

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA

**Estudo de viabilidade técnico-econômica comparativo entre Cogeração
a Gás Natural e Solar Fotovoltaica aplicado a *Shopping Center***

São Paulo

2017

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA

Estudo de viabilidade técnico-econômica comparativo entre Cogeração a Gás Natural e Solar Fotovoltaica aplicado a *Shopping Center*

Versão Original

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

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. MSc. Ronaldo Andreos

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Oliveira, Gustavo

Estudo de viabilidade técnico-econômica comparativo entre Cogeração a Gás Natural e Solar Fotovoltaica aplicado a *Shopping Center* / G. Oliveira. – São Paulo, 2017.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética).
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Cogeração. 2.Gás natural. 3. Energia Solar Fotovoltaica. 4. Geração Distribuída.

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
PECE - Programa de Educação Continuada em Engenharia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio em momentos de necessidade e suporte.

Ao meu filho e minha namorada por entenderem e me apoiarem nos meus momentos de ausência para a elaboração desse trabalho.

Ao Prof. MSc. Ronaldo Andreos, pela atenção e apoio não apenas durante o processo de definição e orientação desse trabalho, mas também pela atenção, apoio e colaboração em assuntos externos a monografia, que com certeza significaram muito para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao Prof. Dr. José Simões Moreira, que me apoiou e contribuiu para meu crescimento científico e intelectual, dentro e fora dos limites da Universidade de São Paulo.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de especialização e de contato com um corpo docente de tão alto nível.

Ao Center Vale Shopping, ao gerente de operações Gilberto Brito e ao supervisor de operações da usina de cogeração Daniel Vaz por colocarem à disposição todas as informações necessárias por parte do autor para a elaboração desse trabalho acadêmico.

RESUMO

OLIVEIRA, Gustavo. **Estudo de viabilidade técnico-econômica comparativo entre Cogeração a Gás Natural e Solar Fotovoltaica aplicado a Shopping Center**. 2017. 120f. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Programa de Educação Continuada (PECE) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

O objetivo dessa monografia é estudar a aplicação e viabilidade de sistemas de cogeração a gás natural e solar fotovoltaico em uma análise comparativo técnico-econômica. Além das soluções de geração própria foi estudado a opção de compra de energia no mercado livre (ACL) como alternativa de fornecimento energético. A metodologia empregada na comparação econômica foi o *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE) para se analisar os custos relacionados ao ciclo de vida das usinas nas tecnologias propostas. Essa metodologia foi escolhida para se verificar a variação do custo da geração ao longo do tempo em cada uma das diferentes soluções. Além disso foi realizado uma análise de *payback* simples apenas como complemento do estudo. Os resultados mostraram que a tecnologia de cogeração utilizando motor de combustão interna possui um baixo investimento inicial, porém tem um custo de operação e manutenção elevado, principalmente pela dependência do consumo do gás natural. Por outro lado, a energia solar fotovoltaica mostrou ser o inverso, possui um elevado custo de implantação, porém tem um baixíssimo custo de operação e manutenção. A análise da contratação no mercado livre ainda mostrou que a tendência de crescimento econômico do Brasil a partir de 2018 poderá resultar em um retorno dos altos preços praticados no setor, aumentando a atratividade de projetos de geração distribuída. Diante de todas as análises realizadas pode-se concluir que para 2022, que é o ano alvo desse trabalho, os cenários estudados se mostraram bastante positivos, demonstrando que ambas soluções de geração própria podem ser consideradas. Porém a tecnologia solar fotovoltaica mostrou ter um destaque por estar a cada ano mais competitiva economicamente além de ter um maior apelo de sustentabilidade e conseqüentemente de *marketing*, o que para um *shopping center* é um atrativo de público muito interessante.

Palavras-chave: Cogeração. Gás Natural. Energia solar fotovoltaica. *Shopping Center*. Geração Distribuída.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Gustavo. **Comparative technical-economic feasibility study between Natural Gas Cogeneration and Photovoltaic Solar applied to a Shopping Mall**. 2017. 120s. Course conclusion paper (Specialization in Renewable Energy, Distributed Generation and Energy Efficiency) - Continuing Education Program (PECE) - Polytechnic School of the University of São Paulo, 2017.

The objective of this paper is to study the application and feasibility of natural gas cogeneration and solar photovoltaic systems in a comparative technical-economic analysis. In addition to the self-generation solutions, the option to purchase energy in the free market (ACL) was studied as an alternative for energy supply. The methodology used in the economic comparison was the Levelized Cost Of Electricity (LCOE) to analyze the costs related to the life cycle of the plants in the proposed technologies. This methodology was chosen to verify the variation of generation cost over time in each of the different solutions. In addition, a simple payback analysis was performed only as a complement to the study. The results showed that cogeneration technology using an internal combustion engine has a low initial investment, but it has a high operating and maintenance cost, mainly due to its dependence on natural gas consumption. On the other hand, photovoltaic solar energy has proven to be the opposite, it has a high cost of implementation, but has a very low cost of operation and maintenance. The analysis of the free market contract still showed that Brazil's economic growth trend from 2018 onwards could result in a return of high prices in the sector, increasing the attractiveness of distributed generation projects. In view of all the analyzes carried out, it can be concluded that for 2022, which is the target year for this study, the scenarios studied were quite positive demonstrating that both self-generated solutions can be considered. However, solar photovoltaic technology has been shown to be more economically competitive each year, besides having a greater appeal for sustainability and consequently for marketing, which for a shopping mall is a very interesting public attraction.

Keywords: Cogeneration. Natural Gas. Solar Photovoltaic energy. *Shopping Center*. Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Sistema de compensação de energia elétrica	19
Figura 2-2 – Benefícios da Cogeração.....	21
Figura 2-3 – Cogeração e dimensionamento topping cycle.....	23
Figura 2-4 - Exemplo de ciclo topping operando com turbina a gás	23
Figura 2-5 - Cogeração e dimensionamento bottoming cycle.....	24
Figura 2-6 - Exemplo de ciclo bottoming operando com turbina a vapor	24
Figura 2-7 - MCI (Caterpillar) a Gás Natural com $\eta_e = 34\%$	25
Figura 2-8 - Resfriador de líquido por absorção - Água quente.....	27
Figura 2-9 - Ciclo Topping em MCI - Eletricidade e Água Gelada	28
Figura 2-10 - Piranômetro Termoelétrico	32
Figura 2-11 - Piranômetro Fotovoltaico	32
Figura 2-12 - Pireliômetro	33
Figura 2-13 – Dados de Irradiação Site CRESESB.....	33
Figura 2-14 – Softwares de dimensionamento de usinas fotovoltaicas	34
Figura 2-15 – Irradiação Global no Plano Horizontal.....	35
Figura 2-16 - Irradiação solar horizontal do Brasil.....	35
Figura 2-17 – Estrutura física de uma junção pn de uma célula fotovoltaica	36
Figura 2-18 - Cadeia de produção fotovoltaica.....	37
Figura 2-19 - Célula Monocristalina	38
Figura 2-20 - Lingote Monocristalino.....	38
Figura 2-21 - Lingote Policristalino.....	38
Figura 2-22 - Célula Policristalina	38
Figura 2-23 - Célula fotovoltaica policristalina comercial.....	39
Figura 2-24 - Modularidade fotovoltaica	39
Figura 2-25 - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino	40

Figura 2-26 - Curva característica I-V e curva de potência P-V para um módulo com potência nominal de 100Wp.....	41
Figura 2-27 - Definição do fator de forma.....	42
Figura 2-28 - Inversores Centrais.....	44
Figura 2-29 - Inversores Multistring.....	44
Figura 2-30 - Inversores de String.....	45
Figura 2-31 - Microinversor.....	45
Figura 2-32 - Sistema fotovoltaico conectado à rede	47
Figura 2-33 - Matriz Elétrica Brasileira	50
Figura 2-34- Geração Elétrica (GWh) – Variação 2015/2014	51
Figura 2-35 - Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17	52
Figura 2-36 - Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.....	53
Figura 4-1 - Fachada da entrada principal	57
Figura 4-2 - Imagem entrada marginal rodovia Presidente Dutra.....	58
Figura 4-3 - Selo Sustentabilidade outorgado pela Prefeitura de São José dos Campos.....	60
Figura 4-4 - Certificado Hora do Planeta – WWF - Brasil	61
Figura 5-1 - Consumo de Eletricidade Total.....	67
Figura 5-2 - Importação Total da Rede	67
Figura 5-3 - Consumo / Geração Térmica – Participação por Chiller	68
Figura 5-4 - Somatória da Participação dos Chillers CHABS QD 01 e CHEL 01.....	68
Figura 5-5 - Comparativo evolução PLD (R\$/MWh) x PIB (%)	70
Figura 5-6 - Potência e Eficiências Motogerador gás natural CG132-16.....	73
Figura 5-7 - Layout Proposto para aproveitamento térmico	74
Figura 5-8 - Nova Geração Água Gelada - Sistema Proposto.....	79
Figura 5-9 - SFCR	83
Figura 5-10 - Vista superior UFV Parte 1	85
Figura 5-11 - Vista Norte - Parte1	85
Figura 5-12 - Vista superior UFV Parte 2	87

