

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE - ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

KELLY CRISTINA BATISTA BARBOSA FERREIRA

COGERAÇÃO COMPARTILHADA

**São Paulo
2019**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE - ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

KELLY CRISTINA BATISTA BARBOSA FERREIRA

COGERAÇÃO COMPARTILHADA

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica, Geração de Energia, Cogeração e Geração Distribuída.

Orientador: Prof. MSc. Ronaldo Andreos

São Paulo
2019

<https://www.poli.usp.br/bibliotecas/servicos/catalogacao-na-publicacao>

Quando imprimir, incluir aqui!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio ao meu projeto de fazer esta especialização, por entender algumas ausências em decorrência de meus compromissos para realizar esta monografia.

Agradecimento especial aos meus pais e meu esposo Augusto que me apoiam sempre em minhas decisões, pela parceria de sempre, pela dedicação em ajustar a nossa rotina para que eu consiga fazer as pesquisas necessárias.

Agradeço ao mestre e amigo Prof. MSc. Ronaldo Andreos, que sempre esteve ao meu lado me orientando e me impulsionando nos momentos difíceis.

Agradeço aos doutores, mestres e professores do curso que compartilharam conhecimento e experiências durante esta jornada.

Em todo o espaço há energia... é (só) uma questão de tempo até que os homens tenham êxito em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia.

(Nikola Tesla)

RESUMO

Esta monografia analisa os benefícios de uma cogeração a gás instalada em um Shopping Center na Capital de São Paulo e sua viabilidade técnica-econômica. A análise econômica leva em consideração economia gerada pelo projeto (fluxo de caixa), o retorno do investimento inicial (*payback*), a taxa interna de retorno (TIR) e também o valor presente líquido (VPL). Este empreendimento se beneficia da compensação compartilhada da energia excedente através de consórcio ou cooperativa permitida pela resolução normativa 687 da ANEEL de 2015.

O capítulo 1 faz a introdução, objetivos, motivações e justificativas sobre o tema. No capítulo 2 foram verificadas diferentes tecnologias e as consideradas no presente estudo foram os resfriadores de líquido por absorção (CHILLER ABS), motores a combustão interna (MCI) e resfriador de líquido elétrico (CHILLER). No capítulo 3 foi analisada a capacidade para instalação de cogeração no seguimento de shoppings centres no Brasil e também a regulação para cogeração qualificada e compensação de excedente de energia. No capítulo 4 observa-se o quadro energético brasileiro onde foi avaliado levando em consideração, a geração e distribuição de energia elétrica, a geração distribuída, a cogeração, o mercado de gás natural, informações sobre o setor terciário. No capítulo 5 foi apresentado um estudo de caso e, diante dos dados finais, o capítulo 6 traz as conclusões das análises e estudos sobre a viabilidade técnica e comercial da cogeração compartilhada no shopping center.

Palavras Chave: Cogeração, compartilhada, absorção, energia, sustentável, resfriador.

ABSTRACT

This monograph analyzes the benefits of a gas cogeneration plant installed in the Shopping Center in the Capital of São Paulo, its technical and economic viability. An economic analysis takes into account the savings generated by the project (cash flow), the return on initial investment (payback), an internal tax return (IRR) and also the net present value (NPV). This venture benefits from shared surplus energy compensation through the consortium or cooperative allowed by ANEEL Resolution 687 of 2015.

In chapter 1, there is an introduction, objectives, motivations, and justifications about the theme. Chapter 2, different technologies was presented and the verified ones, in the present study, were the absorption liquid chillers (CHILLER ABS), the internal combustion engines (MCI) and the electric liquid cooler (CHILLER). In chapter 3, was analyzed the capacity of cogeneration installation at the shopping malls in Brazil, and the application of qualified cogeneration and power surplus compensation. In chapter 4, was observed the Brazilian energy scenery, considering the electric power generation and distribution, distributed generation, cogeneration, the natural gas market and the information about the tertiary sector. In Chapter 5, a case study was presented and, considering the final data, in chapter 6 there are the conclusions about the analysis and studies on the technical and commercial viability of the shared cogeneration at the shopping mall.

Keywords: Cogeneration, sharing, absorption, energy, sustainable, chiller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 Planta de cogeração, energia elétrica e térmica.....	19
Figura 02 Esquema de funcionamento do ciclo Diesel.....	20
Figura 03 Esquema de funcionamento do ciclo.....	21
Figura 04 Ciclo Rankine com TV.....	23
Figura 05 Cogeração com TV.....	23
Figura 06 Ciclo Brayton.....	24
Figura 07 Cogeração com TG.....	25
Figura 08 Geração energia elétrica ciclo combinado.....	25
Figura 09 Microturbina.....	26
Figura 10 Etapa 1 do processo de <i>Chillers</i> ABS.....	28
Figura 11 Etapa 2 do processo de <i>Chillers</i> ABS.....	29
Figura 12 Etapa 3 do processo de <i>Chillers</i> ABS.....	30
Figura 13 Etapa 4 do processo de <i>Chillers</i> ABS.....	30
Figura 14 Etapa 5 do processo de <i>Chillers</i> ABS.....	31
Figura 15 ABS de Queima Direta (a), Vapor (b) e Água quente (c)	32
Figura 16 ABS three fuel; Vapor, Água Quente e Gás Natural.....	32
Figura 17 Cogeração TC, motor a combustão interna e água quente.....	35
Figura 18 Cogeração TC, motor a combustão interna e água gelada e quente.....	36
Figura 19 Cogeração TC, motor a combustão interna e água gelada e quente.....	36
Figura 20 Capacidade Instalada no SIN – 2018 / 2023.....	40
Figura 21 Geração de Energia Tipo de Usina	41
Figura 22 Usinas Biomassa com CVU	42
Figura 23 Submercados – Subdivididos por Regiões.....	44
Figura 24 Mercado Livre Energia.....	45
Figura 25 Postos Tarifários.....	50
Figura 26 Azul: Tarifas, Taxas e tributos em uma casa.....	51
Figura 27 Verde: Tarifas, Taxas e tributos em uma casa.....	51
Figura 28 Características das bandeiras tarifárias.....	52
Figura 29 Mapa do pré-sal.....	53
Figura 30 Reservas de petróleo no Brasil	53
Figura 31 Previsão de produção bruta diária de gás natural.....	55

Figura 32	Previsão de produção bruta de gás natural.....	55
Figura 33	Previsão de produção líquida de gás natural por tipo de contrato.....	56
Figura 34	Queimador de Biomassa.....	65
Figura 35	Crescimento da geração elétrica à biomassa no mundo.....	66
Figura 36	Evolução da oferta de Bioeletricidade.....	66
Figura 37	Expectativa de crescimento energético mundial.....	67
Figura 38	Parque Eólico no Rio Grande do Norte.....	68
Figura 39	Participação na Matriz energética brasileira nos próximos anos.....	69
Figura 40	Potencial Energético Brasileiro.....	70
Figura 41	Número de unidades fotovoltaicas até 2024.....	72
Figura 42	Hidráulica.....	73
Figura 43	Unidade de cogeração de gás natural.....	76
Figura 44	Sistema atual.....	87
Figura 45	Cogeração Compartilhada.....	89
Figura 46	Fluxo de Caixa Descontado estudo de caso.....	96
Figura 47	Fluxo de Caixa Acumulado estudo de caso.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Dados médios MCI Diesel e GN	21
Tabela 02	Principais fabricantes de MCI e GN	22
Tabela 03	Principais fabricantes de ABS com representações no Brasil	32
Tabela 04	Resumo das características das tecnologias de cogeração	33
Tabela 05	Rendimento elétrico e FUE por gerador	34
Tabela 06	Cogeração Qualificada.....	38
Tabela 07	Tarifas médias de energia elétrica, sem os impostos.....	46
Tabela 08	Classificação de shoppings.....	83
Tabela 09	Número de Shoppings por Estado.....	84
Tabela 10	Balanço Energético.....	89
Tabela 11	Cálculo do consumo de GN Motogerador.....	90
Tabela 12	Cálculo de fator de utilização de Energia.....	90
Tabela 13	Cálculo do requisito de qualificação de Cogeração.....	90
Tabela 14	Cálculo de Custo de Energia Elétrica Convencional.....	91
Tabela 15	Cálculo de Custo de Energia Elétrica Solução a Gás.....	91
Tabela 16	Investimento inicial para instalação da cogeração.....	91
Tabela 17	Cálculo da tarifa de Gás Natural.....	92
Tabela 18	Custo Operacional.....	93
Tabela 19	Receita da Cogeração.....	93
Tabela 20	Economia Operacional.....	93
Tabela 21	Memória de Cálculo estudo de caso.....	94
Tabela 22	Parâmetros Financeiros.....	95
Tabela 23	Resultados Financeiros.....	95
Tabela 24	Fluxo de Caixa estudo de caso.....	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Variação Anual média de Preços	44
Gráfico 02	Médias Tarifárias por Região no Brasil	46
Gráfico 03	Número de Concessionárias por Região no Brasil	47
Gráfico 04	Horários e Tarifas Aplicadas.....	50
Gráfico 05	Capacidade Instalada de sistemas eólicos por Estado em 2018.....	68
Gráfico 06	Número de unidades fotovoltaicas nos últimos anos.....	71
Gráfico 07	Potência Instalada de Cogeração no Brasil.....	74
Gráfico 08	Combustíveis das Cogerações.....	75
Gráfico 09	Carga Térmica.....	88

LISTA DE SIGLAS

ABS	Resfriador de Líquido por Absorção
ABRASCE	Associação Brasileira de Shopping Centers
AC	Ar Condicionado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAG	Central de Água Gelada
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCHP	<i>Combined Cooling, Heat and Power</i>
CHILLER	<i>Liquid Cooler</i> (Resfriador de líquido para sistema de Ar Condicionado)
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
CWS	<i>Chiller Water System</i>
DXS	<i>Direct Expantion System</i>
E	Energia
Ee	Energia da Utilidade Eletromecânica
EE	Energia Elétrica
Ef	Energia da Fonte
EP	Energia de Ponta
Et	Energia de Utilidade e Calor
Fc%	Fator de Cogeração
FUE	Fator de Utilização de Energia
GHP	<i>Gas Heating Pump</i> (Sistema de Ar Condicionado multi-split a gás)
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IN	Intermediária
LiBr	Brometo de Lítio
MCI	Motor a Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Motores Stirling
NH ₃	Amônia

ONS	Operador Nacional do Sistema
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEN	Plano Anual da Operação Energética
PIB	Produto Interno Bruto
REN	Resolução Normativa
SELF	Aparelho de Ar Condicionado unitário de grande capacidade
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPLIT	Aparelho de AC de pequena capacidade e condensação remota
SLITÃO	Aparelho de AC de grande capacidade e condensação remota
TE	Tarifa de Energia Elétrica
TG	Turbina a gás
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso de Sistema de Transmissão
TV	Turbina a vapor
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i> (Sistema de Ar Condicionado multi-split)
WBA	<i>World Bioenergy Association</i> (Associação Mundial de Bioenergia)
X	Fator de Ponderação
μTG	Microturbina a gás

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo, motivação e justificativas	15
2. ESTADO DA ARTE	17
2.1. Definição	17
2.2. Tecnologias Aplicáveis.....	19
2.3. Resfriadores de Líquido por Absorção (ABS) <i>Chillers</i>	27
2.4. Resumo das principais tecnologias.....	33
2.5. Configurações básicas da Cogeração.....	34
2.6. Legislação Brasileira	37
3. QUADRO ENERGÉTICO BRASILEIRO	40
3.1. Capacidade de geração de energia no Brasil	40
3.2. Dificuldades para criação de hidroelétricas.....	41
3.3. Expectativas da capacidade instalada nos próximos anos	42
3.4. Gás natural no Brasil.....	52
4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	57
4.1. Micro e Minigeração Distribuídas	57
4.2. Definições específicas.....	57
4.3. Vantagens da geração distribuída.....	59
4.4. Desvantagens da geração distribuída.....	62
4.5. Tipos de Geração Distribuída.....	64
4.6. Cogeração.....	73
4.7. Benefícios da Geração Distribuída.....	79
5.1. Aplicação no setor terciário	80
5.2. Cenário da cogeração no setor terciário	80
5.3. Segmento de Shopping Center	82
5. ESTUDO DE CASO.....	86
6. CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo, motivação e justificativas

Objetivo

O objetivo do presente trabalho é demonstrar as vantagens, tecnologias empregadas, regulação vigente através de estudo de caso de uma cogeração a gás natural com cálculo de fator de utilização de energia, custo de instalação e operação com o objetivo de analisar a viabilidade técnico-econômica.

Motivação

Com o fim do monopólio da Petrobras na exploração, tratamento e transporte do gás natural no Brasil e a expectativa de aumento na produção dos 65 milhões de m³/dia produzidos hoje (PDE 2027 EPE, 2017), para uma produção de aproximadamente 155 milhões de m³/dia em 2029 (PDE 2029 EPE, 2019), as chances de sucesso de centrais de cogeração instaladas em grandes centros consumidores aumentam significativamente. Além dos benefícios trazidos pela abertura do mercado do gás, os sistemas de geração distribuída podem compensar, de forma compartilhada, o excedente de energia gerado em consórcio ou cooperativa.

Justificativas

Em face do atual cenário mundial que vivenciamos com escassez de recursos energéticos e grandes impactos ambientais gerados pela queima de combustíveis fósseis em alta escala existe a necessidade de implantar políticas de conservação de energia com o objetivo de eliminar perdas. A partir da crise do petróleo na década de 1970 e da rejeição da geração nuclear devido os riscos de acidentes e a dificuldade no descarte dos resíduos, podemos observar crescimento na instalação de centrais de cogeração em um número considerável de países no mundo (BALESTIERI, 2002). Nos anos 90 Europa e Estados Unidos investiram em novas cogerações de pequeno e grande porte. Com a retomada do crescimento econômico no Brasil haverá aumento no consumo de energia elétrica, embora um percentual significativa da matriz energética brasileira seja de hidroelétricas,

problemas como a crise hídrica enfrentada nos últimos anos e a legislação ambiental têm dificultado a instalação de novas hidroelétricas que supram a demanda esperada com o crescimento econômico.

A instalação de cogerações a gás natural trás inúmeras vantagens entre elas economia para o empreendimento, segurança operacional, redução de perdas na transmissão e geração de energia elétrica.

Este trabalho simula a instalação de cogeração compartilhada em um Shopping Center, com a utilização de dados reais apurados em campo e referências de equipamentos comercializados por fornecedores reconhecidos. Os cálculos apresentados são contrapostos ao sistema atual convencional.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Definição

A cogeração consiste em produção simultânea de duas ou mais formas de energia de partir de uma primária, sendo ela renovável ou não, como solar, biomassa, óleo, gás natural ou liquefeito, carvão e gás natural, este último sendo amplamente utilizado. Por definição, utiliza-se de produção conjunta, em processo sequencial de eletricidade ou energia mecânica e energia térmica útil (LIZARRAGA, 1999).

Seu principal objetivo é utilizar ao máximo a energia da primeira fonte de abastecimento afim de aumentar a eficiência do sistema sendo possível chegar em até 85% de aproveitamento. Desta forma, esta energia pode ser transformada em água quente ou vapor, eletricidade, água gelada para sistemas de climatização (*chillers*) e força motriz.

Um projeto de cogeração conceitualmente satisfatório, além de suprir as necessidades operacionais ditadas pelo processo, também pode garantir o grau de excedente programado nos momentos planejados com credibilidade e eficiência (BALESTIERI, 2002).

As composições fundamentais utilizadas em centrais de cogeração (BALESTIERI, 2002) são:

- Ciclo Rankine ou a vapor
- Ciclo Brayton ou a gás
- Ciclo Combinado
- Ciclo Diesel

Onde equipamentos similares aos utilizados em centrais de utilidades que geram vapor (BALESTIERI, 2002), faz a transformação de energia térmica ou química em energia elétrica, térmica ou mecânica. Geralmente este equipamento é uma caldeira, um motor a combustão (MCI) ou uma turbina a gás (TG). O propósito é a geração de energia primária, a energia térmica que seria rejeitada é aproveitada na cogeração para gerar outro tipo de energia e com isto eleva o fator de utilização de energia.

A cogeração pode ser definida como geração de energia elétrica e térmica por meio de um ciclo com rendimento global.

$$\text{Rendimento Elétrico:} \quad \eta_e = \frac{E}{C} \quad (2.1)$$

$$\text{Rendimento Térmico:} \quad \eta_t = \frac{Q}{C} \quad (2.2)$$

$$\text{Rendimento Global:} \quad \eta_G = \frac{E + Q}{C} \quad (2.3)$$

Onde: η = Rendimento

E = Energia elétrica produzida

Q = Calor produzido

C = Poder calorífico do combustível

O aproveitamento da energia primária é encontrado através da equação do Fator de Utilização de Energia (FUE)

$$\text{FUE} = \frac{\dot{W} + Q_u}{\dot{m} \times \text{PCI}} \quad (2.4)$$

Onde: $\dot{W}$ = Potência de elétrica gerada pela cogeração (kW);

Q_u = Potência térmica gerada pela cogeração (kW);

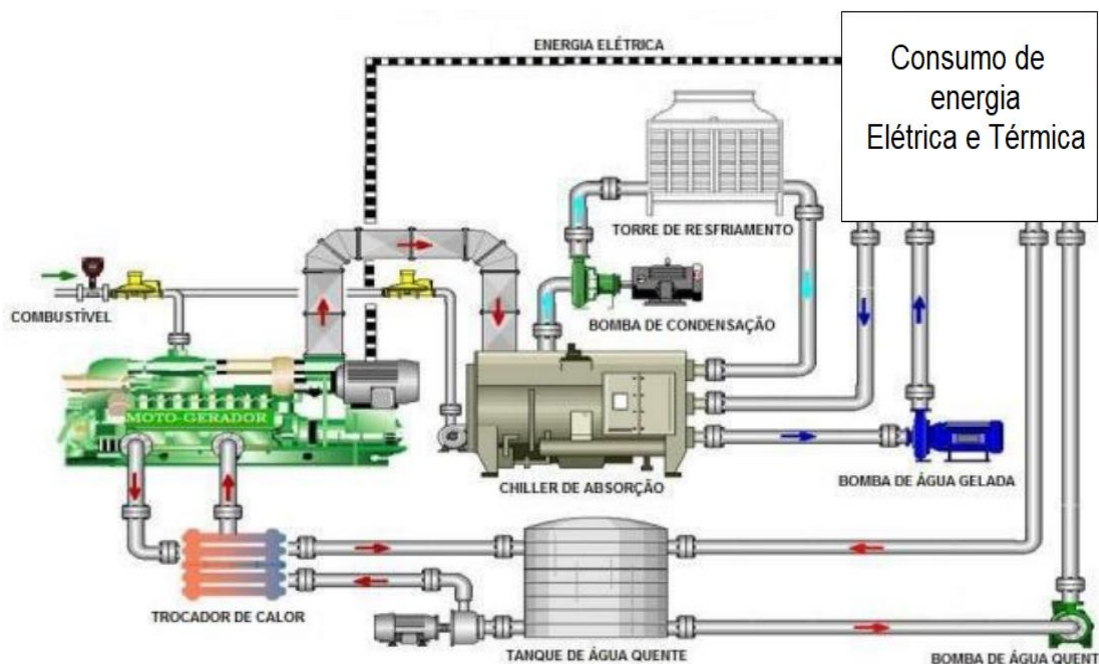
$\dot{m}$ = Vazão mássica de combustível (kg/s);

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/kg).

A figura a seguir exemplifica um sistema de cogeração que produz energia elétrica através de motogerador a gás. O resfriador de líquidos por absorção utiliza o calor

proveniente dos gases para gerar água gelada, o calor gerado no bloco do motor é aproveitado para o aquecimento de água. Este sistema de cogeração tem FUE de aproximadamente 85%, fazendo uso do gás natural como fonte primária, a planta gera energia elétrica e energia térmica (água quente e gelada).

Figura 01 – Planta de cogeração, energia elétrica e térmica



Fonte: (Adaptada de PECE Politécnica 2019)

2.2. Tecnologias Aplicáveis

Abaixo estão as principais tecnologias empregadas nos sistemas de cogeração em utilização. A ênfase destas tecnologias são aplicações de cogerações de pequeno e médio porte para a produção no setor terciário. (Andreos, 2013)

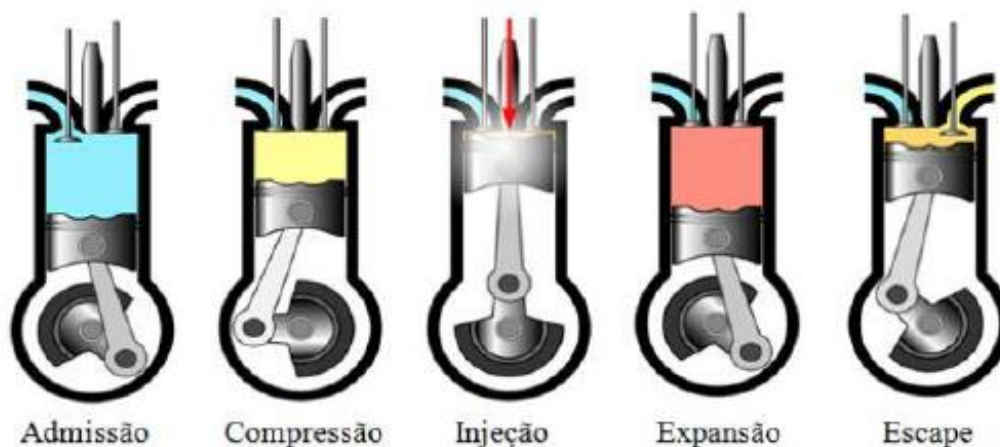
- Motor a combustão interna (MCI);
- Turbina a vapor (TV);
- Turbina a gás (TG);
- Microturbina a gás (μ TG);
- Motores Stirling (MS);
- Ciclo Orgânico de Rankine (COR);

- Célula Combustível (CC);
- Resfriador de líquido por absorção (ABS);
- Outras tecnologias.

1 – Motor a combustão interna (MCI)

Conforme descreve Andreos (2013) e Silva (2016) MCI é composto por grupo motor gerador onde através de combustão interna acoplada a um gerador elétrico, do tipo endotérmico, exercem movimentos alternativos através de pistões sendo que a partir da compressão de mistura de combustível é realizada a ignição do sistema. A fonte de combustível para movimentar os cilindros podem ser de diversos tipos conforme dito anteriormente, sendo o mais utilizado à óleo diesel, biodiesel ou óleo pesado. Uma utilização comum deste tipo de equipamento é em geradores de emergência.

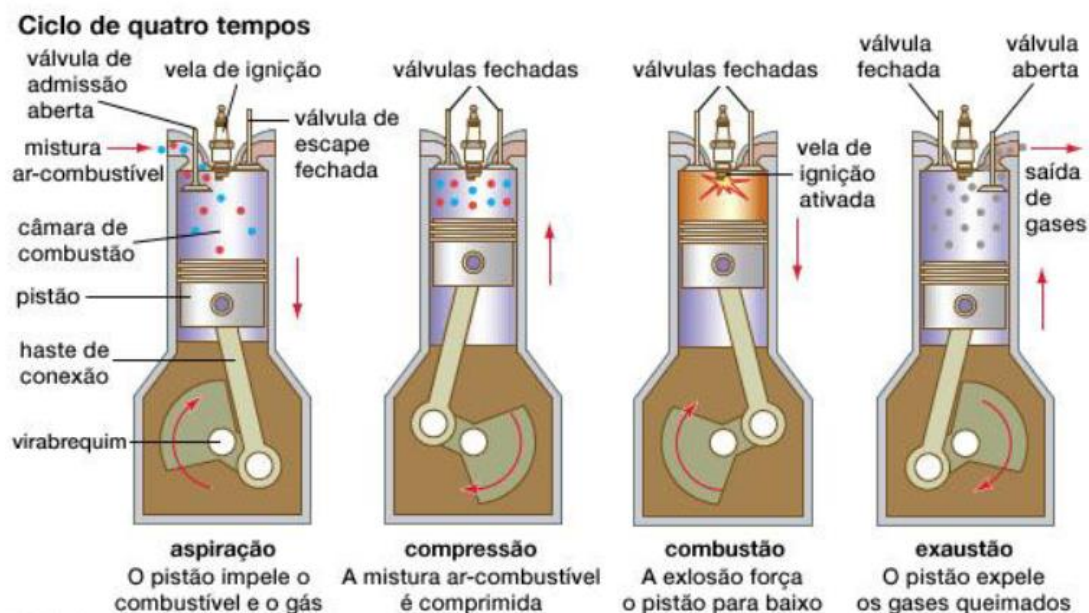
Figura 02 – Esquema de funcionamento do ciclo Diesel



Fonte: (ANDREOS, 2013)

Outro tipo de MCI também utilizado, são os alimentados por etanol, gás natural (GN) ou biogás trabalhando no ciclo Otto sendo sua ignição realizada por uma centelha. Este tipo de combustão é largamente utilizado pois possuem emissões de poluentes bem menores do que o ciclo de diesel.

Figura 03 – Esquema de funcionamento do ciclo



Fonte: Otto (SILVA, 2016)

Ainda segundo Andreos (2013) o rendimento elétrico dos MCI a gás natural varia entre 25 e 45% e na cogeração o FUE pode chegar até 85%.

