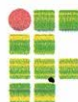


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS –
CÂMPUS JATAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

KALIELLY VIAMA RODRIGUES RIBEIRO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA
DA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO BRASIL

JATAÍ – GO
2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Autorização - Marque uma das opções

1. (☒) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. (☐) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. (☐) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- (☐) O documento está sujeito a registro de patente.
(☐) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
(☐) Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Serresópolis
Local

21 / 06 / 2023
Data

Kalielly Vianna R. Ribeiro

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

KALIELLY VIAMA RODRIGUES RIBEIRO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA
DA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás – IFG, Câmpus Jataí,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato

JATAÍ – GO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Ribeiro, Kalielly Viama Rodrigues.

Revisão bibliográfica sobre a viabilidade socioeconômica da implantação da cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro do Brasil [manuscrito]/ Kalielly Viama Rodrigues Ribeiro. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2023.

83 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato.

Bibliografias.

1. Cogeração. 2. Biomassa. 3. Sucroalcooleiro. 4. Bioeletricidade. 5. Renovável. I. Semensato, Marcelo. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Rosy Cristina O. Barbosa – CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F029/2023-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

KALIELLY VIAMA RODRIGUES RIBEIRO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 21 de junho de 2023, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Semensato
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. André Luiz Silva Pereira
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Esp. Fausto Oliveira Carvalho
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Jataí – GO

2023

Documento assinado eletronicamente por:

- **Fausto Oliveira Carvalho**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/06/2023 17:28:56.
- **Andre Luiz Silva Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/06/2023 16:50:21.
- **Marcelo Semensato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/06/2023 16:44:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/06/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 420522

Código de Autenticação: 6b13199f09



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9579 (ramal: 9579)

Dedico à minha querida e amada mãe, Luceni Ribeiro da Costa Rodrigues, pelo apoio prioritário e pelo incentivo constante e incansável à minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre presente na minha vida e na vida da minha família. Por me permitir saúde para executar as ações acadêmicas diariamente nesses anos de graduação, e por me dar sabedoria para tomar as decisões certas nos momentos incertos.

À toda minha família, pelo afeto, carinho, amor, compreensão, cuidados fraternos, incentivo, companheirismo e apoio incondicional em todas as etapas dessa jornada acadêmica, principalmente à minha querida e mui amada mãe Luceni Ribeiro da Costa Rodrigues.

Aos meus tios e também padrinhos, Maria Eva e Francisco Vandeberggle, por me acolher e me apoiar durante todo esse período de formação acadêmica.

À essa instituição, direção e servidores administrativos que de forma ética, sempre me proporcionou esclarecimentos cabíveis e boas oportunidades de auxílios e complementos educacionais.

A todos os professores que durante minha graduação foram com êxito, mediadores da minha aprendizagem. Reconhecidamente, todos eles foram o elo entre mim e o saber.

Ao meu querido orientador, Professor Dr. Marcelo Semensato, pelo apoio e confiança, pelas suas correções, paciência, companheirismo e acima de tudo, seu comprometimento na orientação deste trabalho.

Ao Professor Dr. André Luiz Silva Pereira, que ao meu ver e ao meu afeto interior, o considerei como um dos melhores Professores dessa Instituição, não somente como um excelente profissional, mas também como amigo e parceiro de todos nós alunos dessa Instituição. Obrigada pelos dias alegres, pelas brincadeiras e descontrações em todo esse trajeto. Não há um dia se quer que eu me recorde de o ver demonstrar tristeza ou mágoa em sala de aula. Te admiro muito!

Ao Professor Ms. Fausto Oliveira Carvalho, pela sincera amizade e pelos grandes ensinamentos de vida (e não apenas acadêmicos). Me recordo aqui, com imensa saudades das suas aulas, Professor. Obrigada por me incentivar a concluir essa dissertação, até mesmo em encontros tidos por acaso em supermercados ou lojas da cidade, sempre de forma carismática, protetora e repleto por experiências de vida. Guardo com carinho suas considerações, Professor... Meu muito obrigada!

Ao Professor Victor Racy Abdalla, que se tornou para mim um bom amigo com afeto de família, ao longo dessa minha jornada. Afirmo ainda que a minha formação pessoal não teria sido tão positiva sem sua presença e sua amizade nesse período da minha graduação. Sou grata por todos os conselhos nos momentos difíceis, Profº Victor.

Ao Professor Dr. Carlos Cézar da Silva, que despertou em mim a busca pelo conhecimento em desenvolvimento científico e tecnológico nessa instituição. À ele, o meu mais sincero e afetivo agradecimento.

Agradeço também ao casal Mara Sandra Almeida e Farid Subhi Nascimento, juntamente com seus filhos e familiares, por me acolherem como família, durante anos, nesse período da minha formação acadêmica residida fora de casa. E em especial, ao meu amigo Ricardo Almeida Subhi pela parceria e vivência diária por muitos anos nesse período, se mantendo sempre ao meu lado, seja em dias alegres ou dias difíceis.

À minha amiga e companheira, Professora Msa. e Funcional Trainer, Alessandra Rodrigues de Souza, que incentivou à minha formação profissional desde que a conheci, me instruiu algumas vezes de forma profissional em algumas dúvidas e em correções na formatação desse trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ainda, e com muito carisma, aos meus amigos, por cada momento que passamos juntos. Agradeço a vocês todos os bons conselhos, os momentos de boas risadas, as comemorações, os fraternos abraços e até mesmo os choros compartilhados nos momentos difíceis. Saibam que cada um de vocês tem um lugar especial no meu coração. E em hipótese nenhuma me esquecerei dos nossos melhores momentos vividos juntos nesse período.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, muito obrigada!

*“O perdedor não é aquele que chega em último lugar,
mas sim aquele que desiste no meio do caminho...”*

A.D.

RESUMO

Este trabalho aborda um estudo sob revisão literária no tocante de viabilidade socioeconômica e ambiental da implantação da cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro do Brasil. Contudo, o mesmo aborda sobre a expansão atual da demanda energética no país, as crises do setor energético e os desafios em ampliar a oferta de energia, focalizando nas fontes alternativas de energia termelétrica pelo setor sucroalcooleiro do Brasil, no que salienta a viabilidade de implantação da cogeração de energia elétrica pelo mesmo, tendo como principal atrativo o alto excedente de matéria-prima dessa alternativa, nos pátios das indústrias sucroalcooleiras: o bagaço da cana-de-açúcar.

O bagaço da cana-de-açúcar que até pouco tempo atrás era um dos resíduos, do qual a usina tinha obrigação de descartar, hoje, é considerado como fonte importante para suprir a necessidade energética das próprias usinas por meio da cogeração, o que significa também uma fonte a mais na receita da indústria, quando o seu excedente da cogeração de energia elétrica é comercializado. Portanto, discutir-se-á a viabilidade e a importância da cogeração de energia elétrica por meio da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas usinas, para em momento posterior, concluir, a viabilidade socioeconômica da cogeração de energia elétrica nas indústrias sucroalcooleiras do Brasil.

Palavra-chave: Cogeração; Biomassa; Sucroalcooleira; Bioeletricidade; Renovável.

ABSTRACT

This work addresses a study under literary review regarding the socioeconomic and environmental viability of the implementation of electric power cogeneration in the sugar and alcohol sector in Brazil. However, it addresses the current expansion of energy demand in the country, the crises in the energy sector and the challenges in expanding the supply of energy, focusing on alternative sources of thermoelectric energy by the sugar and alcohol sector in Brazil, in which it highlights the feasibility of implantation of cogeneration of electric energy by the same, having as main attraction the high surplus of raw material of this alternative, in the patios of the sugar and alcohol industries: the sugar cane bagasse.

Sugarcane bagasse, which until recently was one of the residues that the mill had to dispose of, is today considered an important source to meet the energy needs of the mills themselves through cogeneration, which means also an additional source of revenue for the industry, when its excess electricity cogeneration is sold. Therefore, the viability and importance of cogeneration of electric energy through the burning of sugarcane bagasse in the plants will be discussed, in order to later conclude the socioeconomic viability of the cogeneration of electric energy in the sugar and alcohol industries from Brazil.

Keyword: Cogeneration; Biomass; sugar and alcohol plant; Bioelectricity; Renewable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz Energética Mundial 2020	20
Figura 2. Matriz Energética Brasileira 2021	21
Figura 3. Matriz Elétrica Brasileira 2021	21
Figura 4. Matriz Elétrica Mundial 2020.....	22
Figura 5. Principais Acontecimentos (1880-1930)	23
Figura 6. Bondes no Largo da Carioca.....	24
Figura 7. Inauguração da Subestação Frei Caneca.....	25
Figura 8. Elevação da Barragem do Ribeirão das Lajes.....	26
Figura 9. Usina Gasômetro em Porto Alegre	27
Figura 10. Canal da Usina Hidrelétrica Ilha dos Pombos	27
Figura 11. Principais Acontecimentos (1931-1945)	28
Figura 12. Principais Acontecimentos (1946-1962)	29
Figura 13. Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso I.....	30
Figura 14. Barragem e Vertedouro da Usina de Peixoto (MG).....	31
Figura 15. Principais Acontecimentos (1963-1979)	32
Figura 16. Vista Aérea da Usina Hidrelétrica Estreito.....	34
Figura 17. Mureta de Apoio do Enrocamento.....	35
Figura 18. Principais Acontecimentos (1980-1992)	36
Figura 19. Logo PROCEL 20 Anos	37
Figura 20. Principais Acontecimentos (1993-2002)	38
Figura 21. Vista Geral da Unidade I da Usina Eletronuclear de Angra dos Reis (RJ).....	41
Figura 22. Usina Hidrelétrica de Santo Antônio.....	42
Figura 23. Vista Aérea da Barragem da Usina Ilha Solteira	44
Figura 24. Instituições do Setor Elétrico Brasileiro e as Competências de Cada Uma.	47
Figura 25. Definição Simplificada da Função das Instituições do Setor Elétrico Brasileiro.	48
Figura 26. Cogeração – Panorama Mundial [GW e (Participação na Matriz de Referência)].	51
Figura 27. Topping Cycle.	52
Figura 28. Bottoming Cycle.....	53
Figura 29. Diagrama de um Ciclo Rankine.....	55
Figura 30. Diagrama de um Ciclo Brayton: (a) Ciclo aberto; (b) Ciclo fechado.	56
Figura 31. Diagrama de um Ciclo Combinado.	57
Figura 32. Principais Partes de uma Máquina Térmica à Combustão Interna.	59
Figura 33. Ilustração das Quatro Etapas (Ciclo Otto e Ciclo Diesel).....	60
Figura 34. Matriz Elétrica Brasileira x Matriz de Cogeração (em GW).	65
Figura 35. Esquema de Cogeração em Usina Sucroalcooleira.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Breve Cronologia do Setor Elétrico Brasileiro.....	23
Tabela 2. Relação entre Potência e Calor.....	61
Tabela 3. Tabala Comparativa das Principais Tecnologias de Cogeração.....	62
Tabela 4. Características de Operação e Custos Típicos das Principais Tecnologias de Cogeração.	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AL	- Alagoas
AM	- Amazonas
AMFORP	- American & Foreign Power Company
ANDE	- Administración Nacional de Electricidad
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	- Amapá
BA	- Bahia
BEN	- Balanço Energético Nacional
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAGR	- Taxa de Crescimento Anual Composto
CBEE	- Companhia Brasileira de Energia Elétrica
CBIE	- Centro Brasileiro de Infraestrutura
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCMA	- Comitê Consultivo de Meio Ambiente
CCTG	- Combined Cycle Gas Turbine
CDE	- Conta de Desenvolvimento Energético
CEA	- Companhia de Eletricidade do Amapá
CEAL	- Companhia de Eletricidade de Alagoas
CEEE	- Comissão Estadual de Energia Elétrica
CEERG	- Companhia de Energia Elétrica Rio - Grandense
CELESC	- Centrais Elétricas de Santa Catarina
CELG	- Centrais Elétricas de Goiás
CELPA	- Centrais Elétrica do Pará
CELUSA	- Centrais Elétricas de Urubupungá
Cemat	- Centrais Elétricas Matogrossenses
CEMIG	- Centrais Elétricas de Minas Gerais
CERJ	- Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro
CESP	- Centrais Elétricas de São Paulo
CFLCL	- Companhia Força e Luz Cataguazes - Leopoldina
CGT ELETROSUL	- Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil
CGTEE	- Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica
CHESF	- Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CMSE	- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNAAB	- Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
CNAEE	- Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE	- Conselho Nacional de Política Energética
CO ₂	- Dióxido de Carbono
COELBA	- Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
Coelce	- Companhia Energética do Ceará
COGEN	- Associação da Indústria de Cogeração de Energia
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia Elétrica

COSERN	- Companhia Energética do Rio Grande do Norte
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
CREG	- Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética
CTEEP	- Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista
CTG	- China Three Gorges
DAEE	- Departamento de Águas e Energia Elétrica
DGEG	- Direção Geral de Energia e Geologia
DNAE	- Departamento Nacional de Águas e Energia
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EBASCO	- Electric Bond & Share Corporation
ELETRORBRAS	- Centrais Elétricas Brasileiras
ELETRONORTE	- Centrais Elétricas do Norte do Brasil
ELETRONUCLEAR	- Eletrobras Termonuclear
ELETROPAULO	- Empresa Distribuidora de Energia em São Paulo
ELETROSUL	- Centrais Elétricas do Sul do Brasil
ENDESA	- Empresa Espanhola de distribuição de gás natural e geração/distribuição de energia elétrica
ENEL	- Entidade Nacional de Eletricidade
ENERGIPE	- Empresa Distribuidora de Energia em Sergipe
ENERSUL	- Empresa Energética do Mato Grosso do Sul
ENGIE	- Empresa Francesa de Produção, Venda e Distribuição de Gás Natural, Geração de Eletricidade, Distribuição de Petróleo e Energia Elétrica, Hidroeletricidade, Energia Nuclear, Energia Eólica, Comércio de Eletricidade, Gestão de Instalações e Serviços Corporativos.
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
ESBR	- Empreendimento da Energia Sustentável do Brasil
ESCELSA	- Espírito Santo Centrais Elétricas
EUA	- Estados Unidos da América
FFE	- Fundo Federal de Eletrificação
GCE	- Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica
GCOI	- Grupos Coordenadores para Operação Interligada
GCPS	- Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos
GERASUL	- Constituída com os ativos de geração da Eletrosul
GO	- Goiás
GW	- Gigawatts
I PDMA	- Primeiro Plano Diretor para Conservação e Recuperação do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico
IEA	- Agência Internacional de Energia
INB	- Indústrias Nucleares Brasileiras
IUEE	- Imposto Único sobre Energia Elétrica
KM	- Quilômetros
KV	- Quilovolts
LIGHT	- Empresa Privada de Geração, Distribuição, Comercialização e Soluções de Energia Elétrica

MAE	- Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MCI	- Motor de Combustão Interna
MG	- Minas Gerais
MINFRA	- Ministério da Infra-Estrutura
MME	- Ministério de Minas e Energia
MW	- Megawatts
NEOENERGIA	- Empresa Holding do Grupo Espanhol Iberdrola
NOx	- Óxidos de nitrogênio
NUCLEBRÁS	- Empresas Nucleares Brasileiras
NUCLEN	- Nuclebrás Engenharia
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
PA	- Pará
PCH	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE ou PDEE	- Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica
Pe	- Potência Elétrica
PIB	- Produto Interno Bruto
PIE	- Produto Independente de Energia
PME	- Programa de Mobilização Energética
PND	- Programa Nacional de Desestatização
PPT	- Programa Prioritário de Termelétricas
PR	- Paraná
PROÁLCOOL	- Programa Nacional do Alcool
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFA	- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
PSTE	- Plano de Transformação e Fortalecimento do Sistema Eletrobras
Pt	- Potência Térmica
QW	- Quilowatts
RAP	- Revista de Administração Pública
RE-SEB	- Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
RJ	- Rio de Janeiro
RO	- Rondônia
RR	- Roraima
RS	- Rio Grande do Sul
RSU	- Resíduos Sólidos Urbano
SC	- Santa Catarina
SE	- Sergipe
SEB	- Sistema Elétrico Brasileiro
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SP	- São Paulo
SPE	- Sociedade Propósito Específico
TW	- Terawatts
ÚNICA	- União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia
USELPA	- Usinas Elétricas do Paranapanema

USP	- Universidade de São Paulo
UTE	- Usina Termoelétrica
We	- Watt elétrico
Whe	- Watt-hora elétrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVO GERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3. METODOLOGIA	19
2. MATRIZ ELÉTRICA E MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA ATUAL.....	20
3. BREVE CRONOLOGIA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	22
4. INTRODUÇÃO SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB), AS PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DO SETOR E SUAS COMPETÊNCIAS	45
5. COGERAÇÃO DE ENERGIA	48
5.1. CONCEITO	48
5.2. BREVE HISTÓRICO DA COGERAÇÃO – MUNDO E BRASIL	49
5.3. SISTEMAS DE COGERAÇÃO	52
5.4. PRINCIPAIS CICLOS UTILIZADOS NAS CENTRAIS DE COGERAÇÃO.....	54
5.3.1. Ciclo Rankine ou Turbina à Vapor	54
5.3.2. Ciclo Brayton ou à Gás	55
5.3.3. Ciclo Combinado	57
5.3.4. Ciclo com Motor de Combustão Interna (Diesel ou Otto)	58
5.5. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SELEÇÃO DA TECNOLOGIA DE COGERAÇÃO	61
5.6. INTRODUÇÃO SOBRE A COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO BRASIL	64
6. BIOMASSA	66
6.1. CONCEITO DE BIOMASSA.....	66
6.2. TIPOS DE BIOMASSA.....	67
6.3. BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	67
7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	68
8. IMPACTOS SOCIAIS DA COGERAÇÃO	71
9. LEGISLAÇÃO ACERCA DA COGERAÇÃO NO BRASIL	72
10. CONCLUSÃO	76
11. PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro tem apresentado um crescimento considerável nos últimos anos, devido aos vários incentivos governamentais em função da produção de etanol, principalmente após os anos 70 com a primeira crise mundial do petróleo, ao qual fez com que o setor ampliasse sua produção em uma variedade de produtos. (MELO, 2010).

Até alguns anos atrás, a superprodução das empresas sucroalcooleiras, geravam uma grande quantidade de resíduos que eram descartados de forma inapropriada, causando impactos ambientais, porém, desde a década de 80 o mesmo vem adquirindo maior importância e alto valor econômico, sendo utilizado para diversas produções, como celulose e etanol, alimento de animais, fertilizante agrícola e insumo energético. (LOBO, 2013).

No tocante, a produção elétrica nas usinas de açúcar e álcool, em sistemas de cogeração que usam o bagaço de cana como combustível, pode ser tida como prática tradicional desse segmento industrial em todo o mundo. A única diferença que pode ser observada, dependendo das condições particulares de cada país, será quanto a eficiência de uso do bagaço. Em termos mundiais a experiência brasileira é importante em função do porte da atividade canavieira, mas não da eficiência com que a biomassa é empregada.

Felizmente, nos últimos anos, diante do avanço das tecnologias, diversos e ousados conceitos de sistemas elétricos foram surgindo, exigindo que os sistemas fossem otimizados de forma centralizada nas centrais hidrelétricas e termelétricas o que permitiu que a energia fosse distribuída amplamente e a baixo custo. (CARDOSO, 2011).

Se, enquanto uma usina termoeletrica convencional apresenta eficiência entre 30% e 40% sendo o restante perdido na forma de calor na exaustão, em uma unidade de cogeração a energia que seria perdida em forma de calor, seja na exaustão ou na condensação do vapor, é utilizada para prover calor a um processo ou aquecimento de ambientes podendo alcançar um aproveitamento de até 90% da energia contida no combustível.

No cenário atual, a cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar se destaca como uma alternativa bastante plausível, por conta dos impactos ambientais causados pelas hidrelétricas. A cogeração passou a ser uma forma segura, barata e sem complicações no que concerne a questão energética além dos inúmeros benefícios. (CARDOSO, 2011).

Segundo a CNN (2023), o setor brasileiro de cogeração de energia chegou a 20,5 gigawatts (GW) de capacidade instalada operacional no Brasil, conforme os dados apurados até final de março de 2023 pela Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen). O que

representa 654 usinas distribuídas pelo país e uma participação da fonte de biomassa em 10,7% da matriz elétrica brasileira.

Contudo, para compreender sobre a viabilidade socioeconômica da cogeração de energia por meio do bagaço da cana-de-açúcar será fundamental fazermos várias ponderações. De início, demonstrar-se-á que a matéria-prima em questão se trata de fonte renovável, com alta disponibilidade e tempo de retorno da produção em breve ciclo, junto às inúmeras outras vantagens. Quanto aos ciclos de cogeração, será explanado as principais tecnologias que visa atender a produção de energia mais adequada a cada planta industrial, calculada em função do potencial de demanda e as próprias necessidades do processo industrial interno da planta de cogeração. E também, apresentar-se-á sobre a equiparação dos custos comparados a qualificação da energia produzida; os incentivos e a legislação atual brasileira em relação ao setor e enfim, o grau de impacto social e ambiental que o envolve.