Figura 5-13 - Vista Norte – Parte 2	87
Figura 5-14 - Geração mensal UFV	90
Figura 5-15 - Diagrama unifilar	91
Figura 5-16 - UFV completa - Vista Norte	92
Figura 5-17 - UFV completa - Vista superior	92
Figura 5-18 – Tarifas EDP Bandeirante – Vigência desde 21/10/2016.....	95
Figura 5-19 - LCOE	102
Figura 6-1 – LCOE – Cenário redução GN	106
Figura 6-2 – Possível local para instalação Carport.....	110
Figura 6-3 – Exemplo de Carport.....	111
Figura A-1 - Evolução número de shoppings	116
Figura A-2 - Evolução ABL.....	116
Figura A-3 - Evolução número de lojas	116
Figura A-4 - Evolução faturamento anual.....	117
Figura A-5 - Evolução Tráfego pessoas.....	117
Figura A-6 - Evolução número de empregos no setor.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Principais fabricantes de MCI a GN no Brasil	26
Tabela 2-2 - Principais fabricantes de ABS no Brasil	27
Tabela 2-3 - Valores de “X” e “Fc” em função da potência elétrica instalada e da fonte.....	29
Tabela 2-4 - Capacidade Instalada (MW).....	50
Tabela 2-5 - Geração Elétrica (GWh) – Comparação 2015/2014	51
Tabela 5-1 - Dados de Consumo Energético - 2016 / 2017 - TR.....	65
Tabela 5-2 - Dados de Consumo Energético - 2016 / 2017 - kW	66
Tabela 5-3 – Histórico e Projeção PIB nacional	70
Tabela 5-4 - Verificação do atraso no ajuste do PLD em relação ao PIB	71
Tabela 5-5 - Histórico PLD Médio / PIB	71
Tabela 5-6 - UGG-01	74
Tabela 5-7 – Funções do Fator de carga – UGG-01	75
Tabela 5-8 - Funções do Fator de carga – UGG-02.....	75
Tabela 5-9 - Funções do Fator de carga – UGG-02.....	76
Tabela 5-10 - Calor útil após recuperadores de calor.....	76
Tabela 5-11 - Geração de água gelada - CHABS AQ 01	77
Tabela 5-12 - Comparativo geração CHABS AQ 01 – Atual x Proposta.....	78
Tabela 5-13 - Balanço elétrico 1- Net Metering	80
Tabela 5-14 - % Atendimento Demanda	80
Tabela 5-15 - Balanço elétrico 2- Net Metering	80
Tabela 5-16 - Valores de “X” e “Fc” em função da potência elétrica instalada e da fonte.....	81
Tabela 5-17 - Cálculo cogeração qualificada - REN235.....	81
Tabela 5-18 - FUE	82
Tabela 5-19 - Meteonorm 7.2.1 – Irradiação Global horizontal (Gh - kWh/m2).....	84
Tabela 5-20 - Dados Gerais - Parte 1	86
Tabela 5-21 - Rendimento UFV - Parte 1.....	86
Tabela 5-22 - Dados Gerais - Parte 2	88

Tabela 5-23 - Rendimento UFV - Parte 2.....	88
Tabela 5-24 - Características técnicas painéis fotovoltaicos	88
Tabela 5-25 - Características técnicas Inversores	89
Tabela 5-26 - Consolidação dos dados totais da UFV	90
Tabela 5-27 - Net Metering - UFV	91
Tabela 5-28 - ML - Modalidade tarifária AZUL	93
Tabela 5-29 - ML - Modalidade tarifária VERDE	93
Tabela 5-30 – UGG-02 - Modalidade tarifária AZUL	94
Tabela 5-31 - UGG-02 - Modalidade tarifária VERDE	94
Tabela 5-32 – UFV - Modalidade tarifária AZUL	94
Tabela 5-33 – UFV - Modalidade tarifária VERDE	95
Tabela 5-34 - Consumo Energia elétrica TUSD	96
Tabela 5-35 - Consumo Energia elétrica TE e total.....	96
Tabela 5-36 – Tarifa gás natural para cogeração - COMGÁS.....	96
Tabela 5-37 – Cálculo da geração de energia.....	97
Tabela 5-38 – Produção de água gelada	97
Tabela 5-39 – Custo específico final	97
Tabela 5-40 – Premissas custos operacionais	97
Tabela 5-41 – Custo operacional	98
Tabela 5-42 – Premissas custos de instalação	98
Tabela 5-43 – Custo instalação	98
Tabela 5-44 – Índices de reajustes econômicos	99
Tabela 5-45 – LCOE 2022	99
Tabela 5-46 – Continuação LCOE – UGG-02 / UFV	100
Tabela 6-1 – Custo Operacional – Cenário favorável.....	105
Tabela 6-2 – Investimentos iniciais – Cenário favorável.....	105
Tabela 6-3 - Custo Operacional – Cenário desfavorável.....	107
Tabela 6-4– Investimentos iniciais – Cenário desfavorável.....	107

Tabela 6-5 - Perspectiva internacional de longo prazo para queda dos custos de instalação dos sistemas FV (USD/kWp)	108
Tabela 6-6 - Trajetória de redução de custos.....	108
Tabela A-1 - Classificação Abrasce por Tipo de Empreendimento.....	115
Tabela A-2 - Evolução do setor - 2016.....	115

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	Objetivo.....	15
1.2.	Motivação.....	15
1.3.	Justificativas.....	16
1.4.	Metodologia.....	16
1.5.	Expectativas.....	17
2.	ESTADO DA ARTE	18
2.1.	Geração Distribuída	18
2.1.1.	Resolução Normativa 482 ANEEL	19
2.1.2.	Resolução Normativa 687 ANEEL	20
2.2.	Cogeração.....	21
2.2.1.	Conceito.....	21
2.2.2.	Classificação dos sistemas.....	22
2.2.3.	Tipos de dimensionamento.....	22
2.2.4.	Equipamentos e tecnologias empregados	24
2.2.4.1.	Motor a Combustão Interna (MCI)	25
2.2.4.2.	Resfriadores de Líquido Por Absorção (ABS) “Chillers”	26
2.2.5.	Energia Elétrica e Água Gelada.....	27
2.2.6.	Cogeração Qualificada - Legislação Brasileira	28
2.3.	Solar Fotovoltaico	30
2.3.1.	Recurso solar.....	30
2.3.2.	Estimativa da radiação solar.....	31
2.3.3.	Mapas de Irradiação	34
2.3.4.	Conceito - Conversão Fotovoltaica	36
2.3.5.	Células Fotovoltaicas.....	37

2.3.6.	Módulo Fotovoltaico.....	39
2.3.7.	Curvas características de Corrente, Tensão e Potência.....	40
2.3.8.	Inversores	43
2.3.9.	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede.....	47
2.3.10.	Panorama Fotovoltaico Atual - Brasil.....	48
3.	SEGMENTO COMERCIAL - SHOPPING CENTERS.....	54
3.1.	Cenário Atual	54
3.2.	Retomada do setor.....	54
3.3.	Perspectivas 2017.....	55
3.3.1.	OUTLET.....	55
3.3.2.	Fora das capitais	56
4.	CENTER VALE SHOPPING.....	57
4.1.	Localização	57
4.2.	O shopping.....	57
4.3.	Administração – Ancar Ivanhoe	58
4.4.	Sustentabilidade.....	59
5.	ESTUDO DE CASO.....	62
5.1.	Levelized Cost of Energy (LCOE) – Custo nivelado da Energia	62
5.2.	Cenário atual do shopping	64
5.3.	Análise econômica para novo contrato no ACL para 2022	69
5.4.	Proposta de Cogeração a Gás Natural	72
5.5.	Proposta Solar Fotovoltaica	82
5.6.	Comparativo.....	93
6.	CONCLUSÃO.....	103
6.1.	Expectativas.....	103
6.2.	Cenários.....	104

6.2.1. Cenário favorável.....	104
6.2.1.1. Redução preço gás natural.....	105
6.2.2. Cenário desfavorável.....	107
6.3. Expectativas de evolução dos custos das tecnologias.....	107
6.4. Considerações finais.....	108
6.5. Sugestões para trabalhos futuros.....	111
APÊNDICE A.....	112
Desempenho da indústria de shopping centers no brasil.....	112
O Perfil de Shoppings no Brasil.....	113
Definições e convenções.....	114
Evolução do setor.....	115
Referências.....	118

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo

O objetivo desse trabalho é fornecer um estudo básico comparativo para o Center Vale *Shopping* das possíveis soluções energéticas para atendimento da parcela de energia elétrica que atualmente é suprida por contrato no Ambiente de Contratação Livre (ACL). Esse contrato se encerrará em dezembro de 2021 e esse estudo visa ser uma referência para a administração local que precisará definir qual será a estratégia adotada pela empresa para suprir o fornecimento de energia elétrica a partir de janeiro de 2022.