Tabela 01 – Dados médios MCI Diesel e GN (ANDREOS, 2013) Adaptada

MCI	Ciclo Diesel	Ciclo Otto
Tipo de combustível	Líquido Pesado (Diesel)	Líquido Leve / Vapor (GN)
Rendimento elétrico médio (ne)	35%	34%
Consumo médio Diesel / GN	0,30 L/kWh	0,34 m ³ /kWh
Preço médio de aquisição	R\$ 650 a R\$ 850 /kW	R\$ 750 a R\$ 1.100 / kW
Custo médio com manutenção	R\$ 35 a R\$ 50 / MWh	R\$ 20 a R\$ 35 / MWh

A seguir, os principais fabricantes de MCI e GN para a aplicação de cogeração no setor terciário com representações no Brasil:

Tabela 02 – Principais fabricantes de MCI e GN (ANDREOS, 2013) Adaptada (Turbinas a Vapor)

Fabricante	Capacidades	Origem
 Caterpillar	65 a 6.520 kWe	EUA
 Cummins	20 a 2.000 kWe	EUA
 GE	250 a 3.000 kWe	EUA
 Generac	22 a 300 kWe	EUA
 Guascor	250 a 1.200 kWe	Espanha
 Leon Heimer	14,8 a 451 kWe	Brasil
 MWM	400 a 4.300 kWe	Alemanha
 Wartsila	3.758 a 8.439	Finlândia
 Yanmar	3.5 a 16 kWe	Japão

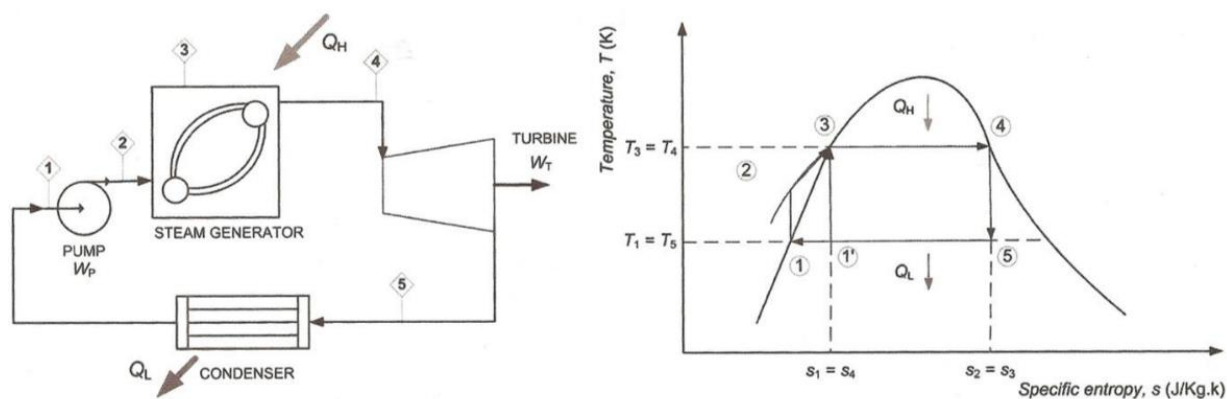
Mais empregadas em plantas industriais e térmicas são equipamentos geradores de energia em ciclo termodinâmico onde converte calor em trabalho. Em caldeiras aquatubulares de média pressão suas capacidades podem variar de 500kW e a 250MWe.

As TV podem ser classificadas como de contrapressão onde a pressão de saída é igual ou maior a pressão atmosférica ou de condensação que onde o fluido é expandido com pressão inferior a atmosférica conforme mencionado por Andreos (2013).

As turbinas de condensação operam em ciclo fechado e existe a necessidade de uma caldeira para aquecer a água antes da geração de vapor. Estas turbinas a vapor tem a característica de utilizar combustível como gás natural, etanol, óleo diesel, óleo combustível, carvão e biomassa para fonte de energia primária. A turbina recebe o vapor gerado que é responsável pela energia cinética aplicada nas pás que giram o eixo e produzindo trabalho. Na saída da turbina o vapor volta a fase líquida devido à

perda de calor para reiniciar o ciclo e ser bombeado para caldeira. A TV pode ser utilizada para produção de energia mecânica ou elétrica por meio de um gerador conectado a turbina.

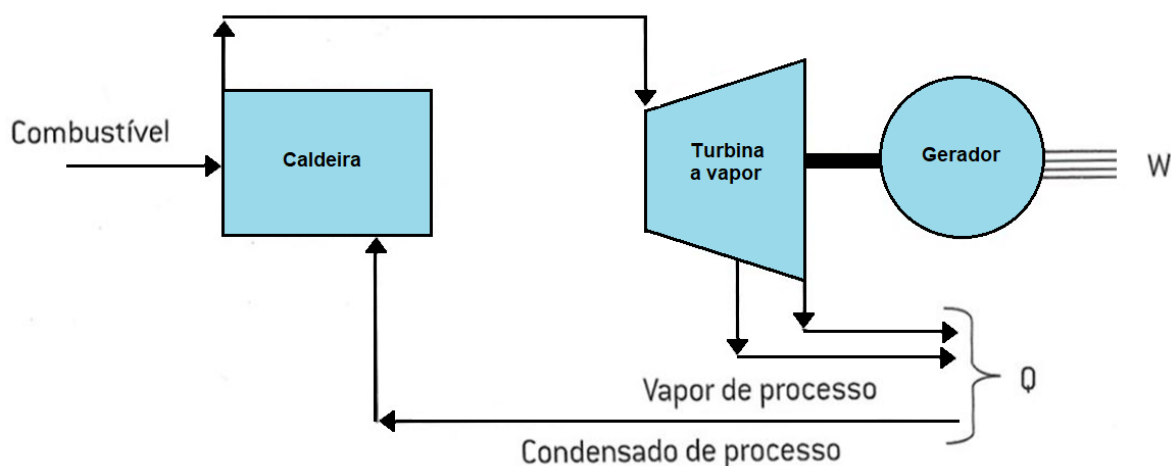
Figura 04 – Ciclo Rankini com TV



Fonte: (SIMOES-MOREIRA, 2012)

Em sistemas com turbinas a vapor de contrapressão a configuração pode ser com ciclo aberto existe a possibilidade de aproveitamento do vapor para processos industriais, este tipo de turbina é largamente utilizado em sistemas de cogeração.

Figura 05 – Cogeração com TV



Fonte: (Adaptado de MONTEIRO e SILVA, 2010)

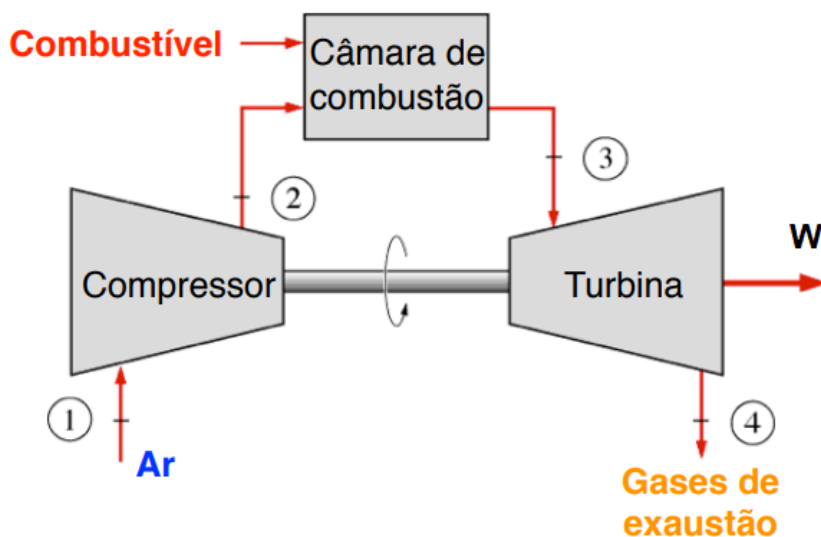
A eficiência elétrica no ciclo Rankine vai de 30 a 45% já em uma cogeração é possível atingir o FUE de 50% (Andreos 2013).

Turbinas a gás (TG)

As turbinas a gás podem ser classificadas em industriais e aeroderivadas. TG são amplamente empregadas em cogerações na indústria pelo fato de possuírem grande capacidade de geração térmica através da recuperação dos gases de exaustão para produção de vapor para processos fabris e oferecerem alto grau de confiabilidade operacional. As potências das turbinas industriais variam de 0,5 a 250 MW já as aeroderivadas variam de 40 a 50MW.

O Ciclo Brayton (Figura y) demonstra o modo de operação de uma turbina a gás. A figura X representa os principais componentes de uma turbina a gás. Na admissão o compressor comprime o ar, que em seguida é direcionado para câmara de combustão onde acontece a combustão e o aumento de temperatura, o ar comprimido passa por expansão na seção de turbina onde é gerado o trabalho eletromecânico no eixo, que tem a possibilidade de ser conectado a um gerador elétrico conforme Moreira (2017).

Figura 06 – Ciclo Brayton

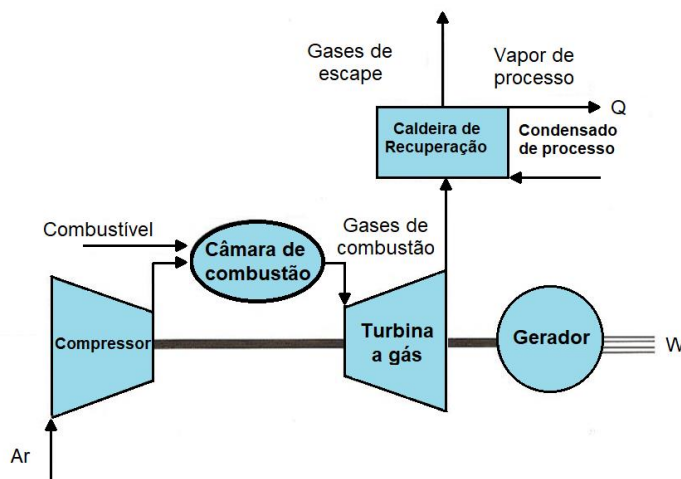


Fonte: (Politécnica)

Os são exauridos em média de 400 a 650°C, e podem ser aproveitados em processos industriais. Geralmente estes gases são aproveitados na produção de fluidos térmicos

como produção de água quente e vapor de água em plantas de cogeração como mencionado por Andreos (2013) e ilustrado na figura Z.

Figura 07 – Cogeração com TG

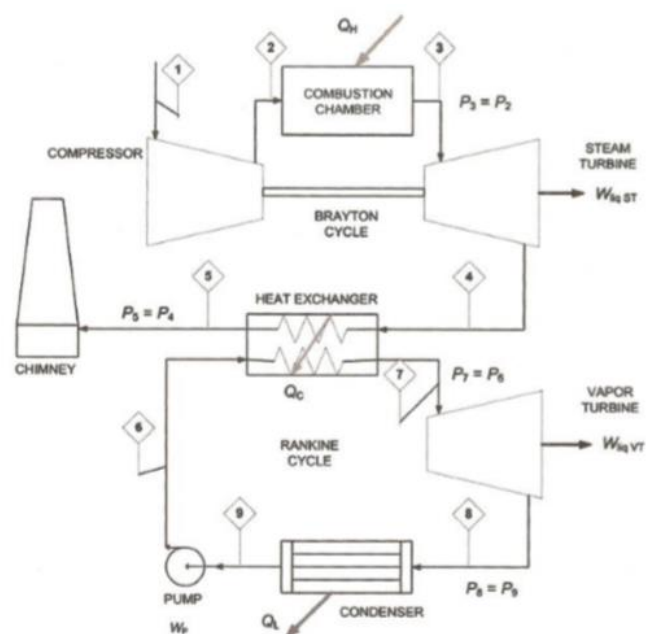


Fonte: (Adaptado de MONTEIRO e SILVA, 2010)

A eficiência elétrica no ciclo Brayton pode variar de 35 a 45% em contra partida o FUE em uma cogeração pode chegar 75% conforme Andreos (2013).

Em um ciclo combina Brayton-Rankine os gases exauridos da turbina podem ser aproveitados para gerar vapor (figura w)

Figura 08 - Geração energia elétrica ciclo combinado



Fonte: (SIMOES-MOREIRA, 2012)

A eficiência elétrica média alcança em um ciclo combina Brayton-Rankine em média é de 57% já em uma correção é possível alcançar o FUE de 75% Andreos (2013).

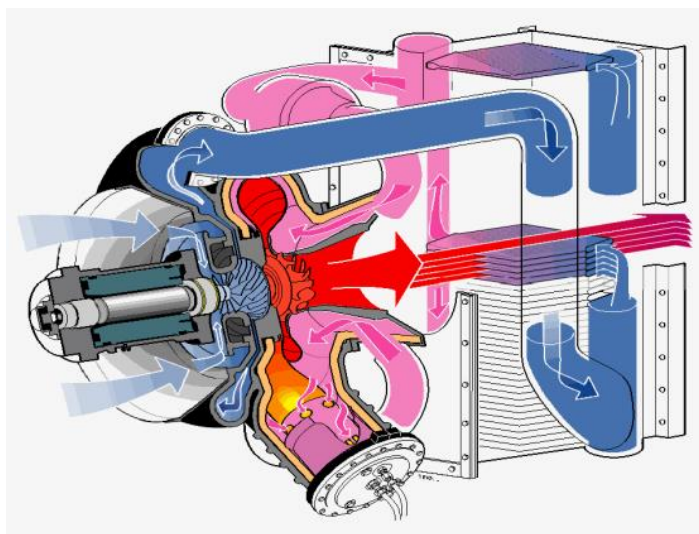
Microturbinas (μ TG)

São classificadas como microturbinas a gás TG com capacidade de 30 a 250kWe, que combinadas em módulos podem chegar a 1.000kWe. Podem usar como combustível gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, querosene e óleo diesel. As microturbinas são usadas para produção de energia elétrica e em conjunto com outros equipamentos com a utilização dos gases para sistemas de cogeração *Combined Heat and Power*, operam em rotação de 50.000 a 120.000 rpm (Al-Hinnai & Feliachi, 2002).

Microturbinas são em muitos aspectos semelhantes as turbinas a gás porém existem alguns pontos como configurações modulares, controle de paralelismo de energia elétrica, recuperador de calor para produção de água quente.

A microturmina é composta por compressor centrífugo, câmara de combustão e uma turbina de fluxo radial ligada ao eixo do compressor, na figura x mostas circulação dos fluidos, o eixo gerador, compressor, turbina e recuperador de calor. Em média o rendimento elétrico é 25 a 33% na *Combined cooling, heat and power* (CCHP) o possível alcançar FUE de 85% (Andreos 2013).

Figura 09 – Microturбина



Fonte: (Hauqwitz, 2002)

Outras Tecnologias

Além das tecnologias citadas anteriormente existem outras disponíveis como o Ciclo Orgânico de Rankine, Células Combustíveis e Motores Stirling.

Ciclo Orgânico de Rankine (COR)

O Ciclo Orgânico Rankine é mais eficiente que o Ciclo Rankine convencional quando se trabalha com temperaturas inferiores a 300°C, com rendimento elétrico próximo a 20%. Nele se usa um fluido orgânico no lugar da água.

Células Combustíveis (CC)

As Células Combustíveis se assemelham a baterias, através de um processo termoquímico converte combustível em eletricidade, possuem alta eficiência, são silenciosas e não possuem peças móveis. É possível encontrá-las em potências de 5kWe a 2MWe o rendimento elétrico varia de 30 a 60% e podem usar como combustível hidrocarbonetos, álcoois e hidrogênio (Andreos 2013)

Motores Stirling (MS)

Os Motores Stirling podem operar com diversos combustíveis entre eles o etanol, gás natural e a gasolina e até mesmo com calor proveniente de energia solar. O motor possui em seu interior gás sob pressão, quanto este gás é aquecido e resfriado gera gás potência (Carvalho, Silva, Lora, Nascimento, Venturini, Andrade, Cobras, 2006).

O MS tem se mostrado eficiente em cogerações, pode ser aplicado em residências e em sistemas isolados alcançando rendimento elétrico de 6 a 8%, além de disso tem rendimento térmico superior ao MCI, gera menos impacto ambiental e pode trabalhar com combustíveis alternativos (Andreos 2013).

2.3. Resfriadores de Líquido por Absorção (ABS) Chillers

Resfriadores de líquido por absorção (ABS) *Chillers* são que alimentam climatizadores de ambientes com água gelada. Como fonte primária de combustível, os ABS utilizam

calor de energia térmica como água quente, vapores de média ou alta pressão, gases quentes ou também em queima de combustível.

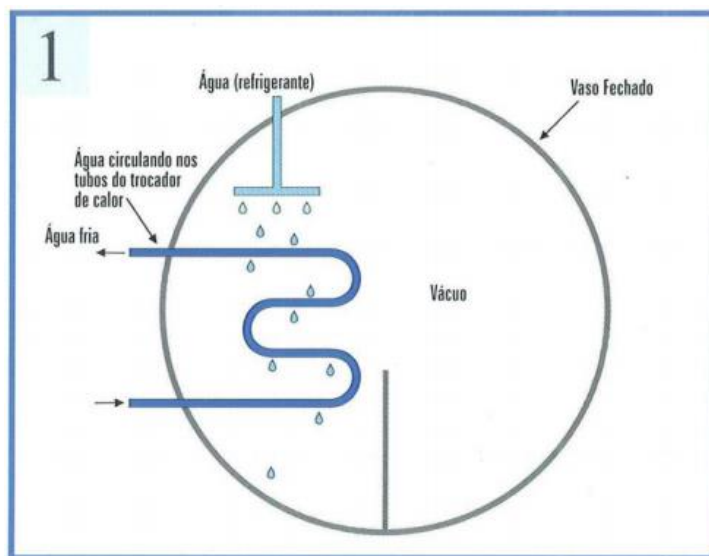
Este tipo de equipamento é amplamente utilizado em sistemas de cogeração em locais que tem demandas simultâneas de energia elétrica e água gelada para climatização de ambientes (como shopping centers por exemplo).

Os equipamentos básicos de um ABS são evaporador, condensador, absorvedor e gerador. Como bem descreve Andreos (2013), as soluções absorvedoras podem ser de Brometo de Lítio (LiBr) ou Amônia (NH_3) quando trabalham com soluções de H_2O . Os equipamentos de Brometo de Lítio podem produzir água gelada a temperaturas de até 6°C , diferentemente dos equipamentos que utilizam Amônia que podem chegar até -20°C .

Abaixo são apresentados os cinco estágios principais de funcionamento:

1) Em primeiro estágio, a água de resfriamento em estado líquido é borrifado sobre os tubos do evaporador que está em vácuo (mmHg) que provoca a transformação da água para o estado gasoso que retira o calor da água gelada passando pelos tubos diminuindo a temperatura média de $12,5^\circ\text{C}$ para 7°C (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2019).

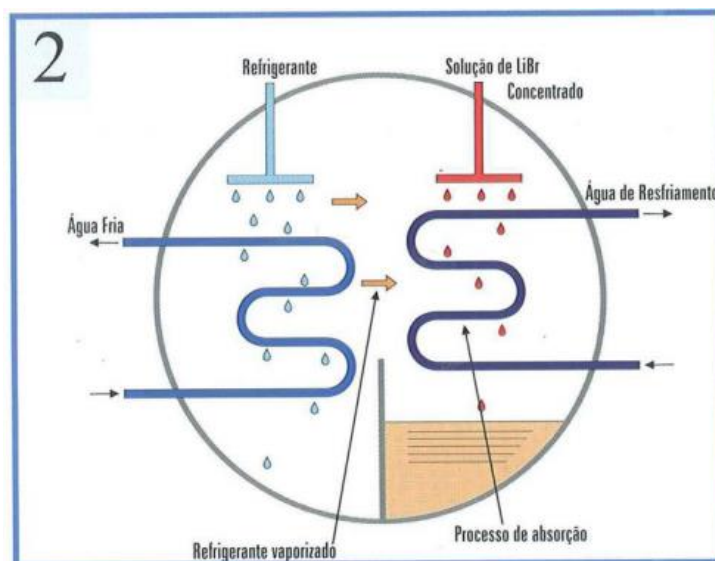
Figura 10 - Etapa 1 do processo de *Chillers* ABS



Fonte: (Andreos, 2019).

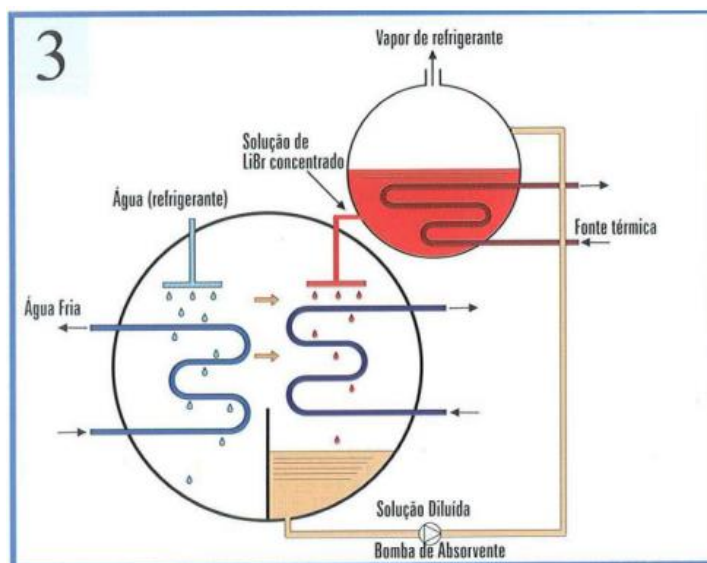
2) Ao mesmo tempo no mesmo compartimento a solução de Brometo de Lítio é aspergida na região do casco do absorvedor. A diferença da pressão e compatibilidade química faz que a solução de LiBr absorva o vapor de água. Esta queda de temperatura, realizada pela passagem da água de torre, condensa a solução que se acumula no fundo do trocador (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2019).

Figura 11 - Etapa 2 do processo de *Chillers* ABS



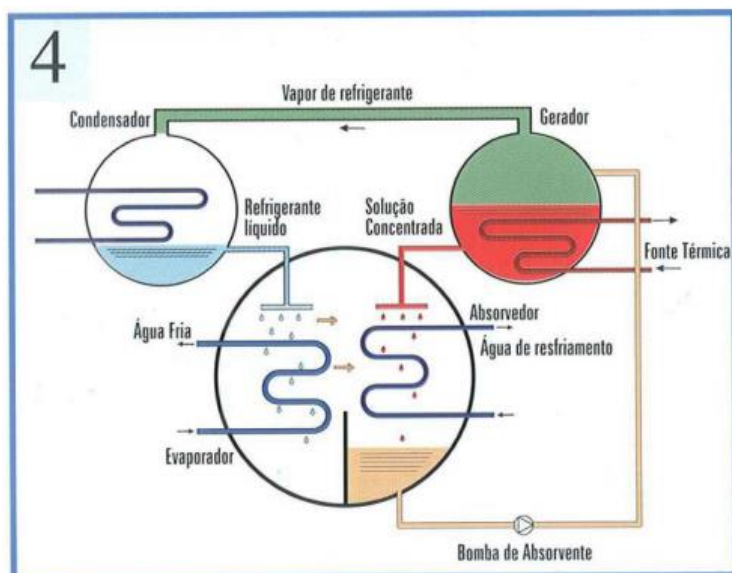
Fonte: (Andreos, 2019).

3) A solução, então fraca ou após a diluição de Brometo de Lítio acumulada, é transportada para o gerador onde o mesmo se encarrega de aquecer o líquido utilizando-se de uma fonte de calor externa onde entre outros, podem ser Óleo Diesel, água quente ou gases. Desta forma as moléculas de H_2O e Brometo de Lítio são separadas no ato da gaseificação (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2019).

Figura 12 - Etapa 3 do processo de *Chillers* ABS

Fonte: (Andreos, 2019).

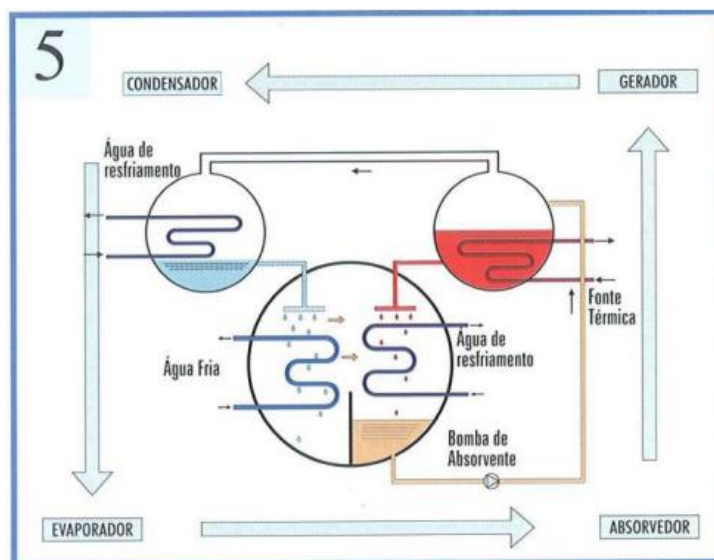
4) A solução de Brometo de Lítio volta ao absorvedor reiniciando o ciclo. A água em estado vaporizado flui ao condensador, sendo condensado e retorna ao estado líquido utilizando-se da remoção de calor pelo resfriamento da água que circula da água da torre.