1.1. OBJETIVO GERAL

Demonstrar uma revisão bibliográfica sobre a viabilidade socioeconômica da implantação da cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro do Brasil, tal que o uso da biomassa para a cogeração de energia pelas usinas sucroalcooleiras do Brasil, diante não só da necessidade do setor de produzir sua própria energia, mas também pela questão sustentável do comércio excedente do setor que é totalmente condizente com o novo cenário sustentável das indústrias modernas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar a composição atual da matriz energética e matriz elétrica, do Brasil e do mundo, quanto às necessidades e buscas por energia sustentável;
- Apresentar uma breve cronologia com os principais acontecimentos referente ao desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, desde a primeira aplicação da eletricidade no país até os dias atuais;
- Demonstrar uma introdução sobre o Sistema Elétrico Brasileiro, as Instituições responsáveis no setor e suas competências;
- Apresentar o conceito de cogeração de energia, um breve histórico (mundo e Brasil), quais os principais sistemas de cogeração, os principais ciclos de cogeração junto aos princípios

básicos de seleção dos mesmos e, um breve histórico da cogeração no setor sucroalcooleiro no Brasil, abordando os fatores críticos de incentivo a criação dessa tecnologia;

- Apontar a cogeração como alternativa aplicável e benéfica no país, pelas vantagens ambientais, a produção sustentável, os aspectos técnicos e socioeconômicas quando comparado às formas convencionais de geração de energia.

1.3. METODOLOGIA

Foram realizadas consultas a bibliografias correlacionadas ao referente tema desse trabalho, visando obter mais conhecimento e familiaridade com o tema. As fontes de pesquisas foram diversas, variando entre livros, artigos, teses e dissertações além de diversos outros periódicos.

Para Gil (1996), esse tipo de trabalho bibliográfico deve ser sistematizado, criando um roteiro coerente na busca de atingir os objetivos e repassar ao leitor o maior número de informações já publicadas por diversos autores anteriormente, organizadas e elencadas de maneira a abordar o assunto e assim convalidar o conhecimento científico.

Podemos classificar as pesquisas no que concerne a profundidade do estudo do tema como sendo de três tipos: exploratória; descritiva e explicativa. Escolheu-se para esta pesquisa, como já relatado anteriormente, a pesquisa bibliográfica mais relacionada com a pesquisa explicativa. Para Koche (1997), existem diferentes finalidades da pesquisa bibliográfica quais sejam:

- a) para ampliar o grau de conhecimentos em uma determinada área, capacitando o investigador a compreender ou delimitar melhor um problema de pesquisa;
- b) para dominar o conhecimento disponível e utilizá-lo como base ou fundamentação na construção de um modelo teórico explicativo de um problema, isto é, como instrumento auxiliar para a construção e fundamentação de hipóteses; e
- c) para descrever ou sistematizar o estado da arte, daquele momento, pertinente a um determinado tema ou problema.

Ou seja, trata-se de uma pesquisa bibliográfica que fora realizada no nível de pesquisa exploratória com intuito de melhor esclarecer o assunto, apresentar informações precisas e diversas sem a intenção de esgotar de forma alguma o tema em questão.

Para Gil (2002), podem ser definidas várias etapas para tal pesquisa, entretanto, não há um padrão para este tipo de pesquisa, e a tentativa de estabelecer um padrão seria errônea. Uma amostra disso é que: “[...] os modelos apresentados pelos diversos autores diferem significativamente entre si”.

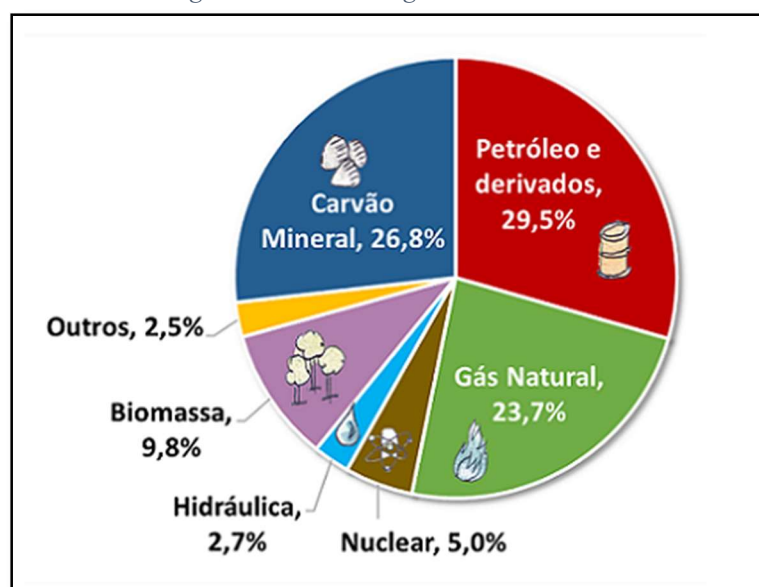
2. MATRIZ ELÉTRICA E MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA ATUAL

No geral, quando inicia-se o assunto sobre Matriz Elétrica, logo se induz ou assimila à Matriz Energética e até mesmo confundem os aspectos e conceito de ambas. (EPE, 2022). Contudo, vejamos a seguir a diferença entre elas.

Segundo o CBIE (Centro Brasileiro de Infraestrutura) (2022), a Matriz Energética representa todo o conjunto de fontes de energia disponíveis, incluindo meio de transportes e geração de eletricidade. Já a Matriz Elétrica é tida como o conjunto de fontes disponíveis única e exclusivamente para a geração de energia elétrica. Ao qual essa, por sua vez, faz parte da matriz energética.

De acordo com a EPE (Empresa de Pesquisas Energéticas) (2022), a Matriz Energética Brasileira atual, difere muito da mundial, uma vez que a Mundial compõe-se, principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural. Enquanto que as Fontes Renováveis como solar, eólica e geotérmica juntas correspondem a apenas 2,5% da matriz energética mundial, assinaladas como “Outros” no gráfico que segue abaixo e que somado à participação da energia hidráulica e de biomassa, totalizam 15% em renováveis:

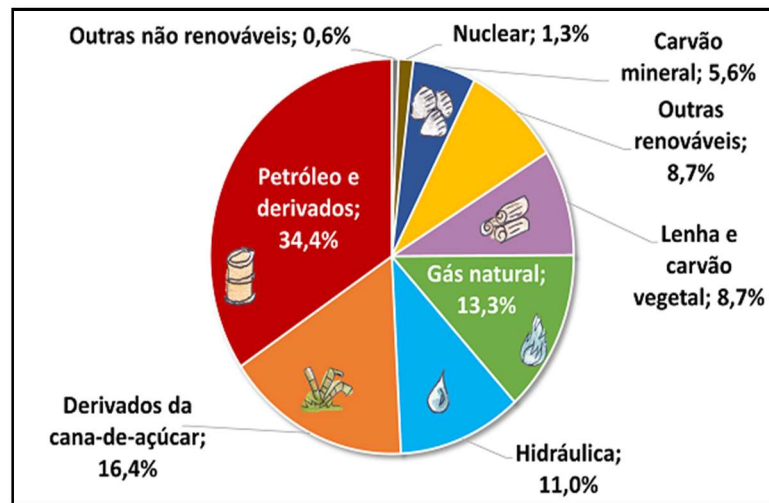
Figura 1. Matriz Energética Mundial 2020



Fonte: EPE (2022).

Enquanto que no Brasil, somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis totalizam média de 44,8% e que representa quase metade da nossa matriz energética e mais de três vezes superior à mundial (EPE, 2022):

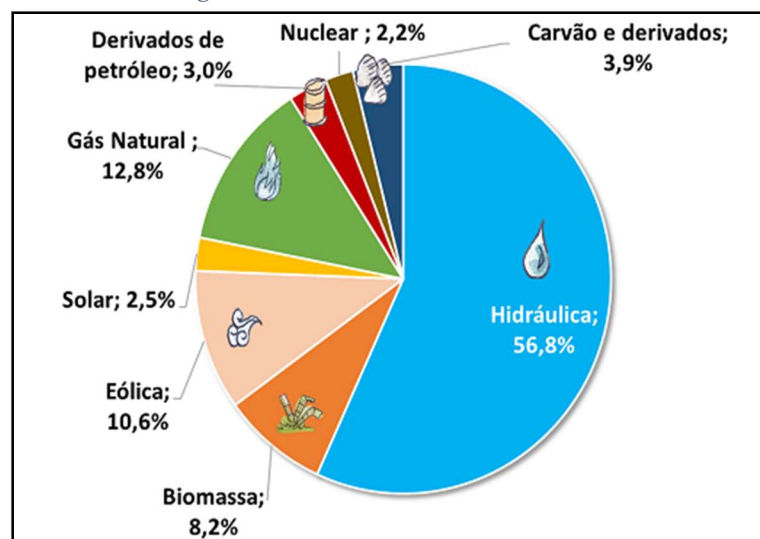
Figura 2. Matriz Energética Brasileira 2021



Fonte: EPE (2022).

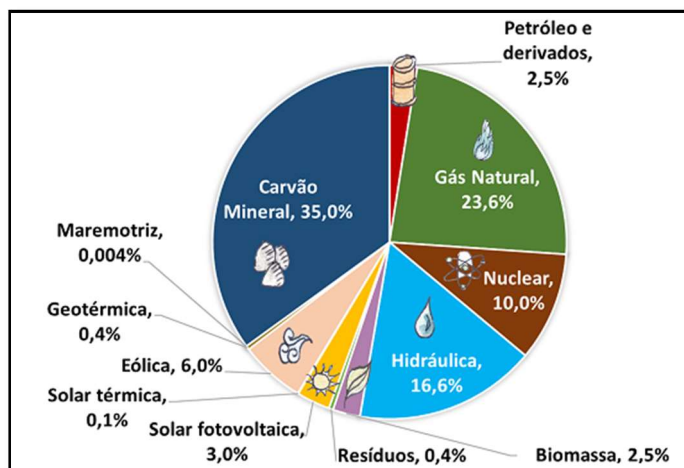
Ainda conforme o CBIE (2022), a Matriz Elétrica no Brasil, é tida ainda mais renovável, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas (56,8%) conforme segue no gráfico da Figura 3 abaixo. Além disso, temos ainda a energia de biomassa (8,2%) e a eólica (10,6%) que também vem crescendo bastante no país, o que contribui ainda mais para que a matriz elétrica brasileira continue sendo majoritariamente renovável, enquanto que a geração de energia elétrica (matriz elétrica) no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas, como visto no gráfico da Figura 4:

Figura 3. Matriz Elétrica Brasileira 2021



Fonte: EPE (2022).

Figura 4. Matriz Elétrica Mundial 2020



Fonte: EPE (2022).

Em análise aos dados expressos acima, é notório que o Brasil é um país líder no Diálogo de Alto Nível em Energia e é visto como líder no tema da transição energética, conforme ressaltou José Mauro Coelho (Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do MME) no Webinar de lançamento da 12ª edição da publicação “Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2020, pela EPE:

“Nosso país é dotado de uma riqueza de recursos energéticos que supera muitas vezes a demanda de energia total estimada pelos próximos anos. Passaremos de uma posição de importador líquido de energia para outra realidade, a de ofertante líquido. Assim, percebemos que o nosso papel agora é de administrar a abundância de recursos energéticos”.

Ainda, segundo o então diretor do Departamento de Informações e Estudos Energéticos do Ministério de Minas e Energia (MME), André Osório:

“Para qualquer cenário de planejamento energético realizado pelo MME, em que pese a antecipação da neutralidade climática, verifica-se que a participação das renováveis na matriz elétrica deve continuar acima de 80% até 2030, chegando a 85% em 2050. Tais resultados serão alcançados em boa medida com o aproveitamento pelo país de seus potenciais eólico, solar e de biomassa”.

3. BREVE CRONOLOGIA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

De acordo com Brandi (2022), a primeira aplicação prática da eletricidade foi em meados de 1852 com a inauguração da linha telegráfica entre o Palácio Imperial da Quinta da Boa Vista e o Quartel Central no Campo da Aclamação (atual Campo de Santana) no Rio de Janeiro, então capital do Império. E, em 1857, ocorreu a primeira experiência pública de

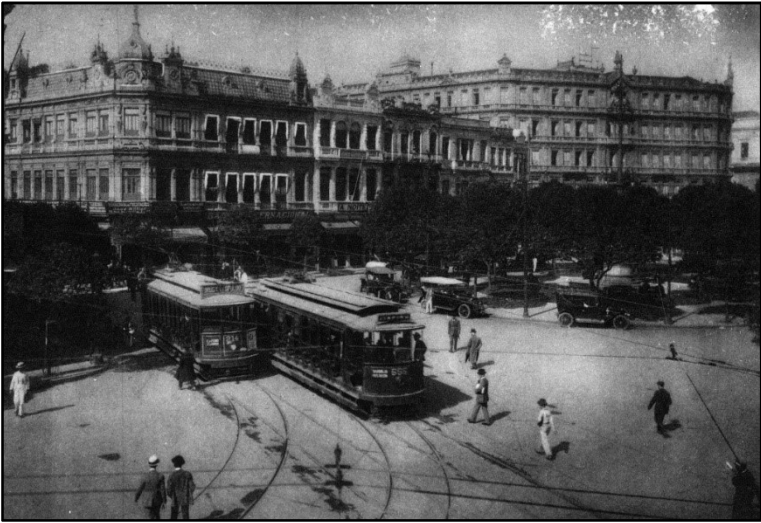
iluminação elétrica, no prédio da Academia Real Militar, no Rio de Janeiro, na ocasião de um baile em homenagem a D. Pedro II. Contudo, outras experiências com iluminação elétrica foram realizadas nos anos seguintes, mas nenhuma delas obtiveram continuidade.

Após uma visita à Exposição de Filadélfia em 1876, D. Pedro II voltou para o Brasil empolgado com a energia elétrica, fato esse que o impulsionou a conceder a Thomas Alva Edison em 1879, o privilégio de introduzir no país aparelhos e processos de sua invenção (HECK e LIMA, 2022). E, no mesmo ano, ocorrera o registro da inauguração da primeira instalação de iluminação elétrica permanente no país, compreendida por seis lâmpadas de arco voltaico, ao qual substituíram bicos de iluminação a gás na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II (depois Central do Brasil) no Rio de Janeiro - RJ. (SILVA, 2006).

Na Tabela abaixo, demonstrar-se-á uma breve cronologia do setor elétrico brasileiro, juntamente com as principais etapas de formação do setor elétrico brasileiro dentre 1880 a 2002:

Tabela 1. Breve Cronologia do Setor Elétrico Brasileiro.

• <u>Experiências Pioneiras: A formação da indústria de Energia Elétrica no Brasil.</u>	
1879	Inauguração da primeira instalação de iluminação elétrica permanente no país, compreendendo seis lâmpadas de arco voltaico que substituíram bicos de iluminação a gás na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II (depois Central do Brasil) na cidade do Rio de Janeiro.
• <u>1880/1930 - Monopólio privado — primórdios do uso da energia elétrica no Brasil, com a implantação dos primeiros empreendimentos nacionais e estrangeiros, dominados a partir da década de 1920 pelas empresas de capital estrangeiro. Corresponde ao período da República Velha.</u>	
<i>Figura 5. Principais Acontecimentos (1880-1930)</i>	
Fonte: Gomes e Vieira (2009).	

1883	D. Pedro II inaugura em Campos (RJ) o primeiro serviço público de iluminação elétrica no Brasil e na América do Sul, composto por uma unidade térmica a vapor de 52 quilowatts (kW), caldeira e três dínamos com capacidade para iluminar 39 lâmpadas. Em Diamantina (MG), entra em operação no Ribeirão do Inferno a primeira usina hidrelétrica do país, instalada por uma empresa mineradora com finalidade de movimentar duas bombas de desmorte hidráulico de terreno diamantífero.
1887	Porto Alegre passa a contar com serviço público de iluminação elétrica, o primeiro de uma capital brasileira, com energia da usina térmica da Companhia Fiat Lux.
1889	A usina de Marmelos Zero, construída no rio Paraibuna em Juiz de Fora (MG) pelo industrial mineiro Bernardo de Mascarenhas, entra em operação, tornando-se a primeira hidrelétrica da América Latina a fornecer energia para serviços de iluminação pública e particular.
1892	Inauguração na cidade do Rio de Janeiro da primeira linha de bondes elétricos instalada em caráter permanente no país. <i>Figura 6. Bondes no Largo da Carioca</i>  Fonte: Brandi (2022).
1893	Inauguração da usina de Monjolinho em São Carlos (SP), segunda hidrelétrica para uso público construída no país e a primeira no estado de São Paulo.
1897	Inauguração da cidade de Belo Horizonte com iluminação elétrica e energia proveniente da usina de Freitas, construída no Ribeirão Arrudas com a assistência técnica de Bernardo Mascarenhas.

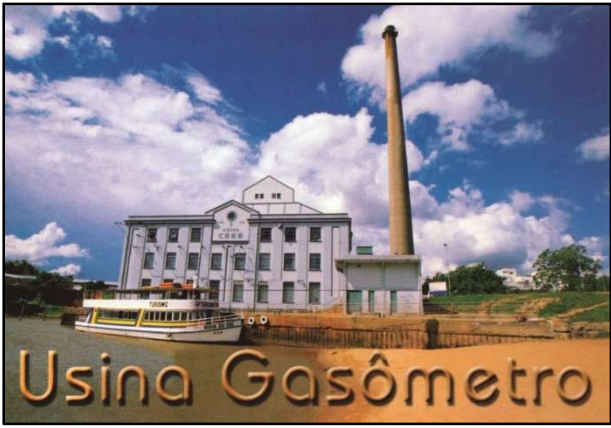
	Expansão dos serviços de eletricidade nas primeiras décadas do século XX.
1899	The São Paulo Tramway, Light and Power, primeira grande empresa de energia elétrica do país, é constituída em Toronto (Canadá) por capitalistas e técnicos canadenses e norte-americanos, assumindo rapidamente o monopólio dos serviços de bondes elétricos e de fornecimento de energia na capital paulista.
1901	Inauguração da usina de Parnaíba (SP), no rio Tietê, primeiro empreendimento hidrelétrico da São Paulo Light.
1904	Criação da empresa The Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company Limited em Toronto (Canadá) pelo mesmo grupo de investidores canadenses e norte-americanos da São Paulo Light. <i>Figura 7. Inauguração da Subestação Frei Caneca</i>  Fonte: Brandi (2022).
1905	Fundação da Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina (CFLCL) para exploração de energia elétrica em Minas Gerais.
1907	Usina de Fontes (RJ), no Ribeirão das Lajes, começa a gerar energia para os serviços de iluminação e bondes elétricos da Light na cidade do Rio de Janeiro.

Figura 8. Elevação da Barragem do Ribeirão das Lajes



Fonte: Brandi (2022).

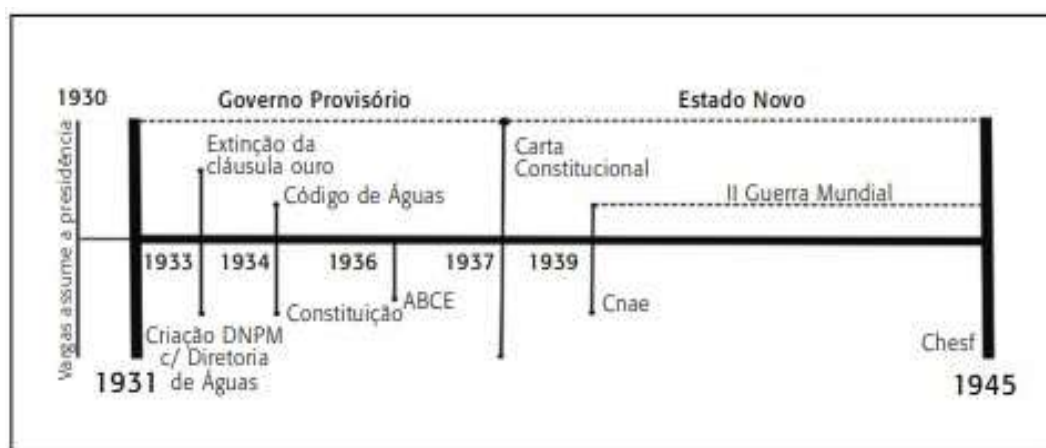
	<i>Figura 8. Elevação da Barragem do Ribeirão das Lajes</i>  Fonte: Brandi (2022).
1908	Usina de Piabanha (RJ), situada no rio de mesmo nome, é inaugurada pela empresa Guinle & Cia, iniciando o fornecimento de energia elétrica a Niterói, Petrópolis e São Gonçalo, no estado do Rio de Janeiro.
1909	A Companhia Brasileira de Energia Elétrica (CBEE) é constituída, assumindo o lugar da Guinle & Cia como concessionária de serviços de energia elétrica em municípios dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia.
1910	Criação da Manaus Tramways & Light Company, de capital inglês, que passou a explorar os serviços de eletricidade e bondes na cidade de Manaus (AM).
1912	Fundação da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) mediante a incorporação de diversas concessionárias atuantes no interior de São Paulo. Criação, em Toronto (Canadá), da Brazilian Traction, Light and Power Company, holding das empresas do grupo Light no Brasil.
1913	Entrada em operação da usina de Angiquinho (AL), uma das primeiras hidrelétricas da região Nordeste, instalada junto à cachoeira de Paulo Afonso no rio São Francisco pelo industrial cearense Delmiro Gouveia.
1914	Inauguração da usina de Itupararanga (SP), construída no rio Sorocaba pela São Paulo Electric Company, do grupo Light, com o objetivo de reforçar o suprimento de energia à capital paulista.

