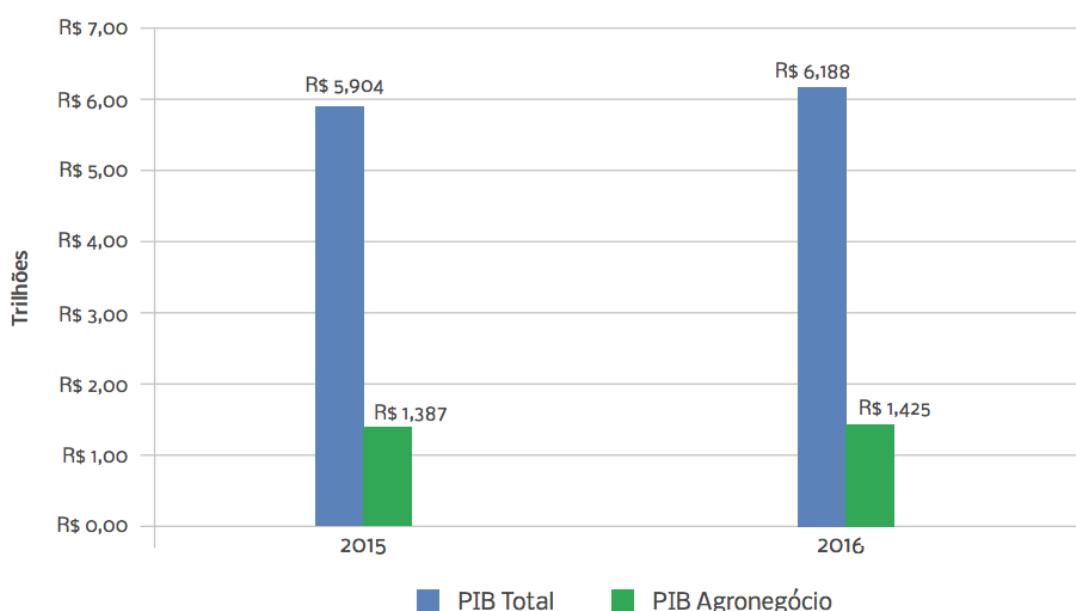


FONTE: ABRACEEL.

5. UMA REVOLUÇÃO DE TRÊS FACETAS

O Agronegócio no Brasil tem uma expressiva participação na economia do país e representou, por exemplo, aproximadamente 23% do PIB em 2016, como ilustrado pela Figura 18. Atualmente, o país ocupa notável posição mundial na produção agroindustrial, sendo os frutos desta, seus principais insumos de exportação.⁸

Figura 18 - O produto interno bruto (PIB) representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região durante um período determinado. O PIB do agronegócio considera os segmentos de insumos, produção primária, agroindústria e serviços, tanto no ramo agrícola quanto no pecuário.



FONTE: IBGE e Cepea/USP

Dentre os principais produtos do agronegócio temos a produção agrícola, a qual o plantio da cana-de-açúcar representa porcentagem significativa em área e volume de produção (RIPOLI, 2005), tornando o Brasil, assim, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com volume de produção equivalente a 35,5% do total mundial, como apresentado pelas Tabelas 01 e 02.

⁸ CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. PIB e Performance do Agronegócio, 2017. Disponível em: <http://www.cnabrasil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2018.

Tabela 01 - Participação da cana em relação a outras plantas cultivadas no Brasil.

Cultura	ÁREA COLHIDA (10 ha)	PRODUÇÃO (10 t)
Soja	20,58	57,95
Milho	13,82	51,83
Cana	6,69	515,8
Feijão	3,83	3,25
Arroz	2,90	11,05
Café	2,22	2,17
Mandioca	1,91	26,92
Trigo	1,85	4,09
Algodão	1,12	4,09
Laranja	0,80	18,50
Outros	2,06	7,22
Total	57,78	702,85

FONTE: IBGE, 2008

Tabela 02 - Produção da cana-de-açúcar no Mundo.

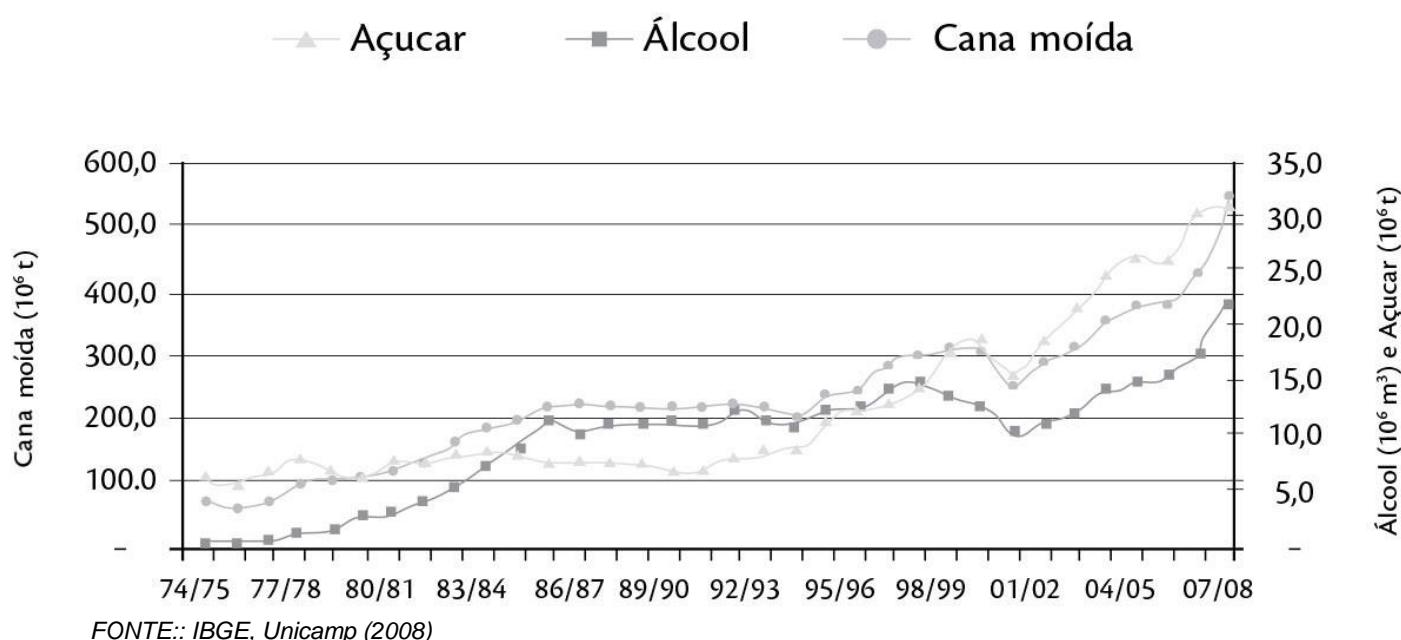
PAÍS	ÁREA COLHIDA (10 ha)	PRODUÇÃO (10 t)
Brasil	6,69	515,8
Índia	4,20	281,2
China	1,22	100,7
México	0,67	50,6
Tailândia	0,94	47,7
Paquistão	0,91	44,7
Colômbia	0,43	39,8
Austrália	0,42	38,2
Indonésia	0,37	30,2
EUA	0,36	26,8
Outros	4,71	276,2
Total	20,92	1.451,9

FONTE: FAO, 2008

As usinas sucroalcooleiras, assim, são um dos pilares da economia brasileira, sendo responsáveis pela movimentação de milhões de reais, ano após ano, através da produção de açúcar e etanol, além da venda de energia, a mais recente entre elas.