Figura 13 - Etapa 4 do processo de *Chillers* ABS

Fonte: (Andreos, 2019).

5) Por fim o líquido refrigerante em estado líquido é borrifado sobre tubos do evaporador, formando assim o ciclo básico de um *Chiller* por absorção (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2019).

Figura 14 - Etapa 5 do processo de *Chillers* ABS



Fonte: (Andreos, 2019).

Conforme explica Soler (2013), uma particularidade do sistema de absorção é o consumo baixo de energia elétrica (equivalente a 0,03 kWe por TRh para alimentação de painéis, bombas, válvulas e etc. [ANDREOS, 2013]) entretanto o sistema deverá conter uma fonte térmica de temperatura alta (100°C). O sistema de absorção é maior e mais pesado comparado à um sistema de compressão a vapor e a economia pode ser justificada nos casos onde é disponível uma fonte térmica adequada sendo que no outro caso esta energia seria desperdiçada. Contudo este mesmo sistema dispõe de menor custo de manutenção por utilizar peças móveis e operar com baixas vibrações e ruídos.

Figura 15 – ABS de Queima Direta (a), Vapor (b) e Água quente (c)



Fonte: (ANDREOS, 2013).

Figura 16 – ABS *three fuel*; Vapor, Água Quente e Gás Natural



Fonte: (ANDREOS, 2013)

Diversos equipamentos de tipo Chiller de Absorção por Amônia estão disponíveis com capacidades variáveis até 5 TR e de Bromato de Lítio com capacidades variáveis entre 5 a 6.000 TR*.

Tabela 03 – Principais fabricantes de ABS com representações no Brasil (ANDREOS, 2013)
(Adaptada)

Fabricante	Origem
Carrier	EUA/Coréia/China
LS Cable	Coréia
Thermax	Índia
York	EUA/China
Broad	China

Kawasaki	Japão
Robur	Itália

2.4. Resumo das principais tecnologias

Andreos (2013) com base nas tecnologias de cogeração investigadas, elabora uma tabela resumo das principais tecnologias com ênfase nas vantagens e desvantagens referenciando-se as faixas de geração elétrica.

Tabela 04 – Resumo das características das tecnologias de cogeração (ANDREOS, 2013) (Adaptada)

Sistema	Vantagens	Desvantagens	Pot. Geração Energia Elétrica
Turbina a Gás (TG)	Alta Confiabilidade	Requer gás a alta pressão ou compressor de gás;	500 a 2.500 kW
	Baixa emissão de gases poluentes;	Baixa eficiência com carga parcial;	
	Grande quantidade de energia térmica disponível;	Rendimento depende das condições do ambiente;	
	Não necessita sistema de refrigeração;	Tempo de instalação é alto;	
Microturbina (μTG)	Menor número de partes móveis (baixo desgaste)	Alto custo inicial;	30 a 250 kW
	Pequenas dimensões e baixo peso;	Relativamente baixo rendimento mecânico;	
	Baixa emissão de gases poluentes;	Limitada a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Não necessita sistema de refrigeração;		
	Tempo de instalação é baixo;		
Motor a combustão Interna (Ciclos Otto e Diesel)	Alta eficiência e possibilidade de operar com carga parcial	Alto custo de manutenção;	Ciclo Otto até 8 MW
	Partida rápida;	Limitado a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Relativamente baixo custo de investimento;	Alta taxa de emissão de gases poluentes (ciclo diesel);	Ciclo Diesel de 4 a 80 MW
	Pode ser usado em locais remotos;	Requer sistema de refrigeração;	
	Utiliza gás em baixa pressão;	Alto nível de Ruído	
Turbina a Vapor (TV)	Alta eficiência;	Partida lenta;	50 kW a 250 MW
	Flexibilidade de combustíveis;	Alto custo de investimento	

	Capaz de atender a grandes demandas de calor;	Operação necessita de pessoal especializado;	
	Vida útil longa e de alta confiabilidade;		
	Flexibilidade na relação potência/calor;		
Células a Combustível (CC)	Baixa emissão de gases poluentes e baixo ruído;	Alto custo inicial;	5 kW a 2 MW
	Alta eficiência sobre toda a faixa de potência;	Baixa durabilidade;	
	Flexibilidade modular;	Baixa densidade de potência;	
		Dependência de hidrogênio manufaturado;	

Utilizando a tabela anterior, Andreos (2013) nos destaca as faixas de rendimento elétrico (η_e) e o fator de utilização de energia na cogeração (FUE) conforme:

Tabela 05 – Rendimento elétrico e FUE por gerador (ANDREOS, 2013) Adaptada

* 1 TR corresponde a 12.000 BTU's

Gerador	η_e	Cogeração (FUE)
MCI	25 a 45%	85%
TV	30 a 45%	50%
TG	35 a 45%	75%
μ TG	25 a 33%	85%
Ciclo Combinado	57%	75%

2.5. Configurações básicas da Cogeração

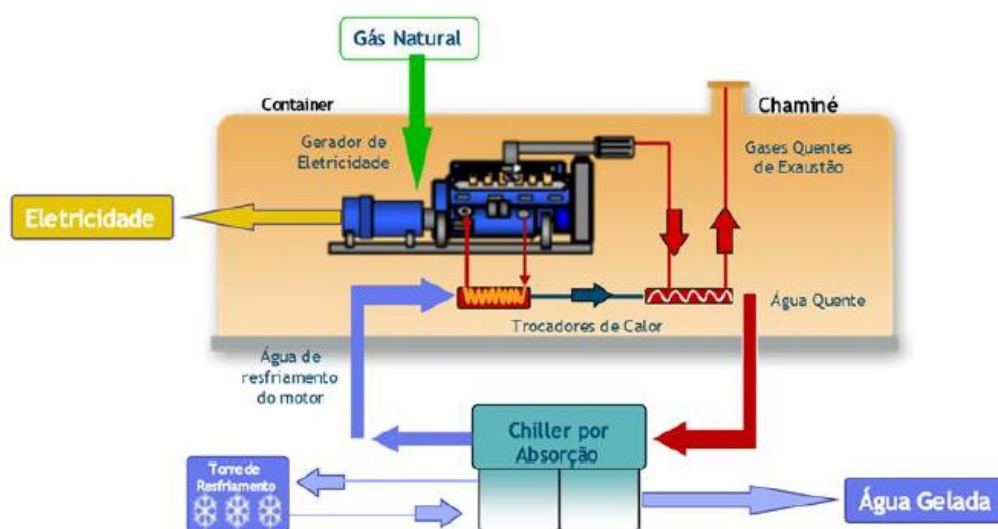
Podemos elencar as principais configurações básicas de cogeração utilizando como vetor a necessidade de utilização da planta conforme é demonstrado abaixo:

- Energia elétrica e água gelada;
- Energia elétrica e água quente;
- Energia elétrica, água gelada e quente;

2.5.1 – Energia elétrica e água gelada;

Conforme afirmação de Andreos (2013), podemos considerar o formato de produção através de Energia Elétrica e Água gelada como a mais básica e mais aplicável no setor terciário.

Figura 17 – Cogeração TC, motor a combustão interna e água gelada



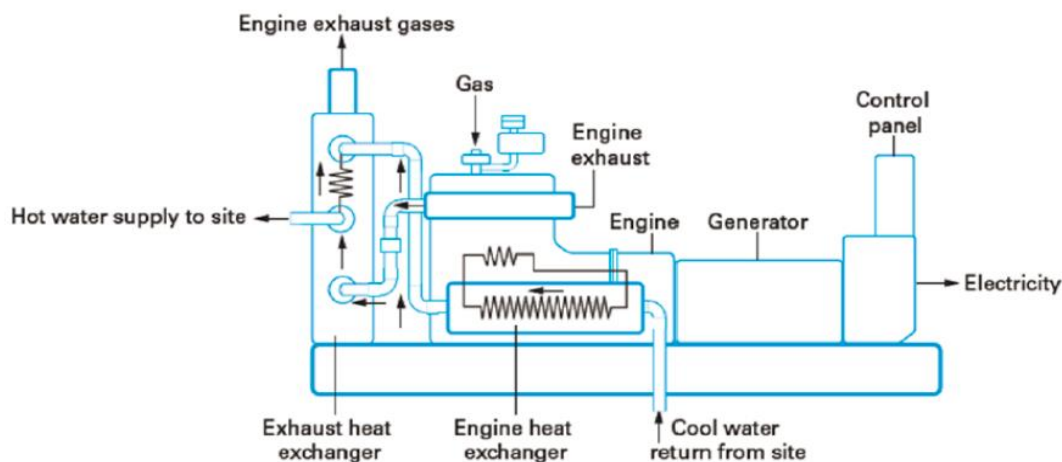
Fonte: (ANDREOS, 2013)

Observa-se que a ilustração acima demonstra a produção de energia elétrica através de um MCI, Topping Cycle onde é possível utilizar o calor residual como fonte de alimentação para um ABS que climatiza ambientes utilizando-se do recurso de produção de água gelada.

2.5.2 – Energia elétrica e água quente;

Outro exemplo que podemos observar é uma planta de cogeração produzindo água quente ao invés de água gelada, mas no mesmo modelo MCI, *Topping Cycle* (ANDREOS, 2013):

Figura 18 – Cogeração TC, motor a combustão interna e água quente

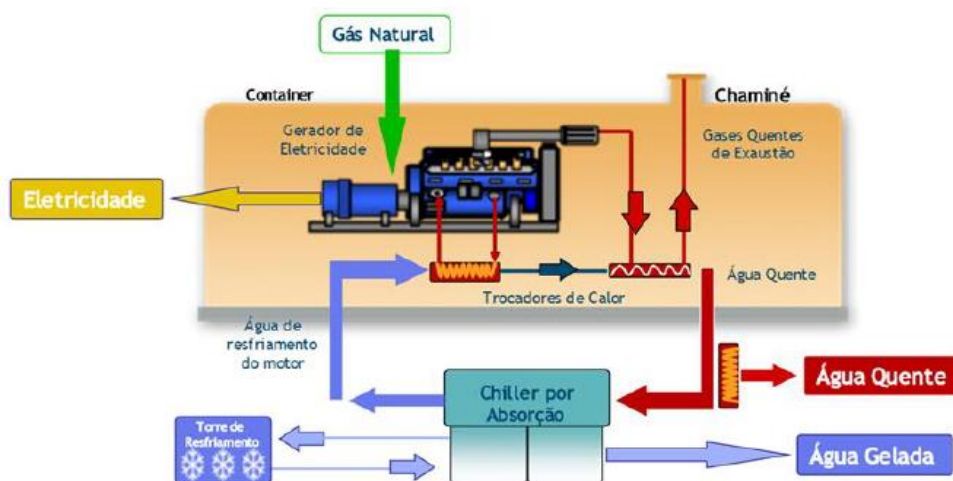


Fonte: (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2019).

2.5.3 – Energia elétrica, água gelada e água quente;

Deste modelo de cogeração, também pode ser chamado como trieração (ANDREOS, 2013) utiliza-se de uma planta de geração MCI, *Topping Cycle* onde o calor residual é recuperado simultaneamente para água gelada e quente:

Figura 19 – Cogeração TC, motor a combustão interna e água gelada e quente



Fonte: (SILVA, 2016)

2.6. Legislação Brasileira

Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996

Traz a definição e regulamenta a autoprodução e produção de energia elétrica com a utilização de fontes alternativas e renováveis.

Lei nº 9.478, de 6 agosto de 1997

Definição da política para uso de fontes de energia com a inclusão das tecnologias alternativas.

Principais Mecanismos Regulatórios – ANEEL

A ANEEL baseada na legislação e através dos dispositivos regulatórios promove a atuação das fontes alternativas de geração de energia elétrica de acordo com:

Qualificação de centrais de cogeração

A resolução normativa 235 de 14 de novembro de 2006 da ANEEL estabelece centrais de cogeração devem atender os requisitos para serem consideradas como cogeração qualificada. Esta resolução estabelece as condições para admissão da qualificação de centrais termoeletricas de cogeração, para admissão nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos.

A central termoeletrica cogeneradora deve preencher os requisitos mínimos, através do cumprimento das inequações (a) e (b).

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (2.6.1)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\% \quad (2.6.2)$$

Energia da fonte (**Ef**): energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico e em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta a energia não utilizável;

Energia da utilidade eletromecânica (**Ee**): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

Energia da utilidade calor (**Et**): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas quentes entregues ao processo industrial as energias frias que retornam à central;

Fator de cogeração (**Fc %**): parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual aproxima-se do conceito de Eficiência energética;

Fator de ponderação (**X**): parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

Tabela 06 – Cogeração Qualificada

Fonte/potência elétrica instalada	X	Fc%
Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão:		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50
Demais combustíveis:		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
Calor recuperado de processo:		

Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

Fonte: (Dados ANEEL)

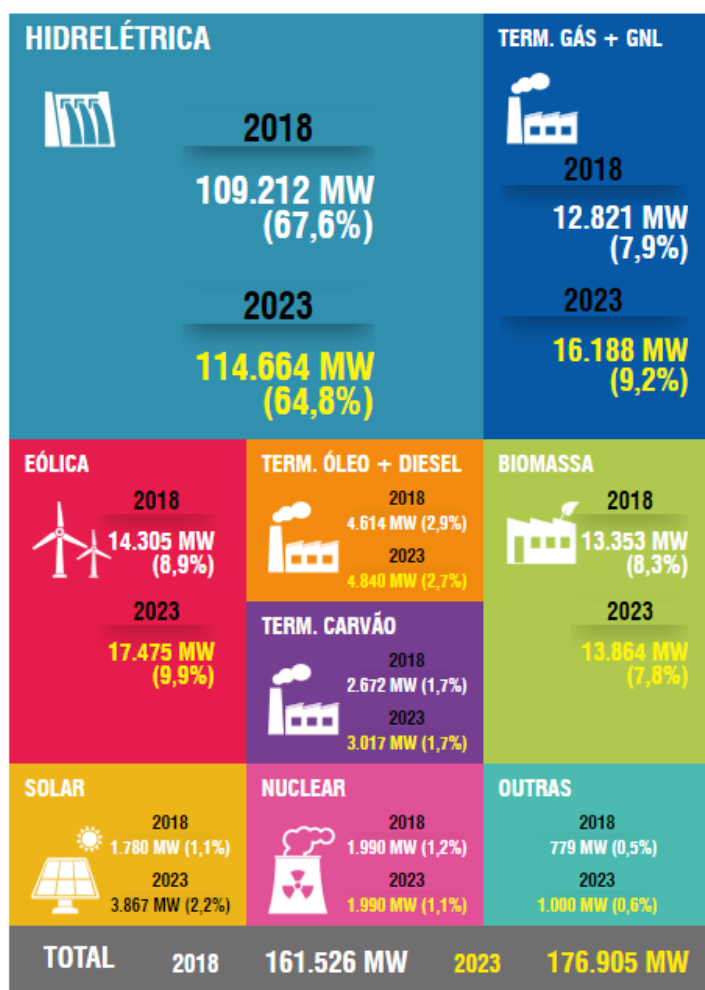
3. QUADRO ENERGÉTICO BRASILEIRO

3.1. Capacidade de geração de energia no Brasil

O Brasil terá em 2023 uma potência instalada de 176.905 MW, destes 64,8% são de usinas hidroelétricas, 9,9% eólicas, 9,2% térmicas a gás e GNL, 7,8% biomassa, 2,7% térmicas a óleo e diesel, 2,2% solar, 1,7% térmicas a carvão, 1,1% nuclear e 0,6% de outras fontes (ONS, 2019).

O Brasil está vivendo mudanças na composição do parque de geração, embora a energia proveniente de hidroelétricas continue sendo a principal fonte de geração, sua contribuição na potência instalada sofrerá redução de 67,6% em 2018 para 64,8% em 2023.

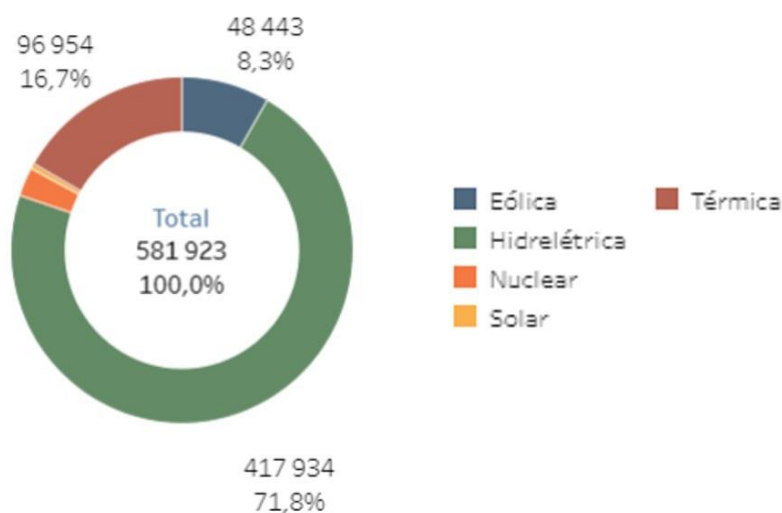
Figura 20 – Capacidade Instalada no SIN – 2018 / 2023



Fonte: ONS 2019

Em 2018 a geração de energia proveniente de hidroelétricas contribui com 71,8%, a geração térmica com participação de combustíveis como gás natural, óleo, carvão, diesel e outros teve uma participação de 16,7% na soma, eólica 8,3% e nuclear com 2,7% (ONS, 2019). O ONS faz a gestão dos recursos e despachos termoeletricos com base nos reservatórios das hidroelétricas que compõem o sistema e os períodos úmidos.

Figura 21 – Geração de Energia Tipo de Usina (ONS 2019)



Fonte: ONS 2019

É sabido que o consumo de energia elétrica está atrelado com o crescimento do PIB, embora o Brasil esteja saindo de uma grave recessão existem previsões otimistas para os próximos anos.

3.2. Dificuldades para criação de hidroelétricas

Tendo em vista a gestão de recursos naturais, ações de sustentabilidade e o custo de geração para o crescimento da matriz energética brasileira a instalação de hidroelétricas seria a melhor opção, entretanto existem alguns obstáculos que cresceram nos últimos anos entre eles.

Hoje os maiores potenciais para instalação de hidroelétricas se encontram no Norte do país, região distante dos grandes centros consumidores. A instalação de hidroelétricas distantes dos centros consumidores, traz a como consequência a

perda de 18% da energia gerada por efeito Joule da geração até a entrega na unidade consumidora.

A instalação de hidroelétricas tem causado grandes impactos ambientais e sociais que são gerados através das desapropriações e inundação de gigantescas áreas, afetando a população regional, causando interferência no ecossistema, trazendo grandes consequências para manutenção da fauna e flora.

Os extensos períodos secos com duração média de 7 meses e as recentes crises hídricas enfrentadas têm cada vez mais gerado a necessidades do acionamento das termoeletricas para complementação da geração.

3.3. Expectativas da capacidade instalada nos próximos anos

Com as dificuldades enfrentadas na instalação de novas hidroelétricas as termoeletricas a gás e GNL passam a ocupar papel importante na evolução da matriz energética, com projeção de crescimento de 39,5% entre o período de 2019 e 2023, no mesmo período verificamos um crescimento de 12,9% nas termoeletricas a carvão e 6,2% nas termoeletricas a óleo e diesel.

Figura 22 – Usinas Biomassa com CVU – Ref.: PMO maio/2019

Tipo	abr/2019		dez/2023		Crescimento abr/19-dez/23	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica	109.648	67,3	114.585	64,4	4.937	4,5
Nuclear	1.990	1,2	1.990	1,1	0	0,0
Gás / GNL	12.803	7,9	17.861	10,0	5.058	39,5
Carvão	2.672	1,6	3.017	1,7	345	12,9
Óleo / Diesel	4.614	2,8	4.900	2,8	286	6,2
Biomassa	13.368	8,2	13.781	7,7	413	3,1
Outras ⁽¹⁾	804	0,5	1.000	0,6	196	24,4
Eólica	14.986	9,2	17.281	9,7	2.295	15,3
Solar	2.053	1,3	3.626	2,0	1.573	76,6
Total	162.937	100,0	178.041	100,0	15.104	9,3

Fonte: PEN2019 - ONS 2019

Os dados apresentados trazem algumas preocupações como:

- Grande probabilidade de aumento no custo da energia elétrica devido ao maior uso de termoelétricas e outras opções de geração.
- Aumento da participação alternativas de geração não renováveis, que geram maiores impactos ambientais.
- Necessidade expansão da rede de transmissão, gerando impactos sociais e ambientais e altos investimentos.

Opção para contratação de energia elétrica

No Brasil temos hoje duas modalidades tarifárias para o mercado interno para comercialização denominados Mercado Livre e Mercado Cativo de energia.

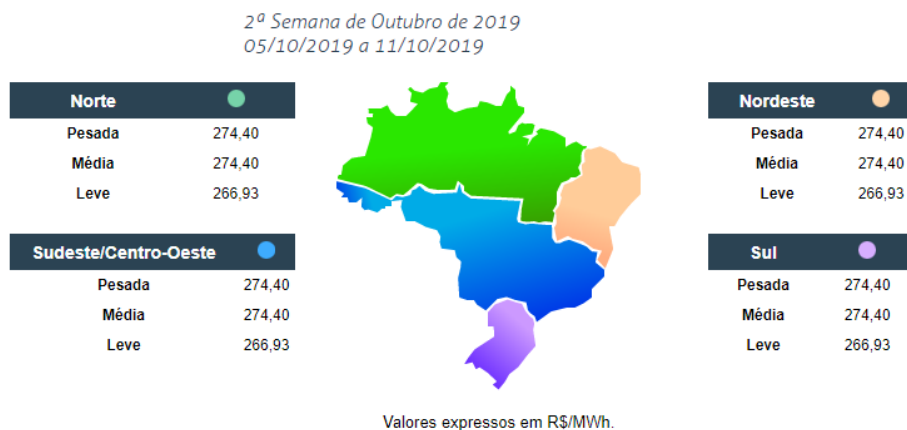
Mercado Livre de Energia

Na modalidade Livre (também chamados de Consumidores Livres) a energia é comprada diretamente de produtores independentes de energia como usinas de cogeração e geradores em cooperativas. Essa energia é vendida na modalidade de *commodity* e o preço é definido em comum acordo entre produtor e consumidor.

Entretanto, para que a produção de energia seja transferida para o consumidor, é necessário que o comprador pague tarifas referentes a TUSD (Tarifa de Utilização de Serviços de Distribuição) e TUST (Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão).

A definição dos sub mercados é de responsabilidade do ONS subdividindo o sistema elétrico brasileiro em 4 regiões. Estas, possuem a divisão de dispõem de 3 patamares de carga para cada um dos subgrupos. Os preços são subdivididos em regiões (chamados de sub mercados) variando semanalmente, conforme indicados abaixo (preços em R\$/MWh):

Figura 23 – Submercados – Subdivididos por Regiões



Semanas de Outubro de 2019

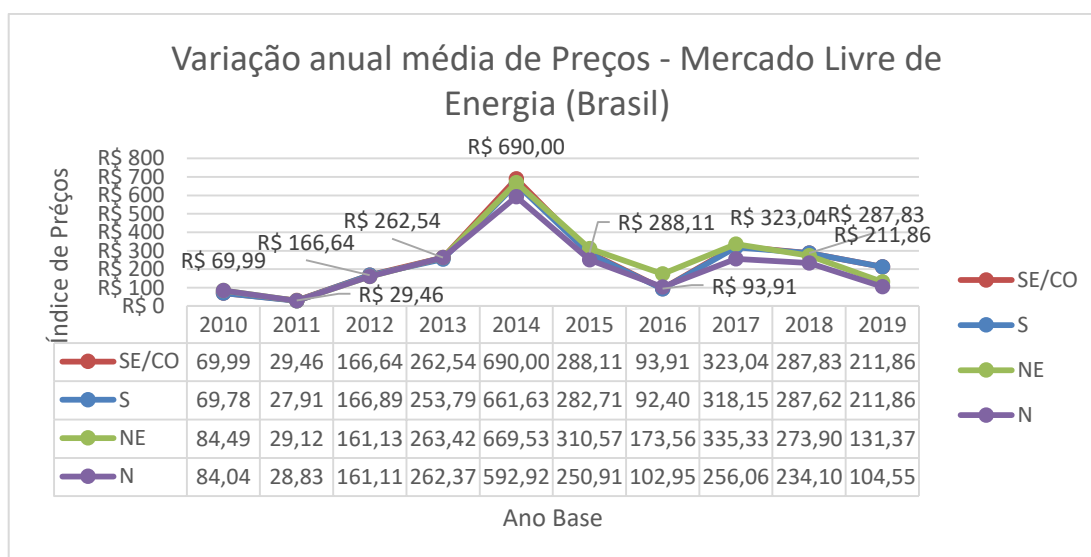
Semana 1 - Período: 28/09/2019 a 04/10/2019											
Sudeste/Centro-Oeste			Sul			Nordeste			Norte		
Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve
241,94	241,94	233,7	241,94	241,94	233,7	241,94	241,94	233,7	241,94	241,94	233,7

Semana 2 - Período: 05/10/2019 a 11/10/2019											
Sudeste/Centro-Oeste			Sul			Nordeste			Norte		
Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve	Pesada	Media	Leve
274,4	274,4	266,93	274,4	274,4	266,93	274,4	274,4	266,93	274,4	274,4	266,93

Fonte: ONS 2019

A energia no Mercado Livre varia muito conforme a volatilidade de ocorrências climáticas ou econômica do país onde cada fator pode elevar ou diminuir os preços. O gráfico a seguir nos mostra as variações de preços dos últimos 10 anos e nos fornece de forma clara essa volatilidade da série histórica:

Gráfico 01 – Variação Anual média de Preços



Fonte de dados: CCEE

É possível observar a volatilidade dos preços, tendo como ápice o ano de 2014 onde foram registrados níveis 3 vezes maiores do que a média dos outros anos. No presente momento também é possível observar que estamos no momento de maior oferta de energia com relação aos últimos 2 anos.