1920	A cidade de Salvador passa a contar com a energia da hidrelétrica de Bananeiras, construída no rio Paraguaçu, no Recôncavo Baiano, pela Companhia Brasileira de Energia Elétrica (CBEE).
1923	Companhia de Energia Elétrica Rio-Grandense (CEERG) inicia a construção da central térmica do Gasômetro em Porto Alegre. <i>Figura 9. Usina Gasômetro em Porto Alegre</i>  Fonte: Brandi (2022).
1924	Rio Light inaugura a hidrelétrica de Ilha dos Pombos (RJ), no rio Paraíba do Sul, duplicando a capacidade geradora da empresa no Rio de Janeiro. <i>Figura 10. Canal da Usina Hidrelétrica Ilha dos Pombos</i>  Fonte: Brandi (2022).

1926	São Paulo Light coloca em operação a hidrelétrica Cubatão (SP) com tubulação forçada em queda de mais de 700 metros para aproveitamento das águas da bacia do rio Tietê e do grande desnível oferecido pela vertente oceânica da Serra do Mar.
1927	A American & Foreign Power Company (Amforp), empresa do grupo norte-americano Electric Bond & Share Corporation (Ebasco), inicia as atividades no Brasil e adquire o controle de dezenas de empresas nacionais atuantes em cidades do interior de São Paulo e de capitais como Belo Horizonte, Porto Alegre, Curitiba, Niterói, Belo Horizonte, Vitória, Salvador, Maceió, Recife e Salvador.

- **1931/1945 Presença do Estado — o Estado elabora as primeiras regulamentações no setor, com destaque para a implantação do Código de Águas, em 1934. A aceleração do desenvolvimento econômico brasileiro corresponde a um aumento da demanda de energia que não tem contrapartida em investimentos. Corresponde ao governo de Getúlio Vargas.**

Figura 11. Principais Acontecimentos (1931-1945)



Fonte: Gomes e Vieira (2009).

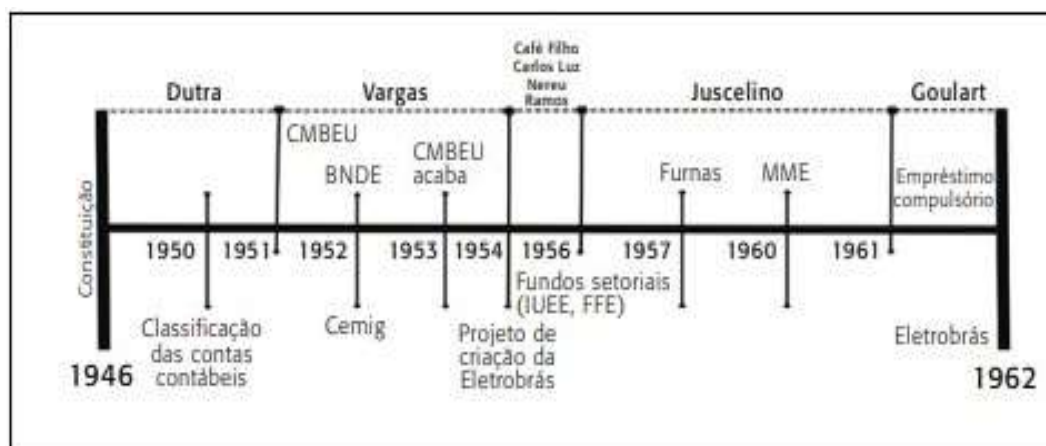
MUDANÇAS INSTITUCIONAIS NO PRIMEIRO GOVERNO GETÚLIO VARGAS:

1934	Promulgação do Código de Águas, atribuindo à União a competência exclusiva de legislar e outorgar concessões de serviços públicos de eletricidade e instituindo a fiscalização técnica, financeira e contábil de todas as empresas do setor.
1939	Criação do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), subordinado à Presidência da República, como órgão de consulta, orientação e controle da utilização dos recursos hidráulicos e de energia elétrica, com jurisdição em todo o território nacional.

1940	Inauguração da usina Fontes Nova (RJ), no complexo de Ribeirão das Lajes, marco da ampliação da oferta de energia elétrica promovida no período pelo grupo Light.
1943	Governo do Rio Grande do Sul cria a Comissão Estadual de Energia Elétrica (CEEE) com a finalidade de planejar e executar pioneiro plano de aproveitamento do potencial hidráulico do estado, em conexão com as suas reservas carboníferas.
1945	Criação da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) é aprovada no final do primeiro governo Vargas, tendo em vista o aproveitamento em grande escala do potencial energético da cachoeira de Paulo Afonso no rio São Francisco.

- **1946/1962 Estado indutor — com a queda de Vargas, é estabelecida uma maior participação do Estado no setor elétrico, com aumento dos investimentos públicos, especialmente nas concessionárias estaduais. Criação da Eletrobrás em 1962.**

Figura 12. Principais Acontecimentos (1946-1962)



Fonte: Gomes e Vieira (2009).

PRESENÇA DO PODER PÚBLICO GANHA PESO NO SETOR ELÉTRICO:

1948	A Chesf é constituída como empresa federal, dando partida às obras da usina de Paulo Afonso (BA).
------	---

Figura 13. Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso I



Fonte: Brandi (2022).

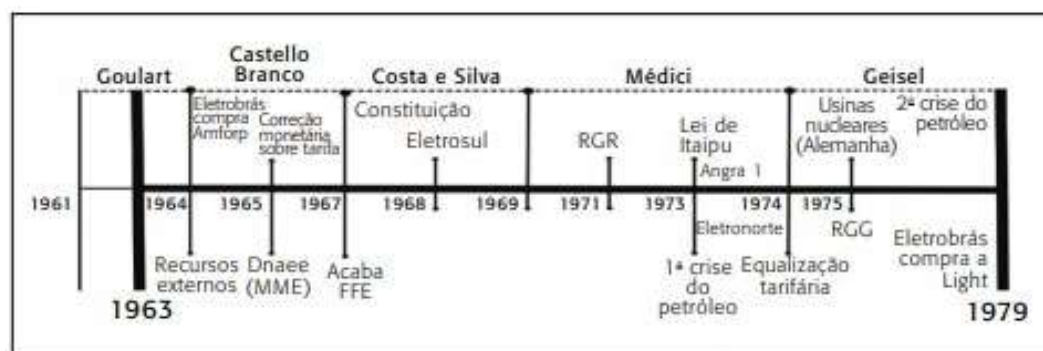
	<i>Figura 13. Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso I</i>  Fonte: Brandi (2022).
1951	Governo de São Paulo cria o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para promover estudos sobre o regime dos rios e realizar um levantamento das condições topográficas e geológicas das bacias fluviais do estado.
1952	Constituição da Centrais Elétricas de Minas Gerais (Cemig) por iniciativa do governador Juscelino Kubitschek.
1953	Criação da Usinas Elétricas do Paranapanema (Uselpa), primeira empresa de energia elétrica do governo paulista. Rio Light coloca em operação da usina subterrânea de Nilo Peçanha (RJ).
1954	Presidente Getúlio Vargas encaminha ao Congresso o projeto de criação da Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras). Instituição do Fundo Federal de Eletrificação (FFE) e do Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE) assegura recursos de cunho fiscal para investimentos no setor elétrico. Governo do Paraná cria a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel). São Paulo Light inaugura a termelétrica Piratininga (SP).
1955	Inauguração da usina Paulo Afonso marca o início da trajetória da Chesf como grande empresa supridora de energia elétrica da região Nordeste.

	Criação das empresas Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) e Centrais Elétricas de Goiás (Celg).
1956	Criação da Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA), mais antiga concessionária estadual da região Norte.
1957	Central Elétrica de Furnas é constituída por iniciativa do presidente Juscelino Kubitschek, tendo em vista a construção da primeira usina do país com capacidade superior a mil megawatts (MW) no trecho das corredeiras de Furnas (MG), perto da divisa com São Paulo. CPFL inaugura a usina de Peixoto (MG), primeira hidrelétrica de grande porte do rio Grande, situada a jusante do futuro aproveitamento de Furnas. <i>Figura 14. Barragem e Vertedouro da Usina de Peixoto (MG)</i>  Fonte: Brandi (2022).
1960	Criação do Ministério das Minas e Energia (MME) pela Lei nº 3.782. Instalado no ano seguinte, o novo ministério foi encarregado do estudo e despacho de todos os assuntos relativos à produção mineral e à energia.

	No decorrer de 1960, foram formadas mais três concessionárias estaduais: a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), a Empresa Distribuidora de Energia em Sergipe (Energipe) e a Companhia de Eletricidade de Alagoas (Ceal).
1961	Presidente Jânio Quadros assina a Lei nº 3.890-A que autorizou a criação da Eletrobras. Governo de São Paulo cria a Centrais Elétricas de Urubupungá (Celusa), encarregada de explorar o potencial hidráulico do salto do Urubupungá, no rio Paraná, no trecho em que o rio divide São Paulo de Mato Grosso do Sul.
1962	A Eletrobras é instalada em sessão solene no Palácio Laranjeiras, no Rio de Janeiro, que contou com a presença do presidente João Goulart, iniciando suas atividades como holding das empresas federais de energia elétrica e agência de planejamento setorial. Entrada em operação da usina de Três Marias (MG), construída no rio São Francisco pela Cemig. Constituição do Consórcio Canambra formado por consultores canadenses e norte-americanos para realização de estudo pioneiro do potencial hidrelétrico e do mercado de energia da Região Sudeste.

- **1963/1979 Modelo estatal — a Eletrobrás é a empresa indutora do processo de nacionalização e estatização do setor elétrico, efetuando grandes investimentos. É consolidado um novo modelo institucional que atingiu seu ápice em 1979.**

Figura 15. Principais Acontecimentos (1963-1979)

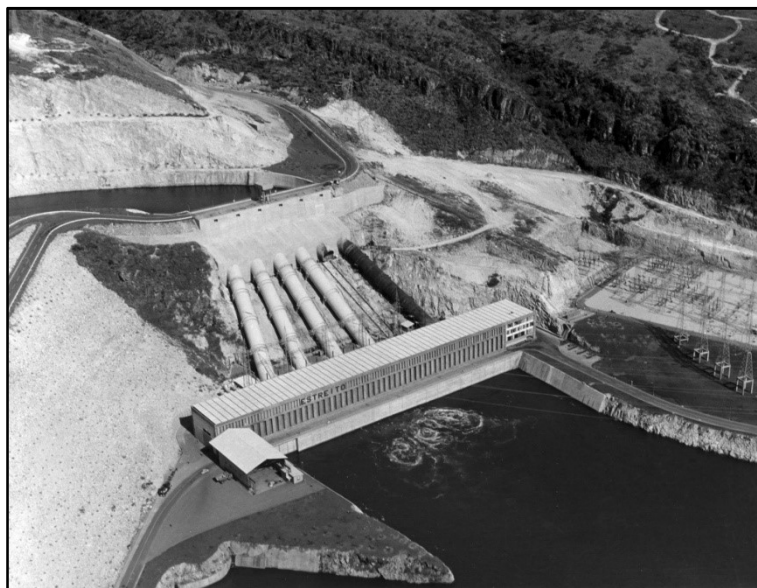


Fonte: Gomes e Vieira (2009).

DESENVOLVIMENTO SOB A ÉGIDE DO ESTADO:

1963	Entrada em operação da usina de Furnas (MG) no rio Grande, juntamente com as primeiras linhas de seu sistema de transmissão em 345 quilovolts (kV). Constituição da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) como empresa de economia mista pelo governo do Rio Grande do Sul.
1964	A CPFL e as demais concessionárias do grupo Amforp atuantes no Brasil são adquiridas pela Eletrobras, passando a integrar o quadro de subsidiárias da empresa holding federal. Lei nº 4.454, sancionada pelo presidente Humberto Castelo Branco, adota a frequência padrão de 60 Hertz para distribuição de energia elétrica no país, postulando a progressiva unificação da frequência de todas as instalações elétricas nacionais.
1965	Lei nº 4.904 reorganiza o Ministério das Minas e Energia, criando o Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), posteriormente denominado Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), como órgão responsável pela regulação e fiscalização dos serviços de eletricidade no país.
1966	Criação da Centrais Elétricas de São Paulo (Cesp) mediante a fusão de empresas de energia elétrica do governo paulista e a incorporação de pequenas concessionárias privadas.
1968	A Centrais Elétricas do Sul do Brasil (Eletrosul) é constituída como subsidiária de âmbito regional da Eletrobras e área de atuação no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, posteriormente ampliada com a inclusão do estado do Mato Grosso do Sul.
1969	Cesp coloca em operação a usina de Jupia, situada no rio Paraná na divisa dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, e as primeiras linhas de seu sistema de transmissão em 440 kV. Furnas inaugura a usina de Estreito, no rio Grande em trecho da divisa de Minas e São Paulo, e a hidrelétrica de Funil (RJ), no rio Paraíba do Sul, única com barragem de porte em arco de dupla curvatura no país.

Figura 16. Vista Aérea da Usina Hidrelétrica Estreito



Fonte: Brandi (2022).

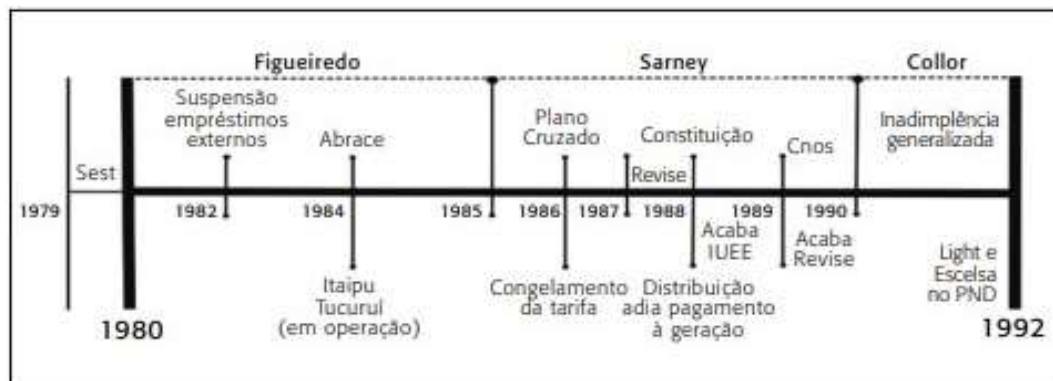
1972	Furnas inicia a construção da primeira central nuclear brasileira, localizada em Angra dos Reis (RJ).
1973	Brasil e Paraguai assinam o Tratado de Itaipu que definiu as condições para o aproveitamento do grande potencial hidrelétrico do rio Paraná no trecho entre os saltos de Sete Quedas e a confluência com o rio Iguaçu, pertencente em condomínio aos dois países. Presidente Emílio Médici sanciona a Lei nº 5.899 que estabeleceu a venda compulsória de energia de Itaipu no mercado brasileiro e instituiu os Grupos Coordenadores para Operação Interligada (GCOI) para coordenação operacional dos sistemas elétricos interligados, sob a direção da Eletrobras Constituição da Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte), encarregada da construção e operação de usinas e linhas de transmissão na Amazônia, completa quadro das subsidiárias de âmbito regional da Eletrobras.
1974	Constituição da Itaipu Binacional, empresa responsável pela construção e operação da usina de Itaipu, com capital dividido igualmente entre a Eletrobras e a estatal paraguaia Administración Nacional de Electricidad (ANDE). Governo Ernesto Geisel cria a Empresas Nucleares Brasileiras (Nuclebrás) com o objetivo de executar amplo programa de atividades na área nuclear, em cooperação com o governo da República Federal da Alemanha.

1975	Brasil assina acordo de cooperação com a Alemanha para implantação de uma indústria nuclear integrada no país, compreendendo a pesquisa de minerais físseis, o desenvolvimento do ciclo do combustível, a construção de usinas nucleares e a montagem de um parque industrial destinado à fabricação de tais equipamentos. Furnas inicia operação da hidrelétrica de Marimbondo, no rio Grande, e o sistema de transmissão associado à usina, composto pelas primeiras linhas e subestações em 500 kV da empresa. Eletrosul aciona as primeiras unidades geradoras da usina de Salto Osório (PR) no rio Iguaçu.
1976	Eletronorte inaugura a primeira hidrelétrica da Amazônia, a usina de Coaracy Nunes (AP), situada no rio Araguari. <i>Figura 17. Mureta de Apoio do Enrocamento</i>  Fonte: Brandi (2022).
1978	Chesf conclui a construção da barragem de Sobradinho (BA), fundamental para a regularização do rio São Francisco e a operação do complexo hidrelétrico de Paulo Afonso.
1979	Governo João Figueiredo cria o Programa de Mobilização Energética (PME) em resposta ao segundo choque do petróleo, prevendo a dinamização do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), a execução de programa de expansão termelétrica a carvão e o desenvolvimento de fontes alternativas de energia.

	Eletrobras adquire a Light Serviços de Eletricidade em transação efetuada com o grupo Brascan Limited, sucessor da Brazilian Traction, Light and Power Company. Dois anos depois, Eletropaulo, empresa criada pelo governo de São Paulo, incorporou o subsistema paulista da Light e denominação Light Serviços de Eletricidade tornou-se privativa da área Rio de Janeiro. Cemig conclui a construção da usina de São Simão, no rio Paranaíba, maior empreendimento hidrelétrico da concessionária mineira.
--	--

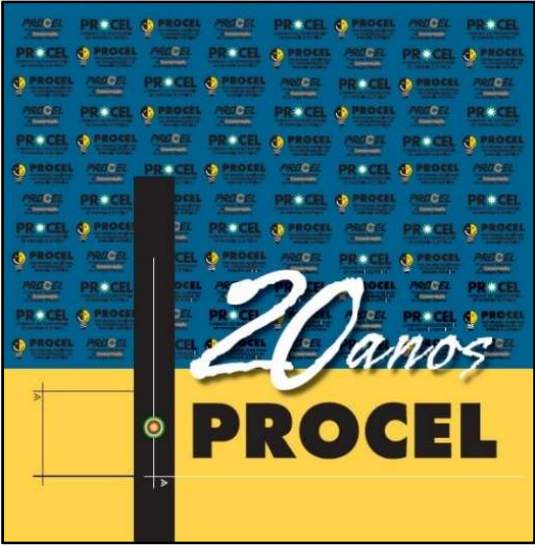
- **1980/1992 Crise institucional — com a crise econômica se agravando, o crescimento do setor elétrico é afetado. Em 1992, a inadimplência é generalizada e o modelo estatal é questionado.**

Figura 18. Principais Acontecimentos (1980-1992)



Fonte: Gomes e Vieira (2009).

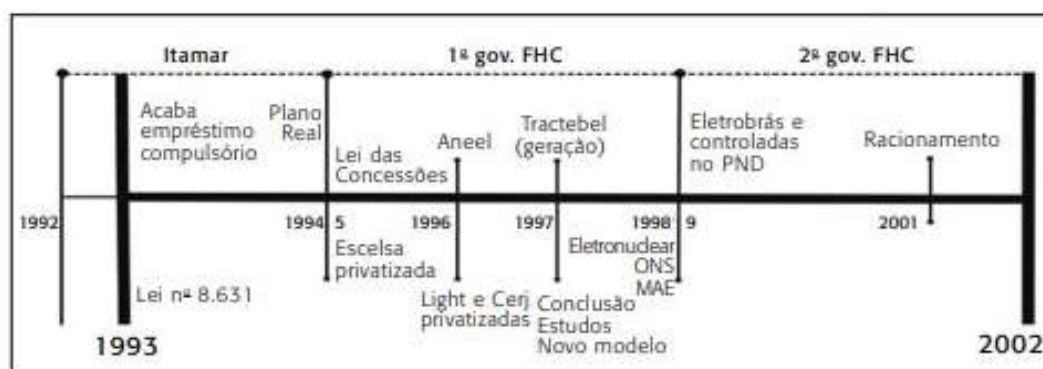
1980	Entrada em operação da usina de Itumbiara, construída por Furnas no rio Paranaíba, na divisa dos estados de Minas Gerais e Goiás.
1981	Entrada em operação da interligação Norte-Nordeste, composta por 1.700 km de linhas de transmissão e subestações da Chesf e Eletronorte, implantadas desde a usina de Sobradinho (BA) até a subestação de Vila de Conde (PA).
1982	Ministério das Minas e Energia oficializa o Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS) como organismo responsável pelo planejamento da expansão dos sistemas elétricos do país.
1984	Entrada em operação da usina de Tucuruí (PA), primeira hidrelétrica de grande porte da Amazônia, construída no rio Tocantins pela Eletronorte. Inauguração da usina de Itaipu, no rio Paraná, na época o maior empreendimento hidrelétrico do mundo com potência final estipulada em 12.600 MW.