Como apresentado neste trabalho, a produção de cana no Brasil cresceu de forma acelerada após o estabelecimento do Proálcool – Figura 19 -, em 1975, trazendo consigo a cultura do etanol como combustível, e o consequente aumento do volume na produção de cana. Assim, geraram-se cada vez mais resíduos, de maneira a permitir a cogeração (ROSILLO-CALLE, BAJAY e ROTHMAN, 2005).

Figura 19 - Evolução da produção brasileira de cana, açúcar e etanol. Pode-se observar todas as fases do programa Proálcool: Fase Inicial 1975-1979 com início do crescimento da produção de etanol e diminuição da produção de açúcar; Fase de Afirmação 1980-1986 com grande crescimento da produção de etanol e aumento da produção de cana; Fase da Estagnação 1986-1995 com a produção de etanol e volume de cana praticamente congelados e Fase da Redefinição 1995-2000 declínio da produção do etanol como combustível e crescimento da produção do açúcar; Fase Atual 2000-Atualmente novo crescimento da produção de etanol como combustível, graças a popularização da tecnologia flex no Brasil.⁹



Este cenário possibilitou o Brasil construir e consolidar uma matriz energética limpa, cujo combustível dos veículos é o etanol, e cujo resíduo de sua produção produz energia de forma eficiente, através da cogeração (RIPOLI, 2005).

A cogeração nas usinas sucroalcooleiras não é interessante somente do ponto de vista ambiental, auxiliando na redução de resíduos da colheita, como também do ponto de vista da eficiência de processos, tais como a conversão energética apresentada na Figura 20.

⁹ NOVA CANA, *A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)*. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acesso em: 10 de março 2018.

Em uma planta industrial é sempre interessante buscar eficiência, de forma a minimizar os custos de trabalho e maximizar o resultado, pois com tal maximização da eficiência de processos, obtém-se um ganho financeiro.

Figura 20 – Diagramas ilustrando a eficiência agregada ao emprego da cogeração em um ciclo industrial¹⁰.



FONTE: INEE.

Através do emprego de turbinas a vapor, as quais utilizam o bagaço da cana como combustível, as plantas industriais das usinas têm seu fornecimento de energia assegurado de forma autossuficiente, gerando economia na compra de energia. Com o emprego da cogeração, o nível de eficiência aumenta, e, portanto, menos energia bruta será necessária para o processo, permitindo até mesmo que a usina venda o excedente de energia para o mercado, complementando seu faturamento (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009).

Contudo, para vender o excedente de energia, as usinas precisam estar adequadas e integradas ao sistema elétrico de potência (SEP), de forma a injetar a energia sobressalente no sistema elétrico, para ser utilizada por outros consumidores. A venda de energia deve seguir varias regras e normas pré-estabelecidas pela CCEE, instituição pública de direito privado e sem fins lucrativos, regulada pela ANEEL. A usina que deseja vender o excedente deve ter acesso ao mercado livre de energia elétrica, no qual pode oferecer seu produto de forma competitiva, por meio de negociações com outros participantes nos leilões ou no mercado de curto prazo.

A geração e venda de energia elétrica em usinas sucroalcooleiras estimula a produção descentralizada, combatendo os monopólios naturais do setor, aumentando a competitividade por preços mais acessíveis e estimulando a entrada de mais geradores no sistema. Além de todos os benefícios citados, incentiva a compra de energia de fontes

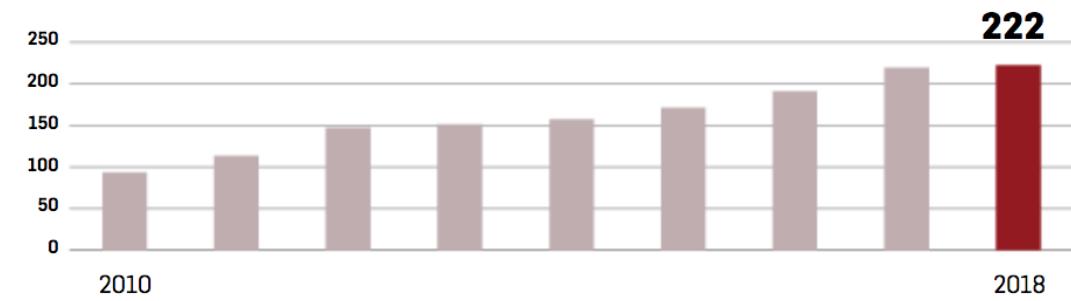
¹⁰ INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. *Cogeração*. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp>. Acesso em: 10 de março de 2018.

renováveis através de tais de incentivos financeiros, permitindo o crescimento do mercado livre de energia, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Crescimento do Mercado livre de energia no Brasil por meio do aumento de comercializadoras e consumidores¹¹.

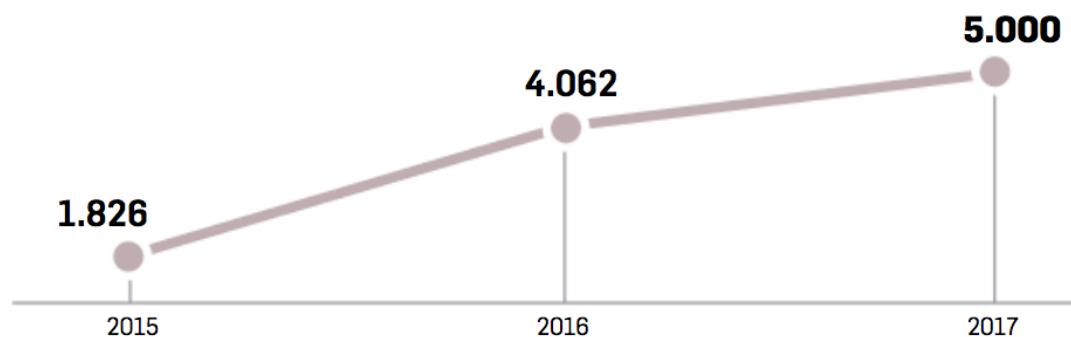
Total de comercializadoras na CCEE

EM NÚMERO DE EMPRESAS



Expansão do setor

EM NÚMERO DE CONSUMIDORES



FONTE: ESTADÃO, 2018.

¹¹ ESTADÃO. *Mercado livre de energia atrai mais investidores*. O Estado de São Paulo, fevereiro de 2018. Disponível em: < <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,mercado-livre-de-energia-atrais-mais-investidores,70002204099> >. Acessado em: 9 de abril de 2018.