Mercado Cativo de Energia

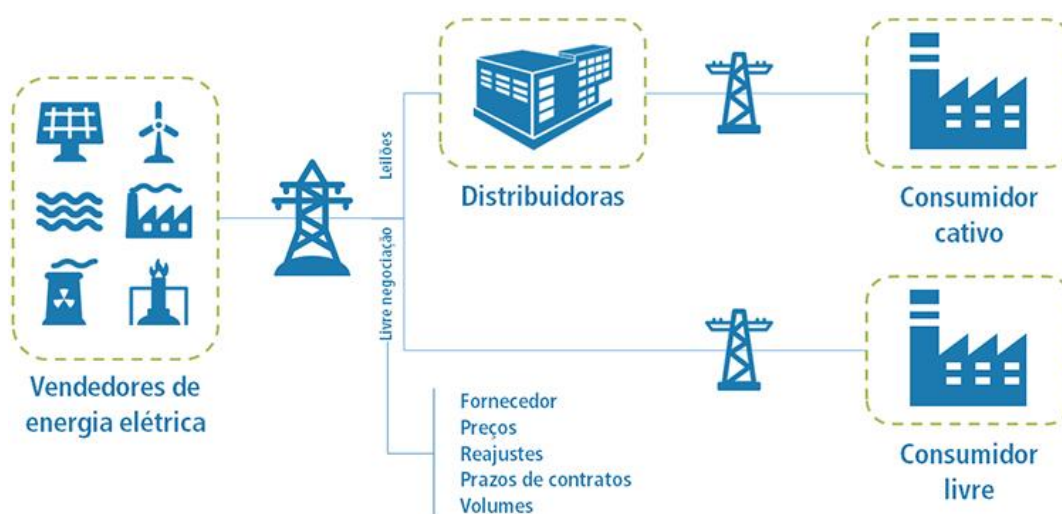
O mercado cativo de energia concentra o maior número de consumidores e também onde a maior demanda é requisitada no Brasil.

Esta modalidade de mercado é basicamente formada pela venda de energia elétrica de concessionárias de distribuição. As empresas possuem, como o próprio nome diz, concessão de áreas para venda de energia para consumidores residenciais, comerciais e industriais nas categorias determinadas pelo órgão regulador, no caso, a ANEEL através de leilões governamentais.

A ANEEL então autoriza que órgãos estaduais possam criar tabelas ao consumidor, por critérios estabelecidos onde é definido os valores a serem cobrados como a TE (Tarifa de Energia) e os impostos sobre a energia e a cobrança da TUSD.

A figura abaixo mostra uma visão macro da geração e distribuição para consumidores cativos e livres no mercado de energia brasileiro:

Figura 24 – Mercado Livre Energia



Conforme dito anteriormente, as tarifas para consumidores cativos são de responsabilidade dos órgãos estaduais e bem como o mercado livre de energia, estes montantes repassados ao consumidor é volátil e respondem a alterações climáticas e econômicas do país.

A tabela abaixo traz dados atualizados de 2019 com as tarifas médias de fornecimento de energia elétrica divididas por classes de consumo em região e nacional:

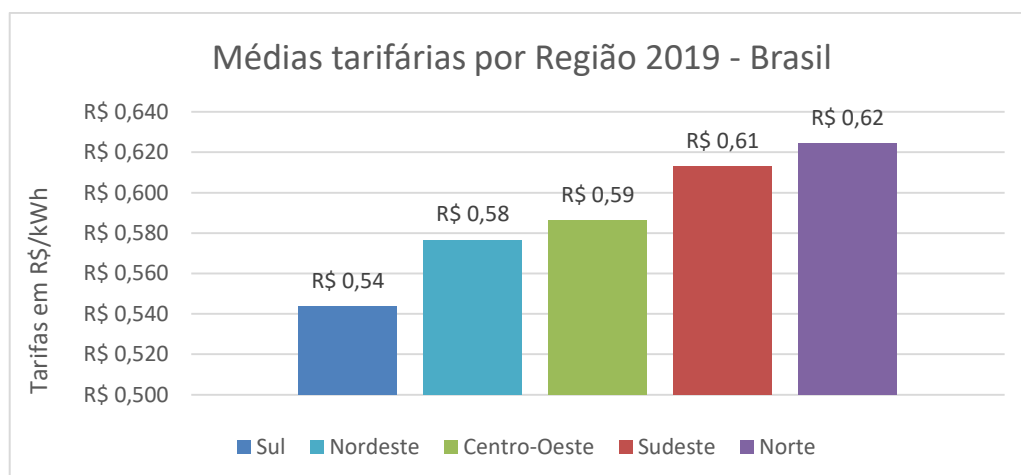
Tabela 07 – Tarifas médias de energia elétrica, sem os impostos

Classe de Consumo - 2019	Região / MWh					
	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Nordeste	Norte	Brasil
Comercial e Serviços e Outras	511.58	515.95	510.44	496.40	610.73	***
Consumo Próprio	501.46	523.60	525.53	509.75	635.82	528.53
Iluminação Pública	286.01	310.32	307.27	297.23	360.07	306.00
Industrial	459.93	473.14	408.51	419.36	516.54	460.30
Poder Público	525.55	518.42	533.95	491.78	602.51	524.13
Residencial	516.89	535.85	550.68	496.29	626.11	531.22
Rural	361.30	391.04	393.29	373.71	453.23	382.04
Rural Aquicultor	299.55	370.09	285.21	247.74	478.77	259.19
Rural Irrigante	343.46	299.32	430.80	244.32	377.98	298.51
Serviço Público (água e esgoto e saneamento)	391.13	391.94	404.36	366.10	464.75	389.55
Serviço Público (tração elétrica)	491.81	460.97	522.54	342.09	426.53	420.34
Totais por Região	431.20	472.86	458.06	581.89	500.82	499.75
Comercial e Serviços e Outras	511.62	524.07	544.55	503.15	610.74	524.88
Consumo Próprio	511.42	526.15	558.91	515.83	636.31	534.70
Iluminação Pública	287.84	318.46	314.93	300.66	360.21	311.39
Industrial	464.15	479.58	498.04	420.23	521.29	469.88
Poder Público	527.67	524.71	552.03	510.80	603.50	533.80
Residencial	517.93	541.81	559.43	503.94	616.88	536.48
Rural	360.95	397.16	416.71	388.54	446.20	389.50
Rural Aquicultor	289.04	378.48	267.54	250.44	481.48	260.70
Rural Irrigante	344.36	331.76	343.37	241.77	339.60	302.25
Serviço Público (água e esgoto e saneamento)	390.75	404.43	410.58	373.21	461.56	397.59
Serviço Público (tração elétrica)	459.28	423.77	527.10	347.58	***	420.67
Totais por Região	475.26	506.88	514.48	463.98	578.48	497.65

Fonte de dados: ANEEL 2019

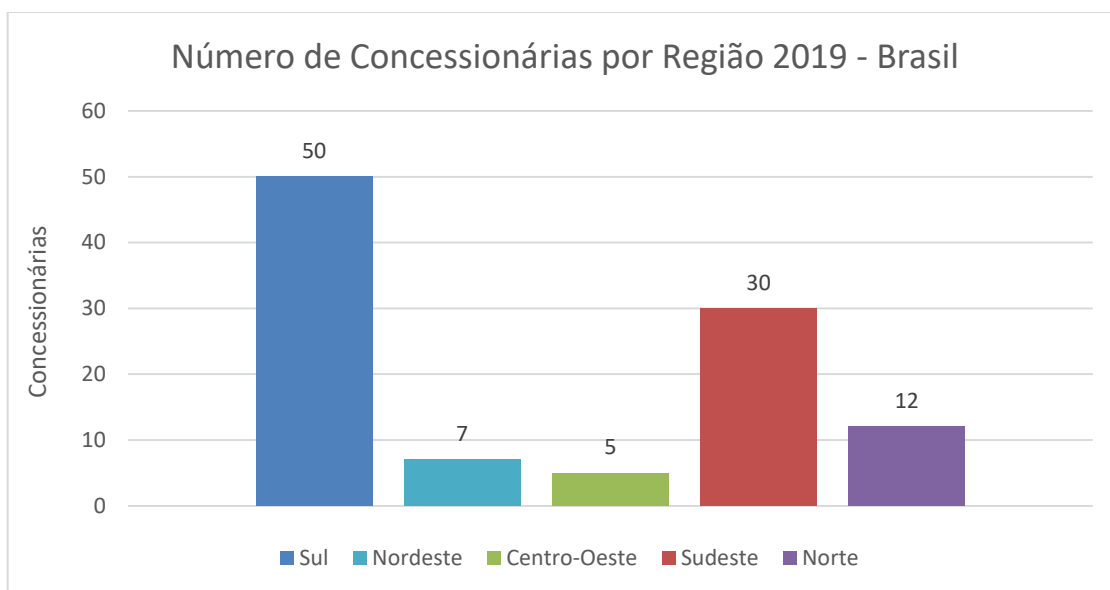
O gráfico abaixo mostra as médias tarifárias atualizadas para cada região no Brasil para a modalidade de clientes residenciais, comerciais na classe B:

Gráfico 02 – Médias Tarifárias por Região no Brasil (ANEEL 2019)



A região que possui menor média tarifária é a Sul e a maior é Norte. A região Sul é onde, segundo dados da ANEEL, possui o maior número de concessionárias e cooperativas de energia criando-se uma concorrência maior e sendo assim, diminuindo as tarifas.

Gráfico 03 – Número de Concessionárias por Região no Brasil (ANEEL 2019)



Entretanto, não é uma regra pois a região Sudeste é a segunda maior em termos de quantidade, porém a demanda de energia exige uma carga maior de transmissão e geração elevando-se as tarifas.

Composições e Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas.

Segundo a REN 414/2010 (ANEEL) o Brasil possui hoje os seguintes grupos e subgrupos de tensão aplicadas:

✓ Grupo A

“XXXVII – grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3kV ou atendidas por sistema

subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizada pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:”

- **Subgrupo A1:** Atendimento em tensão igual ou superior a 230kV;
- **Subgrupo A2:** Atendimento em tensão de 88kV a 138kV;
- **Subgrupo A3:** Atendimento em tensão de 69kV;
- **Subgrupo A3a:** Atendimento em tensão de 30kV a 44kV;
- **Subgrupo A4:** Atendimento em tensão de 2,3kV a 25kV;
- **Subgrupo AS:** Atendimento em tensão inferior a 2,3kV (sistema subterrâneo).

✓ **Grupo B**

“XXXVIII – grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3kV, caracterizada pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:”

- **Subgrupo B1 – residencial;**
- **Subgrupo B2 – rural;**
- **Subgrupo B3 – demais classes;**
- **Subgrupo B4 – Iluminação pública;**

Além dos grupos de atendimento, a regulamentação possui classes tarifárias diferenciadas para cada segmento aplicadas pelas seguintes nomenclaturas:

1. Convencional monômia

É compulsoriamente aplicada aos consumidores do grupo B de forma automática constituída por tarifação simples unicamente composta ao consumo de energia elétrica ativa.

2. Branca

Por resolução normativa REN 733/2016 a tarifação branca poderá ser aplicada para clientes do grupo B (em um primeiro momento opcional) a possibilidade de tarifas variáveis em função do horário de utilização. Desta maneira poderá o consumidor optar por utilização em horários diferenciados em função de maior ou menor utilização, reduzindo o valor pago a concessionária.

3. Horosazonal Verde;

Aplicadas a consumidores do grupo A, ela se diferencia da tarifação comum pois varia de acordo com o período do ano e horas de utilização diária, bem como as condições climáticas do momento. No caso desta tarifação, o preço da demanda de potência é único durante o ano todo.

4. Horosazonal Azul;

Também aplicada para clientes do grupo A, possui a mesma característica da Horosazonal Verde, porém com a variação da demanda de potência ao longo do ano.

Em resumo, as modalidades tarifárias variam de acordo com necessidades de momento e condições climáticas. As tarifas destas modalidades do consumidor cativo, tem estas características de compensar as concessionárias pelo acréscimo de custo em determinados períodos do ano em caso de seca, diminuição de recursos hídricos que acarretam um aumento significativo de produção para atender as demandas.

Vale ressaltar que o cliente deve realizar um estudo para saber qual a melhor escolha dentre as opções para que possa atender a sua demanda e consequentemente diminuição de custos.

Horas de Ponta e Fora de Ponta

Além das modalidades tarifárias, o custo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sofrem alterações durante as horas do dia nos clientes do Grupo A.

Os horários denominados ponta e fora de ponta são indicadores tarifários onde as concessionárias de energia aplicam para custear o atendimento da demanda energética em determinados horários do dia.

A ANEEL define Horário de ponta – P: “Período definido pela distribuidora e aprovado pela ANEEL para toda sua área de concessão, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos

sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados definidos por lei federal”.

E Horário fora de ponta – F: “Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta”.

Abaixo um exemplo de uma concessionária no estado de São Paulo.

Figura 25 – Postos Tarifários

ANEEL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Horários de Ponta

Outorga Selecionada

Concessionária

Distribuidora Selecionada

Elektro

Tipo de Outorga:

Seleção a Distribuidora:

Horários de Ponta:

Concessionária

Elektro

Tout

N°

Distribuidora

Intermediário - 1

PONTA

Intermediário - 2

Intermediário - 1 (Horário Verão)

PONTA (Horário Verão)

Intermediário - 2 (Horário Verão)

40

Elektro

16:30-17:29

17:30-20:29

20:30-21:29

17:30-18:29

18:30-21:29

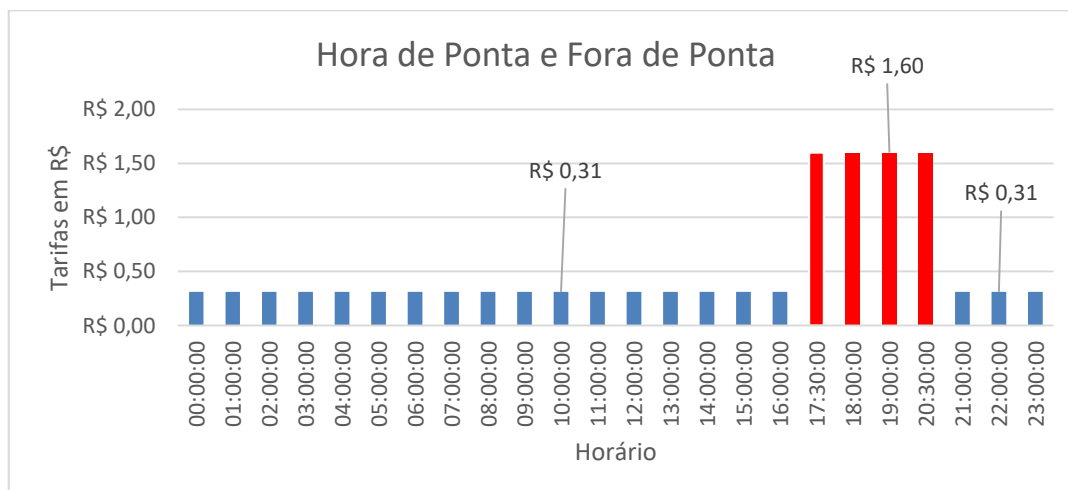
21:30-22:29

SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO TARIFÁRIA - SGT

Fonte: ANEEL 2019

Observa-se que o horário de ponta desta concessionária será entre 17:30 às 20:29 (considerando horário comum).

Gráfico 04 – Horários e Tarifas Aplicadas



Fonte de Dados: ANEEL 2019.

Para esta, aplicam-se as tarifas:

Figura 26 – Azul: Tarifas, Taxas e tributos em uma casa

Modalidade tarifária horária - azul

SUBGRUPO CONSUMO / ENERGIA	TE (R\$/kWh)		TU (R\$/kWh)	
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A2 (88 a 138 kV)	0,39522	0,23298	0,05516	0,05516
A3 (69 kV)	0,39522	0,23298	0,0762	0,0762
A3a (30 kV a 44 kV)	0,39522	0,23298	0,07831	0,07831
A4 (2,3 a 25 kV)	0,39522	0,23298	0,07831	0,07831
SUBGRUPO DEMANDA	TU (R\$/kW)		TU (R\$/kW)	
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A2 (88 a 138 kV)	13,56	9,84	27,12	19,68
A3 (69 kV)	19,92	10,46	39,84	20,92
A3a (30 kV a 44 kV)	46,18	18,98	92,36	37,96
A4 (2,3 a 25 kV)	46,18	18,98	92,36	37,96

Fonte: Elektro 2019

Figura 27 – Verde: Tarifas, Taxas e tributos em uma casa

Modalidade tarifária horária - verde

SUBGRUPO CONSUMO / ENERGIA	TE (R\$/kWh)		TU (R\$/kWh)	
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A3a (30 kV a 44 kV)	0,39522	0,23298	1,20334	0,07831
A4 (2,3 a 25 kV)	0,39522	0,23298	1,20334	0,07831
SUBGRUPO DEMANDA	TU (R\$/kW)			
	Ponta	Fora Ponta		
A3a (30 kV a 44 kV)	18,98	37,96		
A4 (2,3 a 25 kV)	18,98	37,96		

Fonte: Elektro 2019

Observa-se então que as tarifas no horário de ponta são 5 vezes mais caras do que os horários de fora de ponta. Desta maneira um projeto que contemple esta especificidade é importante para um balanço econômico energético. Em alguns casos de consumidores, outras fontes de energia são empregadas para não interromper as atividades (como indústrias ou hospitais). O mais comum é a utilização de grupo motores geradores (GMG) para mitigar os custos elevados.

Bandeiras Tarifárias

Por fim, além de todas as características das tarifações, existem as bandeiras tarifárias, que se alternam durante o ano para também compensar os custos de demandas de energia em casos de escassez de recursos hídricos (que possuem o melhor custo-benefício). Para garantir as demandas é necessário então, o emprego de usinas termoeletricas que por sua vez onera o sistema energético por conta do custo elevado de combustíveis necessários para a produção de energia.

Figura 28 - Características das bandeiras tarifárias (Adaptada)



Fonte: Beenergy 2019

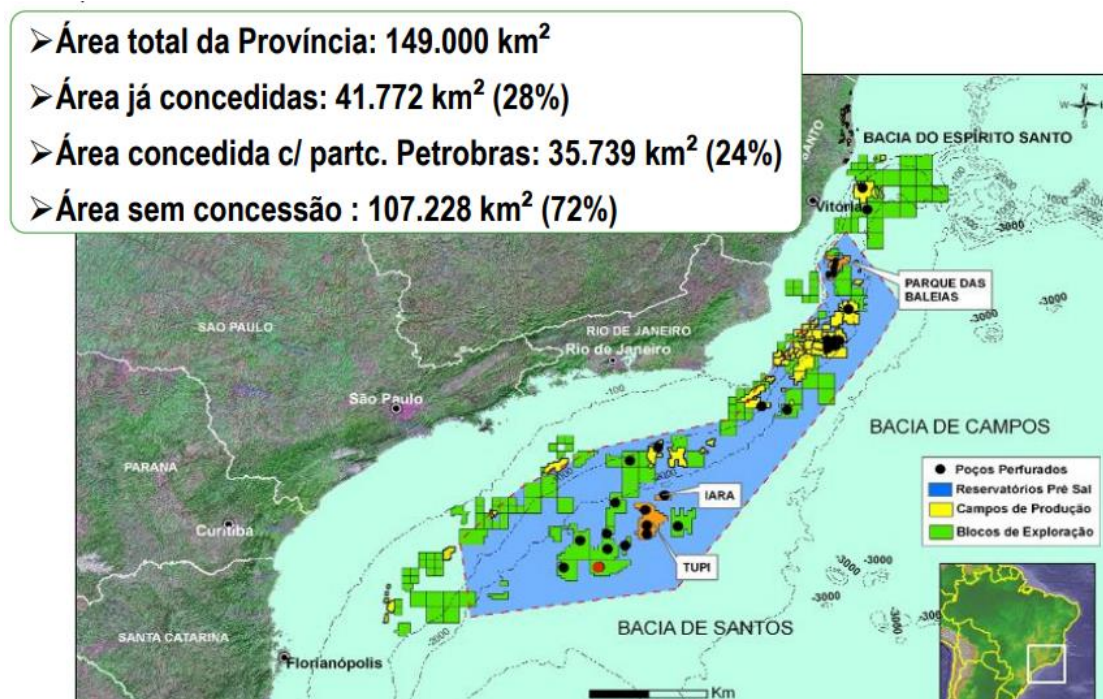
3.4. Gás natural no Brasil

Pré-sal

O pré-sal são grandes reservas de gás natural, localizadas entre 5.000 e 7.000 metros abaixo do nível do mar, a profundidade marítima pode ser superior a 2.000 metros.

Na figura abaixo, a área em azul compreende a região com possíveis reservas no pré-sal.

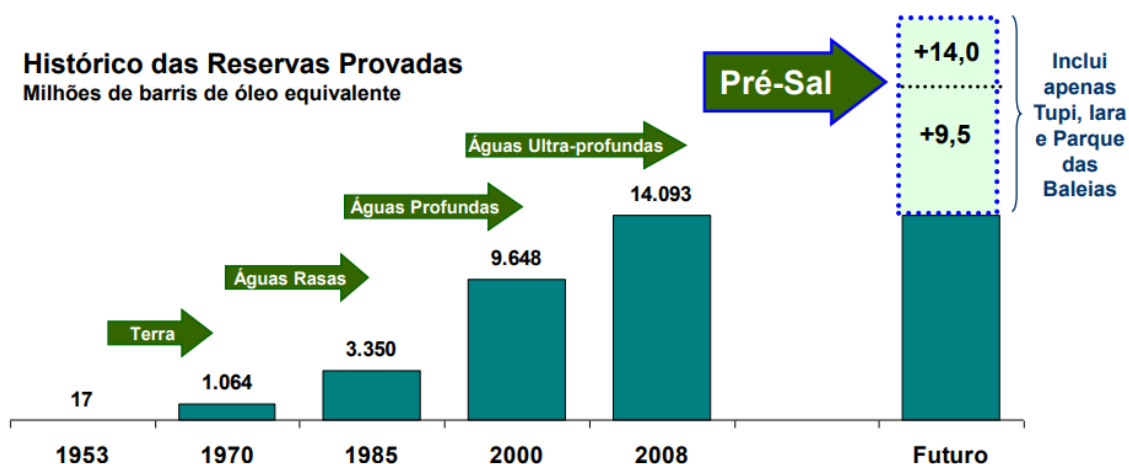
Figura 29 – Mapa do pré-sal



Fonte: MME

Esta área do pré-sal se estende de Santa Catarina a Espírito Santo, com 149.000 m². Em 87% das perfurações feitas no pré-sal da Bacia de Santos a Espírito Santo houve sucesso, já na Bacia de Santos o sucesso nas perfurações é de 100%. Até as novas regiões do pré-sal descoberta a reserva brasileira era de 14.000 bilhões de barris, com a descoberta chegamos 28.000 bilhões.

Figura 30 – Reservas de petróleo no Brasil



Fonte: MME

Nas reservas existe gás associado, que em alguns campos de exploração são queimados no *flare*, porém no contexto que vivemos forte pressão para redução de emissão de gases e impactos ambientais existe tendência que este gás seja extraído para comercialização. Com isto teremos aumento na produção de gás natural.