1985	Instituição do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) por iniciativa conjunta dos ministérios das Minas e Energia e da Indústria e do Comércio com o objetivo de promover a conservação e o uso eficiente e racional da energia elétrica. Entrada em operação comercial de Angra 1 (RJ), primeira usina nuclear do país com capacidade de 640 megawatts (MW). <i>Figura 19. Logo PROCEL 20 Anos</i>  Fonte: Brandi (2022).
1986	Eletrobras publica o Plano Diretor para Conservação e Recuperação do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico (I PDMA) e cria o Comitê Consultivo de Meio Ambiente (CCMA). Integrado por cientistas e personalidades sem vínculo com as empresas de energia elétrica.
1988	Constituição de 1988 extingue o Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE), estabelece o fim do empréstimo compulsório para a Eletrobras e postula a obrigatoriedade das licitações para a concessão dos serviços de utilidade pública. Reorganização da Nuclebrás sob a denominação Indústrias Nucleares Brasileiras (INB).
<u>REFORMAS INSTITUCIONAIS E PRIVATIZAÇÕES:</u>	
1990	Presidente Fernando Collor de Melo cria o Programa Nacional de Desestatização (PND), sob a gestão do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

	Extinção do Ministério das Minas e Energia, substituído pelo Ministério da Infra-Estrutura (Minfra).
1992	Presidente Itamar Franco extingue o Minfra e recria o MME, alterando sua denominação para Ministério de Minas e Energia.

- **1993/2002 - Modelo híbrido — promulgada a Lei no 8.631/93, que equaciona os débitos. Começam as mudanças institucionais no setor elétrico brasileiro. Ao final de 2002, a geração e a transmissão de energia eram, majoritariamente, de empresas estatais e a distribuição era principalmente privada.**

Figura 20. Principais Acontecimentos (1993-2002)



Fonte: Gomes e Vieira (2009).

1993	Lei n.º 8.631 suprime o regime de remuneração garantida e a equalização tarifária, permitindo ainda uma conciliação de débitos e créditos intra-setoriais e do setor com a União, com o objetivo de estancar a inadimplência das empresas de energia elétrica.
1994	Entrada em operação da usina de Xingó (SE/AL), último grande empreendimento hidrelétrico da Chesf no rio São Francisco.
1995	Presidente Fernando Henrique Cardoso sanciona a Lei n.º 8.987, que estabeleceu o regime de concorrência na prestação dos serviços públicos, condicionando a outorga de concessões a licitações e a Lei n.º 9.074, que definiu as regras específicas para a concessão de serviços de eletricidade, introduzindo a figura do Produtor Independente de Energia (PIE) e o princípio do livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição, além de liberar os grandes consumidores do monopólio comercial das concessionárias. Privatização da Espírito Santo Centrais Elétricas (Escelsa) inaugura o processo de desestatização das concessionárias de energia elétrica do país.

1996	Privatização da Light Serviços de Eletricidade e da Companhia de Eletricidade do Estado do Rio de Janeiro (Cerj). Instituição da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) como órgão regulador e fiscalizador das atividades de energia elétrica no país, na condição de autarquia sob regime especial vinculada ao MME. Início dos estudos do Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB), coordenado pela Secretaria Nacional de Energia do MME com o apoio de consultores do consórcio liderado pela empresa inglesa Coopers & Lybrand.
1997	Criação da Eletrobras Termonuclear (Eletronuclear) como resultado da cisão do segmento nuclear de Furnas e sua fusão com a Nuclebrás Engenharia (Nuclen). Instituição do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), órgão composto por sete ministros sob a presidência do titular da pasta do MME, encarregado de assessorar o presidente da República na formulação das diretrizes gerais de política energética do país. Cemig coloca em operação a usina de Miranda (MG), no rio Araguari, a primeira do país a ser projetada com sistema de telecomando. Privatização de nove concessionárias estaduais: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), Centrais Elétricas de Cachoeira Dourada, geradora oriunda da cisão da Centrais Elétricas de Goiás (Celg), Companhia Centro-Oeste de Distribuição e Companhia Norte-Nordeste de Distribuição, resultantes da cisão da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), Empresa Energética do Mato Grosso do Sul (Enersul), Centrais Elétricas Matogrossenses (Cemat), Empresa Energética de Sergipe (Energipe) e Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Coserl).
1998	Lei nº 9.648 institui o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), destinado à livre negociação de energia, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), como organismo sucessor do GCOI nas atividades de coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão dos sistemas elétricos interligados. Entrada em operação da hidrelétrica Serra da Mesa (GO), no rio Tocantins, com o maior reservatório do país em volume de água. Privatização da Eletropaulo Metropolitana, Bandeirante de Energia (ambas criadas a partir da reestruturação da Eletropaulo), Elektro (resultante da cisão da Cesp), Companhia Energética do Ceará (Coelce), Centrais Elétricas do Pará (Celpa) e Gerasul (constituída com os ativos de geração da Eletrosul), primeira geradora de grande porte leiloadas no país.

Figura 21. Vista Geral da Unidade I da Usina Eletronuclear de Angra dos Reis (RJ)



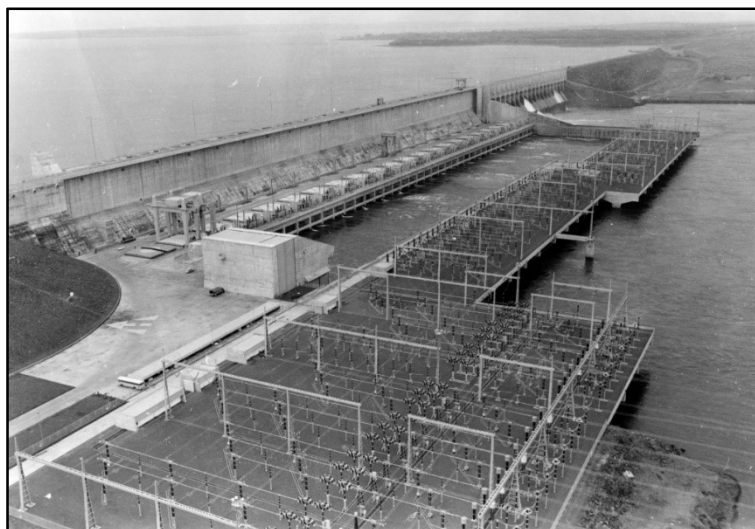
Fonte: Brandi (2022).

2002	Lei nº 10.438 cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), com o objetivo de incrementar participação de usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e térmicas a biomassa na matriz energética, e institui a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para promover o Proinfa e a universalização do acesso a energia elétrica em todo o país.
2003	Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) define as diretrizes e os principais objetivos da nova reforma do modelo institucional setorial: garantir a segurança no suprimento energético, promover a modicidade tarifária e assegurar a universalização do acesso à energia elétrica. Instituição do Programa Luz para Todos, destinado ao atendimento de 2,1 milhões de famílias residentes no meio rural que não contavam com iluminação elétrica.
2004	Presidente Luiz Inácio Lula da Silva assina as leis do Novo Modelo Institucional do setor elétrico: a Lei nº 10.847 que criou a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) encarregada de desenvolver os estudos de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro, e a Lei nº 10.848 que instituiu a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), em substituição ao MAE, um ambiente de contratação de energia para os consumidores cativos e outro para os consumidores livres.
2005	O primeiro Leilão de Energia de Novos Empreendimentos realizado sob o Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico, ocorrido no dia 16 de dezembro de 2005, no Rio de Janeiro, promoveu a negociação de 49 empreendimentos, configurando um volume total de 3.286 MW médios contratados. Das 49 usinas negociadas, 20 delas são novas - ou seja, não estão construídas -, sendo 11 hidrelétricas e 09 termelétricas.

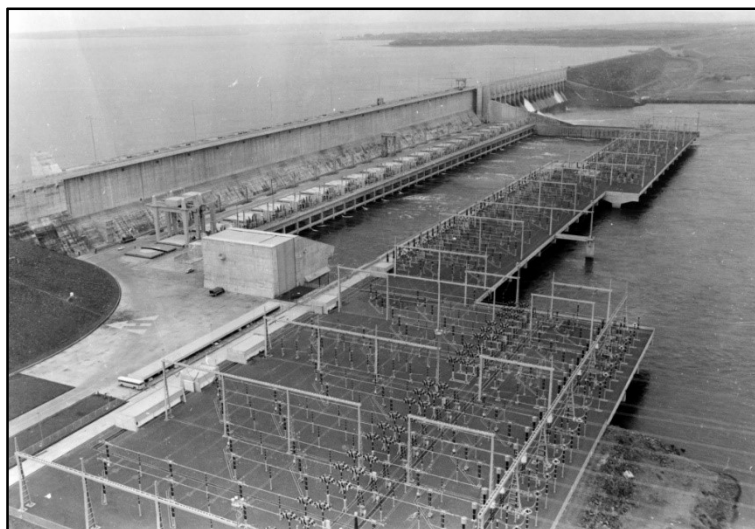
2006	Eletronorte conclui a construção da segunda casa de força de Tucuruí que atinge a capacidade de 8.370 MW. Instalação de duas unidades adicionais em Itaipu eleva a potência da usina binacional para 14 mil MW. Privatização da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP), herdeira dos ativos de transmissão da Cesp e da Eletropaulo. Lançamento do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica - PDEE 2006-2015, propondo diretrizes, metas e recomendações para a expansão dos sistemas de geração e transmissão do país até 2015, primeiro documento do gênero elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).
2007	Leilão da usina de Santo Antônio, no rio Madeira em Rondônia, com potência instalada de 3.568 MW, marca a retomada dos projetos hidrelétricos na Amazônia. <i>Figura 22. Usina Hidrelétrica de Santo Antônio</i>  Fonte: Brandi (2022).
2008	Lançamento do Plano de Transformação e Fortalecimento do Sistema Eletrobras (PSTE) marca o início de um processo de reorganização e reposicionamento estratégico da Eletrobras. Leilão da usina de Jirau, com capacidade de 3.750 MW, integrante do complexo do rio Madeira, em Rondônia, junto com a hidrelétrica de Santo Antônio.
2009	Em 14 de dezembro de 2009, o Brasil realizou o seu primeiro leilão para contratação exclusiva de fonte eólica. O Leilão de Energia de Reserva (LER nº. 03/2009) contratou 71 empreendimentos com uma capacidade somada de 1.805,7 megawatts (MW).

	A italiana Enel consolida a posição de acionista controlador da espanhola Endesa e o controle da Endesa Brasil, uma das cinco maiores empresas privadas do setor elétrico brasileiro, atuante nos estados do Rio Janeiro, Ceará, Goiás e Rio Grande do Sul.
2010	Leilão da usina de Belo Monte, no rio Xingu, estado do Pará, uma das maiores hidrelétricas do mundo, com capacidade instalada de 11.233 MW. Assinatura do contrato de concessão de exploração e construção da usina de Belo Monte com a companhia Norte Energia, formada por Eletronorte, Chesf, Eletrobras, Cemig, Light e Neoenergia, e empresas de outros segmentos de atuação, além de fundos de previdência complementar.
2012	Presidente Dilma Rousseff assina a Medida Provisória nº 579 (posteriormente convertida na Lei nº 12.783) sobre a renovação das concessões de hidrelétricas e linhas de transmissão que expiravam entre 2015 e 2017. Santo Antônio Energia, concessionária composta por Furnas, Cemig e empresas privadas, coloca em operação as primeiras unidades geradoras da usina de Santo Antônio (RO) no rio Madeira.
2013	Manaus e outros municípios do estado do Amazonas são conectados ao Sistema Interligado Nacional por uma linha de transmissão construída a partir da usina de Tucuruí pela empresa Manaus Transmissora da Energia, constituída com a participação da Eletronorte na modalidade de Sociedade de Propósito Específico (SPE). Entrada em operação da usina de Jirau (RO) no rio Madeira, empreendimento da Energia Sustentável do Brasil (ESBR), composta pela francesa Engie, as estatais Eletrosul e Chesf e a japonesa Mizha Participações.
2015	Regime de bandeiras tarifárias entra em vigor nas contas de energia, repassando de imediato aos consumidores cativos os custos extras de geração de energia no Sistema Interligado Nacional. Sancionada a Lei nº 13.203 sobre repactuação do risco hidrológico das geradoras. A empresa estatal China Three Gorges (CTG), proprietária da hidrelétrica de Três Gargantas, a maior do mundo, arremata a concessão das usinas de Jupia e Ilha Solteira.

Figura 23. Vista Aérea da Barragem da Usina Ilha Solteira



Fonte: Brandi (2022).

	<i>Figura 23. Vista Aérea da Barragem da Usina Ilha Solteira</i>  Fonte: Brandi (2022).
2016	Belo Monte inicia a operação comercial de sua primeira turbina. A empresa italiana Enel adquire a distribuidora Celg no primeiro leilão de privatização do setor elétrico realizado no governo Michel Temer.
2017	A estatal chinesa State Grid adquire o controle acionário da CPFL Energia, uma das maiores empresas geração, distribuição e comercialização de energia do país. Ministério de Minas e Energia abre a Consulta Pública nº 33, propondo a reformulação do modelo regulatório e comercial do setor com a redução dos limites para o acesso ao mercado livre e o fim do regime de cotas das hidrelétricas amortizadas, entre outros pontos.
2018	Presidente Temer encaminha ao Congresso Nacional o Projeto de Lei 5.877/2019 que "Dispõe sobre a desestatização da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras e altera a Lei nº 5.899, de 5 de julho de 1973, o Decreto-Lei nº 1.383, de 26 de dezembro de 1974, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000". Eletrobrás encerra suas atividades no segmento de distribuição, após concluir a venda das concessionárias dos estados do Piauí, Rondônia, Acre, Amazonas, Alagoas e da capital de Roraima. A italiana Enel incorpora a Eletropaulo, assumindo a posição de maior grupo privado do setor elétrico nacional.
2019	Norte Energia coloca em operação a 18ª unidade geradora da casa de força principal de Belo Monte que se consolida como a maior hidrelétrica 100% brasileira. Presidente Jair Bolsonaro assina o projeto de lei nº 5.877 sobre a privatização da Eletrobras.

2020	Eletrobras constitui a empresa CGT Eletrosul mediante a união entre a Eletrosul e a Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE), proprietária de usinas a carvão no Rio Grande do Sul.
2021	Governo federal institui a Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética (Creg), com plenos poderes para estabelecer condições emergenciais de operação dos reservatórios das hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional e propor diretrizes de gerenciamento da grave crise hídrica nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país. Presidente Bolsonaro sanciona a Lei 14.182, prevendo privatização por capitalização da Eletrobras, além da contratação de energia térmica e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

Fonte1: Adaptado pela autora, Brandi (2022).
 Fonte2: Adaptado pela autora, Gomes e Vieira (2009).

4. INTRODUÇÃO SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB), AS PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DO SETOR E SUAS COMPETÊNCIAS

A energia elétrica é considerada como o serviço mais universalizado dentre os segmentos da infraestrutura. E, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica — ANEEL (2019), “a energia elétrica é um insumo essencial à sociedade e indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações”.

No Brasil, existe um grande desafio ao Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) para garantir o fornecimento de energia elétrica, principalmente, em relação às dificuldades físicas e econômicas para extensão da rede elétrica. Afinal, cada uma das cinco regiões geográficas em que se divide o país possui características bastante peculiares e diferenciadas umas das outras e, por causa dessas características é que se determinaram os contornos físicos que os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica adquiriram ao longo do tempo e que ainda se determinam a maior ou menor facilidade de acesso da população à rede elétrica no país. (ENERGÊS, 2020)

O Sistema Elétrico Brasileiro é composto por cada etapa da cadeia elétrica, e é formado por três estruturas: a geração de energia elétrica que é proveniente de diversas fontes; a transmissão da energia elétrica desde as geradoras até as subestações e a distribuição de energia elétrica, que faz a entrega do produto ao consumidor final. E ainda há as comercializadoras, que são empresas autorizadas a comprar e vender energia para os consumidores livres (estes, geralmente consumidores de uma maior quantidade de energia). (ANEEL, 2022)

Atualmente, o SEB permite o intercâmbio de quase toda energia produzida no país por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN), que se constitui por uma grande rede de transmissão com mais de 179 mil quilômetros (km) de extensão. Mas ainda há cerca de 1% do mercado nacional em sistemas isolados, localizados principalmente na região Norte do país, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. A ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e algumas localidades de Mato Grosso completam a lista. Entre as capitais, Boa Vista (RR) é a única que ainda é atendida por um sistema isolado. A demanda por energia dessas regiões é suprida, principalmente, por térmicas a óleo diesel. (ONS, 2023)

O Brasil é um país de grande extensão, sendo assim o Sistema Elétrico Brasileiro é bem complexo. Sendo assim, para manter todo o setor organizado existem algumas instituições que são responsáveis por gerir e regulamentá-lo. São elas (ENERGES, 2020):

CNPE (Conselho Nacional de Política Energética): Formula políticas e diretrizes para o setor energético e identifica as soluções mais adequadas para o suprimento de energia elétrica. É um órgão presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia e diretamente vinculado à Presidência da República. O CNPE é também responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país (uso de gás natural, do álcool, outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear). Além disto, o CNPE estabelece as diretrizes para a importação e a exportação de petróleo e gás natural.

CMSE (Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico): Acompanha e avalia permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional, além de sugerir das ações necessárias, foi instituído o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também ligado ao MME.

MME (Ministério de Minas e Energia): Atua na formulação e implementação de políticas públicas para o setor energético, de acordo com as diretrizes do CNPE e, também é responsável por estabelecer o planejamento no setor energético nacional e garantir a segurança do suprimento do setor para todos em casos de desequilíbrio entre oferta e demanda.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética): Realiza estudos e pesquisas para definição da Matriz Energética e subsidia o planejamento da expansão do setor elétrico (geração e transmissão). É também interligada ao MME. Além disso, a EPE também realiza análises de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de usinas e é responsável pela obtenção da licença ambiental prévia para aproveitamentos hidrelétricos e de transmissão de energia.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico): Instituição responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil. O ONS prevê possíveis problemas na redução de falta de energia, e garante também o atendimento dos serviços de carga, otimização de custos e a garantia da confiabilidade do sistema. Além disso, é de responsabilidade desta instituição a definição das condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão do país.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica): Regula e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica buscando o equilíbrio de mercado. É responsável pelas regras do fornecimento de energia e também implementa as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da

energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos. Outra função é o de zelar pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira dos agentes e da indústria. E, além disso, (direta ou indiretamente) é responsável pela promoção de licitações na modalidade de leilão para a contratação de energia elétrica pelos agentes de distribuição do SIN.

CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica): Viabiliza a comercialização de energia. E dentre suas atividades, está a administração de contratos, realização da liquidação do mercado de curto prazo. Além disso, a CCEE é responsável pela execução de leilões de compra e venda de energia. Ela também determina a falta ou sobra (débitos e créditos) dos agentes de mercado e realiza a liquidação financeira. Lembrando que todas as operações são regidas por regras e procedimentos.

Em síntese, na figura abaixo, demonstra as instituições do setor elétrico brasileiro e suas competências:

Figura 24. Instituições do Setor Elétrico Brasileiro e as Competências de Cada Uma.



Fonte: MME (2021).

E para uma melhor compreensão, a Figura 25 apresenta de forma simplificada a função e ligação entre as instituições do setor elétrico brasileiro:

Figura 25. Definição Simplificada da Função das Instituições do Setor Elétrico Brasileiro.



Fonte: ENERGES (2020).

5. COGERAÇÃO DE ENERGIA

5.1. CONCEITO

Não existe uma definição técnica oficial para a palavra cogeração. (PROCKNOR, 2008). Contudo, pesquisadores, instituições coordenadoras e representativas do setor buscam conceituar da forma singela e compreensiva o processo que constitui a cogeração.

Em consulta a um dos maiores e mais populares sites de buscas e pesquisas da internet, observa-se que o conceito de cogeração é um processo de produção simultânea combinada de calor e eletricidade, com aproveitamento maior que 60% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados no processo. (Wikipédia, 2023).

Para a pesquisadora Coelho (1999), em sua tese de doutorado em Energia pela USP, propõe a definição de cogeração como sendo “a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de uma mesma fonte primária de energia” e complementa ainda que “a energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho (p. ex. acionamento de moedas, numa usina de açúcar e álcool) ou transformada em energia elétrica através de gerador de eletricidade; e a energia térmica utilizada como fonte de calor para um processo (numa indústria, hospital, “shopping center”, etc.)”.

Para COGEN (2023), a cogeração é definida como “a produção simultânea e de forma sequenciada, de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa, entre outros”.

De acordo com Santos (2013), o conceito de cogeração é definido como um processo de produção e utilização combinada de eletricidade e calor, proporcionando o aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.031, DE 26 DE JULHO DE 2022, conceitua a cogeração como:

Art. 14. Para os fins e efeitos deste Título são adotadas as terminologias e conceitos a seguir definidos:

I - Cogeração: processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária, observando que:

- a) a instalação específica denomina-se central termelétrica cogeneradora, cujo ambiente não se confunde com o processo ao qual está conectada, sendo que, excepcionalmente e a pedido do interessado, a cogeração poderá alcançar a fonte e as utilidades no processo, além das utilidades produzidas pela central termelétrica cogeneradora a que está conectado, condicionando aquelas à exequibilidade de sua completa identificação, medição e fiscalização, a critério exclusivo da ANEEL; e
- b) a obtenção da utilidade eletromecânica ocorre entre a fonte e a transformação para obtenção da utilidade calor;

Caracteriza-se, portanto, a cogeração como um processo de geração simultânea de energia elétrica (e/ou mecânica) e calor, partindo da queima de um mesmo combustível e de um mesmo conjunto de equipamentos, podendo variar a ordem de geração de calor e potência, em função do processo que se deseja priorizar.