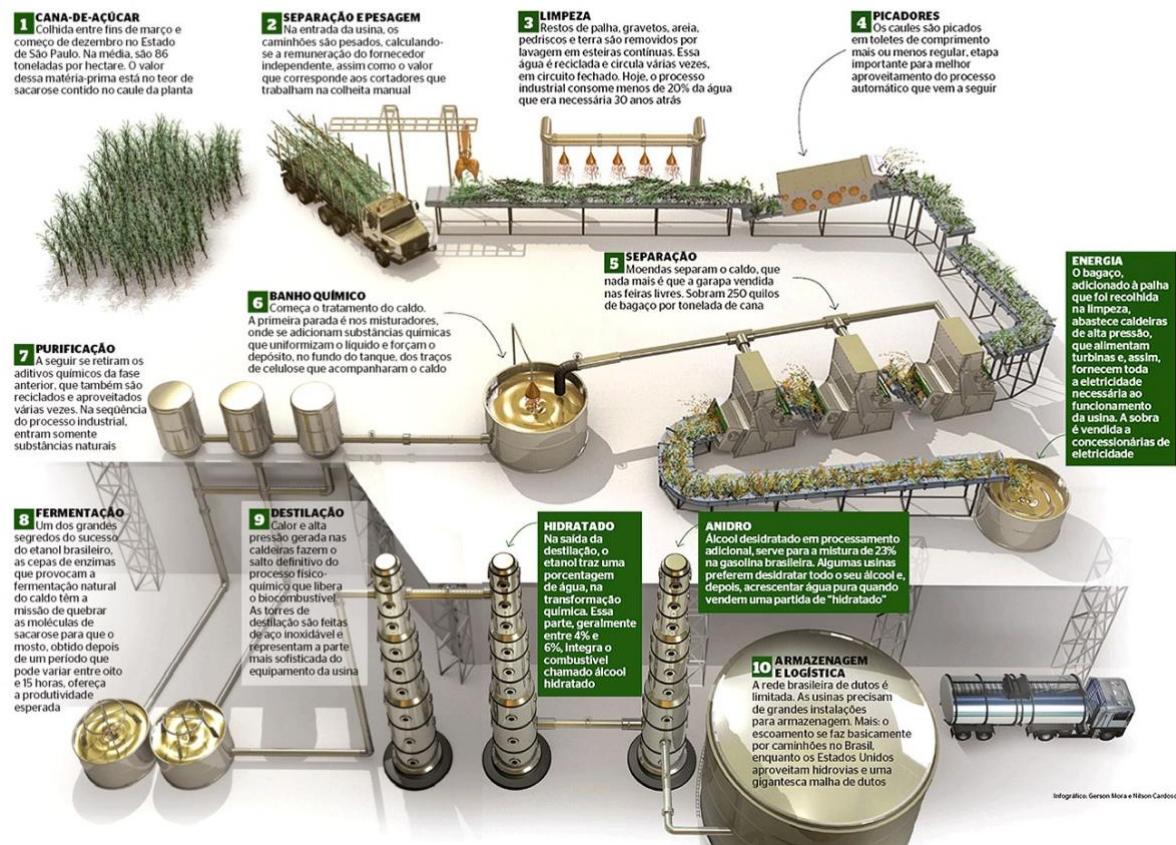
6. A REALIDADE BRASILEIRA

O Brasil é líder mundial em tecnologias do setor sucroalcooleiro, sendo pioneiro em técnicas de plantio, colheita e processamento da cana-de-açúcar (SILVA e FISCHETTI, 2008). Em todas as usinas nacionais encontram-se sistemas a vapor de alto desempenho, responsáveis por mover todos os processos industriais, como demonstrado nas Figuras 22 e 23. A utilização do bagaço da cana-de-açúcar para mover as turbinas a vapor é utilizado em 100% das usinas nacionais¹², assim como também o emprego de sistemas de cogeração já se encontra bem difundido, inclusive, utilizando para tais sistemas, majoritariamente, equipamentos de fabricação nacional.

Figura 22 – Ilustração dos processos e funcionamento de uma Usina de Álcool. O processo de produção de açúcar se diferencia depois da extração do caldo da cana, o qual, para o açúcar, será tratado de forma diferente.

Como funciona uma usina de álcool

Do canavial ao posto de gasolina, todas as fases da produção



¹² NOVA CANA. Cogeração: como funciona a produção de energia elétrica numa usina sucroalcooleira. Disponível em: < <https://www.novacana.com/usina/cogeracao-como-funciona-producao-energia-eletrica/>>. Acesso em: 10 de março 2018.

Como é aqui ilustrado, as necessidades energéticas das usinas, como a demanda de calor, eletricidade e energia mecânica, por exemplo, podem ser totalmente supridas utilizando-se a queima do bagaço da cana nas caldeiras. A partir disso, as usinas tornam-se energeticamente autossuficientes, pois, como vem sendo explicado, toda essa demanda energética é atendida pela planta de cogeração, que consome a biomassa residual gerada no procedimento.

O processo de produção de etanol e açúcar demanda vapor de baixa pressão entre 1,5 a 2,5 bar como fonte de calor para os processos de destilação e refinamento (MACEDO, 2005). Já os sistemas de preparo da cana e de extração do caldo demandam vapor a 22 bar de pressão, com vazão de acordo com a eficiência da turbina de acionamento. Este vapor é utilizado para acionar as turbinas, as quais fornecem energia mecânica aos picadores, desfibradores e à moenda. (MACEDO, 2005).