As soluções estudadas foram baseadas nas tecnologias de Cogeração a gás natural e Solar Fotovoltaica. A empresa inclusive já possui uma instalação da tecnologia de cogeração a gás natural em operação desde 2012, atendendo apenas a uma parcela da energia total demandada.

A título de “bônus” foi elaborado uma breve análise sobre a viabilidade econômica de se realizar um novo contrato no ACL. Essa opção é apenas uma **estimativa** de custo do Mega-Watt-hora (MWh) para 2022, baseando-se na expectativa de crescimento do produto interno bruto (PIB) em um comparativo com o passado recente desse mercado para um momento onde o país tinha taxas de crescimento similares as esperadas para 2022.

1.2. Motivação

Uma motivação para esse trabalho é o potencial de economia financeira que uma usina geradora local pode fornecer devido as expectativas de aumentos nos custos da energia tanto no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) quanto no ACL.

1.3. Justificativas

Uma característica dos sistemas de Geração Distribuída (GD) é a segurança e previsibilidade financeira nos custos com consumo de energia elétrica, uma vez que ao se produzir a própria energia já se tem conhecimento dos valores a serem aportados como investimento inicial e dos custos de operação e manutenção pelo período de vida útil da usina.

Além disso, uma segunda motivação é o apoio ao desenvolvimento da GD que gera um grande benefício ao país. As usinas de GD desafogam o sistema de geração centralizado que atualmente conta muito com a participação de usinas termoeletricas movidas a carvão ou óleo diesel que são caras e muito poluentes e necessitam transmitir a energia gerada em locais distantes dos pontos de consumo promovendo grandes perdas pelo sistema de transmissão, diminuindo assim a eficiência do sistema como um todo. A GD beneficia a matriz energética do país produzindo energia para o desenvolvimento do país promovendo uma geração mais eficiente e conseqüentemente de menores emissões de poluentes atmosféricos contribuindo ainda para a mitigação das inseguranças na geração e eliminando perdas pelos sistemas de transmissão e distribuição.

1.4. Metodologia

Para esse trabalho foi utilizado como metodologia de desenvolvimento técnico da usina de cogeração a gás natural uma planilha de memória de cálculos com dados reais retirados de catálogos de produtos dos fabricantes consultados para o dimensionamento e estimativa de geração das energias elétrica e térmica. No caso da usina solar fotovoltaica (UFV) foi utilizado o *software* PV*SOL Premium R9 2017 (versão *trial*) para a modelagem 3D, dimensionamento, estimativa de irradiação local e estimativa de geração. Não serão especificados fabricantes, marcas e/ou modelos de equipamentos utilizados para o dimensionamento, apenas serão informadas as respectivas características técnicas para fins de análise do estudo. O escopo

abrangido nesse trabalho se limita até a estimativa de energia produzida na saída do inversor de frequência.

Para o desenvolvimento do comparativo econômico-financeiro foi utilizado a metodologia *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) em uma planilha de cálculos. Essa metodologia figura com méritos nas análises de empreendimentos energéticos pois relaciona os custos envolvidos e a energia gerada pelo empreendimento ao longo de sua vida útil. Esta metodologia representa o quanto um produtor de energia elétrica deveria obter de receita por kWh, de modo que seja o suficiente para cobrir as despesas operacionais, os investimentos, os juros e remunerar adequadamente os investidores.

O horizonte analisado foi de 25 anos pois esse é o valor considerado de vida útil de uma UFV e foi escolhido como parâmetro comparativo com a usina de cogeração proposta.

1.5. Expectativas

É esperado com esse trabalho encontrar um cenário econômico mais favorável as soluções de GD pois a cada ano que passa pode-se observar uma queda nos preços de aquisição dos equipamentos, o que nos induz a concluir que o *payback* desses projetos está cada vez menor, sendo portanto um investimento cada vez mais atrativo economicamente.

2. ESTADO DA ARTE

Conforme escopo desse trabalho, será abordado a utilização de duas tecnologias distintas para a produção de energia, a cogeração a gás natural e a solar fotovoltaica. A seguir será dada uma breve análise no estado da arte dessas tecnologias, pelo ponto de vista da aplicação proposta.

2.1. Geração Distribuída

A definição da geração distribuída (GD) de uma forma geral pode ser caracterizada como a geração de energia próxima aos centros de consumo, apesar de não haver um consenso com as especificações e definições exatas deste tipo de geração (NAKABAYASHI, R. K. 2014).

Embora alguns autores correlacionem o conceito de GD com as energias renováveis, é possível a geração descentralizada, como também é conhecida a GD, por meio de recursos não-renováveis como, por exemplo, o gás natural (GN). Além disso a definição não deve se limitar a algumas tecnologias, visto que a disponibilidade de recursos varia significativamente de acordo com a região e o país.

Visando aumentar o estímulo à expansão da micro e minigeração próxima aos pontos de consumo o arcabouço regulatório vem evoluindo desde 2010 a partir da consulta pública nº 015/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São esperadas nos curto e médio prazos medidas que visem aumentar ainda mais o estímulo ao setor, como a possibilidade de comercialização dos excedentes de geração em complemento à possibilidade de o consumidor compensar seu consumo com geração própria conforme ilustrado na figura 2-1.

Figura 2-1 - Sistema de compensação de energia elétrica



Fonte: (ANEEL 2016)

2.1.1. Resolução Normativa 482 ANEEL

Por meio dos resultados da Audiência Pública nº 42/2011, a ANEEL estabeleceu em abril de 2012 as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída às redes de distribuição e ao sistema de compensação de energia elétrica, por meio da publicação de Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 (REN 482).

Os pontos básicos da REN 482 são os seguintes:

- Possibilidade de utilização da geração própria por meio do uso do sistema de compensação do consumo a partir da geração realizada;
- Caracterização da microgeração como sistemas de até 100 kW de potência instalada oriundos de fontes que utilizam energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.
- Caracterização de minigeração como sistemas entre 100 kW até 1 MW de potência instalada oriundos de fontes que utilizam energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.
- O sistema de compensação é facultado apenas quando a geração se dá no mesmo ponto da unidade consumidora ou em unidade consumidora

com a mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados;

- A compensação do consumo tem de ser realizada no prazo máximo de 36 meses.

2.1.2. Resolução Normativa 687 ANEEL

Em maio de 2015 a ANEEL abriu Audiência Pública nº 026/2015 para colher subsídios para a alteração na REN 482. Essa audiência culminou com a publicação da Resolução Normativa nº 687 (REN 687), de 24 de novembro de 2015.

A publicação dessa nova regulamentação inseriu uma série de incentivos adicionais para a expansão da micro e minigeração distribuída que passaram a fazer parte do arcabouço regulatório.

As principais alterações promovidas pela REN 687 em relação a REN 482 foram:

- Microgeração passou a ser considerada a geração com potência igual ou inferior a 75 kW, porém para qualquer fonte renovável de energia, mantendo-se a possibilidade da cogeração qualificada;
- Minigeração passou a ser considerada com potência instalada superior a 75 kW e inferior a 3 MW para fonte hídrica ou menor que 5 MW para as demais fontes renováveis e cogeração qualificada.
- Prazo para compensação dos créditos passou a ser de 60 meses.