5.2. BREVE HISTÓRICO DA COGERAÇÃO – MUNDO E BRASIL

Data-se que a história da cogeração teve início na Europa durante o século XIX e, está diretamente relacionada à invenção e utilização de geradores de eletricidade criados por Michael Faraday em meados de 1831. Eram a principal forma de reaproveitamento do calor gerado a partir da queima do carvão e petróleo, tratava-se basicamente em investir nos sistemas de calefação e aquecimento de água das cidades e vilas operárias postas no entorno das indústrias, ainda que isto significasse em perda de calor quando no deslocamento através da tubulação. (BRASIL, 2014).

Para Balestiere (2002), os primeiros sistemas de cogeração de que se tem notícia somente sugeriram por volta de 1870, por meio de uma máquina a vapor com eixo alternativo

acopladas em geradores elétricos. Tais sistemas eram utilizados em áreas urbanas bastante movimentadas e tendo como principal finalidade aquecer os ambientes em lugares com temperatura baixa.

Já para Lamarão (2012):

A central de Pearl Street Station, projetada por Thomas Edison, que entrou em funcionamento em 1882, na cidade de Nova Iorque, foi a primeira central elétrica do mundo, contava com geradores movidos a vapor, e fornecia energia em corrente contínua para a iluminação de casas e escritórios nas proximidades.

Segundo Santos e Novo (2008), já no século XX, durante as décadas de 20 e 30 houve um grande desenvolvimento na Europa, nos sistemas de cogeração voltado para calefação de ambientes. Justamente nos países com temperaturas muito baixas no inverno.

Já nos EUA, a cogeração no início era voltada para outra área, e como não havia ainda sido implantado um sistema de distribuição elétrica pelos grandes distribuidores, os médios e pequenos consumidores de energia elétrica começaram a gerar sua própria energia valendo-se das centrais de cogeração, tornando assim, na década de 40, a responsável por 50% da energia produzida no país. Contudo, estes sistemas baseavam-se em máquinas a vapor acopladas a geradores elétricos e eram instalados em áreas com elevada densidade populacional. O vapor era utilizado para o aquecimento de ambientes e a energia elétrica para o consumo elétrico nas habitações. Porém, a partir da década de 40, com o desenvolvimento das grandes centrais de energia elétrica, os sistemas de cogeração foram perdendo sua importância.

Novas tecnologias foram trazendo novos conceitos de geração e interligação de sistemas elétricos e as grandes centrais passaram a fornecer a um maior número de pessoas, uma energia abundante e de baixo custo. (COGENSP, 2007).

Durante várias décadas, o baixo custo e a elevada disponibilidade de combustíveis fósseis causou uma lenta evolução da Cogeração. Quando começaram a ser construídas as grandes centrais termoeletricas, os custos da eletricidade baixaram e algumas das indústrias começaram a comprar essa eletricidade, deixando de a produzir. O resultado foi uma diminuição drástica do recurso à Cogeração na indústria norte-americana. (SANTOS, T. A. R., 2010).

Esse quadro perdurou até quando eclodiu o 1º choque do petróleo na década 70, enquanto a economia já havia se tornado totalmente dependente do petróleo. Assim, com a primeira crise do petróleo, ao se descobrir que o petróleo não é uma fonte renovável e sim, esgotável, ocasionou em uma alta brusca no preço do produto chegando a triplicar, causando assim, grandes reflexos na economia global.

Iniciou-se portanto, um novo rumo da história energética mundial e, ao contrário do que comumente se observava, já não tem apenas raízes econômicas, e sim, raízes ambientais. E a retomada no interesse pela cogeração foi observada pela desregulamentação do setor elétrico em vários países pelo mundo, além da crescente demanda mundial por um uso mais eficiente da energia e redução dos níveis de emissões totais.

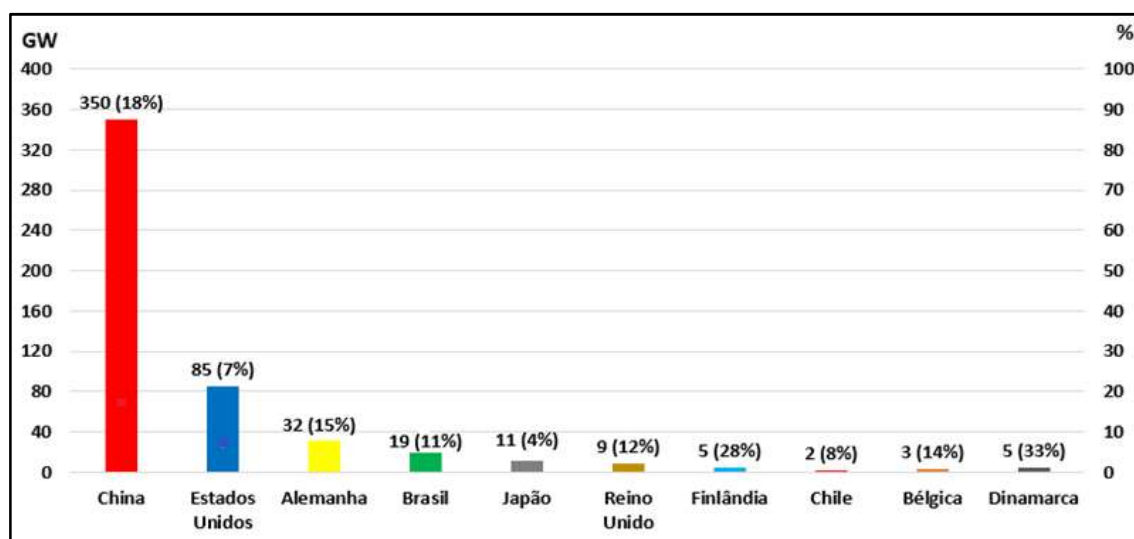
Hoje, a cogeração representa em média mais de 600 GW instalados ao redor do mundo, o que representa cerca de 7% da matriz elétrica global instalada (8,5 TW). Estimativas da Agência Internacional de Energia – IEA, apontam que a taxa de crescimento da cogeração deverá ser de 4% CAGR – taxa de crescimento anual composto – durante a próxima década (COGEN, 2023).

Dentre os países cogeradores, destaca-se a China, com a maior capacidade instalada, bem como os Estados Unidos, a Alemanha e o Brasil, com as melhores taxas de crescimento anual, além dos países nórdicos, como a Dinamarca e a Finlândia, que possuem as maiores participações da cogeração em suas respectivas matrizes elétricas (COGEN, 2023).

Nos EUA e em alguns países da Europa, como na Alemanha, a implantação de sistemas de cogeração tem crescido continuamente. Países como a Dinamarca, Finlândia, Rússia, Letônia e Holanda são considerados modelos quanto ao uso desse sistema, representando em até 30% da energia total produzida por meio da cogeração.

Na Figura 26 a seguir, está demonstrando o panorama completo da Cogeração Mundial juntamente à Representatividade (em %) da cogeração nas referidas matrizes elétricas:

Figura 26. Cogeração – Panorama Mundial [GW e (Participação na Matriz de Referência)].



Fonte: Adaptado pela autora, COGEN (2023).

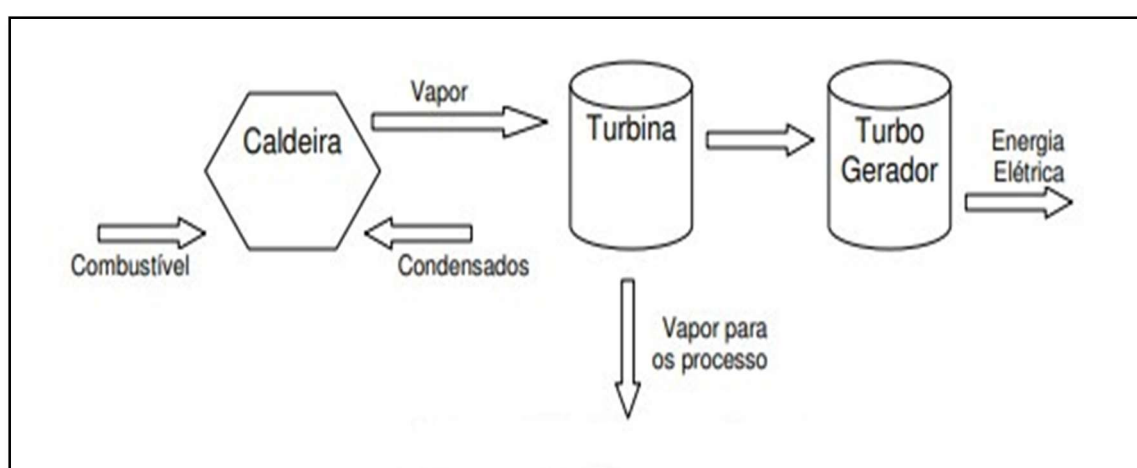
5.3. SISTEMAS DE COGERAÇÃO

Num projeto de cogeração, podem ser utilizados diferentes tipos de combustíveis, existindo a possibilidade de uma instalação poder utilizar mais do que um tipo também. Os combustíveis fósseis de origem sólida, líquida e gasosa são os mais utilizados nesse tipo de tecnologia, contudo, os combustíveis provenientes da biomassa tem sido o de maior utilização nos últimos anos. (COGEN PORTUGAL, 2015).

Os sistemas de cogeração são convencionados em dois aspetos de acordo com a ordem relativa de geração de calor e potência, ou seja, em função da sequência de utilização da energia no processo. São eles: "topping cycle" e "bottoming cycle" (BALESTIERI, 2002)

Nos sistemas tipo "topping cycle", também designada como “energia eletromecânica topping”, o combustível (gases de combustão a uma temperatura mais elevada) é utilizado primeiramente na produção de energia elétrica ou mecânica em turbinas ou motores a gás, e o calor rejeitado, fornecido geralmente na forma de vapor (podendo também fornecer água quente ou fria e ar quente ou frio) é recuperado para o sistema térmico (SILVA et al, 2005). É tecnicamente possível em *ciclos topping* a utilização de turbinas a vapor, turbinas a gás, motores de combustão interna (normalmente motores Diesel) ou combinação de turbina a gás com turbina a vapor, também conhecido como ciclo combinado (SILVEIRA, 2009). Um esquema do sistema de cogeração do tipo “topping cycle” está mostrado na Figura 27:

Figura 27. Topping Cycle.

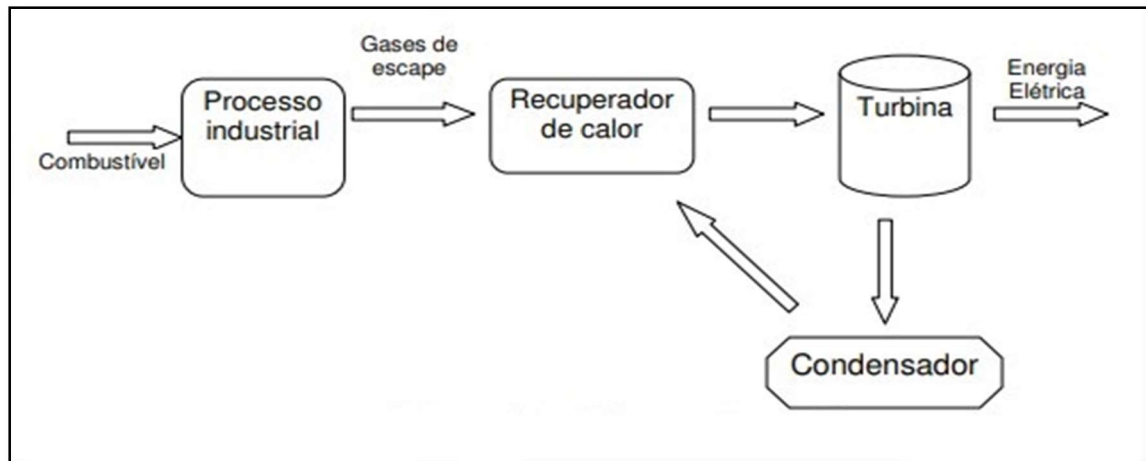


Fonte: adaptado pela autora, Santos e Novo (2008).

Já nos sistemas tipo "bottoming cycle", também designada como “energia térmica bottoming”, o calor da queima do combustível (energia térmica) é utilizado para um processo

qualquer na indústria, e o calor residual rejeitado (energia contida nos gases de exaustão) é recuperado diretamente e utilizado para a produção de energia elétrica ou mecânica, em turbinas a vapor de condensação ou contrapressão. (SILVA et al, 2005). Um esquema do sistema de cogeração do tipo “bottoming cycle” está mostrado na Figura 28 abaixo:

Figura 28. Bottoming Cycle.



Fonte: adaptado pela autora, Santos e Novo (2008).

A escolha de implantação do sistema de cogeração é tido em função do perfil sob as necessidades elétricas e térmicas de cada aplicação.

Nesse caso, os sistemas *"topping cycle"* são de uso mais frequente e estão mais difundidos, podendo empregar tanto turbina, como motores a gás (ou a diesel). E nesse ciclo, o calor dos gases de descarga de uma turbina é conveniente ser empregado:

- Na geração de vapor, normalmente em pressões até 40bar, com amplo uso para instalações industriais e comerciais;
- Na geração de água quente, muito utilizada nos países nórdicos para aquecimento distrital;
- No uso direto em processos industriais como secagem, fornos etc;
- No uso em sistemas de refrigeração por absorção empregando vapor.

Por sua vez, as instalações tipo *"bottoming cycle"* são uma modalidade mais restrita, menos comum, devido ao fato de o calor residual rejeitado pelos processos industriais se encontrar em níveis de temperaturas insuficientes ou de difícil recuperação para produção eletromecânica, o que limita utiliza-lo na maioria dos segmentos industriais. Portanto, o sistema *bottoming* é usualmente empregado em indústrias ao qual rejeitam do processo, uma quantidade excessiva de calor residual em elevadas temperaturas, como por exemplo, nos casos de

siderúrgicas, fornos cerâmicos, cimenteiras, plantas metalúrgicas e refinarias de petróleo (CLEMENTINO, 2001).

5.4. PRINCIPAIS CICLOS UTILIZADOS NAS CENTRAIS DE COGERAÇÃO

Uma planta de cogeração consiste no conjunto interligado entre várias peças e equipamentos para produzir eletricidade e calor (vapor, água quente e frio). A quantidade e o tipo de equipamento a ser utilizado em uma planta de cogeração depende do tamanho do sistema e a prioridade de geração e utilização entre eletricidade e calor de processo. O equipamento mais importante em um sistema de cogeração é o acionador principal. Ele é tipicamente uma turbina que produz potência mecânica ou elétrica usando uma fonte de combustível primária. (SANTOS, 2010).

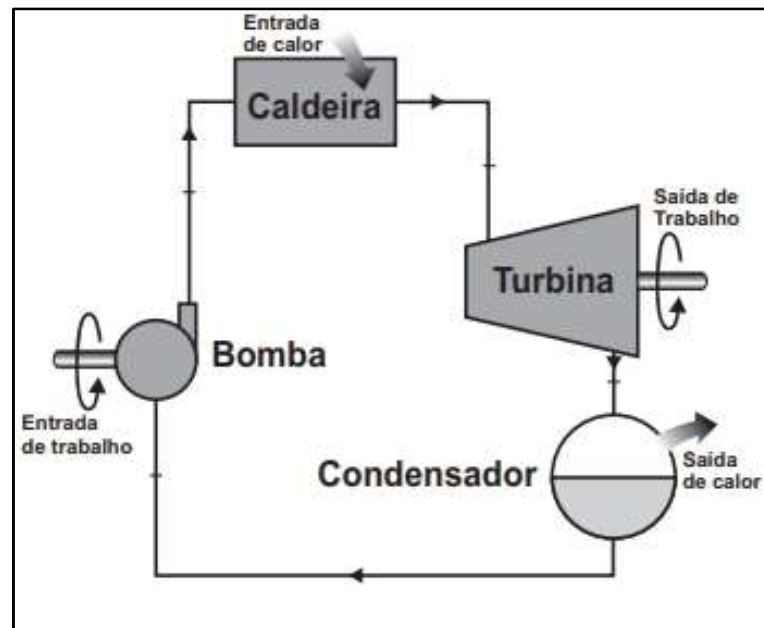
Os principais acionadores/tecnologias utilizados em plantas de cogeração são:

- As Turbinas à Vapor, que denomina a Tecnologia Ciclo Rankine;
- As Turbinadas à Gás, que determina a Tecnologia Ciclo Brayton;
- As Motores de Combustão Interna e,
- O Ciclo Combinado, que é a combinação entre o Ciclo Rankine e o Ciclo Brayton.

5.3.1. Ciclo Rankine ou Turbina à Vapor

- **Tipos de Combustível:** Qualquer tipo de combustível ou certas combinações de combustíveis, até mesmo nuclear e fontes de energia renováveis e subprodutos de desperdício.
- **Funcionamento:** Segundo Zanichelli (2020), o ciclo Rankine é um ciclo de potência a vapor, ao qual utiliza a energia fornecida por uma combustão externa ao fluido de trabalho, como a água, aquecendo-o para alimentar uma turbina. Em seguida, na forma de vapor a alta pressão, o fluido é expandido na turbina convertendo a energia na forma de pressão em energia cinética, que por sua vez é transferida às palhetas do rotor gerando trabalho de eixo. O vapor sai saturado da turbina, com baixa pressão e temperatura, e é conduzido até o condensador, onde rejeita calor ao ambiente para condensar em água. E por fim, a água condensada que sai do condensador, acrescida da água necessária para reposição do ciclo, é bombeada para a caldeira, fechando assim o ciclo de cogeração.

Figura 29. Diagrama de um Ciclo Rankine.



Fonte: Adaptado pela autora, Çengel e Boles, 2006.

- **Condições de funcionamento:** A pressão de vapor pode variar desde poucos *bar* até 100bar. Por exemplo, em centrais termelétricas, pressões mais elevadas podem ser usadas. A temperatura do vapor pode variar desde poucos graus de sobreaquecimento até cerca de 450°C e, para o setor energético até cerca de 540°C.
- **Gama de potência Eléctrica (MW):** 0.5-100 (potência superior também é possível).
- **Período de instalação:** 12-18 meses para pequenas unidades e até 03 anos para sistemas maiores.
- **Tempo de Vida:** Duração prolongada, cerca de 25-35 anos;

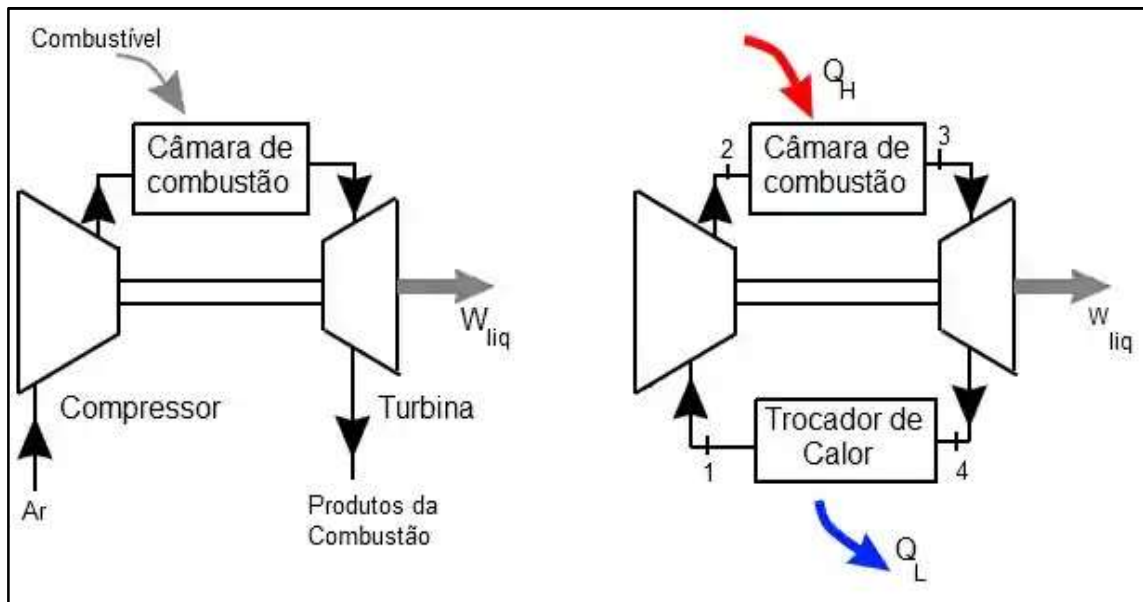
5.3.2. Ciclo Brayton ou à Gás

- **Tipos de Combustível:** Gás natural, derivados do petróleo (gasóleo, diesel) e produtos de gasificação de carvão. Podem ser utilizados também, resíduos industriais ou mesmo urbanos.
- **A Funcionamento:** O fluido de trabalho é o ar.
 - No ciclo aberto, representado pela Figura 30.a) o ar é comprimido (no compressor) elevando-se a pressão do mesmo. Essa etapa não tem nenhum calor adicionado, visto que o compressor, em condições ideais, faz com que no trabalho de compressão

aumente por si só a temperatura do ar. Daí então entra na câmara de combustão e, em contato com o combustível, reage, iniciando o processo de combustão. Os gases resultantes, à uma elevada temperatura, expandem-se na turbina gerando energia mecânica, além de acionar o compressor.

- No ciclo fechado, representado pela Figura 30.b) os gases que saem da turbina, passam por um trocador de calor onde resfriam e posteriormente entram novamente no compressor. E esta configuração apresenta, portanto, um melhor aproveitamento do calor e a possibilidade de operação em pressões elevadas. No ciclo fechado trabalha sempre com a mesma massa que fica recirculando. Um exemplo de uso do ciclo fechado são reatores nucleares.