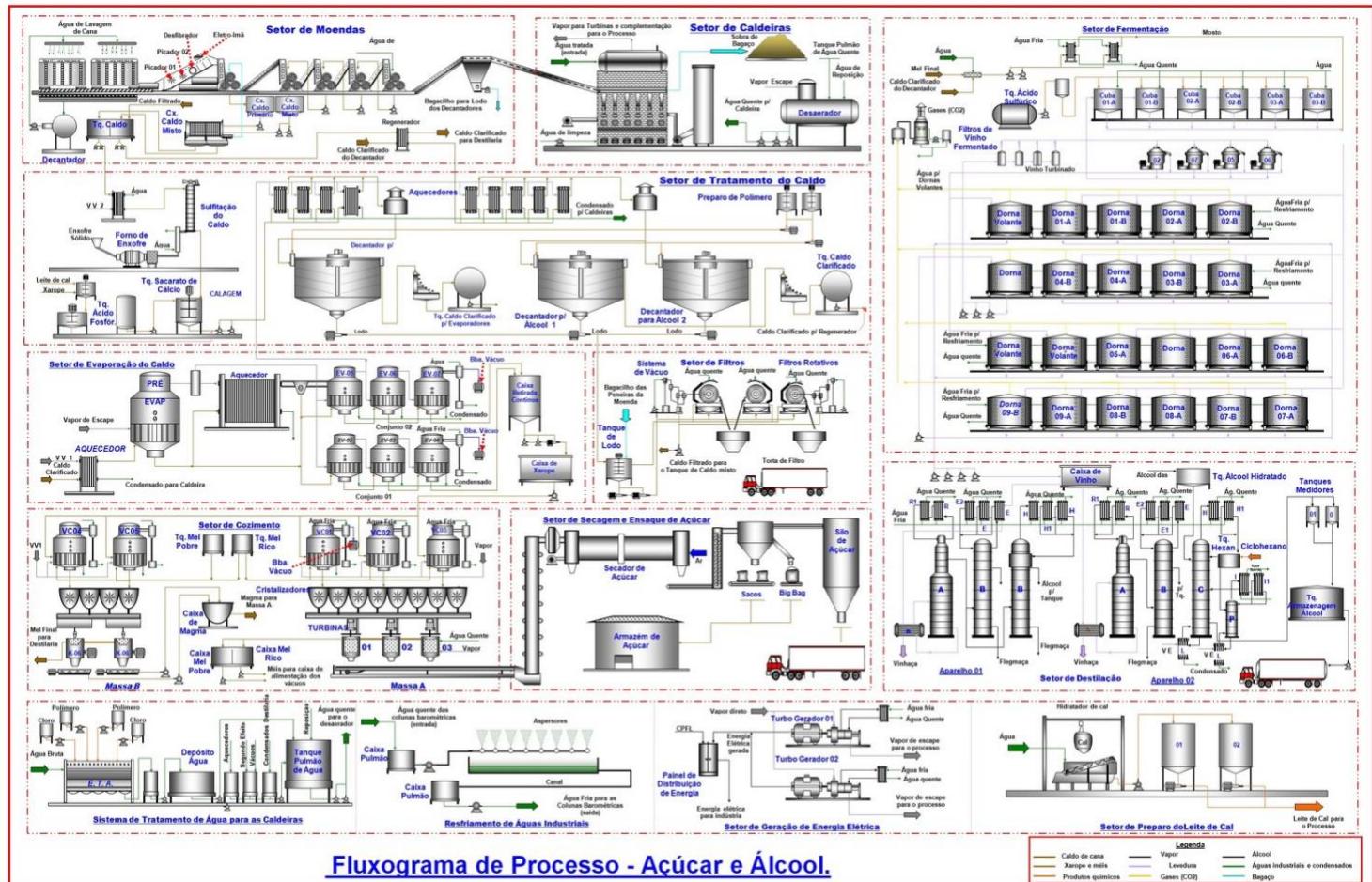
O avanço tecnológico tem permitido que as usinas atualizem seus equipamentos e aumentem sua eficiência através da eletrificação – que consiste na substituição de equipamentos acionados por turbinas a vapor por equipamentos acionados por motores elétricos nas usinas sucroalcooleiras. Pode-se citar, como exemplo, a atualização do sistema de preparo e de moagem da cana, que usualmente utilizava turbinas a vapor, por um sistema movido a motores elétricos. Sendo assim, a eletrificação desses sistemas possibilita um aumento significativo na eficiência de conversão da energia – e, consequentemente, no aumento de geração elétrica excedente e do faturamento na venda de energia da usina.

Sistemas de cogeração mais eficientes apresentam como característica maiores níveis de pressão e temperatura, sendo capazes de fornecer mais energia para os processos com um menor consumo de bagaço (combustível). Atualmente, os sistemas de cogeração mais eficientes em operação no setor de cana-de-açúcar nacional são ciclos a vapor, que trabalham com vapor vivo a 65 bar de pressão e 480°C de temperatura. A tendência, contudo, é que se elevem ainda mais os parâmetros na geração de vapor, propiciando maior eficiência na geração elétrica – embora as vendas ainda se concentrem em sistemas de 42 e 65 bar.¹³

Para elevar a eficiência dos processos empregados atualmente nas usinas é necessário que sejam alcançados níveis de pressão e temperatura superiores aos apresentados. Para tanto, faz-se necessária a utilização de materiais mais robustos nas caldeiras e turbinas. Hoje em dia são encontradas no mercado caldeiras e turbinas de 65 a 90 bar com temperatura máxima de 520°C; mas, para o emprego de temperaturas mais altas na geração do vapor vivo, os materiais da caldeira e turbina devem utilizar aços especiais que suportem temperaturas e pressão mais elevadas. Trata-se, assim, de uma limitação, considerando-se que no Brasil não são produzidos aços que podem suportar temperaturas superiores a 520°C (MACEDO, 2005).

Logo, conclui-se que o emprego desses aços especiais que suportam temperaturas acima deste nível dependeria exclusivamente da importação do material, tornando os custos proibitivos para as usinas. Faz-se menção também à potência das turbinas, que está limitada a 50 MW, uma vez que os geradores elétricos nacionais atendem somente até esse nível de potência, sendo a importação, novamente, inviável do ponto de vista do investimento.¹³

Figura 23 – Diagrama dos processos industriais de uma Usina de Açúcar e Álcool.



FONTE: NOVA CANA, 2018.

Com o sistema de cogeração instalado e operando, é esperado que a instalação apresente produção de energia elétrica superior à necessária para o processo da usina, dado a eficiência agregada ao processo. Em situações em que há energia remanescente, é interessante para a usina vender este excedente para o sistema elétrico – frisando novamente a obrigatoriedade de ter acesso ao livre mercado de energia e estar devidamente regulada junto à ANEEL.

A regulamentação e autorização para terceirizar a produção de eletricidade é de responsabilidade do Ministério de Minas e Energia (Lei nº. 8.987/95, regulamentada pelo art. 63 do Decreto nº. 5.163/04) (BRASIL, 2004), competência então delegada à ANEEL. Assim,

a ANEEL estabelece os requisitos necessários à obtenção da autorização para a implantação ou ampliação de centrais geradoras, bem como para a venda da energia elétrica produzida.

Segundo a Resolução ANEEL nº. 112, de 18 de maio de 1999, a autorização é outorgada à pessoa jurídica ou a empresas reunidas em consórcio interessadas em produzir energia elétrica destinada à comercialização, sob forma de produção independente; à pessoa física, pessoa jurídica ou a empresas reunidas em consórcio interessadas em produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. Para empreendimentos com capacidade de geração de até 5 MW, é necessário apenas um registro junto à ANEEL, apresentando as características básicas do projeto de cogeração e a identificação de seu proprietário (BARJA, 2006).

No entanto, para empreendimentos com capacidade de geração superior a 5 MW, é necessária uma autorização, válida por 30 anos, junto à União, que obriga a comprovação, tanto da idoneidade do proprietário, quanto das condições operativas da central e de sua conexão à rede, para que o serviço de fornecimento de eletricidade possa ser avaliado como adequado. Esta condição está descrita pela Lei nº. 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 (BRASIL, 1995), como:

“Art. 6º (...)

§ 1º Serviço adequado é o que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.

§ 2º A atualidade compreende a modernidade das técnicas, do equipamento e das instalações e a sua conservação, bem como a melhoria e expansão do serviço.”