Novo Mercado do Gás

Com o lançamento do “Novo Mercado do Gás”, programa do Ministério de Minas e Energias a expectativa é que o Brasil retorne aos trilhos do crescimento econômico, com mais dinamismos e competitividade. O programa tem como objetivo buscar melhoria no aproveitamento do gás extraído do Pré-sal, com aumento nos investimentos em infraestrutura para escoar, processar, transportar e distribuir o gás natural e com isto aumentar a geração termoelétrica gás (Ministério de Minas e Energia, 2019), através do fomento da concorrência, da incorporação do gás natural na geração de energia e na indústria, da adequação das regulamentações estaduais e federais e remoção de obstáculos tributários

Previsão de Produção de Gás

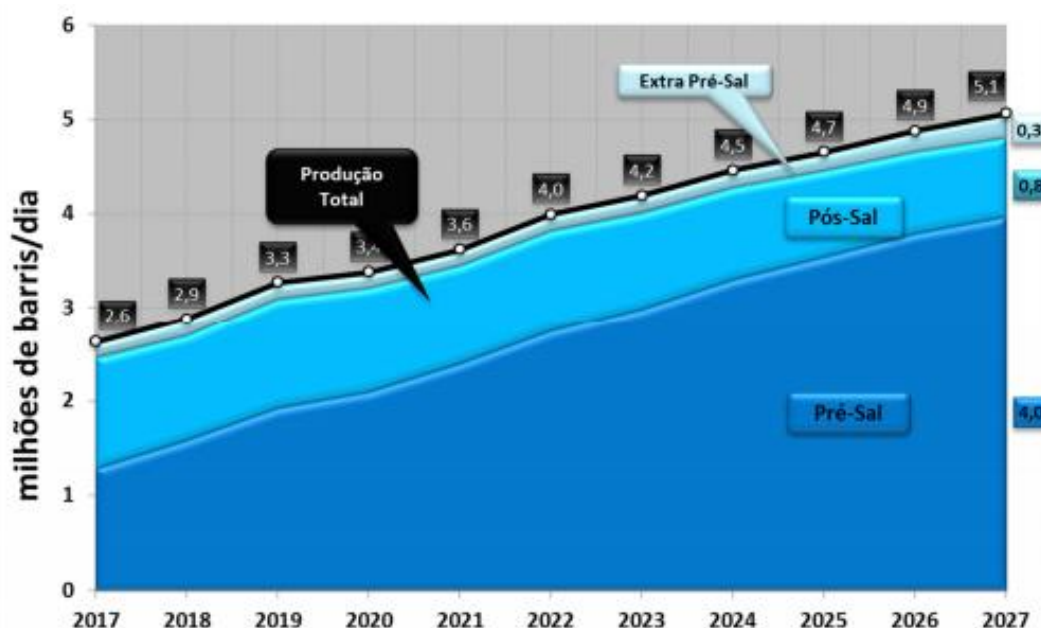
Estima-se que em 2025 a produção de gás natural proveniente da categoria reserva chegue a 160 milhões de m³/dia, sucedida por uma leve queda que será incrementada pela extração de gás do contingente e não descoberto.

Contribuição do pré-sal

Hoje 47% da produção de gás e 40% da produção de petróleo é proveniente do pré-sal. Nos próximos anos a exploração do pré-sal será intensificada o que levará ao aumento na produção.

A estimativa é que no primeiro período de exploração pré-sal que provavelmente se estenderá até 2024 a produção de gás seja modesta, porém após este período teremos um crescimento acentuado grande parte pela extração do pré-sal, onde encontramos gás não associado, chegando a 91 milhões de m³/dia em 2026.

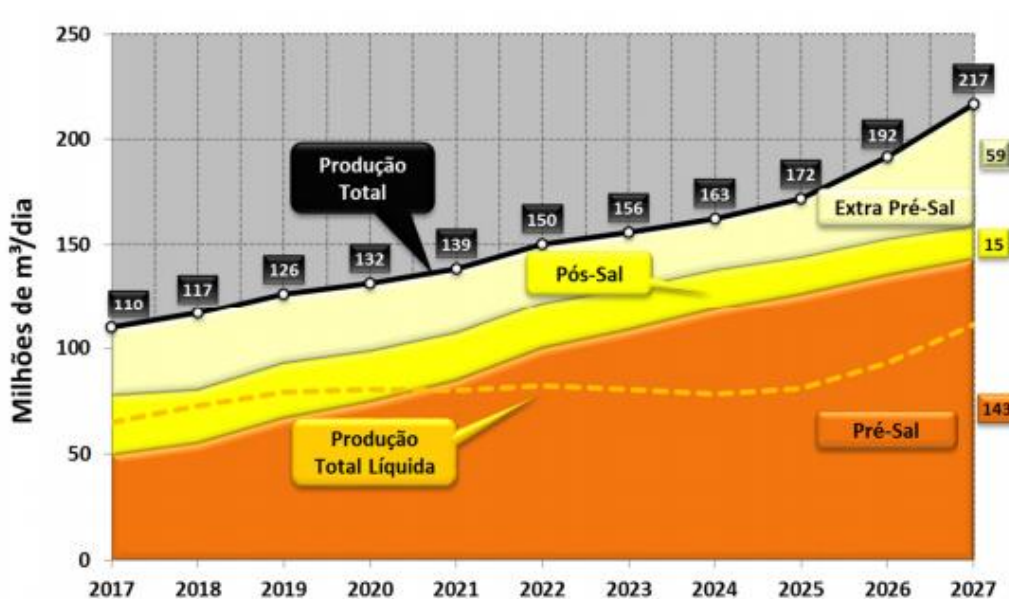
Figura 31 - Previsão de produção bruta diária de gás natural



Fonte: (PDE 2027 – EPE 2018)

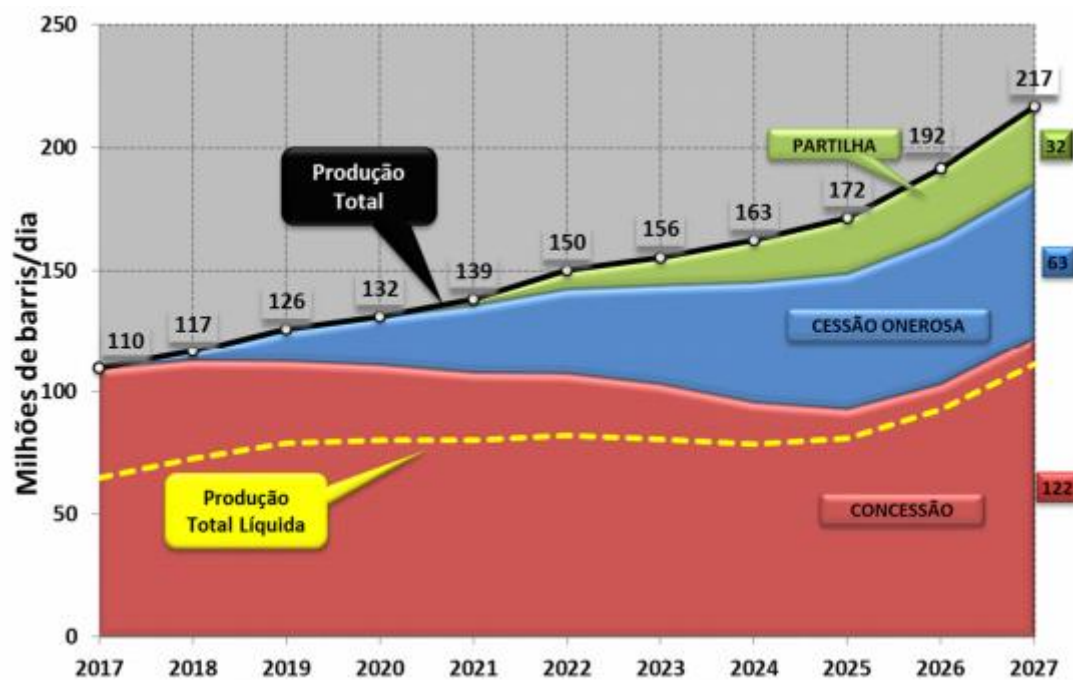
A bacia de Santos, Campos, Solimões e Paraíba são as reservas que mais contribuíram na produção de gás que deve atingir 127 milhões de m³/dia em 2022. O gás associado será a maior parcela da produção, 90% provenientes das bacias de campos e Santos, já o gás não associado terá suas maiores parcelas advindas das bacias do Amazonas, Parnaíba, Sergipe-Alagoas (águas profundas) e Solimões.

Figura 32 - Previsão de produção bruta de gás natural nacional



Fonte: (PDE 2026 – EPE 2018)

Figura 33 - Previsão de produção líquida de gás natural por tipo de contrato



Fonte: (PDE 2027 – EPE 2018)

4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

4.1. Micro e Minigeração Distribuídas

Segundo a ANEEL, inicialmente a **REN 482/2012** outorga e normatiza que qualquer consumidor brasileiro pode gerar a sua própria energia elétrica utilizando fontes renováveis ou através de cogeração qualificada podendo fornecer a energia excedente para a rede elétrica gerando créditos em fatura para utilização futura. Com esse incentivo o consumidor ajuda a reduzir o impacto ambiental, diminuição de perdas de transmissão e distribuição e redução no carregamento das redes.

Contudo, afim de melhorar o acesso à informação nas faturas de energia, redução de custos e tempo de espera para acesso a mini e microgeração no Brasil, está em vigor a **REN 687/2015** que compatibiliza o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (**REN 414/2010**) aumentando o público alvo e revisando a **REN 482/2012**.

4.2. Definições específicas

Conforme citado anteriormente, é permitido o uso de qualquer fonte renovável ou cogeração qualificada conectadas a rede de distribuição através das unidades consumidoras que estejam em acordo com as especificações da **REN 687/2015**.

Elenca-se então as principais características:

Da ordem de potência:

- **Microgeração distribuída:** potência instalada até 75KW;
- **Minigeração distribuída:** potência acima de 75KW até potência igual ou inferior à 3MW para recursos hídricos e até 5MW para cogeração qualificada;

Da ordem de tipos de conexões:

- **Autoconsumo remoto:** Característica no qual unidades consumidoras de mesmo titular, tanto de pessoas físicas quanto jurídicas dentro da mesma área de

concessão que possuam com microgeração ou minigeração distribuída em locais diferentes das unidades consumidoras a utilizar a energia excedente para faturamento.

- **Geração Compartilhada:** reunião de consumidores dentro da mesma área de concessão através de consórcio ou cooperativa da ordem de pessoa física ou jurídica que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras que a energia será compensada. Quando escolhida a opção de consórcio para reunião de unidades consumidoras participantes da geração compartilhada o consórcio deve ser constituído de acordo com a Lei 6.404/76 e na Instrução Normativa da Receita Federal do Brasil nº 1.634/2016 neste caso o titular da unidade é a unidade consumidora com a geração distribuída, ou a Lei nº 11.795/2008 quando a administradora do consórcio é a titular da unidade consumidora com geração distribuída. Caso a opção seja por cooperativa o Código Civil (arts. 1.093 a 1.096) e a Lei nº 5.764/61 regem as regras.

- **Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras:** A fração de energia gerada através de microgeração ou minigeração distribuída para uso dentro da mesma propriedade ou propriedades contíguas, unidades consumidoras de uso individualizado no próprio empreendimento ou áreas comuns, a serem compensadas.

Da ordem de faturamento:

- **Créditos de energia:** Os consumidores que possuírem geradores compartilhados, em caso de excedente de energia (geração do sistema maior do que consumido da concessionária) é criado um “crédito de energia” que o consumidor poderá utiliza-la até 60 meses a partir da data do crédito. Nos casos de autoconsumo remoto ou geração compartilha o titular da unidade consumidora com geração distribuída é responsável por informar a distribuidora o percentual de energia excedente disponibilizado para cada uma das unidades consumidoras.

- **Faturamento mínimo:** Em caso de o gerador distribuído exceder a quantidade de energia consumido da concessionária no mês vigente, o consumidor cativo deverá ainda assim pagar à concessionária de energia conforme abaixo:

1. **Cientes Grupo A:** A fatura de energia constará como “zerada”, mas terá o pagamento da Demanda de energia contratada.
2. **Cientes Grupo B:** A fatura de energia constará como “zerada”, mas terá o encargo conforme:

Faturamento Monofásico	Faturamento Bifásico	Faturamento Trifásico
30 kWh * TE	50 kWh * TE	100 kWh * TE

*TE = Tarifa de Energia

Cada concessionária é responsável pelas tarifas de energia e demanda contratada dentro das outorgadas juntos a ANEEL.

4.3. Vantagens da geração distribuída

Segundo Naruto (2017) podemos destacar diversas vantagens e desvantagens da geração distribuída em segmentos econômicos, políticos, sociais e técnicos. Para tal levantamento é importante ressaltar que os pontos a serem apresentados referem-se a um sistema elétrico complexo que pode reagir de forma diferenciada em cada conjunto de operações.

4.3.1 Vantagens Econômicas

4.3.1.1 Consumidor Final: Independência de fatores de crescimento de tarifas de energia por motivos diversos no mercado de energético;

4.3.1.2 Incentivo Fiscal: O governo no atual momento, subsidia diretamente a geração distribuída como desoneração de impostos de equipamentos como Módulos Fotovoltaicos.

4.3.1.3 Falhas Técnicas: com a redução da demanda de energia do sistema interligado, a geração distribuída contribui para redução de falhas na rede devido a

demanda alta em casos específicos, horários e aumentando o tempo de vida de diversos equipamentos do sistema como um todo.

4.3.1.4 Área Ocupada: A geração distribuída ocupa espaço antes subutilizados como telhados de residências e estacionamentos em grandes shoppings centers, por exemplo. Em casos de outros tipos de usinas, como termelétricas ou hidroelétricas, a ocupação pode ser em áreas urbanas e grandes latifúndios, respectivamente, que poderiam ser utilizados de outras formas.

4.3.1.5 Sistema de Compensação (*net meeting*): Em caso de exceder a geração em face da consumida por uma unidade consumidora, o consumidor recebe como créditos para utilização em faturas futuras que, por exemplo, no inverno que a incidência de raios solares é menor e a geração dificilmente ultrapassa o consumido.

4.3.1.6 Redução de Custos da Geração, Transmissão e Distribuição: A diminuição da demanda de energia provoca também a redução dos custos de geração das unidades geradoras de grande porte, diminui as perdas de transmissão e distribuição (por efeito Joule, por exemplo), ajudando a reduzir também o desgaste dos equipamentos.

4.3.2 Vantagens Políticas

4.3.2.1 Malha Energética: O Brasil possui extensões continentais e mesmo assim, de acordo com o Operador do Sistema Elétrico Nacional (ONS), a malha energética do país alcança 98,3% e uma vasta extensão de linhas de transmissão de alta tensão. Entretanto, mesmo com o controle e alcance do sistema energético interligado, picos de demanda, conforme aumento econômico, podem onerar o sistema e provocar sobrecarga energética devido a dificuldades de manutenibilidade das usinas e interligações.

A geração distribuída propõe a pulverização de geração de energia, aumentando a confiabilidade energética em casos de desastres naturais e outras situações, que

possam comprometer a matriz energética. Vale ressaltar que o aumento do PIB do país está diretamente ligado ao consumo energético.

4.3.3 Vantagens Sociais

4.3.3.1 Impactos ambientais: Quanto maior é a usina geradora centralizada, maior será o impacto ambiental na região. Hidroelétricas de grande porte tem impacto significativo em desapropriações de terras, desmatamentos, alterações no ecossistema local, entre outros. A geração distribuída possui um papel fundamental neste ponto, pois o conceito principal é a geração no próprio local sem acarretar grandes alterações no entorno.

4.3.3.2 Saúde: Comparado a usinas termoeletricas, a geração distribuída propõe uma capacidade de geração elétrica com reduzido impacto ambiental. Usinas solares, eólicos e biomassa, emitem baixo ou nenhuma emissão de gases tóxicos na atmosfera, ajudando o planeta no âmbito de aquecimento global.

4.3.3.3 Geração de emprego: Com o aumento das pequenas centrais de energia elétrica, uma nova modalidade de emprego é criada com pessoal técnico especializado para instalação e manutenção dos equipamentos.

4.3.3.4 Desenvolvimento em regiões remotas: Com o crescimento de tecnologias distribuídas e autônomas, lugares antes com difícil acesso a rede elétrica, cria-se uma possibilidade de desenvolvimento social com o uso de equipamentos que dependem de fatores naturais como solar e eólica bem como os sistemas denominados *offgrid* (equipamento que independe de conexão com a rede elétrica).

4.3.4 Vantagens Técnicas

4.3.4.1 Picos de energia: Conforme mencionado anteriormente, um sistema totalmente dependente de uma única fonte de energia pode, e ocorrerá, situações em que a demanda de energia será grande, ocorrendo picos de energia onde o

mesmo poderá ou não suportar. Uma das propostas da geração distribuída é mitigar as probabilidades de quedas de energia em caso de demandas esporádicas, uma vez que o próprio consumidor poderá gerar a sua própria demanda.

4.3.4.2 Perdas no Sistema Elétrico: Com maior consumo, fisicamente as perdas por geração transmissão e distribuição, ocorrem a todo momento de transição e uso. Com o uso descentralizado de geração de energia, essas perdas são reduzidas significativamente.

4.3.4.3 Diminuição de faltas, controle e confiabilidade do sistema: Com o sistema mais descentralizado, a probabilidade de faltas de energia por sobrecarga, desastres naturais, acidentes, entre outros, aumentam a confiabilidade do sistema como um todo. Os Equipamentos podem (e serão) capazes de controlar os níveis de tensão de rede, aumento de reativos, além de um maior controle dos órgãos de fiscalização e gerenciamento, para que a rede como um todo possa ser gerenciável. O conceito de microrede é um apelativo grande para um futuro próximo, pois baseia-se no melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

4.4 Desvantagens da geração distribuída

Partindo dos mesmos pontos anteriormente citados, sobre as vantagens, será demonstrado a seguir os contrapontos da geração distribuída:

4.4.1 Desvantagens econômicas

4.4.1.1 Custos de Distribuição: Apesar das grandes vantagens demonstradas anteriormente, ainda assim uma padronização do sistema para aceitar os novos conceitos de geração de energia, demanda um custo para as operadoras afim de regulamentar, fiscalizar e treinar profissionais para essa nova modalidade. Em casos de falha em verificar os equipamentos, podem ocorrer custos com manutenção, substituição, entre outros.

4.4.1.2 Custos operacionais e de geração: Quanto maior e mais complexo é a matriz energética, maior será o custo para gerenciamento do mesmo. Estudos e análises do sistema são necessários durante toda a operação considerando novos equipamentos interligados. Em contra partida, com o aumento de geração distribuída, as geradoras centralizadas iniciais, podem sofrer perdas de receitas e até a diminuição da geração que poderá inviabilizar economicamente a central.

4.4.1.3 Redes inteligentes: Aumentando-se a complexidade do sistema, é inevitavelmente necessário um acréscimo de investimento em áreas de gestão e controle. Com isso, pessoal com capacidade técnica será cada vez mais necessário.

4.4.2 Desvantagens Políticas

A pesar de todas as vantagens neste ponto relacionadas acima, um ponto importante a considerar, é questão de planejamento estratégico de crescimento energético do país, uma vez que com a geração distribuída fica mais pulverizada e, em alguns casos, difíceis de analisar. A infraestrutura do país é dependente da matriz energética e pode afetar a evolução em alguns aspectos governamentais.

4.4.3 Desvantagens Técnicas

4.4.3.1 Alteração de Procedimentos: Com o aumento de equipamentos novos e diferenciados, os procedimentos das concessionárias de energia deverão ser alterados afim de evitar problemas futuros em seus sistemas de distribuição, desvios técnicos e modos de operação. Para exemplificar, as concessionárias atualmente exigem que equipamentos de energia solar devam possuir o selo de controle do INMETRO, provando que as condições regulatórias da concessionária e da ANEEL estão sendo cumpridos rigorosamente. Entretanto, sempre é necessária uma fiscalização em toda a cadeia, antes, durante e após o processo de instalação dos sistemas.

4.4.3.2 Sistemas de proteção: Tecnicamente, as usinas geradoras foram desenvolvidas para que seu fluxo de potência seja unidirecional, portanto, não possuem proteções contra fluxos reversos. Com o aumento de sistemas de geração distribuída, poderá ocorrer inversão no vetor de fluxo podendo ocasionar problemas sérios. Para tal, é necessário adaptações nas estações de tratamento de energia (subestações) com níveis de proteções elétricas mais robustas. A falta deste tipo de tratamento, poderá onerar o sistema acarretando a perda da qualidade de energia entregue.

4.4.3.3 Coordenação dos sistemas de energia e outros detalhes: A tensão e frequência dos sistemas de energia são pontos importantes na medição na qualidade de energia como os harmônicos. As medições de qualidade são indicadores importantes para os consumidores, principalmente indústrias. Desta forma é necessário que sejam empregados equipamentos para corrigir distorções, sobretensão, distorção harmônica e correção de potência reativa.

Outro detalhe importante é o sincronismo entre as fontes de energia, pois a transmissão de grandes distâncias, equipamentos em outros pontos da rede, poderão gerar problemas no paralelismo. Este paralelismo é importante para o sistema de religamento automático na ocorrência de faltas transitórias. Em caso de falta de sincronismo, poderá prejudicar a qualidade de energia para maquinários pesados e até danos aos equipamentos.

4.5 Tipos de Geração Distribuída

Nos dias atuais, existem diversos tipos de equipamentos e sistemas para geração distribuída, dentre os quais são destacados as CGH's, PCH's e as três de grande utilização que são Solar, Eólica e Biomassa. O foco deste estudo foi destacar estes três tipos, mostrando quais são as características, evolução e expectativas para os próximos anos.

4.5.1 Biomassa

Os Geradores à Biomassa são constituídos por material orgânico, como rejeitos e resto de animais e vegetais, resíduos florestais, agrícolas e itens de uso para outros segmentos como bagaço de cana de açúcar e etc.

São considerados todos e quaisquer itens que sejam rejeitos renováveis, excluindo-se alguns itens como carvão, minérios e petróleo que, embora sejam naturais, exigem milhares de anos para se renovar.

Figura 34 – Queimador à Biomassa



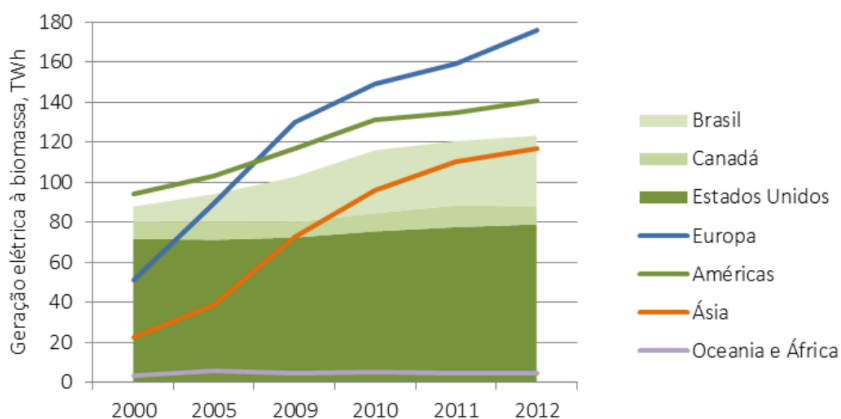
Fonte: Lippel Equipamentos

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos (ATLAS, 2008). Ela é um importante recurso natural a ser explorado, pois aliada à produção industrial do país, usa-se o que antes era descartado, e por inúmeras vezes, de maneira errada.

Segundo estudos realizados pela Associação Mundial de Bioenergia (WBA) entre os anos de 2000 e 2012, a geração elétrica à biomassa cresceu 140% no mundo e, em 2014 segundo este relatório, a potência instalada para geração elétrica segundo fontes renováveis (excluindo-se a hidráulica), correspondia a 14% da capacidade

renovável total. O gráfico abaixo exemplifica a evolução no mundo da geração elétrica à biomassa:

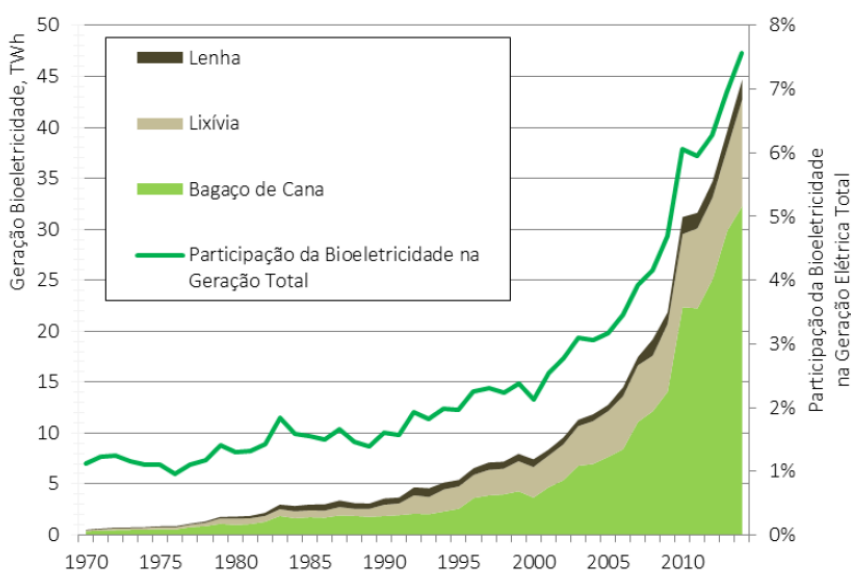
Figura 35 – Crescimento da geração elétrica à biomassa no mundo



Fonte: EPE 2016

No Brasil, a principal maneira de obtenção da chamada Bioeletricidade é através da cogeração onde um processo industrial, como nos segmentos de sucroenergético ou papel e celulose. Destes processos, pode haver geração excedente de Bioeletricidade, passível de ser comercializada. As usinas de tratamento vêm se modernizando gradativamente tornando seus processos mais eficientes e ampliando suas receitas através de geração energética.