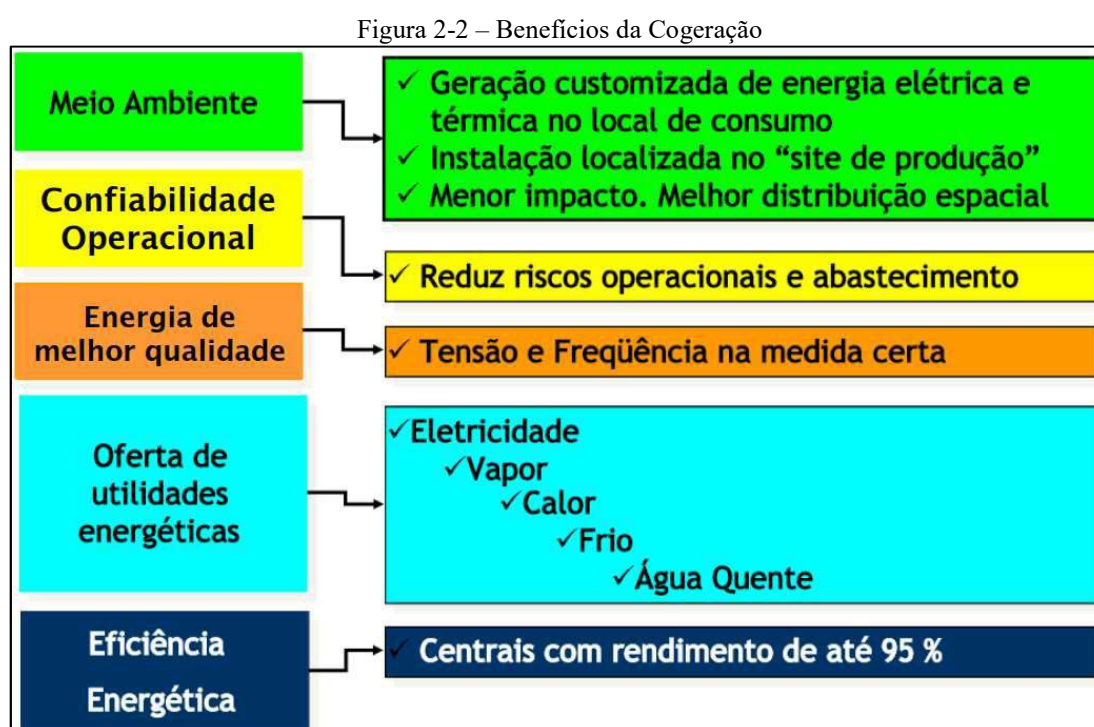
Além das mudanças citadas anteriormente, a geração compartilhada passou a ser autorizada, ou seja, a utilização por meio de consórcio ou cooperativa, de geração compartilhada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão, composta por pessoa física ou jurídica que possua unidade consumidora como micro ou minigeração em local diferente das unidades onde há geração excedente.

A nova regulamentação ainda permite que um mesmo empreendimento de geração atenda a múltiplas unidades consumidoras, caracterizadas pela utilização independente de cada fração com uso individualizado.

2.2. Cogeração

2.2.1. Conceito

“Cogeração consiste no processo de produção simultânea ou sequencial de duas ou mais formas de energia, térmica e mecânica, a partir de um único combustível, ...” (SIMÕES-MOREIRA, J. R. (Org.) 2017). A cogeração é um processo recomendado quando se busca um uso eficiente da energia, racionalização dos recursos energéticos e redução dos impactos ambientais. A figura 2-2 mostra algumas as vantagens dos sistemas de cogeração.



Fonte: (ANDREOS, R. 2016)

A cogeração pode obter um aproveitamento de até 95% da energia primária do combustível, e pode ser aplicada em qualquer projeto que tenha demanda simultânea de eletricidade e energia térmica (ANDREOS, R. 2016). Dentre as vantagens do uso da tecnologia pode-se citar:

- Autossuficiência energética;
- Segurança e qualidade da energia elétrica;
- Sustentabilidade;
- Competitividade operacional.

2.2.2. Classificação dos sistemas

De acordo com a Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP), a cogeração pode ser classificada em 4 tipos:

- a) Sistemas de companhias elétricas;
- b) Sistemas industriais;
- c) Sistemas de calefação e;
- d) Sistemas de energia total.

O sistema de energia total refere-se as plantas de cogeração totalmente isoladas da rede elétrica atendendo a demanda elétrica do empreendimento e o calor residual é recuperado na produção de calefação e/ou climatização para o mesmo. Desta definição deriva-se o termo Sistema de energia total integrado, que é tipo de sistema abordado por essa monografia, onde o sistema de cogeração é integrado à rede pública podendo exportar a energia elétrica para a rede (SIMÕES-MOREIRA, J. R. (Org.) 2017).

2.2.3. Tipos de dimensionamento

Durante o estudo técnico para dimensionamento da planta de cogeração é necessário buscar o balanço energético mais adequado para o empreendimento, de forma a atender as demandas elétrica e térmica com o maior rendimento possível. Existem dois tipos de dimensionamentos básicos:

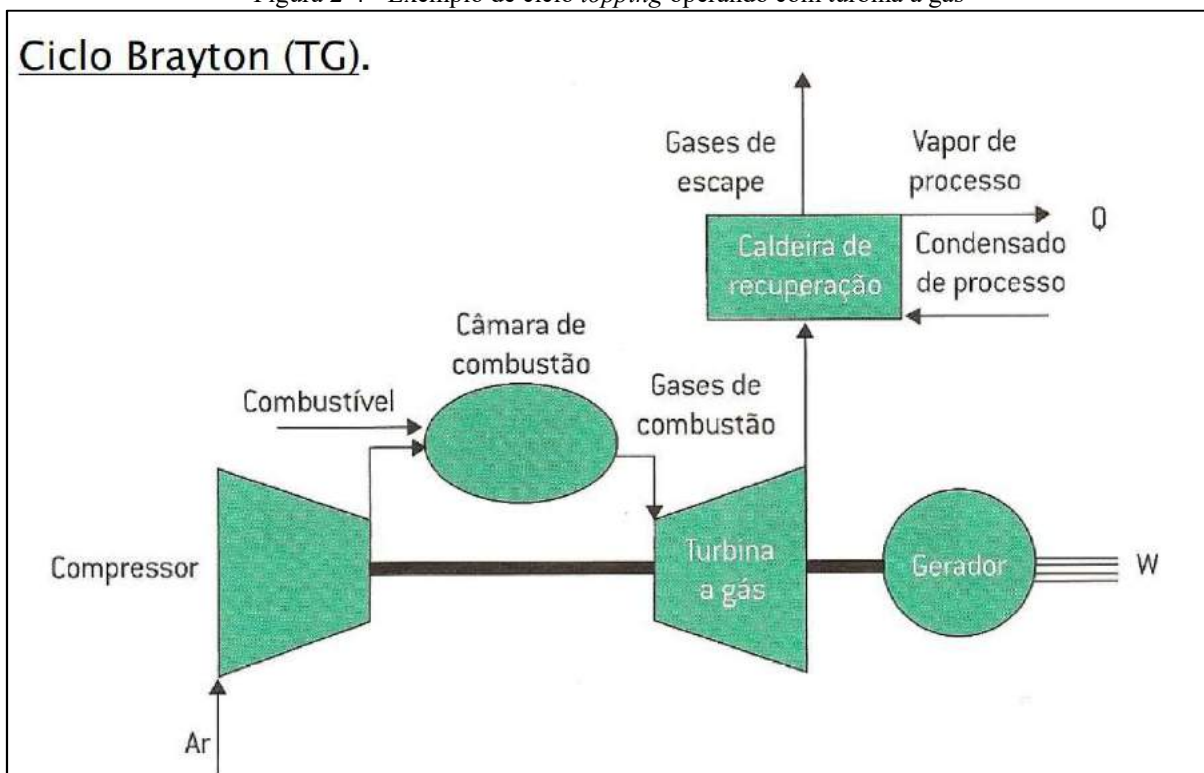
a) *Topping Cycle*

Esse dimensionamento visa ter como produção principal a geração de energia elétrica sendo o calor residual recuperado e utilizado na produção de energia elétrica resultante. Esse é o ciclo ilustrado na figura 2-3 e que será abordado nesse trabalho devido essa configuração ser a mais utilizada no setor terciário, comércio e serviços, nos quais a energia elétrica tem maior relevância e intensidade (SIMÕES-MOREIRA, J. R. (Org.) 2017).

Figura 2-3 – Cogeração e dimensionamento *topping cycle*

Fonte: (ANDREOS, R. 2016)

Consiste, geralmente, em uma máquina térmica onde a energia primária é transformada em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica em um alternador, a energia de exaustão dos gases é recuperada e pode ser aproveitada em mais diversas formas (ANDREOS, R. 2016). A figura 2-4 ilustra uma turbina a gás operando em ciclo Brayton como um exemplo de ciclo *topping*.