Em resumo, a usina sucroalcooleira que deseja vender a energia excedente deve ser capaz de comprovar sua capacidade técnica para o processo, garantindo sua disponibilidade de combustível, tecnologia utilizada no projeto de cogeração e conexão à rede. (BARJA, 2006). A comprovação da disponibilidade de combustível da usina sucroalcooleira concretiza-se através da demonstração da disponibilidade de biomassa, considerando seu processo industrial ou a compra de terceiros; o projeto de cogeração deve ser executado de forma que comprove a utilização da tecnologia capaz de prover os princípios constitucionais da regularidade, continuidade, eficiência, segurança e atualidade – sendo assim necessário fornecer desenhos de arranjo geral, diagramas unifilares, fluxogramas de processo, balanço de energia e de uso de águas, nos quais devem constar a geração completa, incluindo as informações de autoconsumo nos serviços auxiliares e no processo industrial, bem como o intercâmbio externo com o sistema elétrico (BARJA, 2006).

O último a ser dado pela usina, conforme acima mencionado, é regulamentar sua conexão com o sistema. Para isso, é necessário apresentar seu estudo de viabilidade junto à concessionária de distribuição, à de transmissão ou ao ONS, de acordo com o ponto de conexão desejado. (BARJA, 2006).

6.1. Estudo de Caso - Usina Santa Lúcia

No dia 13 de abril de 2018 foi realizada uma visita na usina Santa Lúcia, apresentada na Figura 24, localizada no município de Araras, no interior do estado de São Paulo. A Usina fundada em 1947 opera durante 7 meses do ano (abril a outubro), processando durante a safra 1.406.130 toneladas de cana-de-açúcar, espalhadas por 15 mil hectares de canaviais próprios e de terceiros no interior do estado. Com esse volume de processamento, ela é capaz de produzir 90.242 toneladas de açúcar, 44.780 metros cúbicos de etanol, 27.296 toneladas de melaço e 24.000 MWh de energia por ano.¹³

Figura 24 – Vista Panorâmica da Usina Santa Lucia.



FONTE: Arquivo pessoal Rafael Ometto do Amaral, 2018.

A história da usina teve início em 1940, quando Jerônimo Ometto construiu um alambique no local da antiga fazenda São Joaquim, rebatizando-a para Fazenda Santa Lúcia. Durante a guerra, o alambique foi ampliado e modernizado, tornando-se uma destilaria com

¹³ USINA SANTA LÚCIA. Sobre a Usina Santa Lúcia. Disponível em: <<http://usinasantalucia.com.br/site/>>. Acesso em: 9 de abril de 2018.

capacidade de produção de 6.000 litros de etanol por dia. Em 1947, com autorização do governo, Jerônymo Ometto transformou sua destilaria em uma usina, iniciando a produção açúcar e inaugurando, assim, a Usina Santa Lúcia.¹⁴

Sob a administração de Jerônymo e, posteriormente, de seu filho Narciso, o negócio prosperou ao longo dos anos. Hoje a usina passa por um processo de modernização e crescimento, sendo administrada por César Ometto, filho de Narciso, e seu sobrinho Rafael Ometto do Amaral – sendo o último especializado em Gestão Industrial Sucroenergética pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, também responsável por apresentar a usina e seu projeto de cogeração para a elaboração desta monografia.

A Usina Santa Lucia é autossuficiente energeticamente desde 1990, sendo capaz de suprir todas as suas necessidades energéticas através da queima do bagaço excedente de seus processos industriais. Somente em 2015 foi feita a primeira tentativa de entrar no mercado livre de energia, a fim de iniciar a venda do excedente de energia, mas, devido a problemas de conexão com a rede, este empreendimento não foi bem-sucedido. Em 2016 houve uma nova tentativa de comercializar energia, novamente sem êxito, desta vez por problemas técnicos com o sistema de abastecimento de água das turbinas. Somente em 2017 o sistema operou como deveria e a usina foi capaz de comercializar, com sucesso, 24 MWh no mercado de curto prazo.

A operação da usina sempre foi feita através da utilização de três caldeiras de 21 bar de pressão. Tais caldeiras estavam em operação desde 1950 e apresentavam altos níveis de manutenção e baixos índices de eficiência. Assim, a administração da usina decidiu realizar um projeto de troca das caldeiras por um sistema com melhores resultados, que também utilizasse tecnologia de cogeração.

O projeto substituiu uma das caldeiras de 21 bar por uma nova caldeira de 42 bar e 450 °C, apresentada na Figura 25, muito mais moderna e eficiente, capaz de suprir a maior parte da necessidade energética da usina. A nova caldeira foi fornecida e instalada pela empresa nacional Caldema, com sede em Sertãozinho. Além disso, o projeto também reformou outras duas caldeiras de 21 bar, transformando-as em caldeiras auxiliares do processo.

Figura 25 – Caldeira de 42 bar de pressão e 450 °C.



FONTE: Arquivo Pessoal, 2018.

Juntamente à nova caldeira também foi implantado um novo sistema de turbinas a vapor e geradores elétricos, ilustrados na Figura 26, responsáveis pela cogeração de energia e abastecimento de vapor e energia elétrica para a usina. A turbina escolhida foi fornecida pela empresa TGM e o gerador pela fornecedora WEG, ambas nacionais. Houve a preferência por fornecedores nacionais pela facilidade e agilidade de manutenção. É interessante destacar que fornecedores nacionais deste segmento também são líderes em tecnologia, logo, não perdem em qualidade para empresas estrangeiras.

Figura 26 – Turbina TGM (Verde) e Gerador WEG (Azul) responsáveis pelo processo de cogeração.



FONTE: Arquivo Pessoal, 2018.

O novo sistema da usina terminou de ser implantado no início de 2015, restando apenas a conexão com a rede e a regulamentação do projeto junto à ANEEL, para que todo o processo pudesse entrar em operação. No entanto, a usina não estava bem assessorada em relação à documentação e aos estudos necessários para a realização da conexão com a rede. Por tal razão, a autorização da prefeitura foi difícil de ser obtida, além da ocorrência de atrasos com a concessionária de energia ELEKTRO. Com a documentação completa, foi iniciada a construção da linha que liga a usina à subestação, processo que também demorou mais que o previsto, devido a fortes chuvas no período.

Tais atrasos impossibilitaram a utilização do novo sistema de cogeração em 2015, consequentemente, a usina operou com auxílio das duas caldeiras de 21 bar. Já para a safra de 2016, o sistema estava pronto e a operação foi iniciada. Porém, ao longo dos meses de operação, surgiram problemas técnicos na turbina do gerador, mais especificamente no tratamento de água, que não estava operando corretamente, causando incrustação nas turbinas. Desse modo, a produção foi impactada e a expectativa de exportar 20.000 MWh não foi alcançada. Assim, no final da safra somente 3.600 MWh de energia foram exportados.