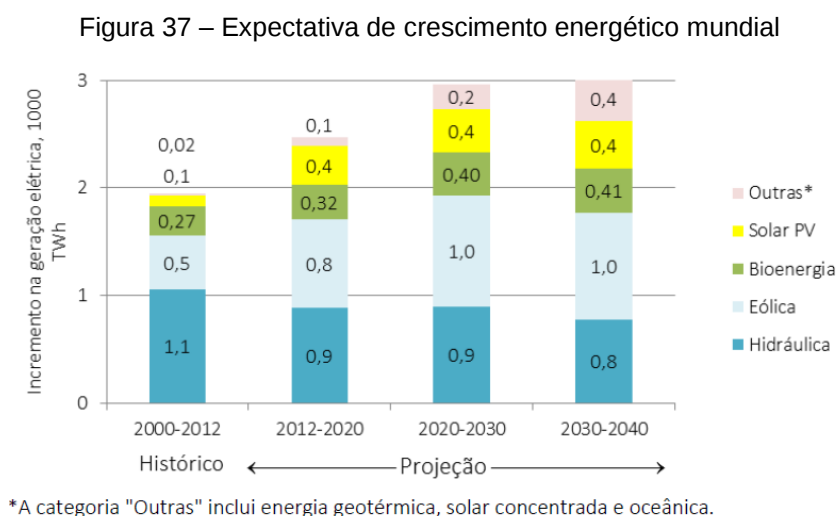
Figura 36 – Evolução da oferta de Bioeletricidade



Fonte: EPE 2016

Nos últimos anos, é possível observar um crescimento na oferta de Bioeletricidade, pois aumenta cada vez mais a preocupação em como aprimorar os processos de produção e reaproveitamento de matéria orgânica para melhorar a matriz energética brasileira.

A Agência Internacional de Energia (IEA) estima que o crescimento para os próximos anos, no mundo, terá um aumento expressivo conforme dados no gráfico abaixo:



Fonte: EPE 2016

Contudo, se tratando de nível nacional, é possível observar entraves para a expansão desta matriz energética, pois o setor demanda judicialização do mercado em curto prazo para que as usinas tenham lucros relativos à produção, de maneira que seja vantajoso para ambos os lados.

4.5.2 Eólica

A característica principal desta fonte renovável, é o aproveitamento dos ventos para rotacionar motores (aerogeradores) transformando essa energia cinética em eletricidade. Possuem diversos tipos e tamanhos dedicados para cada região, de acordo com a especificidade do local. Este local deverá ser estudado para que o sistema seja o mais eficiente possível a fim de aplicar o maior aproveitamento das hélices e pás que constituem o equipamento.

Basicamente, existem dois tipos de rotores, de eixo vertical e horizontal, que se

diferenciam pela sua relação ao vento. Os de eixo horizontal são os mais comuns que vemos nas regiões costeiras.

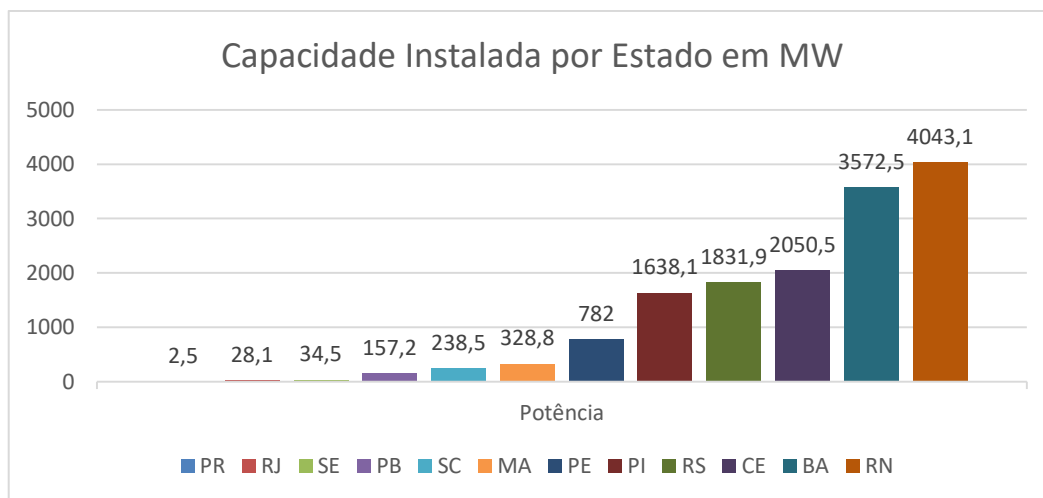
Figura 38 – Parque Eólico no Rio Grande do Norte



Fonte: internet.

O Brasil possui um dos maiores potenciais para geração de eletricidade através deste sistema, devido a suas grandes extensões litorâneas e características ambientais favoráveis.

Gráfico 05 – Capacidade Instalada de sistemas eólicos por Estado em 2018

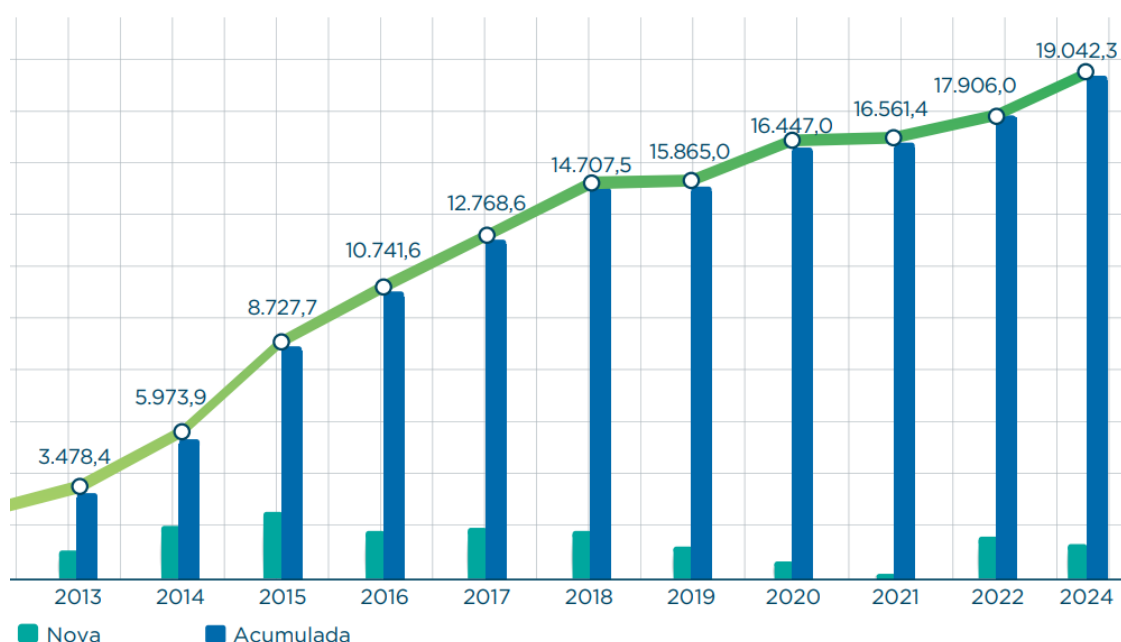


Fonte de Dados: ABEEólica

No último ano, a região nordeste atingiu a maior marca histórica de produção, chegando a produzir 89% da energia consumida, representando 9% da produção energética do país.

Segundo dados da ABEEólica, o Brasil possuirá nos próximos 5 anos, em torno de 25% a mais de capacidade instalada aumentando cada vez mais a sua participação na matriz energética brasileira.

Figura 39 - Participação na Matriz energética brasileira nos próximos anos



Fonte: ABEEólica

Para que este crescimento aconteça, é impreterível, que nos próximos anos, existam novos estudos de tecnologias para o aumento da eficiência e energética e uma política pública, que propiciem investimentos desta fonte renovável, como por exemplo os leilões de energia.

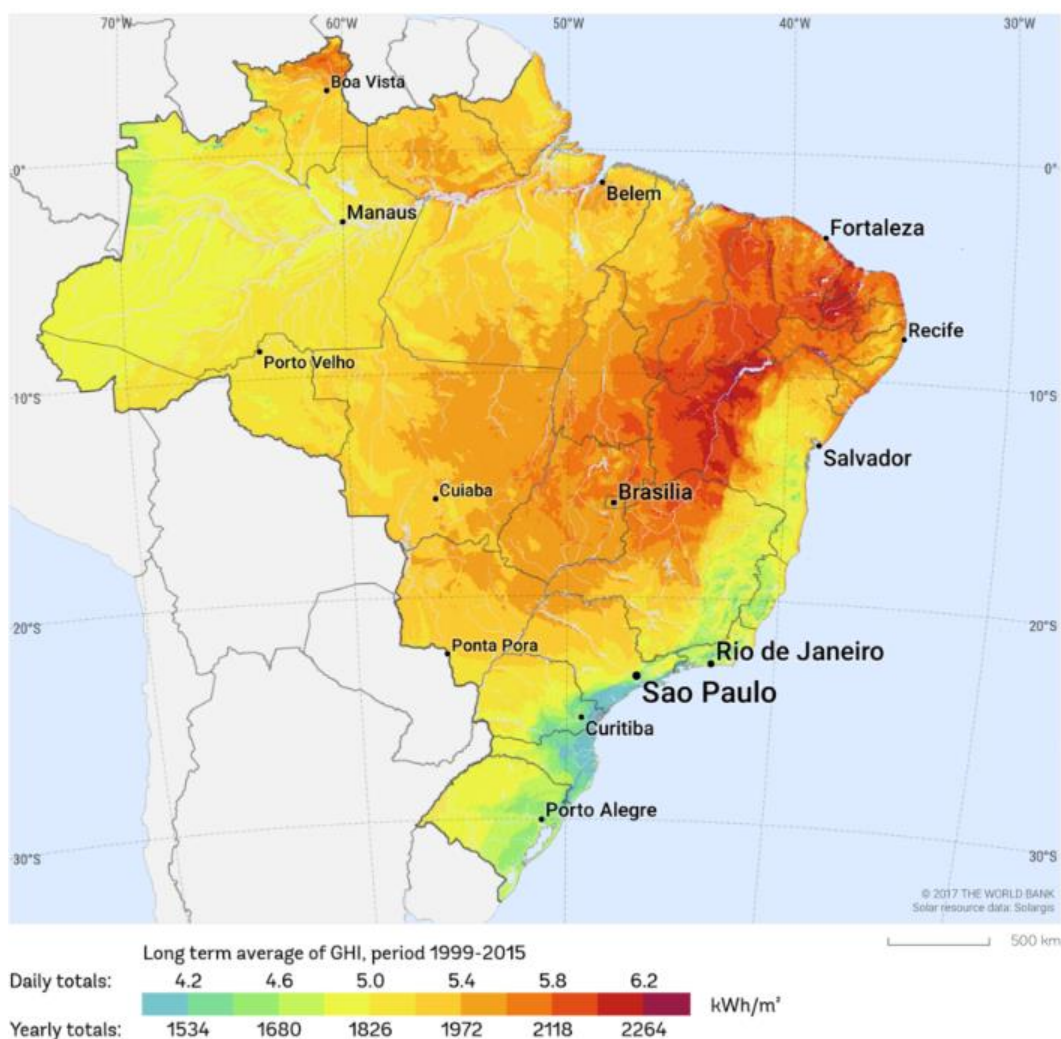
Em 2019 foram publicados 3 leilões para compra de energia oriundos de fontes renováveis, com base de início para utilização em 2020 até 2025, mostrando que a matriz energética necessita de investimentos constantes para que o país volte a engrenar e elevar o crescimento econômico e social.

4.5.3 Solar

Energia proveniente do Sol, é uma fonte abundante de energia, tem crescido exponencialmente nos últimos anos contrariando índices de recesso econômico em todo o mundo. O apelativo de crescimento sustentável e diminuição de emissão de gases do efeito estufa, a energia solar vem como um importante aliado para as políticas socioambientais e para um aumento expressivo na diversificação da matriz energética mundial e principalmente a matriz energética brasileira.

O Brasil novamente está num local privilegiado em termos de radiação solar no mundo, possuindo altos índices de “horas de sol” em grande parte do território nacional.

Figura 40 – Potencial Energético Brasileiro



Fonte: Solargis

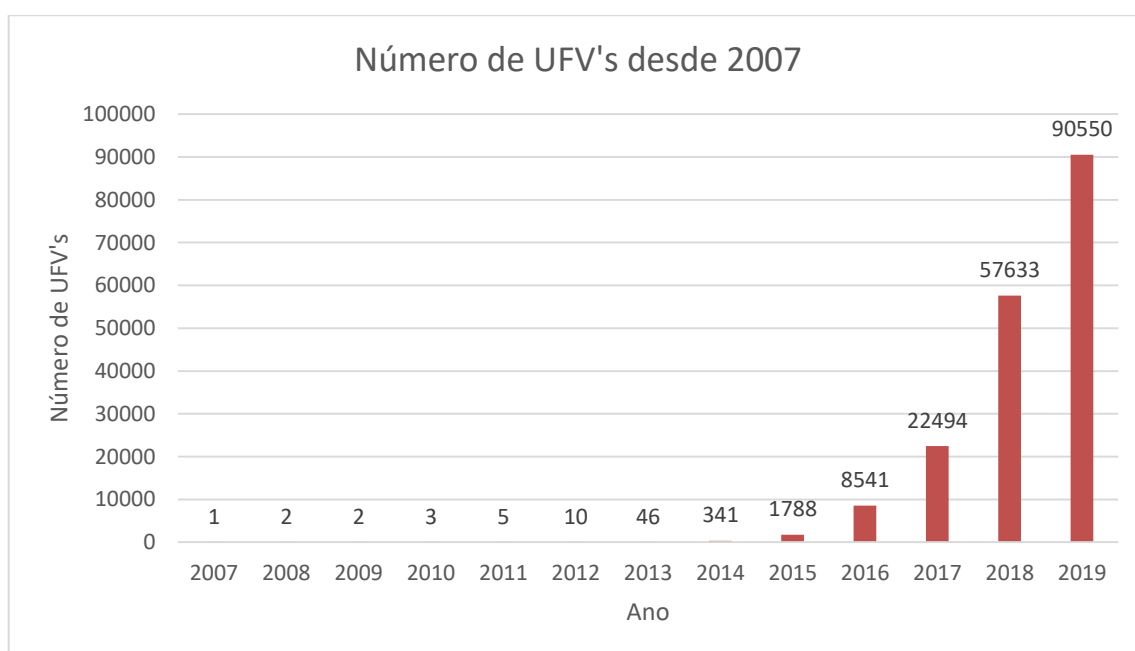
O sistema de energia solar basicamente consiste de módulos fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica, através de diodos foto elétricos presente nas células, e que conectados a um inversor, transforma a energia de corrente contínua e em corrente alternada podendo ser conectados ao sistema elétrico convencional.

Sistemas de proteção (chamados de *stringbox*), quadros de proteção, bem como uma correta instalação elétrica projetada por um profissional habilitado e pessoal treinado para instalação em altura dos módulos fotovoltaicos, também fazem parte do pacote para um sistema de geração distribuída eficiente.

Com o maior investimento nos setores de fabricação de equipamentos e subsídios governamentais, cria-se cada vez mais apelativos para a instalação de sistemas de geração distribuída através de energia solar, ao invés de grandes parques solares centralizados. Este último necessita de uma grande área de instalação e equipamentos robustos, além do custo inicial de investimento elevado.

A geração distribuída solar em residências tem crescido exponencialmente nos últimos anos, conforme dados apresentados abaixo:

Gráfico 06 – Número de unidades fotovoltaicas nos últimos anos



Fonte de Dados: ANEEL setembro/2019

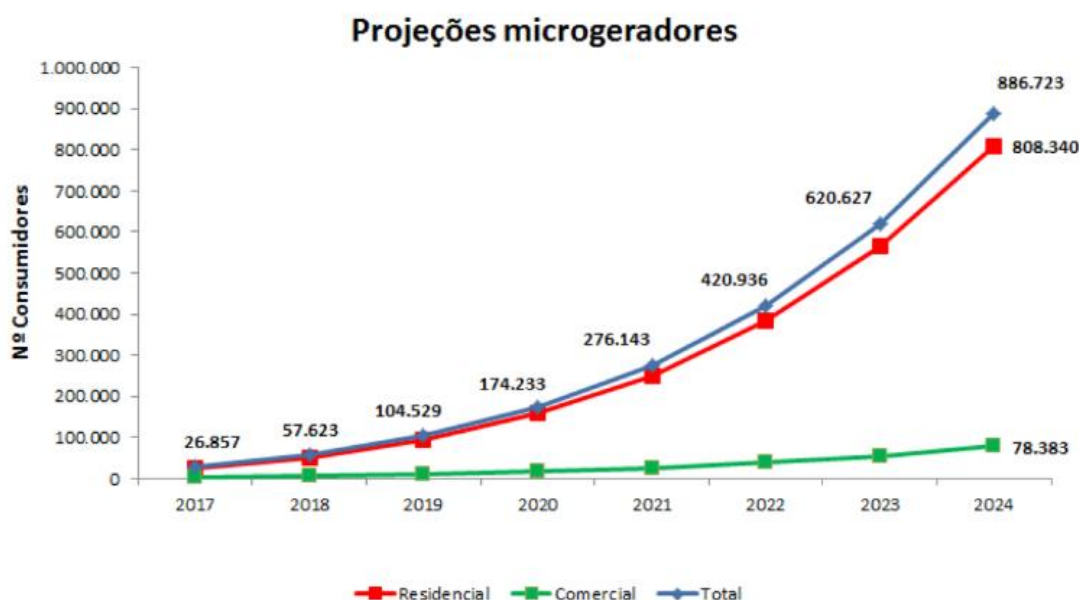
Este aumento observado refere-se, em grande parte, pela geração solar residencial, comercial e industrial. Atualmente é sabido que se aproxima de 100 mil unidades de geração solar e tudo indica que no final de 2019, esta marca recorde será alcançada.

Além disso, o crescimento de geração solar, motiva os fabricantes de células e módulos fotovoltaicos a melhorarem os custos e eficiências dos equipamentos para que possam continuar a vertiginosa subida de instalações em todo o país, contribuindo cada vez mais com a matriz energética nacional.

Políticas de isenção de impostos dos equipamentos fotovoltaicos, faz com esse crescimento perdure em todo o território nacional, simplificando, e muito, a comercialização dos equipamentos básicos para instalação.

Segundo estudos da ANEEL, a projeção até 2024 terá um aumento de 800% conforme dados relacionados abaixo:

Figura 41 – Número de unidades fotovoltaicas até 2024



Fonte: BlueSol/ANEEL

É possível observar que o maior crescimento deverá ser nas residências, pois grande parte dos esforços das empresas do setor, tem se intensificado para este fim. O maior

fator pela procura da energia renovável para um mundo mais sustentável e, a possibilidade de blindagem do consumidor contra a alta das tarifas, bandeiras tarifárias e outros agravantes nas faturas que encareçam a energia elétrica, tem sido muito eficiente do ponto de vista estratégico.

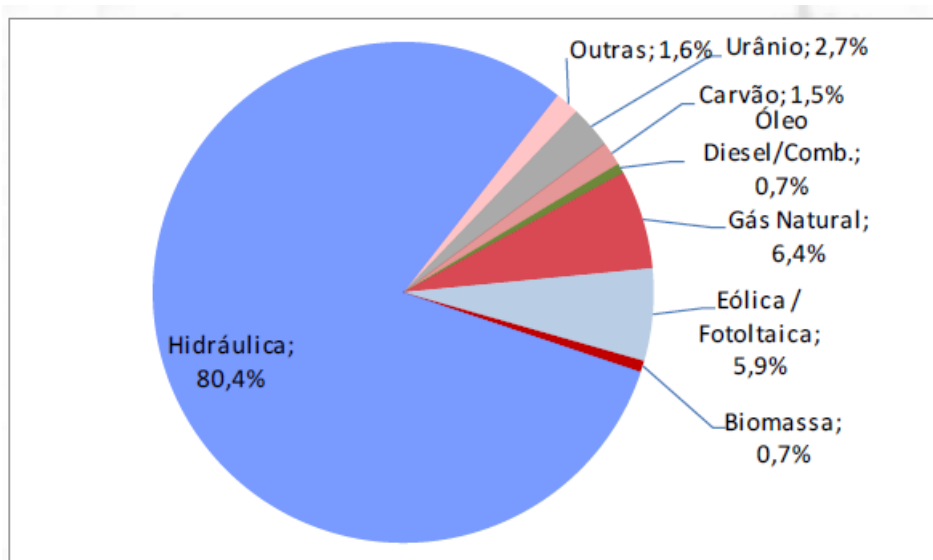
4.6 Cogeração

Dentre diversos tipos de unidades de geração que existem, a cogeração vem ganhando espaço nos últimos anos, abertos a debates sobre um melhor aproveitamento de energia que, por muitas das vezes, é perdida durante o processo de geração de energia elétrica.

Apesar de utilizar combustível fóssil para geração de energia, como a cogeração a gás natural por exemplo, deve-se salientar que, com o aumento da demanda, o investimento em melhorias neste setor e avanço tecnológico, terão papel fundamental para um planeta mais verde.

Se tratando da matriz energética como um todo, a disparidade com relação a hidráulica é grande:

Figura 42 – Hidráulica

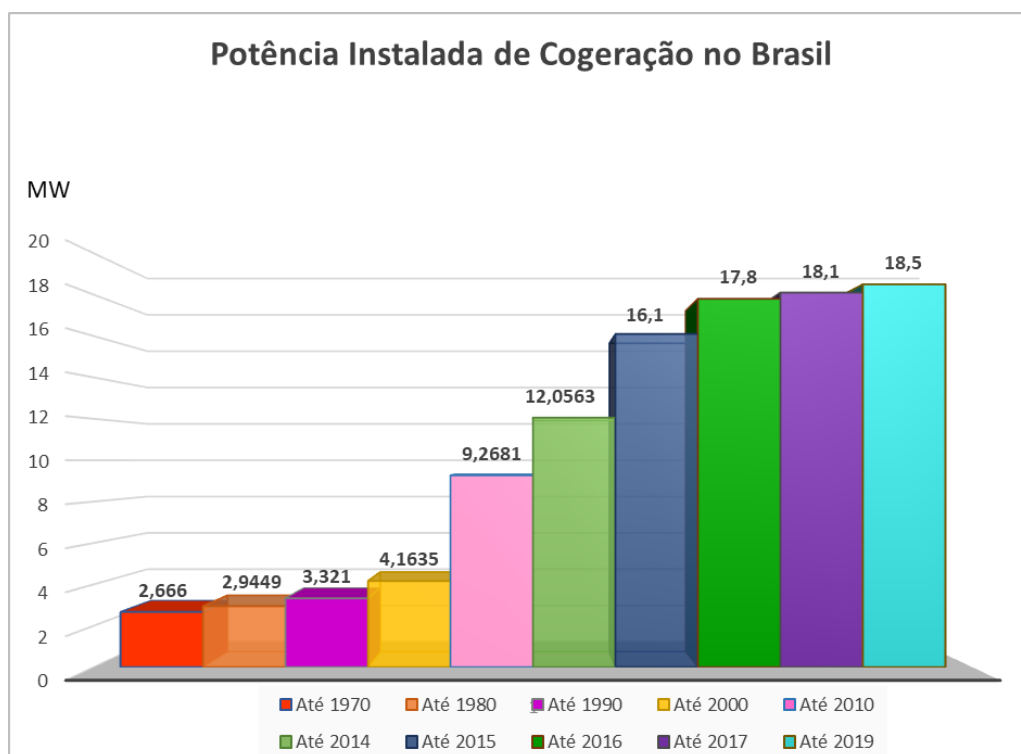


Fonte: Boletim de Informações Gerenciais – 1º Trimestre de 2019

4.6.1 Cogeração no Brasil

Durante o século XX no Brasil a aplicação da cogeração se restringiu a sistemas isolados, em plataformas e a indústria com lixos combustíveis (a exemplos a canaveira e papeleira), onde a eletricidade produzida era exclusiva para consumo próprio. As mudanças implementadas no setor elétrico a partir da última década do século XX abriram espaço e estimularam a participação de produtores independentes, autoprodutores e comercializadoras de energia, com isto a geração de energia próxima a carga foi impulsionada. Hoje a capacidade de cogeração é de 18,5 GW que corresponde a 11% do parque gerador do país com 167,1GW.