Figura 2-4 - Exemplo de ciclo *topping* operando com turbina a gás

Fonte: (ANDREOS, R. 2016)

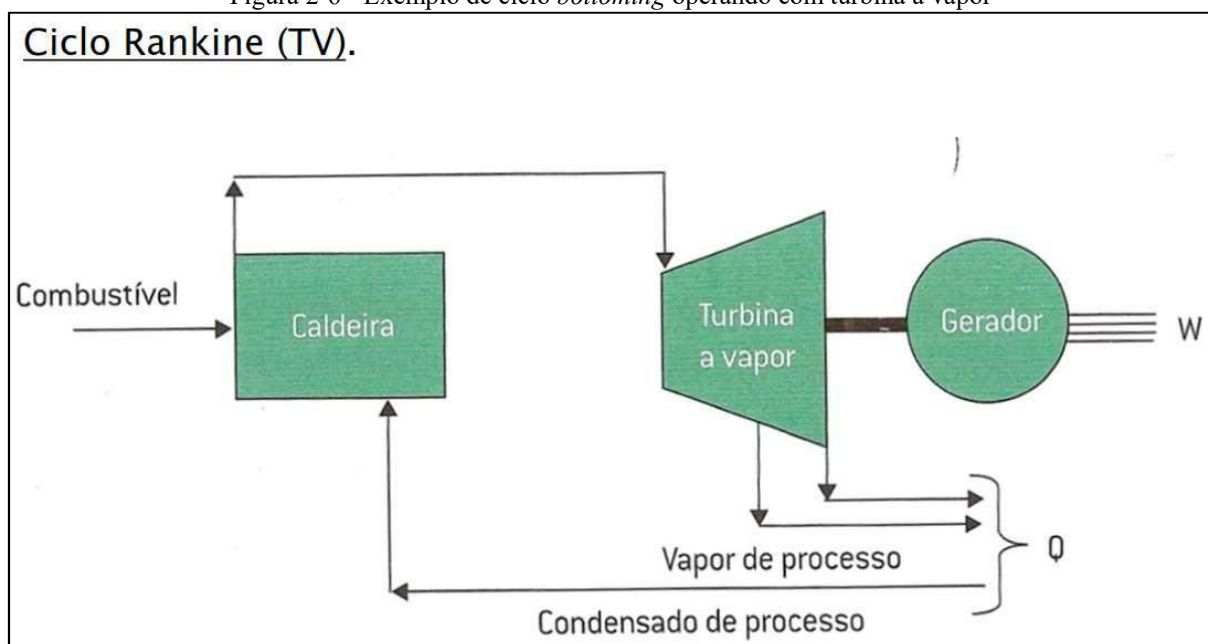
b) *Bottoming Cycle*

Ao contrário do ciclo *topping* o ciclo *bottoming* visa como produção de base, ou geração principal, a energia térmica. O combustível primário gera primeiramente a energia térmica, e o calor residual recuperado é utilizado na produção da energia elétrica resultante conforme demonstrado na figura 2-5.

Figura 2-5 - Cogeração e dimensionamento *bottoming cycle*

Fonte: (ANDREOS, R. 2016)

Esse ciclo se viabiliza, geralmente, em processos cujo combustível tem um baixo custo, exemplos encontramos em usinas de cana-de-açúcar, indústria de celulose (liquor negro). A figura 2-6 exemplifica esse dimensionamento com ciclo Rankine em uma turbina a vapor.

Figura 2-6 - Exemplo de ciclo *bottoming* operando com turbina a vapor

Fonte: (ANDREOS, R. 2016)

2.2.4. Equipamentos e tecnologias empregados

Para o setor terciário de pequeno e médio porte existem tecnologias aplicadas a cogeração focadas para o setor. De acordo com a literatura técnica pertinente e dados disponibilizados pelos principais fabricantes com representação no mercado brasileiro levantados por Andreos (2013, pág. 7), alguns dos principais equipamentos utilizados são:

- Motor a combustão interna (MCI);
- Turbina a vapor (TV);
- Turbina a gás (TG);
- Microturbina a gás (μ TG);
- Resfriador de líquido por absorção (ABS).

Nesse trabalho de aplicação em *shopping center* foram considerados como possíveis soluções, respeitadas as devidas características de perfil de consumo do local, a utilização de MCI e ABS com alimentação de água quente. As características citadas são referentes as variações de consumo e necessidade de respostas de partidas rápidas durante o funcionamento diário. Para esse perfil de consumo é mais indicado a utilização de MCI e não é recomendado a utilização das tecnologias de turbinas, que são indicadas para uso em regimes mais constantes e que possuam respostas de partida mais lentas.

2.2.4.1. Motor a Combustão Interna (MCI)

Grupos motogeradores, ilustrado na figura 2-7, são compostos por um motor a combustão interna estacionário acoplado a um gerador de energia elétrica. Os motores a combustão interna são do tipo endotérmico com movimentos alternativos através de pistões que giram o eixo principal transmitindo a potência necessária para girar o alternador que produz a energia elétrica (ANDREOS, R. 2013).



Fonte: Elaboração própria com dados de (ANDREOS, R. 2013)

Os principais fabricantes de MCI a GN para aplicações de cogeração com distribuição no Brasil são descritos na tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Principais fabricantes de MCI a GN no Brasil

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 kWe	Finlândia
Yanmar	3,5 a 16 kWe	Japão

Fonte: (ANDREOS, R. 2013)

2.2.4.2. Resfriadores de Líquido Por Absorção (ABS) “Chillers”

O resfriador de líquido por absorção produz água gelada utilizada para climatização de ambiente. Ao contrário dos equipamentos convencionais que utilizam energia elétrica como fonte primária trabalhando num ciclo a compressão, o ABS opera a calor, proveniente de energia térmica primária, tais como água quente como no caso específico desse trabalho (Figura 2-8), vapor de baixa e média pressão, gases quentes ou ainda queima direta de combustível, operando num ciclo por absorção com pressão interna relativa negativa.

Pelo fato de utilizar energia térmica primária o ABS é muito utilizado em sistemas de cogeração onde existam as demandas simultâneas de energia elétrica e água gelada para climatização de ambientes, aumentando assim o Fator de Utilização de Energia (FUE) pela recuperação do calor rejeitado na geração de eletricidade (ANDREOS, R. 2013).

Figura 2-8 - Resfriador de líquido por absorção - Água quente



Fonte: Internet

Os principais fabricantes desses equipamentos com fornecimento para o Brasil são listados na tabela 2-2

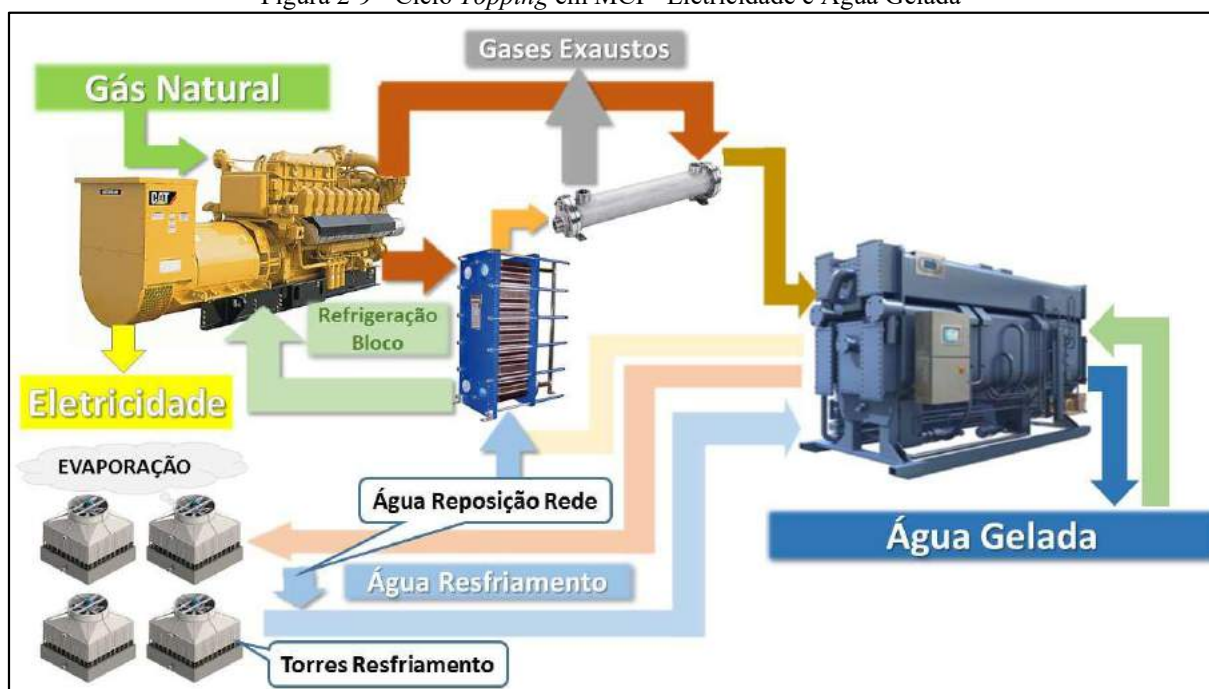
Tabela 2-2 - Principais fabricantes de ABS no Brasil

Fabricante	Origem
Carrier	EUA/Coréia/China
LS Cable	Coréia
Thermax	Índia
York	EUA/China
Broad	China
Kawasaki	Japão
Robur	Itália

Fonte: (ANDREOS, R. 2013)

2.2.5. Energia Elétrica e Água Gelada

Essa monografia utilizou como configuração de sistema proposto a combinação de energia elétrica e água gelada por ser a necessidade do *shopping center* estudado. De acordo com Andreos (2013, pág 20), essa é a configuração mais aplicada ao setor terciário. A figura 2-9 ilustra o sistema proposto com dimensionamento em ciclo *topping*, onde parte da energia contida no calor rejeitado pelo bloco do motor e pelos gases de exaustão é recuperado e encaminhado para um *chiller* ABS que produz água gelada para a climatização interna local.