Figura 30. Diagrama de um Ciclo Brayton: (a) Ciclo aberto; (b) Ciclo fechado.



Fonte: Sonntag et al. (2003).

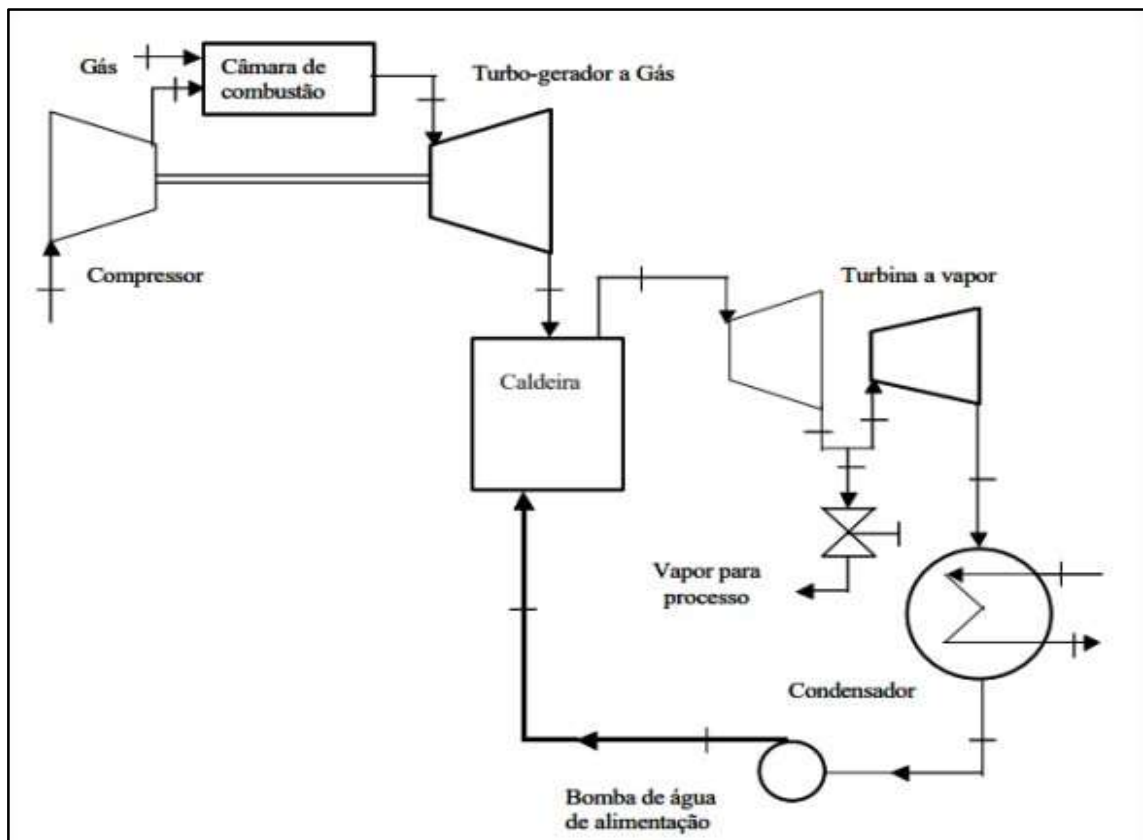
- **Condições de funcionamento:** A combustão dá-se com um excesso de ar elevado. Os gases de escape saem da câmara de combustão a uma temperatura elevada e com teores de oxigênio até 15-16%. A temperatura mais elevada do ciclo aparece neste ponto, quanto maior é a temperatura (na ordem dos 1300°C) maior é o rendimento. Os gases de escape saem da turbina a uma temperatura considerável a cerca de 450 - 600°C.
- **Gama de potência Elétrica (MW):** 0.2 - 100 ou até superior.
- **Período de instalação:** 9 - 14 meses e para grandes sistemas pode atingir até 2 anos.
- **Tempo de Vida:** 15 - 20 anos.

- **Análise de aplicação:** É habitualmente utilizado em sistemas de média e grande dimensão, onde são exigidas potências entre 40KW - 250MW, e em propostas que a exigência de energia sejam constantes. Das diversas aplicações pode destacar-se o setor alimentar, o setor petroquímico e o setor papeleiro.

5.3.3. Ciclo Combinado

- **Tipos de Combustível:** Gás natural, derivados do petróleo (gasóleo, diesel) e produtos de gasificação de carvão.
- **Funcionamento:** O sistema é uma combinação de turbinas de gás e de vapor, com uma caldeira de recuperação de calor entre elas. Uma turbina de gás produz eletricidade e vapor de elevada entalpia, o qual é expandido numa turbina de vapor para produzir mais eletricidade e vapor de menor entalpia.

Figura 31. Diagrama de um Ciclo Combinado.



Fonte: Sanchez (2003).

- **Gama de potência Elétrica (MW):** 04 - 100MW. Contudo há também sistemas CCTG (Combined Cycle Gas Turbine) de 400MW.
- **Período de instalação:** 2-3 anos. A instalação pode efectuar-se em duas fases: o sub-sistema de turbina a gás é instalado em primeiro lugar, podendo ficar pronto para funcionar em 12-18 meses. Enquanto este está em funcionamento, pode instalar-se o sub-sistema a vapor.
- **Tempo de Vida:** 15-25 anos.
- **Análise de aplicação:** Este tipo de Cogeração é predominantemente utilizada em situações em que se deseja produzir energia eléctrica e térmica úteis em quantidades variáveis, de acordo com as cargas consumidoras, ou para satisfazer mercados específicos. Sendo ainda a melhor opção para as aplicações nas quais a demanda de eletricidade é superior à demanda de vapor, ou seja nas indústrias eletrointensivas. Outro modelo deste tipo de Cogeração é aquele em que os accionamentos são de equipamentos mecânicos em vez dos habituais geradores eléctricos. Os sistemas em Ciclo Combinado apresentam uma grande flexibilidade na relação de produção de eletricidade e calor, face às várias possibilidades de arranjo destes sistemas. Em comparação com grande parte das tecnologias apresentadas, a de Ciclo Combinado permite, de uma maneira geral, uma maior extracção de potência por unidade de calor.

5.3.4. Ciclo com Motor de Combustão Interna (Diesel ou Otto)

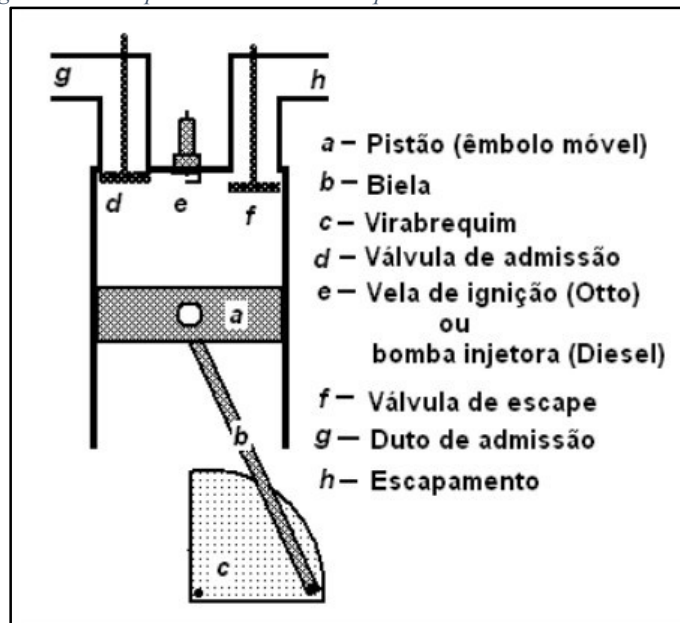
- **Tipos de Combustível:** Uma grande variedade de combustíveis líquidos e gasosos. Os Motores de Explosão utilizam como combustível mais frequente o gás natural, mas também podem fazer a combustão de propano, butano ou uma mistura dos dois, biogás, gás de síntese, nafta química, entre outros. Em relação aos motores que usam o ciclo Diesel, os combustíveis permitidos e mais utilizados abrangem uma grande variedade de combustíveis líquidos, desde os vários tipos de fuelóleo ao gasóleo e ainda misturas de combustíveis gasosos com líquidos em proporções que permitam a auto-ignição, denominados de dual fuel.
Em diversas situações/indústrias torna-se vantajoso o uso do gás natural como combustível de sistemas de Cogeração com motor alternativo, quer por questões logísticas/físicas, quer por questões económicas. tural, derivados do petróleo

(gasóleo, diesel) e produtos de gasificação de carvão.

- **Funcionamento:** Num motor de ciclo Otto, uma mistura de ar e combustível é comprimida em cada cilindro e a ignição é provocada por uma faísca externa. Num motor de ciclo a Diesel, apenas ar é comprimido no cilindro, sendo o combustível injetado na fase final do ciclo de compressão e dando a sua ignição espontânea devido à alta temperatura do ar comprimido.

As máquinas à combustão interna do tipo Otto e Diesel, são compostas de no mínimo um cilindro, contendo um êmbolo móvel (pistão) e diversas peças móveis. A Figura 31 demonstra uma representação esquemática e simplificada das partes principais de uma máquina de combustão interna (Otto ou Diesel).

Figura 32. Principais Partes de uma Máquina Térmica à Combustão Interna.

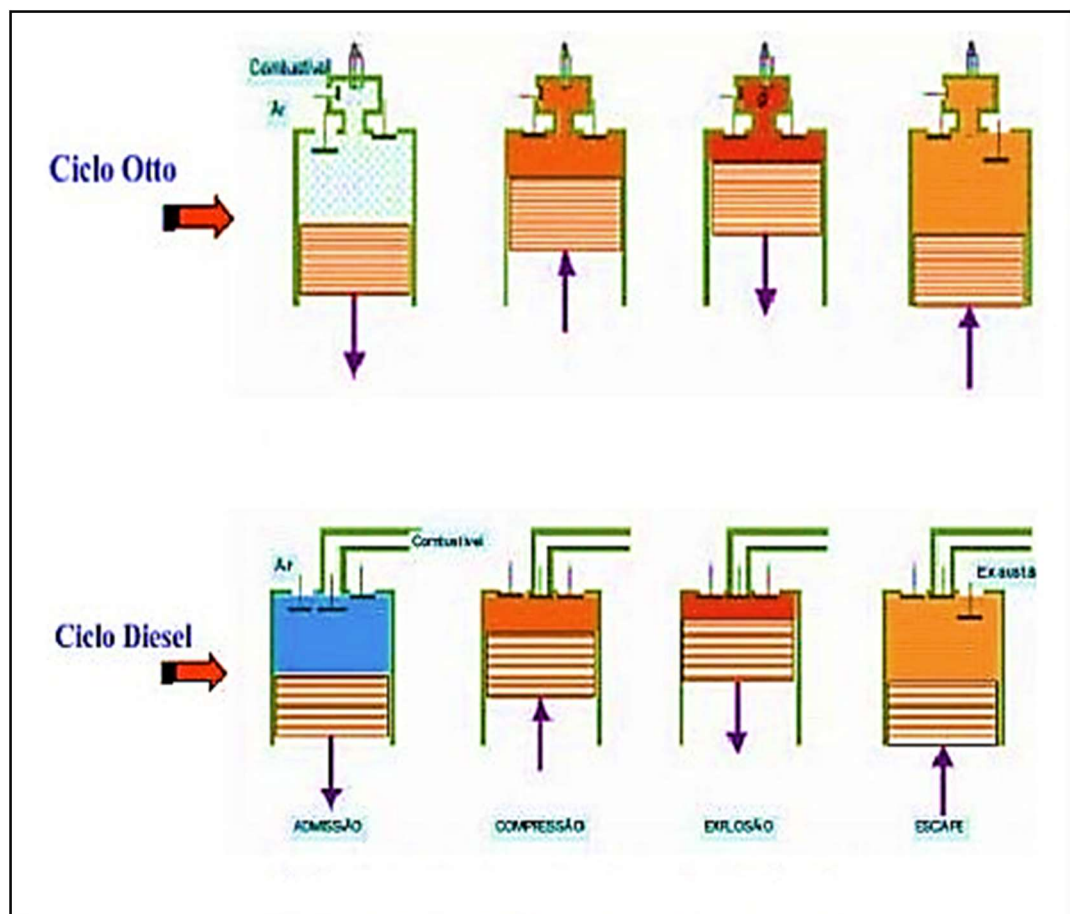


Fonte: Adaptado pela autora, Silveira (2001).

- A característica fundamental das máquinas Otto é a de na admissão (1º tempo) aspirarem uma mistura gasosa de ar e combustível (gasolina, álcool, gás e outro combustível). Depois que o cilindro está cheio com esta mistura, a válvula de admissão, que estava aberta durante o 1º tempo, fecha-se; então a mistura de ar e combustível sofre uma compressão (2º tempo). A seguir uma centelha elétrica na vela de ignição deflagra a explosão e, conseqüentemente, a expansão (3º tempo) da mistura gasosa. Finalmente a válvula de escape abre-se, ocorrendo simultaneamente a descarga da mistura gasosa para a atmosfera e a exaustão do restante dos gases queimados (4º tempo).

- Já as máquinas do tipo Diesel diferem das máquinas do tipo Otto por, no 1º tempo, admitirem apenas ar. O ar é então comprimido durante o 2º tempo e, como neste processo ainda não há combustível, atinge uma taxa de compressão mais elevada – entre 16:1 e 20:1 – do que nas máquinas do tipo Otto. Assim, no início do 3º tempo, ao ar que já está maximamente comprimido e à alta temperatura (de 600 a 750 K), por meio de uma bomba injetora é vaporizado combustível (usualmente o óleo diesel) para dentro do cilindro, ocasionando assim, a combustão espontânea (explosão) e a expansão dos gases. E por fim, no 4º tempo, os gases são expulsos do cilindro.

Figura 33. Ilustração das Quatro Etapas (Ciclo Otto e Ciclo Diesel)



Fonte: Adaptada pela autora, Brandão (2004).

- **Gama de potência Elétrica (MW):** 0.015-2. Há algumas aplicações de MCI de 6 MW.
- **Período de instalação:** Período curto, no máximo de 9-12 meses.
- **Tempo de Vida:** Para pequenas unidades: 10.000 – 30.000 horas.
E para grandes unidades: 3 – 6MW, 15-20 anos.

5.5. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SELEÇÃO DA TECNOLOGIA DE COGERAÇÃO

Segundo Barbeli (2015), a seleção da tecnologia de cogeração deve ser realizada de forma cuidadosa e criteriosa, obedecendo sempre ao princípio de viabilidade, considerando diversos aspectos, dentre os quais:

- Disponibilidade do combustível, que deve ser adequado à tecnologia e ter custo baixo;
- Avaliação dos impactos ambientais decorrentes da tecnologia e combustível utilizado;
- Avaliação da eficiência de conversão do combustível em energia elétrica;
- Custo dos investimentos necessários em tecnologia, operação e manutenção do sistema;
- Disponibilidade do sistema de cogeração, ou seja, nível de confiabilidade do sistema elétrico e custo final do suprimento de energia ao sistema integrado;
- Relação potência/calor, importante na determinação do tipo de ciclo a ser utilizado, mas sem correlação com as demandas de potência e calor da planta industrial.

Em conformidade, segundo Procknor (2008), um dos aspectos mais essenciais a ser analisado para a escolha da tecnologia de cogeração, é a relação entre potência e calor. Na tabela abaixo, segue os parâmetros das principais tecnologias estudadas:

Tabela 2. Relação entre Potência e Calor.

TECNOLOGIA	Turbina a Vapor	Turbina a Gás	Ciclo Combinado	Motores a Diesel
RAZÃO ENTRE ELETRICIDADE / CALOR	0,10 a 0,30	0,30 a 1,2	0,60 a 1,50	0,80 a 2,40

Fonte: Adaptado pela autora, Brandão (2004).

Segundo a revista internacional BSR (Abril/2012) há ainda alguns fatores ao qual se deve levar em consideração na seleção da tecnologia a se utilizar num dado projeto de cogeração, tal que:

- As necessidades elétricas e térmicas da instalação, em situação normal e de pico;
- O andamento temporal destas necessidades, bem como o intervalo de tempo máximo que é tolerado pela instalação, sem que estas sejam satisfeitas;
- A prioridade das necessidades;
- O tipo de calor requerido;
- A rapidez de resposta exigido;
- Os tipos de combustível disponíveis, quer no imediato, quer a longo prazo, e o seu preço atual, bem como a evolução que é esperada neste capítulo;
- A disponibilidade comercial dos diversos equipamentos, a existência de uma boa resposta, em termos de serviços de manutenção, e os seus tempos de vida;
- As condições físicas da própria instalação, tais como espaço disponível, condições do solo, entre outras;
- Os tempos de montagem das diversas tecnologias;
- Os custos associados a cada uma das possíveis escolhas.

Cada uma das tecnologias explanadas está associada a vantagens e desvantagens impostos por suas próprias características, ao qual devem ser consideradas na seleção da tecnologia de cogeração, de modo que a escolha efetuada corresponda sempre da melhor forma possível às necessidades da instalação e que maximize as suas potencialidades. (COGEN PORTUGAL, 2015).

A Tabela abaixo, elenca as principais vantagens e desvantagens, na forma comparativa dos principais ciclos/tecnologias de cogeração apresentados no capítulo anterior:

Tabela 3. Tabala Comparativa das Principais Tecnologias de Cogeração.

TECNOLOGIA DE COGERAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Turbina a Vapor:	* Tempo de vida útil elevado; * Não necessita de vigilância constante; * Equipamento seguro; * Eficiência global elevada; * Capacidade de fornecer vapor a alta pressão e/ou pressão atmosférica; * Qualquer tipo de combustível pode ser utilizado; * Elevado tempo de trabalho entre manutenções.	* Reduzido número de aplicações; * Baixo rendimento elétrico; * Arranque lento; * Problemas com controle da emissão de poluentes; * Dependência de um tipo de combustível no dimensionamento, ou seja só pode usar o combustível idêntico aquele para que foi projetado o sistema; * Reduzido número de aplicações; * Investimento inicial elevado.

Turbina a Gás:	* Manutenção simples (menores tempos de paragem); * Elevada fiabilidade; * Baixa poluição ambiental (Emissões reduzidas); * Não necessita de vigilância permanente; * Disponibiliza energia térmica a temperaturas elevadas (500° a 600°); * Unidades compactas e de pequeno peso; * Arranque rápido; * Baixo nível de vibrações; * Não necessita de refrigeração.	* Limitado a nível de variedade de combustível consumido; * Requer gás a alta pressão ou a existência de um compressor; * Tempo de vida útil curto; * Ineficácia em processos com poucas necessidades térmicas; * Necessidade de uso de dispositivos anti-poeiras/sujidade, anti-corrosão (em especial em casos de pausas de funcionamento prolongado); * Sensibilidade a aumentos da temperatura ambiente;
Ciclo Combinado:	* Elevada eficiência; * Grande flexibilidade na quantidade de energia térmica produzida; * Redução custos globais de operação.	* Sistema global sujeito a um somatório das desvantagens dos dois sistemas em separado (Cogeração com Turbina a Gás e a Vapor); * Maior complexidade do sistema global.
Motores de Combustão Interna:	* Arranque rápido; * Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas; * Elevada eficiência mecânica; * Bom rendimento em regime de carga variável; * Custos de investimento relativamente baixos; * Operações de manutenção simples; * Não necessita de vigilância constante.	* Tempo de vida útil curto; * Limitado a aplicações de cooperação com baixas temperaturas; * Baixo rendimento térmico; * Custos de manutenção elevados (paragens frequentes); * Emissões relativamente elevadas; * Necessita de refrigeração mesmo que o calor recuperado não seja utilizado; * Níveis de ruído elevados a baixas frequências.

Fonte1: Adaptado pela autora, França e Caseiro (2008).

Em análise a Tabela 3 acima e em conformidade à Tavares (2019), temos que:

- Os sistemas com turbinas a vapor são flexíveis em relação ao combustível a se utilizar, possuem alta eficiência e são capazes de atender à altas demandas de calor, no entanto, necessitam de mão de obra especializada para sua operação.
- Os sistemas que empregam turbinas a gás possuem alta confiabilidade e disponibilizam uma grande quantidade de energia térmica, porém, o seu rendimento dependerá das condições do ambiente em que for instalada.
- Os sistemas com motores de combustão interna possuem alta eficiência e baixo custo inicial, sobretudo, estes possuem uma alta taxa de emissão de poluentes e um alto nível de ruído.

- Os sistemas com dois ou mais ciclos (ciclo combinado) são arrançados de forma a operar em conjunto. E o principal objetivo dessa configuração combinada é o aumento do rendimento global da planta. No entanto, esse é sujeito ao somatório das desvantagens dos dois sistemas combinados (Turbina à Gás e Turbina à Vapor);

Tabela 4. Características de Operação e Custos Típicos das Principais Tecnologias de Cogeração.