Finalmente, em 2017, todos os problemas foram resolvidos e ajustes finos puderam ser feitos no sistema, aumentando, inclusive, a eficiência prevista no tratamento de água. Com isso, foi possível exportar 24.000 MWh de energia no ano. Devido a todo histórico de problemas no inicio da operação e pelo desejo de avaliar o desempenho do sistema, a usina não havia fechado nenhum contrato de venda de energia e, portanto, teve que permanecer no mercado de curto prazo.

Esta decisão provou-se rentável, pois o preço médio da energia obtido pela usina foi de R\$ 401,00/MWh. Para efeito de comparação, quando o sistema de cogeração foi idealizado, o valor esperado para o MWh de energia era de R\$ 180,00/ MWh. Desse modo, em 2017, a venda de energia correspondeu a aproximadamente R\$ 9.624.000,00, equivalendo, segundo Rafael, a aproximadamente 7% do faturamento da usina já no primeiro ano de operação do sistema, cujo custo foi de aproximadamente R\$ 50.000.000,00.

Mesmo com o alto valor obtido no mercado de curto prazo, por não possuir uma turbina de condensação (uma vez que todas as turbinas da usina são de contrapressão), a usina não pode gerar e vender mais energia, limitando-se pela quantidade de vapor de 1,5 bar de pressão demandado pelo processo de açúcar e álcool. Assim, em 2017, a usina obteve 21 mil toneladas excedentes de bagaço, sendo a maior parte vendida (17 mil toneladas) e o restante (4 mil toneladas) armazenadas para iniciar a operação em 2018. É interessante ressaltar que, com o aumento do preço da energia no mercado de curto prazo, ocorre o mesmo com o preço do bagaço, tornando sua venda atrativa.

O processo de cogeração não trouxe apenas benefícios financeiros para a usina, embora esses fossem os principais motivos para justificar um investimento tão elevado, mas também eficiência operacional. Antes da implantação da cogeração, a usina processava aproximadamente 300 toneladas de cana por hora, ou 7.200 toneladas de cana por dia.

Figura 27 – Entrada da moenda de cana-de-açúcar. Aqui se inicia o processo de transformação da cana em açúcar ou etanol.



FONTE: Arquivo Pessoal, 2018.

Como cerca de 75% da cana é composta por líquidos extraídos na moagem, sobram na forma de bagaço 25% das 300 toneladas, originando 75 toneladas de bagaço por hora.

Se 100% desse bagaço fosse para as antigas caldeiras de 21 bar, cuja eficiência é de 2,2 toneladas de vapor por tonelada de bagaço, teríamos a produção de 165 toneladas de vapor por hora para atender a todos os processos das turbinas de 21 bar - moenda, turbo bomba e geração de energia, sendo que o vapor de escape dessas turbinas, a 1,5 bar, seria utilizado nos demais processos.

A usina não necessitava de 100% desse vapor, pois ela consumia aproximadamente 156 toneladas de vapor por hora ou 95% do volume total que poderia ser gerado. Logo, 5% do bagaço não era queimado e ia diretamente para o pátio de armazenagem – como pode-se observar na Figura 28 -, resultando na sobra de 3 toneladas e meia de bagaço por hora.

Figura 28 – Bagaço armazenado no pátio para venda.



FONTE: Arquivo Pessoal, 2018.

Na antiga configuração, a usina possuía um consumo de 4,5 MWh por hora de energia, sendo necessárias 14 toneladas de vapor para cada MWh de energia gerado. Assim, das 156 toneladas de vapor gerados por hora, 63 toneladas de vapor eram consumidas somente para gerar energia (o vapor de escape depois era empregado em outros processos que necessitam de vapor de 1,5 bar). Com a instalação do novo sistema de cogeração, o

consumo da usina passou para 5,5 MWh (aumento da carga instalada) – mas, para gerar essa quantidade de energia, o novo sistema demandava apenas 38 toneladas de vapor por hora, um consumo de 7 toneladas de vapor para cada MWh gerado, sendo 50% mais eficiente.

Em um primeiro momento, esse parece ser um ganho significativo, afinal, com o novo sistema, a usina estava gerando 22% a mais de eletricidade com um consumo de vapor 50% menor. Porém, levando-se em consideração que todas as turbinas da usina são de contrapressão, isto torna-se um problema, pois quem determina o volume de vapor necessário são os processos de baixa pressão (1,5 bar) de açúcar e álcool, que continuavam demandando a mesma quantidade de vapor por hora da antiga configuração.

A solução para esse impasse trouxe outro ganho para a usina. Tal problema foi resolvido produzindo-se mais energia, a fim de que o gerador pudesse consumir mais vapor de alta pressão e, consequentemente, fornecesse mais vapor de baixa pressão para os demais processos. Assim, a usina voltou a fornecer as 63 toneladas de vapor por hora para o gerador, e com a nova quantidade de vapor passou a produzir 9 MWh de energia por hora, permitindo que a usina exportasse 3,5 MWh de energia, ou seja, o novo sistema trouxe um ganho operacional e financeiro para ela.

Atualmente, a usina aumentou os processos de açúcar e álcool, e o sistema encontra-se 100% operacional, inclusive utilizando um novo sistema de controle, apresentado na Figura 29. Logo, a usina espera consumir 350 toneladas de bagaço por hora para produzir 180 toneladas de vapor por hora e gerar 12 MWh de energia – dos quais 5,5 MWh serão consumidos pela própria planta e 6,5 MWh serão exportados para a rede.

Figura 29 – Painéis elétricos para controle do sistema de geração da usina.



FONTE: Arquivo pessoal, 2018.

Os próximos passos na melhoria operacional da usina, segundo Rafael, são a aquisição de uma turbina de condensação, que possibilitaria a geração de energia independentemente da quantidade de vapor requerida pelo processo de açúcar e álcool – fornecendo ainda mais flexibilidade para a usina – e o início da eletrificação de alguns equipamentos.

Hoje em dia, a máquina de preparo de cana para moagem tem um motor de 3.000 cavalos de potência e é movida por uma turbina de 21 bar de pressão com consumo de 30 toneladas de vapor por hora, sendo um dos equipamentos com maior consumo de vapor e menor eficiência. A usina substituirá essa máquina por uma elétrica. Esse novo equipamento será alimentado em média tensão, 13,8 kV e terá um consumo de 2,6 MWh de energia por hora.

Como o atual sistema de cogeração de energia da usina consome 7 toneladas de vapor para cada MWh, ao substituir a máquina de preparo de cana por uma elétrica, a usina terá uma sobra de aproximadamente 12 toneladas de vapor por hora, permitindo o aumento de sua produção de energia para 8,2 MWh.

A capacidade do atual gerador é de 18 MWh, assim, com a instalação da nova máquina elétrica, o consumo interno da usina seria de aproximadamente 8,1 MWh, e a venda de energia seria de 8,2 MWh, totalizando 16,3 MWh, bem próximo à capacidade total do gerador.