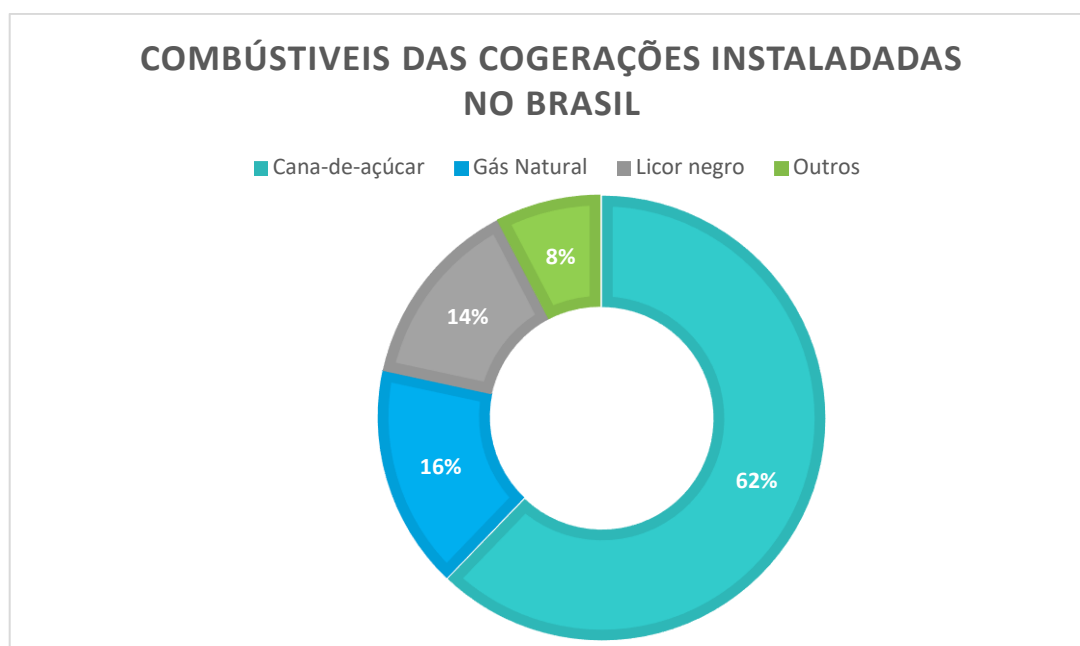
Gráfico 07 – Potência Instalada de Cogeração no Brasil



Fonte de Dados da Cogen 2019

Destes 18,5GW 62% são de biomassa que utilizam como combustível cana-de-açúcar em segundo lugar vem as cogerações a gás natural que colaboram com 16% da capacidade. Também contribuem com a potência instalada cogerações que utilizam como combustível resíduos de madeira, biogás, licor negro, casca de arroz, carvão, capim elefante e óleos vegetais.

Gráfico 08 – Combustíveis das Cogerações



Fonte de Dados da Cogen 2019.

4.6.2 Cenário da cogeração no Brasil

A cogeração pode ser aplicada na indústria ou no setor terciário, em sistemas interligados ou isolados, onde outras possibilidades de geração não são possíveis (Balestieri, 2002).

A partir da instalação de redes de distribuição de gás no sudeste do país e o crescimento da oferta próximo aos grandes centros consumidores o cenário se torna propício para a instalação de cogerações dentro das grandes cidades.

A cogeração é um processo que, por muitas vezes, é complexo do ponto de vista técnico e é possível retratar esses pontos e suas condições para entender o crescimento deste tipo de geração, conforme destacados por Andreos (2013):

- Dificuldade de compra de equipamentos e maquinários de grande porte (se tratando de taxas, frete e prazos de entrega);
- Manutenção dos equipamentos exige pessoal técnico qualificado, peças de reposição e são grandes impeditivos;

- Custo inicial elevado e taxa de retorno a médio e longo prazo, que dependem de fatores como a volatilidade da tarifa do gás natural.
- Operação complexa e delicada;
- Dificuldade de conexão à rede, devido a exigência das concessionárias de energia para o paralelismo.

Mesmo com as dificuldades enfrentadas com a instalação destes equipamentos, existe grande probabilidade de crescimento e investimento nesta área e tem sido pauta nas discussões de crescimento sustentável.

Propostas como a RenovaBio, que propõe aumentos significativos até 2030 (com crescimento girando em torno de 50% ou 4GW de potência de novas instalações) aquecem as discussões sobre o setor. No âmbito de gás natural, as discussões existem, sem muitos números concretos, mas com um otimismo relacionado com a abertura de competitividade proporcionado pelo ministério da Economia no setor de gás dominado pela estatal Petrobras.

Figura 43 – Unidade de cogeração de gás natural



Fonte: Termograma Energy Solutions

Entretanto, a cogeração é uma das formas mais eficientes de geração de energia já que grandes empreendimentos necessitam de equipamentos de refrigeração ou climatização, como shopping centers, hospitais, hotéis, supermercados entre outros, onde boa parte da emissão de calor é desperdiçada. Este tipo de cogeração é essencial, pois não é tecnicamente eficiente utilizar a energia solar, por exemplo, para custear o consumo de energia elétrica do local e continuar desperdiçando uma fonte

4.6.3 Critérios de aplicação

Ao avaliar a aplicação de uma cogeração a gás é importante se atentar aos pontos abaixo destacados a seguir.

Programação de Operação

Optar pela escolha de empreendimentos que operem em horário de ponta aumentam as chances de obter viabilidade financeira na instalação de plantas de cogeração. Se considerarmos um empreendimento localizado na cidade de São Paulo na área de concessão da Enel

A maioria dos empreendimentos do setor terciário faz uso da energia elétrica no subgrupo A4 com tarifa horo-sazonal azul ou Verde no horário de ponta o custo da energia na média pode variar de entre duas a quatro vezes em relação ao valor fora de ponta.

O total de horas de funcionamento diário do empreendimento é extremamente importante para análise, considerando que o custo de instalação do sistema é alto quanto maior o período de operação maior é a chance de viabilidade econômica.

Balanço Energético

A análise das demandas energéticas através do balanço térmico/elétrico é essencial no estudo de viabilidade técnico financeira de uma cogeração.

Instalações de cogeração que atendem as exigências de eficiência têm a vantagem da tarifa de gás natural com redução. Um dos fatores analisados é demanda de energia térmica em relação a geração de energia.

Segurança operacional

A importância que um empreendimento dá ao risco de indisponibilidade no fornecimento de energia térmica e elétrica deve ser levado em consideração análise para instalação de cogeração.

Considerando o segmento de atuação em empreendimentos como, supermercados e shoppings não sofrer grandes impactos se submetidos a períodos curtos de interrupção no fornecimento de energia elétrica, já data centers, hospitais e hotéis estão sujeitos a prejuízos imensuráveis, como ameaças a vidas de pessoas.

Economia operacional

É importante avaliar o quanto a redução gerada no custo operacional com a instalação de uma cogeração impactará no empreendimento e seus resultados. E alguns segmentos de negócios o custo operacional não impacta diretamente o empreendedor, já outros em outros segmentos o custo impacta a prestação de serviços.

Capacidade de investimento

Considerando que os investimentos em centrais de cogeração são altos em relação a sistemas convencionais (energia elétrica do sistema de distribuição convencional e resfriadores de líquidos elétricos) o investidor deve ter de dispor de recursos financeiros para o investimento inicial e planejamento estratégico de longo prazo.

Ciclo de vida do negocio

O perfil do investidor no Brasil é aplicar em projetos com estimativa de retorno de investimento no período de 5 a 7 anos. Este fato nos leva a concluir que

empreendimento com previsibilidade de se manter no mercado por mais de 8 anos possuem maior atratividade para instalação de cogeração.

Qualidade de manutenção

Considerando a quantidade e complexibilidade dos equipamentos é primordial que os mesmos sejam mantidos conforme os protocolos de manutenção dos fabricantes para assegurar segurança operacional e durabilidade do sistema.

4.7 Benefícios da Geração Distribuída

Conforme mostrado anteriormente, existem inúmeros benefícios com o uso da Geração Distribuída no Brasil e no Mundo, dentre as quais são destacados abaixo com maior ênfase:

- Descentralização e diversificação da matriz energética brasileira;
- Redução de perdas técnicas de transmissão e distribuição;
- Postergação dos investimentos das redes elétricas;
- Segurança e confiabilidade do sistema elétrico para investimentos;
- Maior qualidade da energia entregue;
- Se tratando de benefícios para o mundo é, indiscutivelmente, o aumento de utilização de fontes de energia renovável propiciando um planeta eco sustentável.
- Diminuição dos impactos ambientais pelo mundo como, desmatamentos ou emissão de gases tóxicos na atmosfera;
- Aumento da vida útil das reservas ditas como não-renováveis, mas que é de suma importância para a economia atual;
- Diminuição da dependência de matrizes energéticas fósseis;

O mundo tem cada vez mais discutido as maneiras de um crescimento econômico e social que minimize os impactos ambientais. A geração distribuída veio para resolver parte dos problemas no campo de necessidade energética, mas ainda possuímos muitas barreiras a serem superadas.

5.1 Aplicação no setor terciário

No setor terciário empreendimentos que demandam energia elétrica e térmica (ar condicionado) a exemplo de Shopping Center e edifícios comerciais, possuem potencial para instalação de cogeração. Também se encontram aplicações com demanda de água quente e eletricidade ou até mesmo trigeração em hotéis e hospitais.

5.2 Cenário da cogeração no setor terciário

A partir da instalação de redes de distribuição de gás no sudeste do país e o crescimento da oferta próximo aos grandes centros consumidores, o cenário se torna propício para a instalação de cogerações dentro das grandes cidades.

Empreendimentos comerciais e de serviços tem a necessidade de equipamentos de ar condicionado para conforto térmico, que em sua maioria são alimentados por energia elétrica, o consumo destes equipamentos somados as demais cargas (elevadores, computadores e outros) geram um alto consumo de energia elétrica. A aplicação de cogeração pode suprir o consumo de energia elétrica e térmica.

Existem alguns setores bastante atrativos para a instalação de cogeração como:

- *Data Center e Call Center*
- Edifícios comerciais e corporativos
- Hospitais
- Hotéis
- Shopping Center
- Supermercados

Os itens a seguir devem ser cautelosamente analisados para identificar a aderência do perfil para instalação de cogeração a gás, tanto setor terciário como na indústria (Moreira – Energias Renováveis Geração Distribuída e Eficiência Energética 2017).

Programação de Operação

Optar pela escolha de empreendimentos que operem em horário de ponta aumentam as chances de obter viabilidade financeira na instalação de plantas de cogeração.

Se considerarmos um empreendimento localizado na cidade de São Paulo na área de concessão da Enel.

A maioria dos empreendimentos do setor terciário faz uso da energia elétrica no subgrupo A4 com tarifa horo-sazonal azul ou verde, no horário de ponta o custo da energia na média, pode variar dentre duas a quatro vezes em relação ao valor fora de ponta.

O total de horas de funcionamento diário do empreendimento é extremamente importante para análise, considerando que o custo de instalação do sistema é alto, quanto maior o período de operação maior é a chance de viabilidade econômica.

Balanço Energético

A análise das demandas energéticas através do balanço térmico/elétrico, é essencial no estudo de viabilidade técnico financeira de uma cogeração.

Instalações de cogeração que atendem as exigências de eficiência, tem a vantagem da tarifa de gás natural com redução. Um dos fatores analisados é demanda de energia térmica em relação a geração de energia.

Segurança operacional

A importância que um empreendimento dá ao risco de indisponibilidade no fornecimento de energia térmica e elétrica deve ser levado em consideração a análise para instalação de cogeração.

Considerando o segmento de atuação empreendimento, como supermercados e shoppings, não sofrerão grandes impactos se submetidos a períodos curtos de interrupção no fornecimento de energia elétrica, já data centers, hospitais e hotéis estão sujeitos a prejuízos imensuráveis, como ameaça à vida de pessoas.

Economia operacional

É importante avaliar o quanto a redução gerada no custo operacional com a instalação de uma cogeração impactará no empreendimento e seus resultados. E alguns segmentos de negócios, o custo operacional não impacta diretamente o empreendedor, já em outros segmentos o custo impacta na prestação de serviços.

Capacidade de investimento

Considerando que o investimento em centrais de cogeração é alto em relação a sistemas convencionais (energia elétrica do sistema de distribuição convencional e resfriadores de líquidos elétricos), o investidor deve dispor de recursos financeiros para o investimento inicial e planejamento estratégico de longo prazo.

Ciclo de vida do negócio

O perfil do investidor no Brasil, é aplicar em projetos com estimativa de retorno de investimento no período de 5 a 7 anos. Este fato nos leva a concluir que empreendimento com previsibilidade de se manter no mercado por mais de 8 anos, possuem maior atratividade para instalação de cogeração.

Qualidade de manutenção

Considerando a quantidade e complexibilidade dos equipamentos, é primordial que o mesmo seja mantido conforme os protocolos de manutenção dos fabricantes para garantir a segurança operacional e durabilidade do sistema.

5.3 Segmento de Shopping Center

São classificados como shoppings centers pela ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers), centros comerciais com área bruta locável acima de 5.000m², compostos por uma administradora centralizada responsável pelo recebimento de aluguel fixo e percentual.

São classificados em tipo e porte conforme tabela a seguir:

Tabela 08 - Classificação de shoppings

Tipo	Porte	Área Bruta Locável
Tradicional	Mega	Acima de 60.000 m ²
Tradicional	Reginla	De 30.000 a 59.999 m ²
Tradicional	Médios	De 20.000 a 29.999 m ²
Tradicional	Pequenos	Até 19.999 m ²
Especializados (Outlet, Life Stile ou Temáticos)	Grandes	Acima de 20.000 m ²
Especializados (Outlet, Life Stile ou Temáticos)	Médios	De 10.000 a 19.999 m ²
Especializados (Outlet, Life Stile ou Temáticos)	Pequenos	Até 9.999 m ²

Fonte de Dados: ABRASCE 2019

Apesar da crise econômica enfrentada pelo Brasil nos últimos anos, houve em 2018 uma retomada no setor varejista. O setor de shoppings centers se beneficiou deste período, pois houveram 14 inaugurações de shoppings centers que representou uma alta de 6,5% nas vendas, além de 5,4% de crescimento na geração de empregos.

Segundo ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers), o setor de Shopping Center continua em desenvolvimento. Só em 2019 houve a inauguração de 15 novos empreendimentos. Os números são gigantescos e tendem a crescer.

Conforme números da ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers) em 2019, no Brasil existem:

- Shopping em operação 563
- Total de área bruta locável 16.322m²
- Total de lojas 104.928
- Empregos gerados em 2018 1.085.040
- Salas de Cinema 2.836
- Visitantes por mês 490 milhões
- Vagas par carro 942.801
- Vendas em
- Faturamento total em 2018 178,7 bilhões de R\$

- Vendas de Shoppings (R\$) 304.465.437,00

Abaixo segue o número de shoppings centers e área bruta locável por Estado:

Tabela 09 - Número de shoppings por Estado

Estado	Nº de Shoppings em Operação	Nº de Shoppings estimado para o final de 2019	ABL total em Operação (milhões)
SP	175	179	5.350.770
RJ	63	64	1.696.944
MG	42	48	1.141.721
RS	38	39	856.320
PR	35	37	714.386
SC	24	26	576.103
GO	28	29	598.053
BA	22	23	581.812
DF	20	20	415.256
CE	17	18	512.699
PE	18	18	632.506
AM	12	12	370.426
ES	9	9	284.664
PA	8	8	242.137
MA	11	11	273.513
RN	7	7	169.033
MT	6	7	144.184
PB	5	6	205.586
MS	5	6	152.760
AL	4	4	150.482
SE	4	5	145.893
PI	5	4	134.227
TO	2	2	46.531
RR	2	2	55.844
AP	2	2	50.133

AC	1	1	28.195
TOTAL	563	578	16.322

Fonte de dados: ABRASCE 2019

A tendência é que cada vez mais os shoppings centers se transformem também em centros de convivência e conveniência além de rota de compra, dando origem aos *Life Centers*. Hoje a sociedade tem buscado esses empreendimentos para acessar serviços de beleza, estética, academia, laboratórios e entretenimentos. Ou seja, apesar do crescimento das vendas online, os shoppings não deixaram de existir, mas terão que se reinventar oferecendo atratividade ao público.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi elaborado com base na capacidade de expansão de plantas de cogeração na capital de São Paulo. Foi selecionado um Shopping Center com mais de 15 anos de operação, o shopping é um consumidor livre de energia e está localizado no Centro Expandido de São Paulo, região de concessão da ENEL.

Os estudos foram desenvolvidos levando em consideração dados reais do empreendimento em funcionamento. Variáveis empregadas nos cálculos como valores de investimento inicial, custo de manutenção e outras, foram levantadas através de fornecedores de equipamento e empresas de instalação eletromecânica e prestadoras de operação e manutenção.

Faz parte do estudo cálculos financeiros relativos ao investimento inicial para instalação da solução e economia gerada com a operação do sistema.

O estudo financeiro foi elaborado com base nas equações a seguir (PARENTE, 2018).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FLC_t}{(1+r)^t} - Ilo \quad (5.1)$$

$$Payback \text{ simples} = \frac{Ilo}{FLC} \quad (5.2)$$

$$Payback \text{ descontado} = n_{(último \text{ FLCA neg})} - \frac{(FLCA \text{ (último negativo)})}{FLCA \text{ (do nseguinte)}} \quad (5.3)$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (5.4)$$

FC_t = Fluxo de caixa para t de 1 a n

Ilo = Investimento Inicial em t = 0

n = Período (anos), no estudo foi considerado 10 (dez)

Payback descontado (retorno do investimento com juros)

Payback simples (retorno do investimento sem juros)

r = Taxa de Desconto (juro anual), no estudo foi considerado 10 (dez)

TIR – Taxa interna de retorno que torna o VPL de todos os fluxos de caixa igual a zero

VPL – Valor presente líquido

VPL = Valor Presente líquido

Premissas

Operação Ponta: Sistema não opera no horário de ponta;

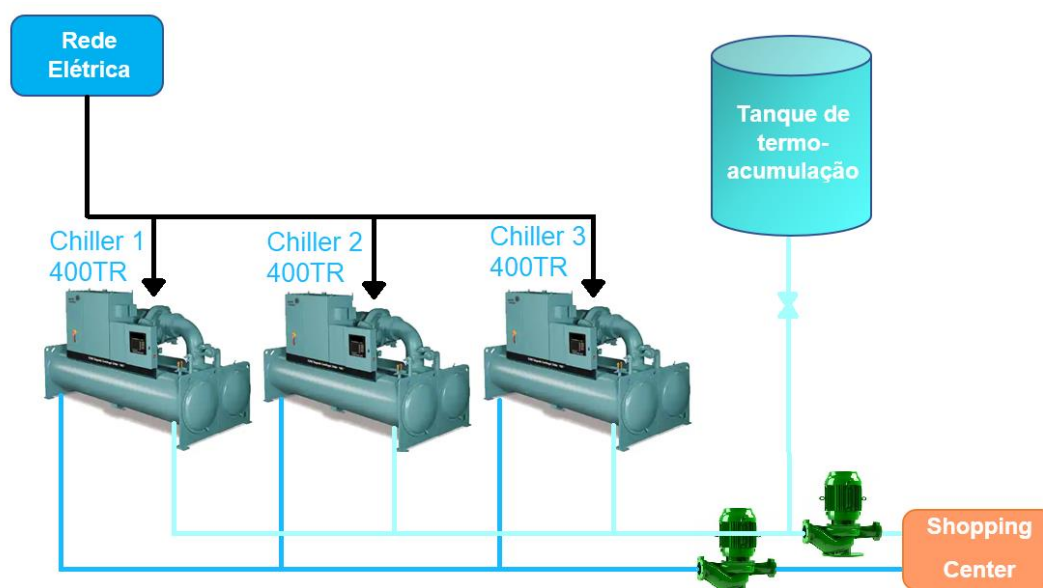
Fora ponta: 647h/mês, 12 meses por ano;

Central de água gelada

Central de água gelada de 1.200 TR, composta por 3 chillers de 400TR com compressor parafuso tri-rotor com condensação a água, com tanque de termo-accumulação.

EE. 0,59kW/TR e FC global 0,4417

Figura 44 – Sistema atual



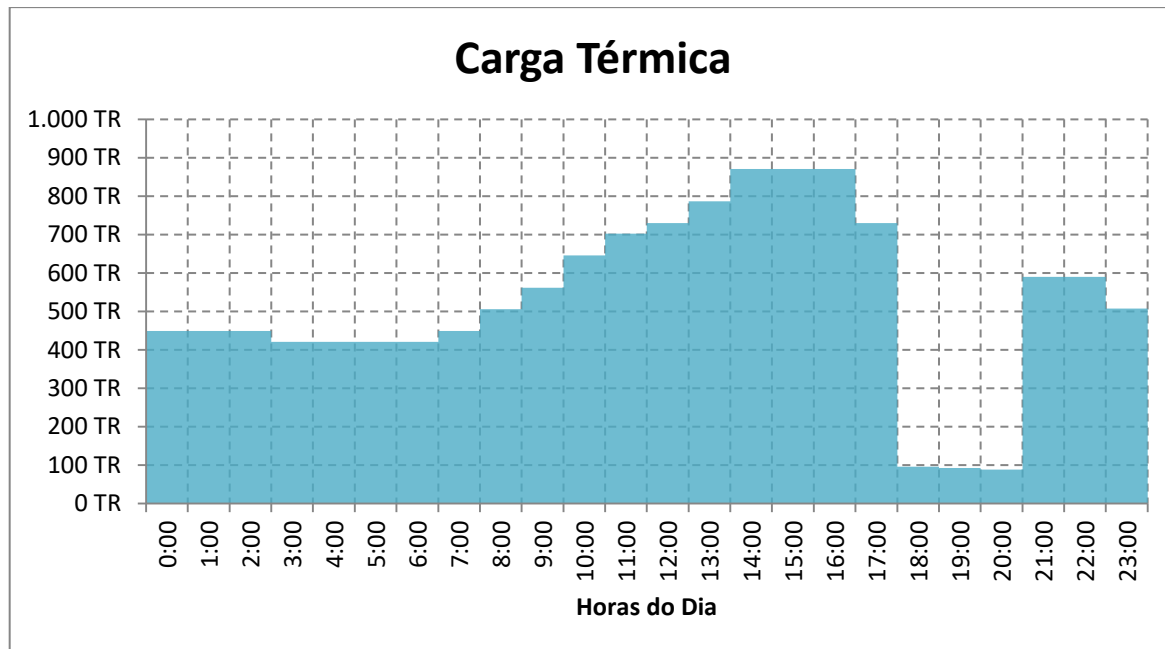
Fonte: O próprio autor

Carga Térmica anual

Considerando funcionamento das 10h às 22h de segunda-feira a domingo.

$$CT \text{ anual} = 1.200 \text{ TR} * (7771\text{h/ano}) * 0,4417 \text{ FC} = 4.119.000$$

Gráfico 09 – Carga Térmica



Mínima:	88 TR
Média:	530 TR
Máxima	871 TR
Energia Total:	4.119.000 TRh/ano

Fonte: O próprio autor

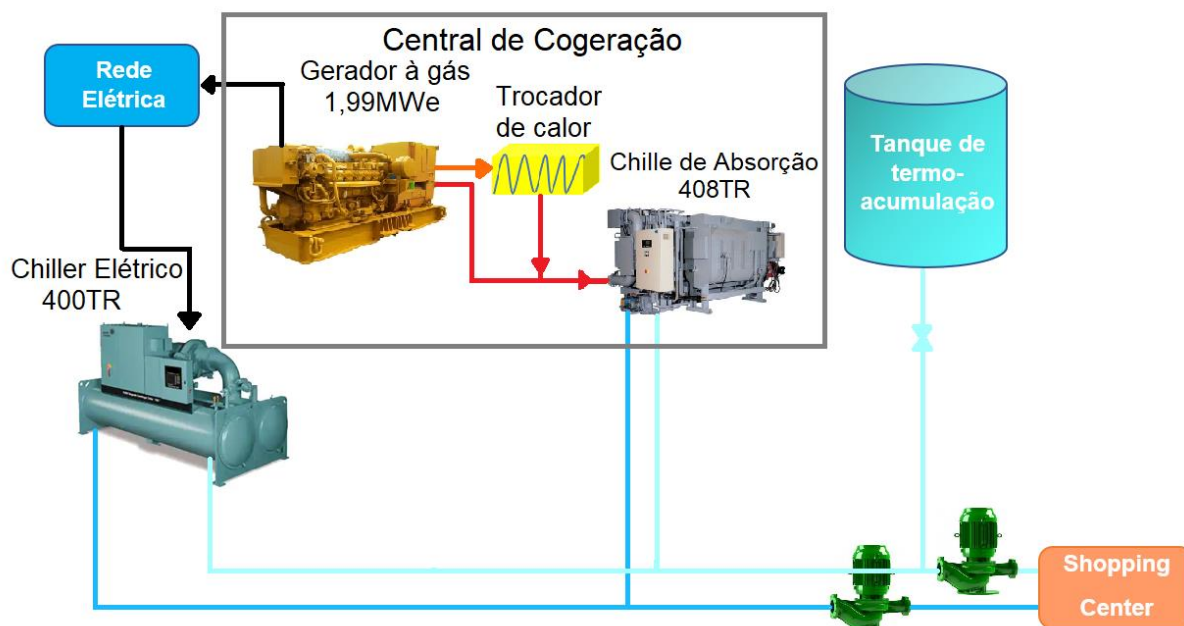
Estudo da Cogeração

A cogeração foi dimensionada para suprir 87% da demanda de água gelada do shopping, a energia elétrica gerada será utilizada através de compensação por de energia por unidades consumidoras ligada a um consórcio criado para esta finalidade.

A geração de EE se dará no motogerador a gás, o rejeito térmico do escapamento e da camisa do bloco do motor será aproveitado no resfriador de líquidos por absorção (ABS AQ), para produção de água gelada.