Tecnologia	Turbinas a vapor	Turbina a gás	Motores de compressão interna
Rendimento elétrico	10% - 40%	15% - 35 %	25% - 45%
Rendimento térmico	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%
Rendimento global	60% - 85%	60% - 85%	70% - 85%
Potência típica (MWe)	0,5 - 100	0,2– 100	0,015 – 30
Relação Pt/Pe	2 – 10	1,25 – 2	0,4 – 1,7
Desempenho com carga parcial	Bom	Mau	Bom
Investimento (€/kWe)	700 - 900	600 – 800	700 – 1400
O&M (€/MWhe)	3	2 – 7	6 – 12
Revisões (h)	> 50.000	30.000 – 50.000	25.000 – 30.000
Arranque	1h – 1 dia	10m – 1h	10 s
Pressão do combustível (bar)	NA	8 – 35	< 0,35
Ruído	Alto	Médio	Alto
Uso do Calor	Vapor AP e BP	Água quente, Vapor a Alta Pressão e Vapor a Baixa Pressão	Água quente, vapor BP
Densidade de potência (kW/m2)	> 100	20 – 500	35 – 50
NOx (kg/MWh total)	0,9	0,2 – 2	1 – 14

Fonte: Adaptado pela autora, Sá (2016).

5.6. INTRODUÇÃO SOBRE A COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO BRASIL

Vimos anteriormente que os primeiros sistemas de cogeração foram desenvolvidos por volta de 1870, em alguns países europeus e nos EUA, e que estes sistemas baseavam-se em máquinas a vapor acopladas a geradores elétricos e foram instalados em áreas com elevada densidade populacional. O vapor era utilizado para o aquecimento de ambientes e a energia

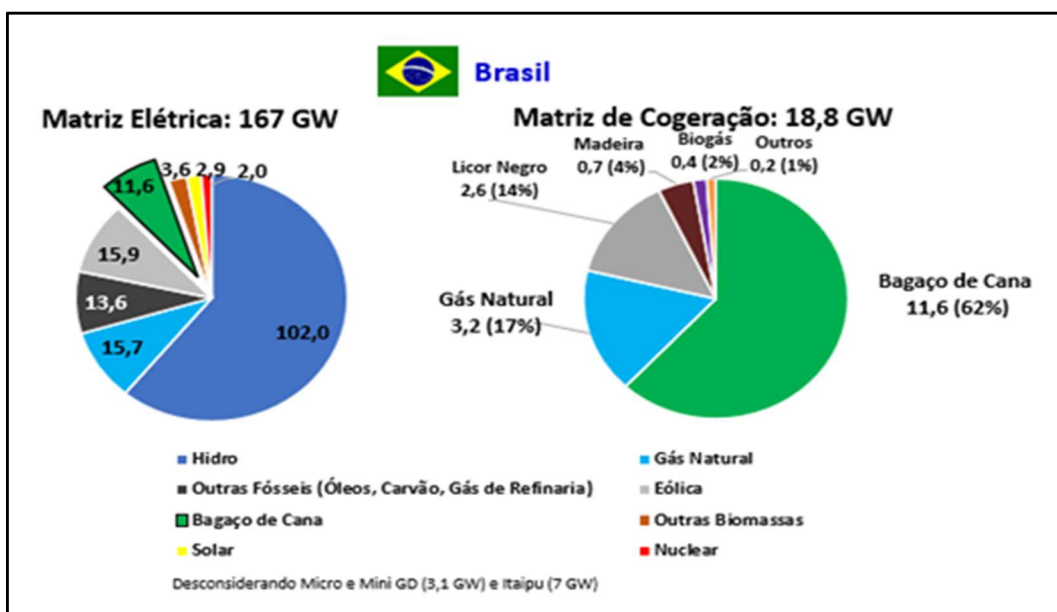
elétrica para o consumo elétrico nas habitações. Mas a partir da década de 40, com o desenvolvimento das grandes centrais de energia elétrica, os sistemas de cogeração foram perdendo sua importância e somente a partir da década de 70, com a crise do petróleo e com as crescentes preocupações ambientais, que a cogeração ganhou um novo incentivo.

No cenário atual brasileiro, a cogeração se aponta como uma alternativa bastante plausível, segura, barata e sem complicações no que concerne a questão energética (CARDOSO, 2011). Além disso, a utilização da biomassa, não altera a composição da atmosfera, claro que, sendo feita de maneira responsável e não predatória. A biomassa tem alto poder energético pela facilidade em transportá-la e armazená-la, baixo custo de produção, além de ser bem menos poluente que o carvão e petróleo. (BEN, 2015).

Com relação aos combustíveis de cogeração mais utilizados atualmente, a nível mundial, nos países da OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico -, o gás natural exerce o protagonismo, enquanto que na China utilizam, em sua maioria, cogerações movidas a carvão. No Brasil, de caráter extremamente renovável, a parte maior de combustível para cogeração é oriunda da biomassa de cana-de-açúcar (COGEN, 2023).

A seguir, na Figura 34, está demonstrado a atual representação nacional da Matriz Elétrica Brasileira e a Matriz de Cogeração (em GW)

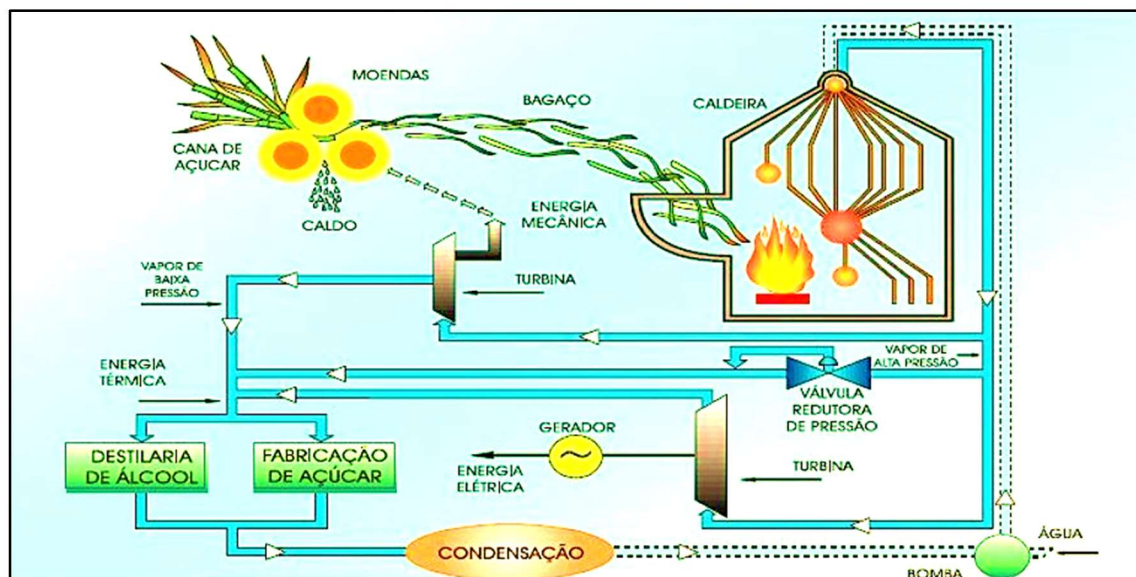
Figura 34. Matriz Elétrica Brasileira x Matriz de Cogeração (em GW).



Fonte: Adaptado pela autora, COGEN (2023).

Nas usinas de cana-de-açúcar a cogeração de energia ocorre por meio das seguintes etapas: O bagaço ao ser queimado em uma fornalha gera energia térmica em forma de vapor. O vapor gerado gira uma turbina, sendo que em virtude dessa turbina estar interligada com um gerador, o gerador acaba entrando em movimento gerando dessa forma energia elétrica. (DANTAS e PAULO, 2009).

Figura 35. Esquema de Cogeração em Usina Sucroalcooleira.



Fonte: Adaptado pela autora, Cardoso (2011).

6. BIOMASSA

6.1. CONCEITO DE BIOMASSA

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica, elétrica ou mecânica pode ser entendida como biomassa. A origem dessa matéria pode ser agrícola, florestal ou ainda rejeitos urbanos e industriais. (TOMAZ, et al, 2015).

Ainda, segundo Teixeira (2010) entende-se por biomassa toda matéria vegetal ou animal que pode ser reaproveitada como fonte de produção de calor ou eletricidade, como cana-de-açúcar, óleos vegetais, madeira, dejetos orgânicos e resíduos de indústrias alimentícias ou agrícolas.

6.2 TIPOS DE BIOMASSA

Considerada um recurso natural renovável, a biomassa é uma matéria biológica que serve como base para a produção de energia a partir da decomposição de resíduos orgânicos. Existem três tipos de biomassa, sendo elas sólida, líquida e gasosa. Tal que (PORTAL ENERGIA, 2016):

A **biomassa sólida** tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos das florestas e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

A **biomassa líquida** existe em uma série de bicomcombustíveis líquidos com potencial de utilização, todos com origem nas chamadas “culturas energéticas”. São exemplos o biodiesel, obtido a partir de óleos de colza ou girassol; o etanol, produzido com a fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose); e o metanol, gerado pela síntese do gás natural.

A **biomassa gasosa** é encontrada nos efluentes agropecuários provenientes da agroindústria e do meio urbano. É achada também nos aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). Estes resíduos são resultado da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico. Esses materiais são submetidos à combustão para a geração de energia.

6.3. BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar sempre esteve atrelada a história do Brasil, desde a época da colonização a cana-de-açúcar já era utilizada primariamente para a fabricação de açúcar, o que possibilitou inclusive o desenvolvimento do Brasil naquela época. No presente, a cana-de-açúcar continua sendo uma das principais plantações da economia brasileira e favorece o desenvolvimento do país.

Para Dantas (2010):

Introduzida no Brasil pelos portugueses no início do século XVI, a cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.), principal matéria-prima do setor, tem sido utilizada quase que integralmente para geração dessas três formas de energia. O elevado potencial de geração de energia a partir de sua biomassa tem provocado crescentes buscas por opções diferenciadas do completo aproveitamento dessa matéria-prima.

O setor sucroalcooleiro do Brasil obteve maior desenvolvimento em decorrência das intervenções governamentais. (MEIRA, 2007). E segundo Melo (2010), foi principalmente a

partir da criação do PROÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool – em 1975, que o setor sucroalcooleiro além de prover alimentos, passou a ofertar combustível para veículos automotores e energia elétrica, ambos de baixo carbono contribuindo para o desenvolvimento sustentável e colocando o Brasil em destaque no cenário mundial. (UNICA, 2016).

Para Veiga e Ramos (2006), o PRÓALCOOL teve quatro fases. A primeira delas ocorreu entre 1975 e 1978, onde se observa o incentivo no aumento da produção de etanol e por conta desse incentivo das destilarias, começaram a fundir com às usinas de cana-de-açúcar. Em 1979 deu-se início a segunda fase, onde ocorreram a implantação das destilarias autônomas e em 1986, já na terceira fase observa-se uma superprodução de etanol com a estruturação de uma rede de incentivos públicos fiscais e financeiros, abarcando desde os produtores de etanol até os consumidores finais, o que, por consequência ocasionou a baixa brusca nos preços. De forma que no início da quarta fase ocorrida após o ano 2000 houve a renovação do PRÓALCOOL, principalmente através de ações corporativas, articulando cada vez mais segmentos econômicos, sociais e políticos, marcada pela liberação de preços dos produtos setoriais, pela introdução dos veículos *flex fuel* e as possibilidades de aumento nas exportações de etanol.

A maioria das usinas sucroalcooleiras são autossuficientes na geração de energia própria, não necessitando assim de outro combustível senão do bagaço de cana, o qual é o produzido pelo processo da própria indústria sucroalcooleira. Cada tonelada de cana-de-açúcar moída na fabricação de açúcar e etanol gera, em média, 250kg de bagaço e 200kg de palha e pontas, sendo que a palha apresenta um poder calorífico quase duas vezes superior ao bagaço. (UNICA, 2016).

Na safra 2021/22 a produção de cana-de-açúcar totalizou cerca de 585,2 milhões de toneladas no Brasil. (CONAB, 2022). Além disso, segundo a EPE (2021), o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 prevê que a contribuição da biomassa para o cenário energético pode se tornar ainda mais relevante, caso o potencial técnico da cultura e da indústria sejam plenamente aproveitados. A Expansão do PDE 2031 prevê ainda 2.060MW oriundos de UTEs renováveis, sendo contratado o indicativo de 1.066MW a bagaço de cana.

7. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo Ribeiro (2010), ao compararmos a geração de energia elétrica por meio de termoeletricas que utilizam combustíveis fósseis como o gás natural, a cogeração de energia

elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar apresenta vantagens ambiental, principalmente no que diz respeito a redução na emissão de CO₂.

Além das vantagens ambientais, a cogeração utilizando bagaço da cana apresenta vantagens em termos de eficiência em relação à geração termoelétrica, por meio da destinação final da energia produzida. Enquanto na geração termoelétrica há uma perda de parte do calor gerado, na cogeração esse calor tem a possibilidade de ser utilizado nos processos produtivos aumentando a eficiência global do processo. Segundo Sousa e Macedo (2010) esta proximidade faz com que haja redução nas perdas no sistema de transmissão e também menos investimentos em linhas para transmissão/distribuição.

Outro ponto destacado por Sousa e Macedo (2010) é que a bioeletricidade pode até ser escoada diretamente pela rede de distribuição, sem necessidade de reforços da rede básica, em altíssima tensão. Dessa forma, constata-se que a bioeletricidade é uma fonte de energia compatível com o novo paradigma tecnológico do setor elétrico, que dá grande ênfase à exploração dos nichos de geração distribuída.

Conforme Oliveira (2007), outra vantagem de destaque é que os investimentos para cogerar energia são, na maioria das vezes, mais econômicos que os investimentos exigidos para produzir eletricidade através de fonte hidráulica, o que proporciona o melhor rateio das matrizes energéticas, e faz com que o preço da energia também tenha uma breve queda

A seguir, está listado alguns dos principais fatores que condicionam as decisões empresariais em favor da cogeração de energia, segundo Marcato (2015):

- Aspectos técnicos:
 - A eficiência dos equipamentos de produção de eletricidade e calor;
 - As demandas térmicas e elétricas e relação entre as mesmas;
 - As curvas e fatores de cargas térmicas e elétricas;
 - Os custos evitados e potencial de receitas com a venda de energia;
 - A disponibilidade e acessibilidade dos combustíveis;
 - A segurança e a qualidade da Energia.
- Aspectos econômicos:
 - Os preços de mercado da energia elétrica
 - Os preços dos combustíveis
 - O custo do capital
 - O custo do equipamento

Segundo Silva (2010), a cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar, em priori é viável por se tratar de a matéria-prima na forma de material orgânico reaproveitado, produzida e acumulada no ecossistema e tem grande disponibilidade nos pátios das indústrias sucroalcooleiras.

Além disso, segundo o Portal Energia (2016), diversas são as vantagens ambientais e econômicas sob o uso dessa biomassa, tal que:

- É renovável e menos poluente pois não emite dióxido de carbono (de acordo com o ciclo natural de carbono neutro);
- Possui baixo custo de aquisição;
- É altamente confiável e a resposta às variações de procura é alta;
- A biomassa sólida é extremamente barata e altamente disponível;
- As sobras de cinzas, após incineração, são menos agressivas ao ambiente quando comparado às provenientes de combustível fósseis;
- Caldeiras, fornos e equipamentos sofrem menor corrosão;
- A maioria dos equipamentos para transformar biomassa em energia são de fabricação nacional;
- Permite produzir energia regionalmente;
- Contribui para a redução do efeito estufa e aquecimento global.

E apesar de a queima de biomassa provocar liberação de dióxido de carbono na atmosfera, no balanço de emissões é como se esse composto fosse nulo, pois as plantas já haviam previamente absorvido quando em cultivo. (SANCHES, 2015).

Além disso, segundo Santos (2010), as vantagens tecno-econômicas derivadas do uso da tecnologia de cogeração, tal que abrangem:

- A conservação de energia, devido à melhoria na eficiência da utilização da energia do combustível;
- O custo de capital relativamente baixo e o baixo custo de operação, devido à alta eficiência global da planta, o custo da potência e do vapor se tornam economicamente muito atrativo para indústria;
- A complementação, de forma positiva, das plantas de cogeração industriais aos esforços das concessionárias estatais, no sentido de diminuir o “gap” existente entre

demanda crescente e oferta restrita, pois a cogeração contempla a geração descentralizada;

- A confiabilidade (muito alta) dos sistemas de cogeração, que também reduz a dependência das indústrias sobre a concessionária estatal de eletricidade, aliviando as pressões do lado da demanda. Além do que evita-se os riscos de distúrbios não esperados no sistema de potência centralizado.
- O baixo impacto sobre a poluição ambiental, quando comparado às termoeletricas convencionais, devido ao menor consumo de combustível e eficiência de operação.
- Às baixíssimas perdas por distribuição e transmissão, devido aos sistemas de cogeração geralmente não requererem transferência a longas distancias.

No entanto, ainda há algumas poucas desvantagens sob o uso da biomassa de cana-de-açúcar conforme YIVE (2008), ao qual demonstra que, no cultivo da cana-de-açúcar ser de costume utilizar fontes de potássio que contém altas concentrações de cloro, como o cloreto de potássio (KCl). Assim, e sabendo que a aplicação de KCl costuma ser em grandes quantidades, presume-se que a cana-de-açúcar absorve altas concentrações de cloro. Ainda, em virtude dessa absorção, quando há a queima do bagaço da cana-de-açúcar no processo de cogeração de energia, acaba sendo emitido dioxinas e cloreto de metila. No caso das dioxinas, são substâncias consideradas muito tóxicas e que podem causar câncer. E no caso do cloreto de metila, essa substância ao atingir a estratosfera reage com as moléculas de ozônio levando a quebra dessas moléculas. Assim, as moléculas de ozônio ao serem quebradas ficam incapacitadas de absorver os raios ultravioletas, o que leva a radiação UV a ser mais intensa na Terra, contribuindo diretamente então, para o agravamento do aquecimento global.

E segundo Sousa (2023), a biomassa para cogeração possui um menor poder calorífico quando comparado com outros combustíveis; há dificuldade para o transporte e armazenamento da biomassa sólida nas indústrias, e uma maior possibilidade de geração de material particulado na atmosfera, o que significa um maior custo de investimento para caldeiras e equipamentos de remoção de material particulado lançado ao meio ambiente.

8. IMPACTOS SOCIAIS DA COGERAÇÃO

Segundo Kohlhepp (2010), no geral, as indústrias brasileiras não costumam levar muito em conta os componentes sociais e ecológicos nos processos de desenvolvimento de produção de biocombustíveis, com exceção da produção de etanol que é uma das mais limpas.

Além disso, segundo Neuburger (2000), a expansão de monoculturas, com grande concentração de terras e crescente aumento dos preços das terras, ocasionou fragilidade aos pequenos produtores, não sendo portanto considerada a garantia de alimentos, além de expor à fragilidade dos ecossistemas com contaminações excessivas ao meio ambiente. Além disso, é comprovado que a homogeneização da paisagem agrária ocasiona o esvaziamento do espaço rural e fortifica a migração dos excluídos ao circuito da pobreza urbana.

Ainda conforme o autor, não se pode afirmar ao certo se a expansão das monoculturas (que exigem grandes concentrações de terras) é a maior fragilidade dos pequenos produtores ou se é a garantia de alimentos. O que se sabe é que, a homogeneização da paisagem agrária, pode levar ao esvaziamento do espaço rural e aumento do números da migração para a classe baixa urbana.

Segundo Figliolino (2014), as atividades principais, tanto de açúcar quanto de etanol, não estão sendo suficientes para renovar canaviais, expandir mecanização, melhorar infraestrutura e fazer face a todo o serviço de dívida de um setor que vem num ritmo de investimento acelerado há anos, primeiro com a expansão na década passada e agora com a recuperação dos canaviais depois de um período de dificuldades climáticas no país.

“Precisamos entender que etanol e bioeletricidade são inseparáveis. Um vai ajudar na competitividade do outro. O que for feito de política pública tem que levar em consideração ações coordenadas para ambos” finalizou o autor. O que se observa agora é que em algum momento, será necessário recuperar os canaviais que já passaram por períodos de dificuldades climáticas e refletem diretamente na preocupação quanto a produção em safra. Mesmo que as situações no campo são sempre temporárias e não definitivas, no que concerne à economia, é preciso analisar toda viabilidade do setor.

9. LEGISLAÇÃO ACERCA DA COGERAÇÃO NO BRASIL

De acordo com Velazquez (2000), a legislação no que concerne à auto-produção de energia elétrica, não favorecia em nada a ampliação da produção. Também não havia separação entre cogeração e geração de eletricidade. Foi depois de 1995, a criação de uma lei que tratava a produção independente de energia elétrica. E foi depois de 1995, a criação de uma Lei que retratou a produção independente de energia elétrica, que garante o uso das redes de distribuição e transmissão mediante pagamento definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Em consulta ao site oficial do Congresso Nacional brasileiro, destacam-se em vínculo à cogeração, as seguintes normativas (BRASIL, 2023):

Decreto de 20 de Abril de 1993: Cria Comissão Interministerial para reexame da participação do álcool na Matriz Energética Nacional.

Decreto nº 2.003, de 10 de Setembro de 1996: Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências.

Lei nº 10.438, de 26 de Abril de 2002: Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004: Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

Decreto Legislativo nº 897, de 2009: Aprova o texto do Memorando de Entendimento entre o Governo da República Federativa do Brasil e a União Econômica e Monetária do Oeste Africano na Área de Biocombustíveis, celebrado em Uagadugu, em 15 de outubro de 2007.