Destaca-se desses números que, apesar dos ganhos financeiros do novo sistema de cogeração para a usina, eles ainda correspondem a uma parcela relativamente pequena do faturamento. Logo, as melhorias e eficiência buscadas, sempre tiveram foco no processo de açúcar e álcool – carros chefes da usina –, e não na melhoria da cogeração e venda de energia. Esta é uma consequência de todo o processo de modernização e crescimento da usina.

Esta visão de negócios, focada nos produtos tradicionais e não na energia, foi o motivo para a caldeira adotada na mudança de processo não ser de 67 bar – uma tendência de mercado –, e sim uma menor, de 42 bar. Se uma caldeira de 67 bar de pressão fosse instalada no sistema, o nível de venda de energia da usina deveria ser de aproximadamente 16 MWh de energia, sendo que a subestação à qual a usina está conectada não tem capacidade para receber essa quantidade de energia.

A subestação SE-ARARAS 02, da concessionária ELEKTRO, está próxima ao seu limite operacional, tendo capacidade para receber no máximo 9 MWh. Assim, se a usina optasse por exportar mais do que esta quantidade de energia, teria que construir uma subestação própria, não podendo utilizar mais a subestação da concessionária. Isso aumentaria os custos do projeto para cerca de R\$ 80.000.00,00, tornando o investimento

inviável e desinteressante para a usina, visto que seu processo de açúcar teria poucos ganhos operacionais.

Rafael enfatiza que a energia não é o carro chefe da usina, mas sim um complemento que não consome mão de obra ou recursos adicionais, trazendo eficiência e um ganho financeiro para a usina.

No final de 2016, a Usina participou de um leilão de energia com ajuda da comercializadora Migratio, comprometendo-se a entregar, a partir de 2020, 20 mil MWh de energia por ano. Até lá, a usina continuará vendendo seu excedente de produção no mercado de curto prazo. Em 2018, a safra da usina terá início no dia 17 de abril e término no dia 28 de outubro, trazendo consigo ótimas expectativas para a operação da planta de cogeração e venda de energia no mercado livre.

7. CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foram apresentados três fatores chaves - etanol como combustível, cogeração através da biomassa e comercialização de energia no mercado livre – para o Brasil tornar-se pioneiro em eficiência energética, utilizando uma matriz predominantemente renovável. O país, que já é exemplo no uso de energia proveniente de fontes limpas, pode desenvolver uma dinâmica em que a utilização de etanol como combustível possibilita a geração de energia através da cogeração em usinas sucroalcooleiras, estimulando o aumento da geração distribuída e comercialização no mercado livre. Tal dinâmica torna o investimento no setor energético atraente do ponto de vista político-econômico e ambiental, tanto para fornecedores quanto para consumidores.

Como apresentado, a primeira conexão explorada foi a de como as políticas energéticas brasileiras para combustíveis influenciaram o crescimento e estabelecimento das usinas sucroalcooleiras no Brasil, possibilitando, hoje, a diversificação da matriz energética através da cogeração de energia. A utilização do etanol como combustível consolidou o Brasil como líder mundial em tecnologias para o mercado agrário e de veículos movidos a biocombustíveis. Com a expansão da frota de veículos *flex*, o país pode diminuir a dependência de importações de petróleo, ao mesmo tempo em que ganhou um importante produto de exportação.

O desenvolvimento do etanol como combustível resultou no crescimento da produção e processamento da cana-de-açúcar, aumentando a quantidade de biomassa disponível nas usinas. A biomassa, em países como o Brasil, com vasto território e intensa insolação, destaca-se no setor agroindustrial como combustível. Sendo assim, o Proálcool é, no âmbito mundial, o único Programa de Substituição de Derivados de Petróleo de porte e resultados expressivos (SILVA e FISCHETTI, 2008)

A cogeração é uma modalidade de produção de energia elétrica que, por seus méritos, está presente na expansão do parque de geração do setor elétrico. Além das vantagens econômicas, a credibilidade agregada ao abastecimento de eletricidade já viabiliza, atualmente, projetos significativos.

A participação da cogeração também é importante para preservação dos níveis dos reservatórios das hidroelétricas, pois a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste e Centro-Oeste, regiões onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. Assim, com o aumento do fornecimento de energia por parte das usinas, pode-se evitar que a utilização dos reservatórios de água fique sobrecarregada durante o período de secas, sendo necessário utilizar energia proveniente de usinas térmicas tradicionais para abastecimento da população, forçando a adição de tarifas extras nas contas de energia.

O apoio às iniciativas de novos projetos deve sempre contornar dificuldades tecnológicas e barreiras institucionais, culturais e políticas, as quais possam, eventualmente, atrasar a inserção da cogeração no mercado de energia elétrica. A superação destas barreiras envolve desafios em vários campos, entre eles, o tecnológico, econômico e social, bem como outros possíveis problemas, como o relacionamento entre empresas e órgãos, além de questões de regulamentação e controle.

Posteriormente, verificou-se como o Brasil pode, através da venda da energia remanescente das usinas, alavancar o livre mercado de energia, diminuindo o monopólio das distribuidoras. Além disso, a cogeração também permite uma maior flexibilidade nas decisões e, por fim, um estímulo à geração distribuída e a fontes renováveis.

Assim, o maior impulso para que a matriz energética brasileira continue sendo, de forma eficiente, pioneira na utilização de fontes renováveis, encontra-se na sinergia entre diferentes frentes energéticas – isto é, a produção de etanol para o combustível e a biomassa para cogeração, de maneira a complementar o fornecimento de energia proveniente das hidroelétricas. Torna-se garantido, portanto, o fornecimento de energia limpa para todos os consumidores.

Contudo, a maior debilidade desse sistema está justamente em um de seus pilares: a cana-de-açúcar – que está sob controle de grandes latifundiários, empreendedores que não costumam ter como fator de importância questões ambientais ou sociais. Assim, o plantio da cana avança cada vez mais, para o interior do Brasil, destruindo áreas de preservação ambiental e substituindo o plantio de outras culturas menos rentáveis financeiramente, sem levar em consideração as pessoas e ecossistemas que estão sendo afetados.

Desse modo, verifica-se que a não regulamentação e o não acompanhamento das usinas e dos produtores de cana por parte do governo e demais órgãos públicos tornam-se uma grande ameaça para essa dinâmica energética, uma vez que, ao invés dela dar suporte às fontes de energia sustentáveis, transforme-se em apenas mais uma maneira dessa pequena parcela da população ganhar dinheiro, sem quaisquer preocupações socioambientais.

Apesar do Brasil apresentar imensos desafios e dificuldades nos próximos anos, também possui a oportunidade de transformar não só o panorama energético – isto é, ao fixar-se como pioneiro em eficiência energética utilizando o etanol, a cogeração e o mercado livre de energia –, mas também a forma como administra seus recursos, estabelecendo-se como líder na mudança da matriz energética mundial.

REFERÊNCIAS¹⁴

ABRACEEL - ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, Cartilha Mercado Livre de Energia Elétrica – Um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Acessado em: 25 de outubro de 2017.