A água gelada será armazenada no tanque de termo-acumulação. Nas ocasiões em que a água gelada produzida pela central de cogeração não for suficiente para suprir a demanda térmica, será acionado o *chiller* elétrico para complementação.

Figura 45 – Cogeração Compartilhada



Fonte: O próprio autor

Balanco energético

A central de cogeração foi dimensionada para atender 86% da demanda térmica do Shopping, a EE será utilizada através de compensação de energia pela modalidade de cogeração compartilhada. Foi dimensionado um motogerador de 1.991kW e um *chiller* de absorção de 408 TR.

Tabela 10 – Balanço Energético

Capacidade:	1.991 kW
Consumo Gerador:	0,2381 m³/kWh
Vazão horária GN:	474 m³/h
PCI GN:	8.560 kcal/m³

Energia Entra Gerador	4.057.440 kcal/h
Energia Térmica Bloco	21 %
Eficiência do Trocador	97,30 %
Energia Térmica Bloco Útil	829.057 kcal/h
Energia Térmica Exaustão	20 %
Eficiência do Trocador	0,85
Energia Térmica Exaustão Útil	700.11 kcal/h
Energia Térmica Útil total	1.529.168 kcal/h
COP Chiller ABS AW	0,8
Cap. Geração Térmica AG	1.234.872
Cap. Geração Térmica AG	408
Demanda Térmica Total	1.200

Fonte de Dados: ENEL 2019.

Tabela 11 – Cálculo do consumo de GN Motogerador

Tipo de Combustível	PCI	Rendimento	Consumo
Gás Natural (m³/kWh)	8.560 kcal/m³	0,34	0,2955 m³/kWh

Fonte: O próprio autor

Tabela 12 – Cálculo do requisito de qualificação de Cogeração ANEEL

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração – ANEEL Resolução nº 235 14/11/2006				
Ef	7.725 kWh/h	30%	$\frac{Et}{Ef} \geq 15\%$	Cumpre requisito (a)
Ee	3.260 kWh/h			
Et	2.352 kWh/h			
X	2,14	56%	$\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\%$	Cumpre requisito (b)
Fc	41%			

Fonte: O próprio autor

Tabela 13 - Cálculo de fator de utilização de Energia

Fator de Utilização de Energia - FUE			
W	1.991 kW	$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{comb}}$	= 73 %
Qu	1.436 kW		
Qcomb	4.718 kW		

Fonte: O próprio autor

Tabela 14 – Cálculo de Custo de Energia Elétrica Convencional

Enel – A4 Verde (ML)	Custo s/ impostos	Custo c/ impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda Ponta	R\$ 0,00 / KW	R\$ 0,00 / KW	750	-	0
Demanda Fora Ponta	R\$ 5,59 / KW	R\$ 7,67698 / KW	750	-	69.093
Consumo Anual Ponta	R\$ 0,47248 / KW	R\$ 0,64946 / KW	-		0
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,26361 / KW	R\$ 0,36234 / KW	-	3.913.403	1.417.997
Total Anual				3.913.406	1.487.090
Custo Especifico EE (R\$/MWh)					380,00
			Impostos Inclusos	PIS/PASEP	1,65%
			COFINS		7,60%
			ICMS		18,0%

Fonte: O próprio autor

Tabela 15 – Cálculo de Custo de Energia Elétrica Solução Cogeração a Gás

Enel – A4 Verde (ML)	Custo s/ impostos	Custo c/ impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda Ponta	R\$ 0,00 / KW	R\$ 0,00 / KW	2.500	-	0
Demanda Fora Ponta	R\$ 5,59 / KW	R\$ 7,67698 / KW	2.500	-	230.309
Consumo Anual Ponta	R\$ 0,47248 / KW	R\$ 0,64946 / KW	-		0
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,26361 / KW	R\$ 0,36234 / KW	-	552.000	200.014
Total Anual				552.000	430.323
Custo Especifico EE (R\$/MWh)					779,57
			Impostos Inclusos	PIS/PASEP	1,65%
			COFINS		7,60%
			ICMS		18,0%

Fonte: O próprio autor

Foram utilizados valores de tarifa em vigência de energia elétrica da ENEL A4 Verde, considerando a demanda necessária para atender a carga e os períodos de operação do sistema.

Tabela 16 – Investimento inicial para instalação da cogeração

Investimento para instalação da Cogeração	
Itens	Valor
Motogerador a gás natural 1991kWe	2.999.600,00
Chiller por absorção a água quente - 408TR	1.150.350,00
Bombas	175.100,00
Recuperador, trocadores, ventiladores, transformadores e painéis elétricos	1.693.200,00

Materiais eletromecânicos, remanejamento civil	1.132.400,00
Transporte (vertical /horizontal) seguro e canteiro de obras	1.110.900,00
Projeto, engenharia supervisão, segurança do trabalho	279.850,00
Total	8.541.400,00

Fonte: o próprio autor

Tabela 17 – Cálculo da tarifa de Gás Natural

Volume Mensal:	331.800 m³			
Cogeração Faixas	m³	Volume	Termo Variável	Custo
1	0,00 a 5.000	5.000,00 m³	R\$0,511641	R\$2.558,21
2	5.000,01 a 50.000	45.000,00	R\$0,401800	R\$18.081,00
3	50.000,01 a 100.000	50.000,00 m³	R\$0,345899	R\$17.294,94
4	100.000,01 a 500.000	285.766,00 m³	R\$0,262754	R\$60.906,28
5	500.000,01 a 2.000.000	0,00 m³	R\$0,271614	-
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m³	R\$0,245849	-
7	4.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m³	R\$0,215122	-
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m³	R\$0,184391	-
9	> 10.000.000	0,00 m³	R\$0,152945	-
Termo Fixo			R\$1,574932	
			Termo Variável	R\$98.840,43
			Termo Fixo	R\$522.562,44
			Valor Fatura s/ ICMS	R\$621.402,87
			Valor Fatura c/ ICMS	R\$731.062,20
			Tarifa Média	R\$2,2033

Fonte: ARSESP, 2019

No cálculo da tarifa de gás foram considerados:

- Valores da portaria ARSESP nº 875, de 30/05/2019, com vigência a partir de 31/05/2019.
- Tarifa destinada a cogeração destinada a consumo próprio.
- Consumo mensal de 328.718m³.
- Classificação na faixa 4 com valor médio de R\$ 2,2033 por m³
- Valores com impostos inclusos PIS/PASEP/CONFINS e ICMS de 12%.

Resultados

Tabela 18 – Custo Operacional

Custo Operacional	Convencional	Cogeração
Custo anual total de energia elétrica	R\$ 1.487.090	R\$ 457.233
Custo com Manutenção do Ar Condicionado e Cogeração	R\$ 150.000	R\$1.120.178
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$ 350.000	R\$555.345
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$9.711.781
Custo Operacional Total	R\$ 1.987.295	R\$11.844.537

Fonte: O próprio autor

Tabela 19 – Receita da Cogeração

Receita da Cogeração	Convencional
Receita anual com compensação de E.E. gerada na cogeração	R\$11.844.537
Credito de ICMS e PIS/COFINS	R\$2.538.036
Receita Cogeração Total	R\$13.733.349

Fonte: O próprio autor

Tabela 20 – Economia Operacional

Economia Operacional	Convencional	Cogeração
Custo Operacional	R\$ -1.987.295	R\$-11.844.537
Receita anual com compensação de E.E. gerada na cogeração	-	R\$13.733.349
Total		R\$1.888.813
Economia		95%

Fonte: O próprio autor

Embora os custos operacionais do sistema de ar condicionado atual (R\$ 1.987.295) sejam inferiores aos custos operacionais da cogeração (R\$ 11.844.537) a receita gerada com a compensação de energia (R\$11.844.537) somada aos créditos de ICMS e PIS/COFINS (R\$ 2.538.038) trazem grandes benefícios econômicos, o que gera uma economia de 95% nos custos operacionais quando comparamos a cogeração ao sistema atual com FUE de 73%.

Levando em consideração os cálculos apresentados é possível concluir que:

A instalação de uma cogeração compartilhada é economicamente viável se comparada aos custos operacionais do sistema atual.

A receita gerada com a compensação de energia é a responsável pelos resultados positivos do projeto. Considerando que os 16.569MWh/ano de energia gerada pela cogeração serão consumidos por unidades consumidoras reunidas através de cooperativa que remuneraram a unidade geradora através da tarifa B3 da concessionária (ENEL) com desconto de 12% (R\$/MWh 669,40).

Tabela 21 - Memória de Cálculo estudo de caso

Utilidades	Convencional	Cogeração
Energia Elétrica	Enel - A4 VERDE (ML)	Enel - A4 VERDE (ML)
Demanda Energia Elétrica (kW)	750	2.500
Consumo Anual Ponta (kWh)	0	0
Consumo Anual Fora Ponta (kWh)	3.913.403	654.359
Consumo Anual Total (kWh)	3.913.403	654.359
Custo Específico (R\$/kWh) - C/ Impostos	R\$0,38000	R\$0,69875
Custo anual total de energia elétrica	R\$1.487.090	R\$457.233
Geração De Energia a Gás Natural		Motogerador
Capacidade (kW)		1.991
Energia Elétrica Anual Gerada (kWh)		16.724.400
Consumo Anual de Gás Natural (m3)		3.981.600
Custo do GN (R\$/m3) - C/ Impostos		R\$2,20
Custo com Manutenção do(s) gerador(es)		R\$939.035
Custo anual de geração de energia elétrica		R\$9.711.781
Custo do kWh Gerado (R\$/kWh) - C/ Impostos		R\$0,58070
Energia Térmica - Ar Condicionado		
Carga Térmica Anual (TRh)		4.119.000
TR cogeração (TR)		408
Energia Térmica Produzida Pela Cogeração (TRh)		3.398.348
Ar Condicionado Elétrico	Atual	AG complementar a cogeração Chiller Elétrico
Carga Térmica (TR)	1.200	792

Rendimento kW/TR (IPLV) da Central de Água Gelada	0,95	0,95
Demanda kW/TR (COP) da Central de Água Gelada	1,05	1,05
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond. (kW)	1.254	827
Consumo EE Anual Total (kWh)	3.913.050	654.359
Custo com Manutenção do Ar Condicionado	R\$150.000	R\$98.955
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$350.205	R\$63.734
Custo com Energia Elétrica - CAG	R\$1.486.955	R\$457.233
Custo Total da CAG	R\$1.987.160	R\$619.922

Fonte: O próprio autor

Análise Financeira

Tabela 22 – Parâmetros Financeiros

Parâmetros Financeiros		
Inv. Inicial Adicional	- R\$ 8.541.400	Ilo
Fluxo de Caixa	R\$ 2.366.193	FLC
Taxa de desconto	10,0%	r
Período (anos)	10	n

Fonte: O próprio autor

Tabela 23 – Resultados Financeiros

Resultado Financeiro	
<i>Payback</i> simples	4,5 anos
<i>Payback</i> Descontado	6,3 anos
VPL	R\$ 3.064.536
TIR	17,8%

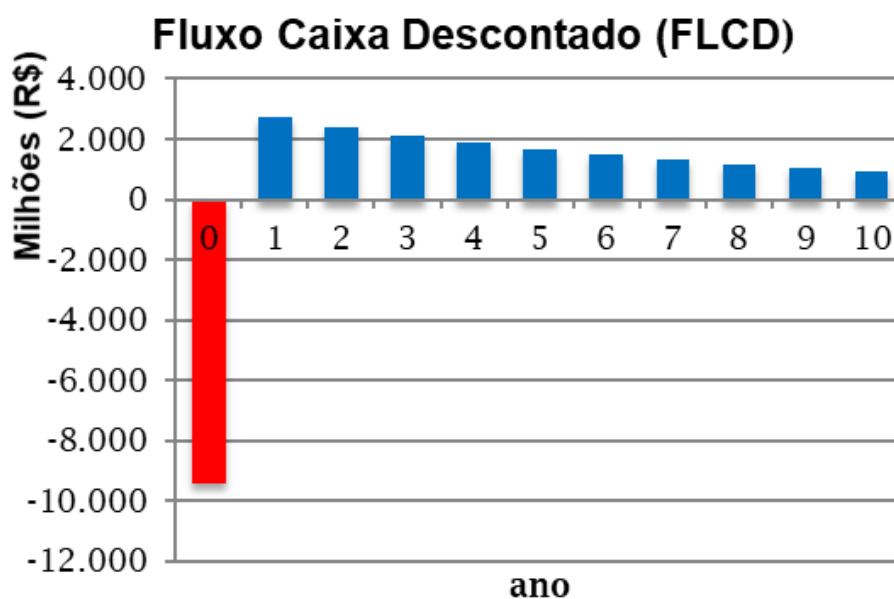
Fonte: O próprio autor

Tabela 24 – Fluxo de caixa estudo de caso

Ano	FLC	FLCD	FLCA
0	-8.541.400	-8.541.400	-8.541.400
1	1.888.813	1.717.102	-6.824.298
2	1.888.813	1.561.002	-5.263.295
3	1.888.813	1.419.093	-3.844.203
4	1.888.813	1.290.084	-2.554.118
5	1.888.813	1.172.804	-1.381.314
6	1.888.813	1.066.185	-315.129
7	1.888.813	969.260	654.131
8	1.888.813	881.145	1.535.276
9	1.888.813	801.041	2.336.317
10	1.888.813	728.219	3.064.536

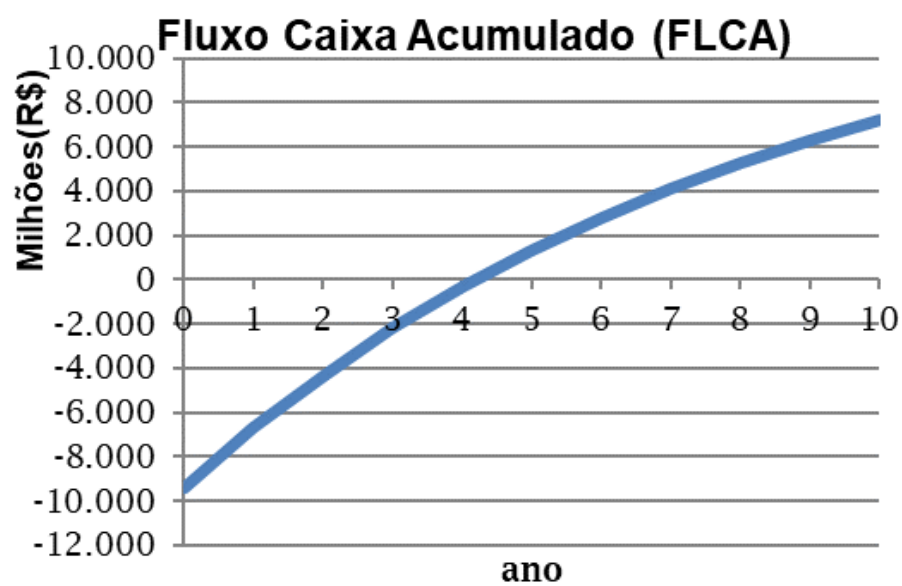
Fonte: O próprio autor

Figura 46 – Fluxo de Caixa Descontado estudo de caso



Fonte: O próprio autor

Figura 47 – Fluxo de Caixa Acumulado estudo de caso



Fonte: O próprio autor

6. CONCLUSÕES

Desenvolvimento da pesquisa

Com o progresso do estudo foram consolidadas as vantagens da aplicação de cogeração com o objetivo do uso racional dos recursos energéticos, alcançando o alto FUE em relação a usinas termoelétrica instaladas distantes dos centros consumidores.

Apesar das dificuldades enfrentadas para viabilidade financeira de projetos de cogeração a partir de 2013, devido ao aumento na tarifa de gás, o diferencial deste estudo são as vantagens trazidas pela REN 687/2015 que permite a cogeração compartilhada, onde os créditos da energia excedente podem ser utilizados por unidades consumidoras reunidas através de consórcio ou cooperativas. Esta nova modalidade empregada de forma correta gera receita que pode trazer viabilidade financeira à cogeração.

Há de ressaltar que novembro de 2019, a ANEEL abriu uma consulta pública para receber contribuições à proposta de revisão da Resolução Normativa 482/2012, a revisão da REN poderá impactar este projeto, tendo em vista que o estudo foi elaborado com base nas normas vigentes, que não prevê remuneração pelo uso da rede de distribuição e encargos.

Objetivo proposto

O objetivo proposto nesta monografia foi alcançado com êxito, tendo em vista que foram demonstradas:

- As tecnologias aplicáveis;
- Regulação em vigência;
- A configuração de cogeração para atendimento da demanda térmica do shopping center;
- Cálculo do fator de utilização de energia adequado para o balanço energético;
- Cálculos de investimento inicial e operação da cogeração;
- Análise financeira demonstrando a viabilidade econômica, levando em consideração a receita gerada com a compensação do excedente de energia,

utilizados pelas unidades consumidoras participantes da cogeração compartilhada.

Cogeração como instrumento de eficiência energética

Segundo os estudos realizados uma cogeração é uma aplicação com alto nível de eficiência, podendo alcançar 85% de fator de utilização de energia. Os cálculos apresentados demonstram que o estudo de caso tem FUE de 73%. O índice de FUE é alto e se destaca ainda mais quando comparado a termoelétricas que possuem em média 40% de eficiência e em geral são instaladas distantes dos grandes centros consumidores, fato que implica nas perdas ocasionadas na transmissão e distribuição de energia causadas por efeito “joule” que podem alcançar até 18%, resultando em FUE de 32,8%.

Se houvessem políticas nacionais de incentivo para substituição das termoelétricas em operação por cogeração teríamos um impacto gigantesco em relação fator de utilização de energia, com a mesma quantidade de gás consumida pelas termoelétricas seria possível atender no mínimo o dobro de demanda energética.

Configurações aplicáveis a cogeração

Para o atendimento das demandas energéticas do setor terciária as configurações apropriadas são:

- Ciclo *Topping*, com MCI e ABS, onde temos geração de EE e AG. Esta foi a configuração aplicada ao estudo de caso.
- Ciclo *Bottoming*, com μ TG, onde temos geração de EE e AG.
- Ciclo *Bottoming*, com μ TG e ABS, onde temos geração de EE, AQ e AG.

Oferta de gás natural no Brasil

Há de se destacar que as descobertas feitas nos últimos anos constataram que as reservas de gás associado no pré-sal são maiores do que se estimava anteriormente,

fato que gera otimismo ao mercado. É sabido que os investidores tem grande interesse na extração do óleo leve, porém não é possível fazer a retirada do óleo sem o gás associado, em geral uma parte do gás é devolvida aos poços e a parte restante que não pode ser reintroduzida é queimada no *flare*. Entretanto no atual contexto que vivenciamos, com pressões internacionais e de órgãos ambientais para redução de emissão de gases, a tendência é que haja diminuição de gás queimado no *flare*, o que trará aumento na quantidade de gás comercializada.

A previsão é que a produção de gás chegue aproximadamente 155 milhões de m³/dia (DPE 2029-EPE, 2019) em 2029. Nos últimos anos tarifa de gás disparou, com o aumento da oferta, a tendência é que haja redução nos preços, impulsionado a instalação de novas cogerações a gás.

Conclusão final

Nos últimos anos temos enfrentado aumento na tarifa de gás e redução nas tarifas de energia e nos preços praticados no mercado livre, fato que tem inviabilizados muitos projetos de cogeração. Porém existe forte tendência de redução na tarifa de gás devido ao aumento de oferta e abertura no mercado de gás, outro ponto que deve ser dado atenção é a expectativa de retomada da economia, que trará aumento na demanda de energia elétrica e muito provavelmente acarretará em aumento nas tarifas de energia elétrica e também nos preços praticados no mercado livre. Com a queda da tarifa do gás, aumento das tarifas de energia e valores no mercado livre haverá melhora na viabilidade financeira de instalação de novas cogerações.

Há de se ressaltar que a aplicação de cogeração assegura o fornecimento de energia para o desenvolvimento do país, além de trazer benefícios ao meio ambiente e preservação dos recursos energéticos. Fatos que reforçam a necessidade de políticas federais de incentivo a este tipo de aplicação, como a redução das tarifas de gás para uso em cogeração, dispositivos que assegurem a conservação de sua competitividade financeira na geração de energia elétrica e regulação que permita a comercialização do excedente de energia gerado através de geração distribuída.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 235 de 14 de novembro de 2006**. São Paulo, 2019. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2019.

_____. **Biomassa**. São Paulo, 2019. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em 10 ago. 2019.

_____. **Nota Técnica n. 2005-SRG/SCG/ANEEL**. São Paulo, 2019. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/003/documento/nota_tecnica.pdf>. Acesso em 14 out 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. São Paulo, 2019. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2019.

_____. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. São Paulo, 2019. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2019.

_____. **Postos Tarifários**. São Paulo, 2019. <<https://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios>>. Acesso em 10 ago. 2019.

_____. **Boletim de informações Gerenciais**. 1o trimestre de 2019. Brasil, 2019.

AL-HINAI, A.; FELIACHI, A. **Dynamic model of a microturbine used as a distributed generator**. System Theory, Proceeding of the 34th southeastern symposium, pp. 209-213, 2002.

ANDREOS, Ronaldo. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo**. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. p. 3-79.

ANDREOS, **Cogeração**. Apostila. Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, PECE-USP, 2019.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA (COGEN). **Cogeração pode dobrar com o RenovaBio**. Disponível em <<http://www.cogen.com.br/principais-noticias/newton-duarte-da-cogen-cogerao-pode-dobrar-com-o-renovabio>>. Acesso em: 14 out 2019.

BALESTIERI, José Antônio Perrella. **Cogeração: geração combina de eletricidade e calor**. 1ª Edição. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2002. 280 p.

BEENERGY. **Bandeiras tarifárias**. São Paulo, 2019. Disponível em <<https://beenergy.com.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em 01 out 2019.

BLUESOL, Energia Solar – **Número de unidades fotovoltaicas até 2024**. Disponível em <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em 02 out 2019.

BRASIL. Estado de São Paulo. Reajuste de valores das Margens de Distribuição, sobre a atualização do Custo Médio Ponderado do gás e do transporte. **Deliberação ARSESP n. 875, de 30 de maio de 2019**. São Paulo, 18 p., mai., 2 Trim. 2019.

BRASIL. Estado de São Paulo. Reajuste de valores das Margens de Distribuição, sobre a atualização do Custo Médio Ponderado do gás e do transporte. **Retificação da Deliberação ARSESP n. 875, de 31 de maio de 2019**. São Paulo, 6 p., jun., 2 Trim. 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Relatório de preços semanais Mercado Livre de Energia**. Disponível em <https://www.ccee.org.br/preco_adm/precos/semanal/>. Acesso em 01 out 2019.

_____. **Preços Médios – PLD Final**: Disponível em <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios> – Acesso em 02 out 2019.

CARVALHO, A. M. et al. **Microturbinas a Gás, Motores Stirling e Células a Combustível para Geração Distribuída**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it96.pdf>>. Acesso em 02 out 2019.

COMPANHIA DE GÁS SÃO PAULO. **Distribuição de gás natural no estado de São Paulo**. São Paulo: COMGÁS, 2011. Disponível em <<https://www.comgas.com.br/a-comgas/onde-atuamos/>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

ELEKTRO. **Tarifas, Taxas e Tributos**. Disponível em <<https://www.elektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acesso em 02 out 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) **Energia Termoeleétrica Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Disponível em <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes Arquivos/ publicacao-173](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes%20Arquivos/publicacao-173)>. Acesso em 16 ago. 2019.

_____. **Relatório Síntese BEN 2019/ Ano Base 2018**. São Paulo, 2019. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em 16 ago. 2019.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. v.2. Brasília: MME/EPE, 2019.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. v.2. Brasília: MME/EPE, 2017.

HAUQWITZ, S. **Modelling of Microturbine Systems**. Dissertação de Mestrado, Lund Institute of Technology, 2002.

LIPPEL. **Queimador de Biomassa**. Disponível em <<http://www.lippel.com.br>>. Acesso em 2 out 2019.

LIZARRAGA, J. M. S. **Cogeneración: Aspectos Termodinámicos, Tecnológicos y Económicos**. Bilbao: Ed. Universidad del Pais Vasco, 1999.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) **Mapa do pré-sal**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 02 out 2019.

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1ª Edição. Brasil: Editora LTC, 2017, 412 p.

PARENTE, Virginia. **Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Energia**. São Paulo: 2019. 42 p. Apostila para o Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

REIS, L.B. **Geração de Energia Elétrica**. 2ª Edição. Ed. Barueri, SP: Editora Manole, 2010. 484 p.

SILVA, Ricardo Correia da. **Análise da Geração Distribuída no Setor Terciário com Aplicação de Cogeração em Shopping Center**. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016. 92 p.

SOLARGIS. **Potencial Energético Brasileiro**. Disponível em <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/south-america>>. Acesso em 05 out 2019.

TERMOGAMMA ENERGY SOLUTIONS. **Unidade de cogeração de gás natural**. Disponível em <<https://www.termogamma.net/solutions/cogeneration/>>. Acesso em 5 out 2019.

TOGAWA ENGENHARIA. **Mercado Livre Energia**. Disponível em <<https://togawaengenharia.com.br/blog/mercado-livre-energia/>>. Acesso em 05 out 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio T. **Energia Renovável. Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro. EPE, 2016. 452 p.