Lei nº 12.490, de 16 de Setembro de 2011: Altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis; o § 1º do art. 9º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores; as Leis nºs 10.336, de 19 de dezembro de 2001, e 12.249, de 11 de junho de 2010; o Decreto-Lei nº 509, de 20 de março de 1969, que dispõe sobre a transformação do Departamento dos Correios e Telégrafos em empresa pública; a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios; revoga a Lei nº 7.029, de 13 de setembro de 1982; e dá outras providências.

Lei nº 12.839, de 9 de Julho de 2013: Reduz a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep, da Cofins, da Contribuição para o PIS/Pasep-Importação e da Cofins-Importação incidentes sobre a receita decorrente da venda no mercado interno e sobre a importação de produtos que compõem a cesta básica; altera as Leis nºs 10.925, de 23 de julho de 2004, 10.147, de 21 de dezembro de 2000, 10.865, de 30 de abril de 2004, 12.058, de 13 de outubro de 2009, 12.350, de 20 de dezembro de 2010, 12.599, de 23 de março de 2012, 10.485, de 3 de julho de 2002, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 12.783, de 11 de janeiro de 2013, 9.074, de 7 de julho de 1995, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; revoga dispositivo da Lei nº 12.767, de 27 de dezembro de 2012; e dá outras providências.

Lei nº 13.097, de 19 de Janeiro de 2015: Reduz a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP, da COFINS, da Contribuição para o PIS/Pasep-Importação e da Cofins-Importação incidentes sobre a receita de vendas e na importação de partes utilizadas em aerogeradores; prorroga os benefícios previstos nas Leis nºs 9.250, de 26 de dezembro de 1995, 9.440, de 14 de março de 1997, 10.931, de 2 de agosto de 2004, 11.196, de 21 de novembro de 2005, 12.024, de 27 de agosto de 2009, e 12.375, de 30 de dezembro de 2010; altera o art. 46 da Lei nº 12.715, de 17 de setembro de 2012, que dispõe sobre a devolução ao exterior ou a destruição de mercadoria estrangeira cuja importação não seja autorizada; altera as Leis nºs 9.430, de 27 de

dezembro de 1996, 12.546, de 14 de dezembro de 2011, 12.973, de 13 de maio de 2014, 9.826, de 23 de agosto de 1999, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 10.865, de 30 de abril de 2004, 11.051, de 29 de dezembro de 2004, 11.774, de 17 de setembro de 2008, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 12.249, de 11 de junho de 2010, 10.522, de 19 de julho de 2002, 12.865, de 9 de outubro de 2013, 10.820, de 17 de dezembro de 2003, 6.634, de 2 de maio de 1979, 7.433, de 18 de dezembro de 1985, 11.977, de 7 de julho de 2009, 10.931, de 2 de agosto de 2004, 11.076, de 30 de dezembro de 2004, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.074, de 7 de julho de 1995, 12.783, de 11 de janeiro de 2013, 11.943, de 28 de maio de 2009, 10.848, de 15 de março de 2004, 7.565, de 19 de dezembro de 1986, 12.462, de 4 de agosto de 2011, 9.503, de 23 de setembro de 1997, 11.442, de 5 de janeiro de 2007, 8.666, de 21 de junho de 1993, 9.782, de 26 de janeiro de 1999, 6.360, de 23 de setembro de 1976, 5.991, de 17 de dezembro de 1973, 12.850, de 2 de agosto de 2013, 5.070, de 7 de julho de 1966, 9.472, de 16 de julho de 1997, 10.480, de 2 de julho de 2002, 8.112, de 11 de dezembro de 1990, 6.530, de 12 de maio de 1978, 5.764, de 16 de dezembro de 1971, 8.080, de 19 de setembro de 1990, 11.079, de 30 de dezembro de 2004, 13.043, de 13 de novembro de 2014, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, 10.925, de 23 de julho de 2004, 12.096, de 24 de novembro de 2009, 11.482, de 31 de maio de 2007, 7.713, de 22 de dezembro de 1988, a Lei Complementar no 123, de 14 de dezembro de 2006, o Decreto-Lei nº 745, de 7 de agosto de 1969, e o Decreto nº 70.235, de 6 de março de 1972; revoga dispositivos das Leis nºs 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.360, de 23 de setembro de 1976, 7.789, de 23 de novembro de 1989, 8.666, de 21 de junho de 1993, 9.782, de 26 de janeiro de 1999, 10.150, de 21 de dezembro de 2000, 9.430, de 27 de dezembro de 1996, 12.973, de 13 de maio de 2014, 8.177, de 1º de março de 1991, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 10.865, de 30 de abril de 2004, 11.051, de 29 de dezembro de 2004 e 9.514, de 20 de novembro de 1997, e do Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941; e dá outras providências.

Decreto Legislativo nº 153, de 2015: Aprova o texto do Memorando de Entendimento entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo da República Argentina sobre Cooperação na Área de Bioenergia, incluindo Biocombustíveis, celebrado em Buenos Aires, em 31 de janeiro de 2011.

Lei nº 13.203, de 8 de Dezembro de 2015: Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica; institui a bonificação pela outorga; e altera as Leis nºs 12.783, de 11 de janeiro de 2013, que dispõe sobre as concessões de energia elétrica, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica, 9.478, de 6 de agosto de 1997, que institui o Conselho Nacional de Política Energética, 9.991, de 24 de julho de 2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, e 11.488, de 15 de junho de 2007, que equipara a autoprodutor o consumidor que atenda a requisitos que especifica.

Decreto nº 8.772, de 11 de Maio de 2016: Regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade

Lei nº 13.360, de 17 de Novembro de 2016: Altera a Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, a Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, a Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, a Lei nº 9.491, de 9 de setembro de 1997, a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, a Lei nº 12.767, de 27 de dezembro de 2012, a Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016, a Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015, a Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009, e a

Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015; e dá outras providências.

Lei nº 14.182, de 12 de Julho de 2021: Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis nºs 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961.

Lei nº 14.300, de 6 de Janeiro de 2022: Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

Após o episódio de racionamento de energia elétrica no país, ocorrido entre 2001 e 2002, diversos estudos foram realizados no sentido de se evitar a repetição desse evento. Em destaque, o estudo realizado pelo Instituto Cidadania. O Governo LULA (Luis Inácio Lula da Silva), assumido em 2003, concebeu nestas bases um novo “Modelo Institucional do Setor Elétrico”, estabelecendo como objetivos principais (GARCIA, 2008):

- Garantir a segurança de suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados;
- Promover a inserção social no Setor Elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

É importante destacar que o tema desse estudo (cogeração de energia), encontra-se explicitamente mencionado nas premissas do estudo do Instituto Cidadania (2002) que serviram como base para o novo modelo do setor elétrico. Implicitamente, a prática da cogeração está inserida nos macro-objetivos supracitados na medida em que contribui para a segurança do suprimento e alivia o sistema de geração e transmissão abrindo espaço para inclusão de novos consumidores.

10. CONCLUSÃO

No Brasil – e no mundo –, o mercado de geração de energia elétrica atual se encontra em um momento de grande impulsionamento e incentivo às fontes renováveis, contexto em que este trabalho se apoia. E apesar de o país ainda não ser um mercado exemplarmente regulado, seus passos estão direcionando, com certos desafios e barreiras, ao propósito de facilitar o incentivo de novas fontes geradoras de energia no cenário nacional.

Atualmente, os impactos da crise energética no Brasil estão diretamente ligados ao aumento do custo da eletricidade no país. Isso, devido aos baixos níveis de água nos reservatórios das hidrelétricas que têm aumentado significativamente o custo da energia elétrica produzida por elas (que são a maioria geradora de eletricidade do país). E como toda crise, os especialistas, empresários, os governantes, as autoridades e até mesmo a sociedade em si, têm discutido em todo âmbito as possíveis soluções para o setor, principalmente devido ao risco que se tem para os custos de produção das empresas, ao bolso dos brasileiros e, principalmente, para a sustentabilidade do meio ambiente.

O presente trabalho teve como objetivo ponderar a viabilidade socioeconômica da implantação da cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar no setor sucroalcooleiro do Brasil.

Diante dos dados bibliográficos analisados, verificamos que a cogeração de energia elétrica por meio do bagaço da cana-de-açúcar é bastante viável e de menor impacto ambiental, pelas inúmeras vantagens demonstradas e, principalmente por cumprir com as metas do protocolo de Kyoto na redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, é considerada uma fonte de energia renovável (ecologicamente correta) de destaque ao cenário socioeconômico atual.

Outro debate importante em comprovação à viabilidade, foi com relação aos incentivos legais a esse tipo de geração de energia elétrica. Além do que também, os investimentos relativamente baixos sob a forma centralizada dessa produção de energia, além dos menores custos operacionais que, por consequência, diminui a influência do governo no setor estratégico, sob o mercado cativo de energia. Com isso, os benefícios gerados da implantação do mercado livre, traz consigo a diminuição tarifária, bem como a maior liberdade de negociação, tornando assim um olhar mais atrativo para possíveis investimentos no setor.

É importante destacar também que as novas configurações pensadas para o mercado cativo trouxeram facilidades ao setor. Os leilões de energia elétrica possibilitam às concessionárias a compra de energia por valores menores, dependendo da sua estratégia, garantindo assim a sua distribuição e também alavancando novos empreendimentos.

Além disso, as indústrias atuais, estão cada vez mais eficientes se adaptando às novas tecnologias quanto aos equipamentos que compõem o ciclo da cogeração, tal que, muitas novas unidades estão sendo construídas sob modelos ainda mais estratégicos e eficientes. Podendo, portanto, enxergar ainda mais a tendência de crescimento na cogeração de energia elétrica por meio da biomassa da cana-de-açúcar.

Portanto, essa pesquisa nos permitiu uma visão mais ampla e de interesse. Além de demonstrar que, antes de qualquer avanço no que concerne aos estímulos na produção da cogeração, vários são os fatores a serem analisados. E é claro o primeiro de todos, é a ponderação das necessidades sociais e as possibilidades de manutenção da produção com relação a produção e o meio ambiente. Além disso, se a usina optar por implementar esse sistema, que seria responsável pela transmissão da energia para a rede elétrica local, há uma grande chance de os resultados serem positivos e os lucros obtidos com a venda da energia excedente se tornar uma fonte segura de renda.

11. PESPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

Essa pesquisa referencialmente bibliográfica, demonstrou ser bastante promissora e viável a implementação da cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras no Brasil, em oferta de energia sustentável no país. E como trabalho futuro, é sugerido uma análise técnica e de campo sob o custo real e total da implantação desse sistema de cogeração de energia elétrica no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Custo da energia que chega aos consumidores. 2022 Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>>. Acesso em: Fev/2023.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Como funciona o Setor Elétrico Brasileiro. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/home>>. Acesso em: Nov/2019.
- BALESTIERI, J.A.P. Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis: UFSC, 2002.
- BARBELI, M. C. A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v. 4, p. 238-246, 2015.
- BEN. Balanço energético nacional. 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acesso em: Out/2018.
- BRANDÃO, S. D. S. Cogeração. Trabalho no âmbito da cadeira Produção e Planejamento de Energia Elétrica. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra, 2004.
- BRANDI, P. Energia elétrica no Brasil: breve cronologia do setor elétrico brasileiro. 2022. Disponível em: <<https://www.memoriadaeletricidade.com.br/artigos/119106/energia-eletrica-no-brasil-breve-cronologia-do-setor-eletrico-brasileiro>> Acesso: Nov/2022.
- BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Legislação. Brasília: Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/legislacao/>>. Acesso em: Jan/2023.
- BRASIL – Museu WEG de Ciência e Tecnologia. Ministério da Cultura. Blog. On line. 2014.
- BSR – Business for Social Responsibility. Cogeneration. Best Practice Manual. April 2012. Disponível em: <<http://www.bsr.org/reports/bsrenergy-management-handbook.pdf>>. Acesso em: Fev/2016.
- CARDOSO, T. F. Cogeração de energia através do bagaço da cana. Monografia – Pós-Graduação, Universidade Federal de São Carlos. Sertãozinho, 2011.
- CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura. O que é Matriz Energética?. 2022. Disponível em: <[https://cbie.com.br/oqueematrizenergetica/#:~:text=A%20matriz%20energ%C3%A9tica%20representa%20todo,faz%20parte%20da%20matriz%20energ%C3%A9tica](https://cbie.com.br/oqueematrizenergetica/#:~:text=A%20matriz%20energ%C3%A9tica%20representa%20todo,faz%20parte%20da%20matriz%20energ%C3%A9tica.)> Acesso em: Set/2022.
- ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. Termodinâmica. 5ª. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- CLEMENTINO, L. D. A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica. São Paulo: Érica, 2001.

CNN - Cable News Network Brasil. Cogeração de energia no Brasil cresce 4% em 12 meses e alcança 20,5 GW, diz associação. 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/cogeracao-de-energia-no-brasil-cresce-4-em-12-meses-e-alcanca-205-gw-diz-associacao/>>. Acesso em Mai/2023.

COELHO, S. T. Mecanismos para Implementação da Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa. Um Modelo para o Estado de São Paulo. 1999. Tese (Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia. 2023. Disponível em: <<https://www.cogen.com.br/cogeracao/cogeracao-no-mundo>>. Acesso em Mai/2023.

COGEN PORTUGAL. O que é a Cogeração. 2015. Disponível em: <http://www.cogenportugal.com/general_content/showInformation.aspx?mt=1&ml=34&type=2> . Acesso em: Dez/2015.).

COGENSP – Associação da Indústria de Cogeração de Energia. 2007. Disponível em: <<https://www.cogen.com.br/cogeracao/cogeracao-no-brasil/biomassa>> Acesso em: Mar/2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Clima adverso impacta lavouras de cana e produção chega a 585,2 milhões de toneladas na safra 2021/22. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4592-clima-adverso-impacta-lavouras-de-cana-e-producao-chega-a-585-2-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22>>. Acesso em: Mai/2023.

DANTAS, D. N. Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. São Carlos – SP, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2010.

DANTAS F.; PAULO L. Análise da Viabilidade Econômica Financeira de Projetos de Cogeração de Energia Através do Balanço de Cana-de-açúcar em Quatro Usinas em São Paulo (Dissertação De Mestrado). Universidade de São Paulo, 2009.

DOU – Diário Oficial da União. Resolução normativa aneel nº 1.031, de 26 de julho de 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.031-de-26-de-julho-de-2022-419637813>> Acesso em: Dez/2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. ABCDEnergia. Matriz energética e elétrica. 2022. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/ABCDEnergia>> Acesso em: Set/2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano decenal de expansão de energia 2031. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>. Acesso em: Jan/2022.

ENERGES - ANEEL, CCEE, ONS, EPE – As instituições de energia. 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/instituicoes-de-energia/>>. Acesso em: Mai/2023.

FIGLIOLINO, A. Cogeração está muito abaixo do potencial de entrega. 2014. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/usina-de-cana-dobra-oferta-de-energia/>> Acesso em: Out/2018.

FRANÇA, A. F. R. T.; CASEIRO, L. P. V. da C. “Planeamento e Produção de Electricidade – Cogeração e Trigerção”. 2008. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/tecnica/co-trigeracao/Trigeracao.pdf>>. Acesso em: Jun/2023.

GARCIA, A. G. P. Leilão de Eficiência Energética no Brasil. Tese de D.Sc., PPE – COPPE/UFRJ, 2008. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 3º edição. São Paulo: Atlas, 1996.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4º edição. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, J. P. P. VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro: V. 43, N.2, 2009. Disponível em: <<http://WWW.sielo.br/pdf/rap/43n2/43n2a02.pdf>> Acesso em: Mai/2023.

HECK, I. T.; LIMA, M. C. O. O atual mercado de energia elétrica no Brasil. IFG, Jataí/GO, 2022.

KÖCHE, J. C. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa. 15. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Estud. av., São Paulo, v. 24, n. 68, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: Mai/2020.

LAMARÃO, S. T. N. A Energia elétrica e o parque industrial carioca (1880-1920). Simposio Internacional Globalización y construcción de redes técnicas urbanas en América y Europa, 1890-1930. Brazilian Traction, Barcelona Traction y outros conglomerados financieros y técnicos. Universiad de Barcelona, Facultad de Geografía e Historia, 23-26 de enero 2012.

LOBO, C. S. A. Importância da cogeração utilizando bagaço de cana-de-açúcar como forma de diversificação da matriz elétrica. (Trabalho de graduação de engenheiro eletricitista) Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2013.

MARCATO, M. A. Cogeração. 2015. Disponível em:<<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/01/19/cogeracao/>>. Acesso em: Dez/2022.

MEIRA, R. B. Bangüês, engenhos centrais e usinas: o desenvolvimento da economia açucareira em são paulo e a sua correlação com as políticas estatais (1875 – 1941). 2007. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em História Econômica, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MELO, C. O. Eficiência econômica da produção de cana-de-açúcar de produtores independentes do estado do paraná. 2010. 92 f. (Tese Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agron micas, Botucatu.

MME – Ministério de Minas e Energia. Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma. 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cadauma>> Acesso em: Abr/2022.

NEUBURGER, M. Kleinb uerliche Verwundbarkeit in degradierten R umen.  berlegungen zur Politischen  kologie der Pionierfrontentwicklung in Brasilien. Geographische Zeitschrift, v.88, n.1, p.21-35, 2000.

OLIVEIRA, J. G. Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista. 2007. (Dissertação Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Evolução da Capacidade instalada no SIN – Junho 2023 / Dezembro 2027. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>> Acesso em: Abr/2023.

PORTAL ENERGIA - Energias Renováveis. 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>> . Acesso em: Set/2022.

PROCKNOR, C. Ciclos de Cogeração. Revista da STAB (Sociedade dos Técnicos A careiros do Brasil), Nov/Dez 2008. Disponível em: <<https://www.procknor.com.br/br/artigos/ciclos-de-cogeracao>>. Acesso em Mai/2023.

RIBEIRO, S. Gestão ambiental em usinas do setor sucroalcooleiro: fatores de influência e práticas adotadas (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Bauru, 2010.

S , A. F. R. de. Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética. 3  Edição: Editora Publindústria. Janeiro de 2016.

SANCHES, C. B. Energia da Biomassa. Departamento de Energia Elétrica. 2015. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/eco2/fontes-de-energia/biomassa/>>. Acesso em Mar/2023.

SANCHEZ, P. M. G. Alternativas de cogeração na indústria sucro-alcooleira. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SANTOS, E. V. Co-geração de energia a partir de gases provenientes da carbonização. Gestão Florestal no curso de PósGraduação em Gestão Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2013.

SANTOS, I. F. dos - Simulação de arranjos cogeneradores visando análise energética e viabilidade econ mica. Pósgraduação em Engenharia da Energia. Universidade Federal de São João Del Rei, Minas Gerais, 2010.

SANTOS, F. B. dos; NOVO, L. M. A. Fundamentos teóricos relacionados a cogeração e o exemplo da central de cogeração Infoglobo. 2008. 189 f. monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, T. A. R. Serviços de Energia Aplicados à Cogeração. Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrônica e de Computadores, FEUP, 2010.

SILVA, R. C. P. Biocombustíveis. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 365-370, 2010. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/download/1846/1024>. Acesso em: Fev/2010.

SILVA, C. R. A. et al. A biomassa como alternativa energética para o Brasil. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, n. 2, p. 25-36, dez. 2005.

SILVA, L. L. F. Iluminação pública no Brasil: Aspectos energéticos e institucionais. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVEIRA, F. L. Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel. 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/arquivos/maqterm.pdf>. Acesso em Fev/2023.

SOUSA, R. "Bioenergia"; Brasil Escola. 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/bioenergia.htm>. Acesso em: Fev/2023.

SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G. J. Fundamentos da termodinâmica. 6ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

TAVARES, M. da S. Análise Energética de um Sistema de Cogeração Aplicado à um Laticínio de Médio Porte. 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2144/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseEnerg%C3%A9ticaSistema.pdf. Acesso em Fev/2023.

TEIXEIRA, R. S.. Utilização de resíduos suco-alcooleiros na fabricação de fibrocimento pelo processo de extrusão. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TOMAZ, W. L.; GORNONO, F. S.; SILVA, S. P. da.; CASTRO, M. D. G.; E, ESPERIDIÃO, M. Cogeração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso múltiplo no setor sucroalcooleiro. Encontro Internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente – ENGEMA. Londrina, 2015.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Bioeletricidade no setor sucroenergético. Brasília. 2016.

VEIGA, A. de A. F.; RAMOS, P. Próalcohol e evidências de concentração na produção e processamento de Cana-de-Açúcar. Informações Econômicas, São Paulo, v. 36, n. 7, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/tec4-0706.pdf> Acesso em 05-10-2018.

VELÁZQUEZ, S. G. A Cogeração de Energia No Segmento de Papel e Celulose: Contribuição à Matriz Energética Brasileira. (Dissertação de Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

WIKIPEDIA. Cogeração. 2023. Site de busca online Disponível em:
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cogera%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: Mai/2023

YIVE, N. S .C. K.; TIROUMALECHETTY, M. Dioxin levels in fly ash coming from the combustion of bagasse. Journal of Hazardous Materials. 155: 179-182, 2008.

ZANICHELLI, Alan Spósito. Estimativa do Potencial de Acréscimo da Oferta de Energia no Setor Sucroalcooleiro Paulista a Partir de Cogeração e Gaseificação do Bagaço de Cana-de-Açúcar com Utilização de Ciclo Combinado. 2015. Monografia (Curso de Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em:
<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139128/000865316.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12. set. 2020.