AL-RODHAN, N. R. F.; STOUDMANN, G. *Definitions of Globalization: A Comprehensive Overview and a Proposed Definition.* [S.I.],2006.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil.* 3 ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acessado em 10 de março de 2018.

BARJA, G. J. *A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico.* 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Mecânica) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2006.

BARROS, R. *Energia para um novo mundo.* Rio de Janeiro: Monte Castelo ideais, 2007. ISBN 978-85-88204-13-3.

BAUMAN, Z. *Globalização - As Consequências Humanas Globalização.* 1 ed [S.I.]: Jorge Zahar Editor Ltda, 1999. ISBN 85-7110-495-6.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. *Fundamentos da Termodinâmica.* 7 ed. [S.I.]: Blucher, 2009.

BOYCE, M. P. *Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants.* 2 ed. [S.I.]: American Society of Mechanical Engineers, 2010.

BRASIL. Decreto 5.163/04, de 30 de jul. de 2004. *Das regras gerais de comercialização de energia elétrica,* Brasília, DF. jul. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm>. Acesso em 22 de março de 2018.

¹⁴ De acordo com a ABNT NBR 6023 Informação e documentação - Referências - Elaboração (2002).

BRASIL. LEI Nº 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995. *Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.* Brasília, DF. jul. 1995. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987compilada.htm>. Acesso em 22 de março de 2018.

BRIDGES, G. Grounding Globalization: The Prospects and Perils of Linking Economic Processes of Globalization to Environmental Outcomes. *Economic Geography*. V. 78, n. 3, p. 361–386, Julho 2002.

BUDNY, D. E SOTERO, P. *Brazil Institute Special Report: The Global Dynamics of Biofuels*. São Paulo, Brazil Institute of the Woodrow Wilson Center, 2007.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTICA. *Entenda o Mercado e a CCEE*. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_afrLoop=536056049619753#!%40%40%3F_afrLoop%3D536056049619753%26_adf.ctrl-state%3Dlqi9npzog_61>. Acessado em: 25 de outubro de 2017.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTICA. *História*. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/historia?_adf.ctrl-state=9bd72urct_4&_afrLoop=59898064881348#!>. Acessado em 25 de outubro de 2017.

COGERAÇÃO. *Dicionário de Terminologia Energética*. 3 ed. 2001. Disponível em <<https://pt.scribd.com/document/348746735/TDE4-Dicionario-de-Terminologia-Energetica-pdf>>. Acesso em 10 de março de 2018.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. PIB e Performance do Agronegócio, 2017. Disponível em: <http://www.cnabrasil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf>. Acessado em: 10 de março de 2018.

EFICIÊNCIA. *Dicionário online Dicio*, 10 de março de 2018. Disponível em <<https://www.dicio.com.br/eficiencia/>>. Acesso em 10 de março de 2018.

ESTADÃO. *Carros Flex já são maioria na frota brasileira.* O Estado de São Paulo, agosto de 2013. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,carros-flex-ja-sao-maioria-na-frota-brasileira-imp-,1060477>>. Acessado em: 23 de outubro de 2017.

ESTADÃO. *Mercado livre de energia atrai mais investidores.* O Estado de São Paulo, fevereiro de 2018. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,mercado-livre-de-energia-atrais-mais-investidores,70002204099>>. Acessado em: 9 de abril de 2018.

GOVERNO DO BRASIL, *Matriz energética.* Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

HOBBSAWM, ERIC J. *Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo.* 5. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2003. v. 1. ISBN 85-218-0272-2.

INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. *Cana-de-açúcar.* Disponível em: <http://www.inee.org.br/biomassa_cana.asp?Cat=biomassa>. Acessado em: 10 de março de 2018.

INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. *Cogeração.* Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp>. Acessado em: 10 de março de 2018.

INTERNATIONAL MONETARY FOUNDATION. *Globalization: Threats or Opportunity.* IMF Publications, 2000.

JANUÁRIO, A. C. V. *O mercado de energia elétrica de fontes incentivadas: proposta para sua expansão e implicações na câmara de comercialização de energia elétrica.* 123 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2007.

LANDON, T. J. *Secrets of Alleged Oil Price Manipulation Exposed.* Nova Iorque: The New York Times 2014.

LICHTS, F.O. *Industry Statistics: 2010 World Fuel Ethanol Production.* Renewable Fuels Association. Acessado em 22 de outubro de 2017.

LIMA, P. C. R. *Os carros flex fuel no Brasil*. Biblioteca Digital Câmara dos Deputados. Brasília, 2009.

MACEDO, I. C. A *Energia da Cana-de-Açúcar*. [S.I.]: ÚNICA. 2005.

MILANEZ, A. Y.; FAVERET FILHO, P. S. C.; ROSA, S. E. S. *Perspectivas para o etanol brasileiro*. BNDES Setorial, n. 27, p. 21-38, março, 2008.

NOGUEIRA, L. A. H. *Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central: Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, [S.L.], 2008.

NOVA CANA. *A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)*. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acessado em: 10 de março 2018.

NOVA CANA. *Cogeração: como funciona a produção de energia elétrica numa usina sucroalcooleira*. Disponível em: < <https://www.novacana.com/usina/cogeracao-como-funciona-producao-energia-eletrica/>>. Acessado em: 10 de março 2018.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. 2 ed. Piracicaba: USP, 2005. ISBN 85-904440-5.

ROCHA, T. *Cogeração / Tecnologias de Cogeração (4ª PARTE)*. [S.I.]: Revista O Electricista, 2016. Disponível em: <<https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/cogeracao-tecnologias-de/>>. Acessado em 9 de abril de 2018.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. 1 ed. Campinas: UNICAMP, 2005. ISBN 85-268-0685-8.

ROTHBARTH, A. *Reuso de água na cogeração de energia*. São Paulo: Revista TAE, 2010. Disponível em: < <http://www.revistatae.com.br/200-noticias>>. Acessado em 9 de abril de 2018.

SCHOENBERG, T. *U.S. Said to Open Criminal Probe of FX Market Rigging*. Bloomberg Newsweek. Acesso em 22 de outubro de 2017.

SILVA, O.; FISCHETTI, D. *Etanol a Revolução verde e amarela.* 1 ed. São Paulo, Bizz editorial, 2008. ISBN 978-85-61163-01-3.

THE ECONOMIST. *Biofuels in Brazil: Lean, green and not mean.* [S.I.], 2008. Acessado em: em 23 de outubro de 2017.

THE WORLD BANK. *Biofuels: The Promise and the Risks in World Development.* [S.I.], 2008, p. 70–71. Acessado em: 22 de outubro de 2017.

THURSTON, R. H. *A history of the growth of the steam-engine.* 4 ed. Nova Iorque: D. Appleton, 1901.

USINA SANTA LÚCIA. *Sobre a Usina Santa Lúcia.* Disponível em: <<http://usinasantalucia.com.br/site/>>. Acessado em: 9 de abril de 2018.

WISER, W. H. *Energy resources: occurrence, production, conversion, use.* [S.I.]: Birkhäuser, 2000. ISBN 978-0-387-98744-6.