Figura 2-9 - Ciclo *Topping* em MCI - Eletricidade e Água Gelada

Fonte: Elaboração própria com informações de (ANDREOS, R. 2016).

2.2.6. Cogeração Qualificada - Legislação Brasileira

A Resolução Normativa n° 235, de 14 de novembro de 2006 da ANEEL, (REN 235) visa estabelecer em seu artigo 1º os requisitos para qualificação das centrais cogedoras, com vistas à participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos. Em seu artigo 2º ainda define a sua aplicação para:

“I – pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que produzam ou venham a produzir energia elétrica destinada ao serviço público ou à produção independente; ou

II – pessoa física, pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que produzam ou venham a produzir energia elétrica destinada à autoprodução, com excedente para comercialização eventual ou temporária” (ANEEL 2006).

Para fins de enquadramento na modalidade de “cogeração qualificada” a central termelétrica cogedora deverá atender os seguintes requisitos:

“I - estar regularizada perante a ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na Resolução nº 112, de 18 de maio de 1999; e

II – preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações a seguir: ” (ANEEL 2016).

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (1)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\% \quad (2)$$

Os valores de “X” e “Fc” das fórmulas de que trata o inciso II deverão ser aplicados em função da potência elétrica instalada na central de cogeração e da respectiva fonte, obedecida a tabela 2-3:

Tabela 2-3 - Valores de “X” e “Fc” em função da potência elétrica instalada e da fonte

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: (ANEEL 2006)

Ainda de acordo com a REN 235, as definições das terminologias e conceitos são descritas em seu artigo 3º, alínea b)

DAS TERMINOLOGIAS E DOS CONCEITOS

III - Energia da fonte (Ef): energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);

IV - 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;

V - Energia da utilidade calor (E_t): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

VI - Eficiência Energética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidade eletromecânica e utilidade calor;

VII - Eficiência Exergética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidades equivalentes à eletromecânica;

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

IX - 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.

2.3. Solar Fotovoltaico

2.3.1. Recurso solar

O Sol é a principal fonte de energia de todo o planeta, seja no fornecimento de energia para a realização de todos os processos climáticos naturais, seja como fonte de calor e luz para os vegetais, animais e para o homem nas suas próprias atividades. A energia solar é o maior recurso energético de que a humanidade dispõe (SIMÕES-MOREIRA, J. R. (Org.) 2017).

A energia da biomassa, ou da matéria orgânica, tem como origem a energia captada do Sol através da fotossíntese, que é a conversão da energia da luz solar em energia química. A energia da água dos rios, usada para mover turbinas de usinas hidrelétricas, tem origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocados pelo calor do Sol. A energia eólica tem origem nas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera ocasionadas pelo aquecimento solar. Até mesmo os combustíveis fósseis como o carvão, gás natural e o petróleo também têm sua origem na energia solar, pois são resultado da decomposição da matéria orgânica produzida há muitos milhões de anos (VILLALVA 2016).

2.3.2. Estimativa da radiação solar

Para o desenvolvimento de projetos que visam a captação e conversão da energia solar é necessário realizar uma estimativa da radiação solar no local onde o sistema será instalado. De posse dessas informações pode-se viabilizar a instalação de equipamentos de sistemas fotovoltaicos, garantindo o máximo aproveitamento do recurso ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014).

O conhecimento do recurso solar é a variável de maior peso para o desenvolvimento de um projeto de sistema de aproveitamento da energia solar, sendo necessária a obtenção de dados de medição para:

- Identificação e seleção da localização mais adequada para instalação do sistema fotovoltaico;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Cálculo da produção de energia anual, mensal ou diária.

Existem dois instrumentos comumente utilizados para a mensuração da irradiação solar: o piranômetro e o pireliômetro, o primeiro para medidas da irradiação global e o segundo para medidas da irradiação direta.

Existem dois tipos principais de piranômetro: piranômetro termoeletrico e piranômetro fotovoltaico. O piranômetro termoeletrico, apresentado na Figura 2-10, utilizado para medir a irradiância solar global (direta + difusa), normalmente no plano horizontal (campo hemisférico), tem como sensor uma termopilha colocada no interior de duas semiesferas de vidro concêntricas. A termopilha é construída com múltiplos termopares em série, com a junção quente enegrecida faceando o sol e a junção fria na parte inferior.

Figura 2-10 - Piranômetro Termoelétrico



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

O piranômetro do tipo fotovoltaico (FV), mostrado na Figura 2-11, é composto por uma célula fotovoltaica de pequenas dimensões e apresenta como vantagem custo muito mais baixo e como desvantagem o fornecimento de medidas com menor precisão.

Figura 2-11 - Piranômetro Fotovoltaico



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

O pireliômetro é um instrumento utilizado para medir a irradiância direta com incidência normal à superfície. O instrumento caracteriza-se por apresentar uma pequena abertura de forma a "visualizar" apenas o disco solar e a região vizinha denominada circunsolar. O sistema de medição da irradiância direta com o uso do pireliômetro pode ser com o rastreamento solar em 1 ou 2 eixos, sendo a escolha determinada pela análise da relação de custo-benefício em uma utilização particular (Figura 2.12).

Figura 2-12 - Pireliômetro

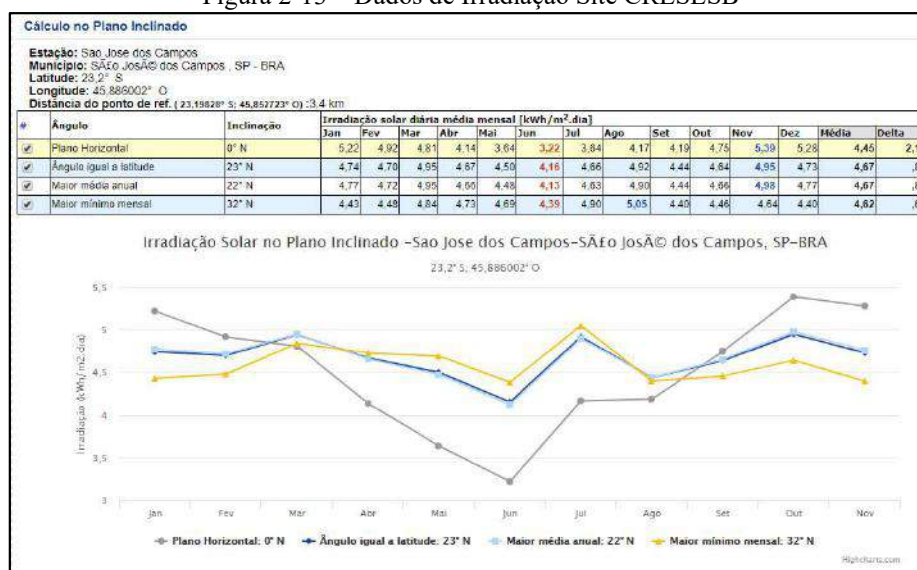


Fonte: Internet

Esses instrumentos são utilizados em estações de monitoramento e para posicionamento de sistemas de rastreamento (*trackers*).

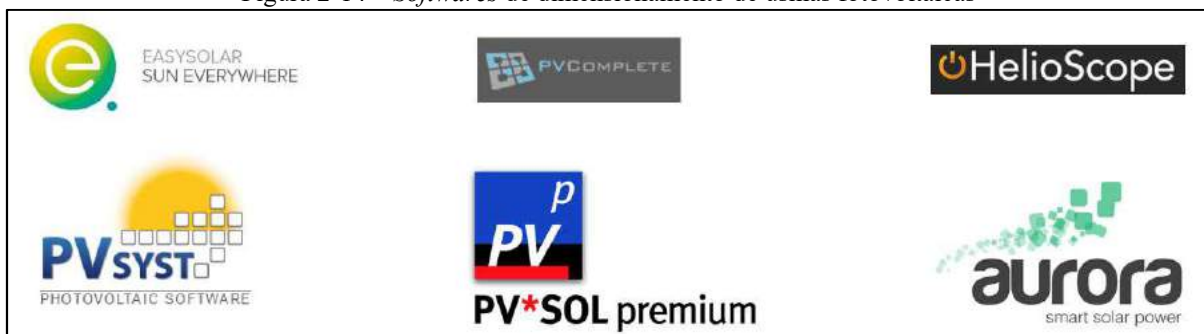
Páginas de *websites* especializados em monitoramento de estações meteorológicas como (CRESESB) auxiliam os projetistas no desenvolvimento de usinas fotovoltaicas na busca por informações de estimativas de radiação solar.

Figura 2-13 – Dados de Irradiação Site CRESESB



A utilização de *softwares* especializados em dimensionamentos de usinas fotovoltaicas também facilita muito a busca por essas informações pois a maioria deles possui uma base de dados própria da irradiação solar global. Alguns dos *softwares* mais utilizados são ilustrados na figura 2-14.

Figura 2-14 – *Softwares* de dimensionamento de usinas fotovoltaicas



Fonte: Elaboração Própria com dados Internet

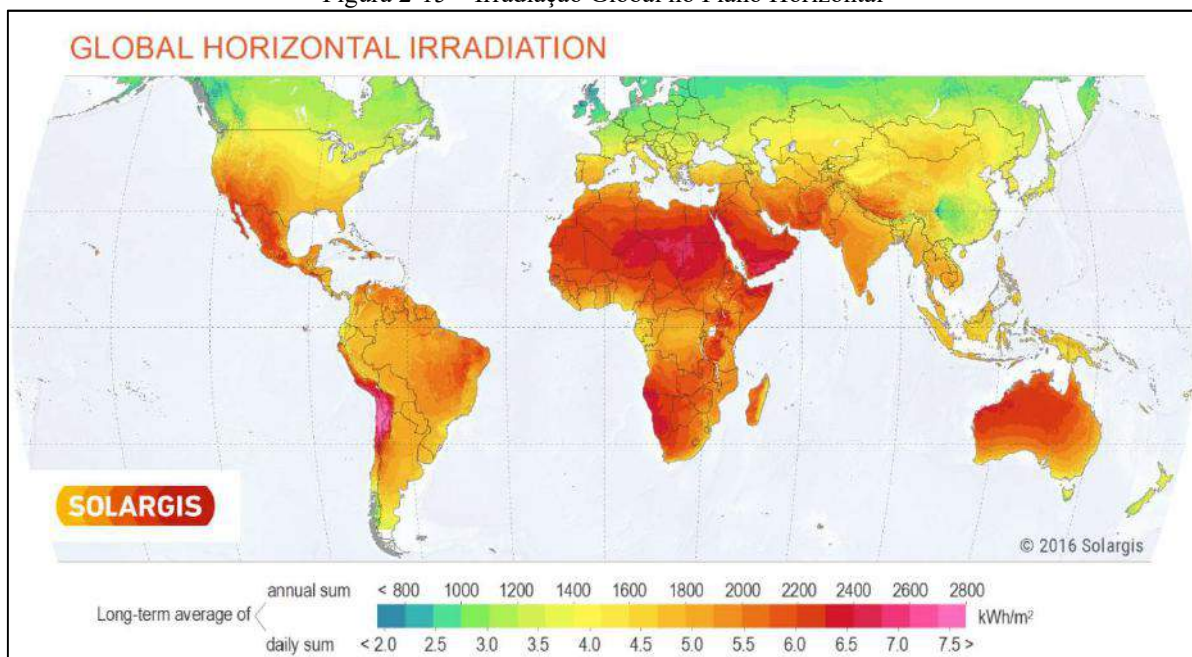
2.3.3. Mapas de Irradiação

Os mapas de irradiação foram feitos baseado nas estimativas de irradiação solar com o objetivo de facilitar o conhecimento solarimétrico e prever o potencial solar em uma determinada região do globo terrestre. Essas estimativas, normalmente, são feitas a partir da coleta de dados retirados dos modelos usando satélites e então são validadas por meio de comparações com os dados medidos em superfície em estações distribuídas pelo mundo. Dessa forma, são gerados mapas de irradiação solar global (Figura 2-15), mapas das componentes difusas e da irradiação em planos inclinados.

A irradiação solar no plano horizontal é o parâmetro mais importante para avaliar o potencial da energia solar em uma particular região do planeta terra e é usada como valor base para simular a instalação de painéis fotovoltaicos. Isso se dá pelo fato de mostrar a quantidade de energia incidente no plano de maior irradiação solar considerando a posição geográfica do local.

No Brasil têm-se características semelhantes às regiões globais com maior incidência solar com um potencial muito grande, variando de 1500 kWh/m² por ano até 2300 kWh/m² por ano conforme mostrado na figura 2-16.

Figura 2-15 – Irradiação Global no Plano Horizontal



Fonte: (SolarGIS 2016)

Figura 2-16 - Irradiação solar horizontal do Brasil



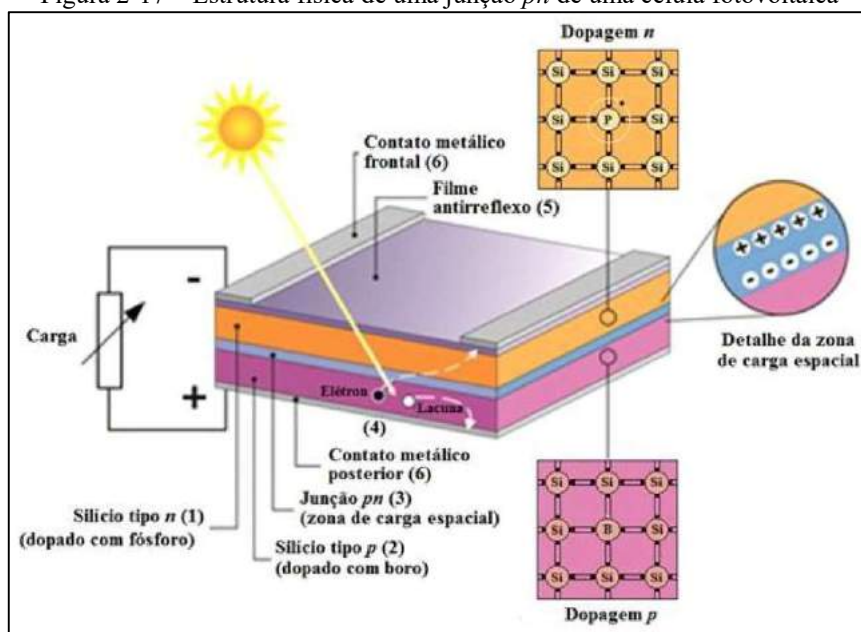
Fonte: (SolarGIS 2016)

2.3.4. Conceito - Conversão Fotovoltaica

De acordo com Villalva (2016) efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou a radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas.

A figura 2-17 ilustra a estrutura de uma célula fotovoltaica composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior.

Figura 2-17 – Estrutura física de uma junção *pn* de uma célula fotovoltaica



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou de prata. A parte superior da célula, que recebe luz, precisa ser translúcida, portanto os contatos elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula.

2.3.5. Células Fotovoltaicas

As células de c-Si corresponderam em 2011 a 87,9% do mercado mundial. Para sua fabricação, a matéria prima utilizada é o silício ultrapuro. Pode ser utilizada a mesma matéria prima da indústria eletrônica (*chips*) o chamado silício grau eletrônico (Si-gE), com uma pureza de 99,9999999%, também denominada 9N (nove noves), ou então o silício grau solar (Si-gS), com 99,9999% (6N), de menor custo (este último não pode ser usado na indústria eletrônica).

O Si-gE é obtido, por meio de uma rota denominada processo Siemens, a partir do silício impuro, que é o silício grau metalúrgico (Si-gM), com pureza de ~99%. Já o Si-gS é obtido por meio do processo chamado Siemens modificado, ou por meio de rotas alternativas.

O Si metalúrgico (Si-gM), por sua vez, é obtido da sílica (SiO_2) em fornos a arco elétrico numa temperatura que pode atingir 1780 °C, utilizando como matéria prima quartzo ou areia e o carvão.

A cadeia de produção da indústria fotovoltaica ilustrada na figura 2-18 começa na extração do quartzo e seu beneficiamento para produção de lingotes de silício.



Fonte: Elaboração própria com dados da Internet

O Brasil possui uma das maiores reservas de quartzo silício do mundo e é um dos maiores produtores de silício grau metalúrgico (99-99,5%).

Atualmente cerca de 90% dos painéis fotovoltaicos produzidos no mundo são compostos por células de silício monocristalino ou policristalino.

O aspecto de uma célula monocristalina é uniforme – um único cristal – uma única direção cristalográfica. Os módulos monocristalinos são mais eficientes do que os policristalinos, mas seu complexo processo produtivo os tornam mais caros.

Figura 2-20 - Lingote Monocristalino



Fonte: Internet

Figura 2-19 - Célula Monocristalina



Fonte: Internet

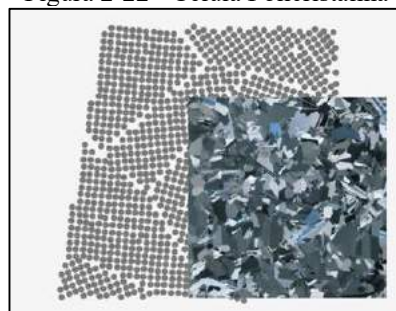
O aspecto de uma célula policristalina é desuniforme – vários cristais – diversas direções cristalográficas. Os módulos policristalinos são menos eficientes do que os monocristalinos, mas possuem melhor custo benefício, sendo a tecnológica mais aplicada hoje em dia.

Figura 2-21 - Lingote Policristalino



Fonte: Internet

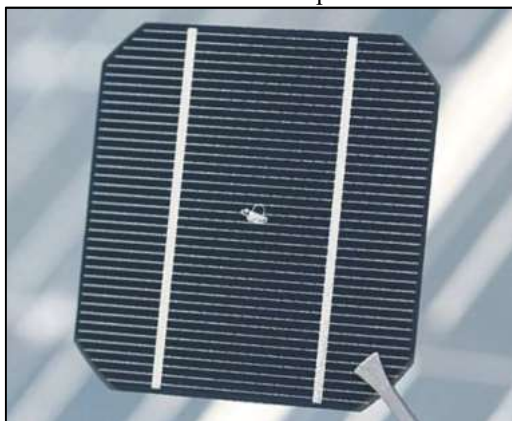
Figura 2-22 - Célula Policristalina



Fonte: Internet

Uma célula comercial ainda possui uma camada de material antirreflexivo, normalmente feita de nitreto de silício ou de dióxido de titânio, necessária para evitar a reflexão e aumentar a absorção de luz pela célula (Figura 2-23).

Figura 2-23 - Célula fotovoltaica policristalina comercial

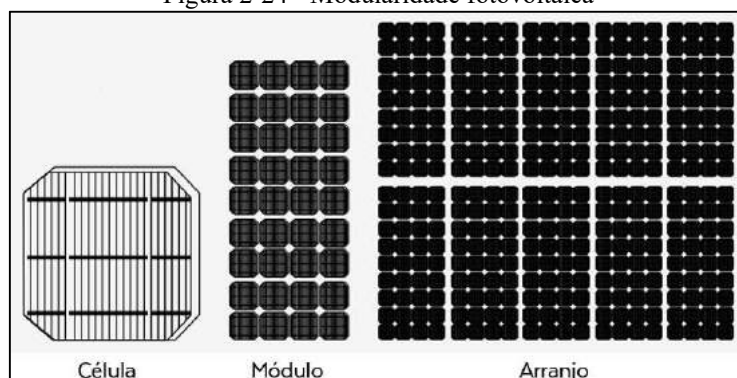


Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

2.3.6. Módulo Fotovoltaico

As células fotovoltaicas são associadas eletricamente e encapsuladas para formar o módulo fotovoltaico. Um módulo pode ser constituído por um conjunto de 36 a 216 células fotovoltaicas associadas em série e/ou paralelo, associação esta que depende dos parâmetros elétricos (tensão, corrente e potência) mais adequados à aplicação a que o módulo se destina. Estas células são soldadas em tiras, geralmente com soldagem realizada por iluminação com lâmpadas halógenas ou radiação laser. Depois de soldadas, as células são encapsuladas, a fim de protegê-las das intempéries e proporcionar resistência mecânica ao módulo fotovoltaico.

Figura 2-24 - Modularidade fotovoltaica

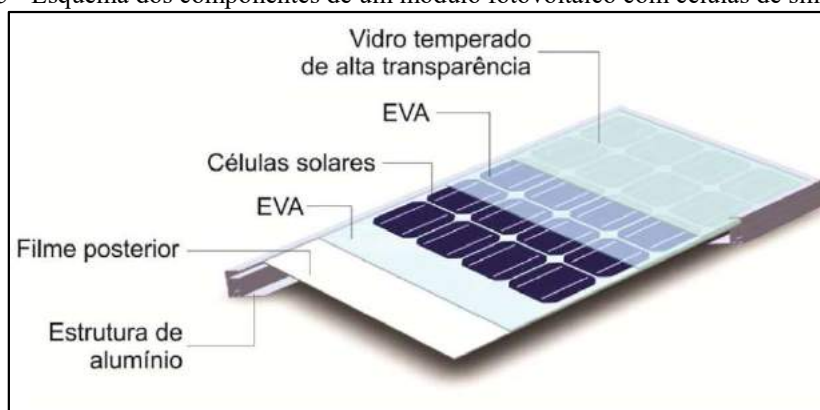


Fonte: Elaboração própria

O encapsulamento é constituído de um sanduiche de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinila (EVA, do inglês *Ethylene-vinyl acetate*) estabilizado para a radiação ultravioleta, células fotovoltaicas, EVA estabilizado, e um

filme posterior isolante. Este filme é uma combinação de polímeros tais como fluoreto de polivinila (PVF ou Tedlar®), tereftalato de polietileno (PET), dentre outros. O processo de laminação é realizado a temperaturas de 120 °C a 150 °C, quando o EVA torna-se líquido e as eventuais bolhas de ar geradas são eliminadas. No processo seguinte, é realizada a cura do EVA, que proporciona uma maior durabilidade ao módulo fotovoltaico. Após este processo, coloca-se uma moldura de alumínio anodizado e a caixa de conexões elétricas e o módulo fotovoltaico está finalizado. A Figura 2-25 mostra um esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de c-Si (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014).

Figura 2-25 - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

2.3.7. Curvas características de Corrente, Tensão e Potência

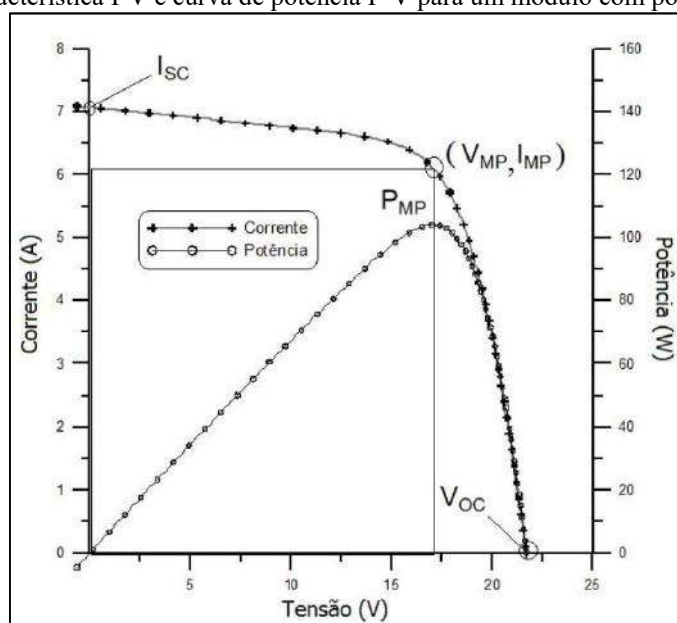
Um módulo é geralmente identificado pela sua potência elétrica de pico (W_p), mas um conjunto de características compatíveis com a aplicação específica deve ser observado. A definição da potência de pico de um módulo fotovoltaico é feita nas condições-padrão de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*), considerando irradiância solar de 1.000 W/m^2 sob uma distribuição espectral padrão para AM 1,5 e temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Antes de citar as grandezas elétricas utilizadas para caracterizar um módulo, deve-se observar que a maioria destas características depende das condições de temperatura e de irradiância solar em que as mesmas foram determinadas.

Quando um módulo está posicionado na direção do Sol, uma tensão pode ser medida entre os terminais positivo e negativo usando um voltímetro. A tensão observada em um módulo desconectado é a tensão de circuito aberto (V_{oc}). Por outro lado, ao conectar os terminais desse módulo a um amperímetro mede-se sua corrente de curto-circuito (I_{sc}). Entretanto, estes dados são pouco informativos sobre a potência real do módulo.

Um dos ensaios mais completos para determinar as características elétricas de um módulo fotovoltaico é o traçado de sua curva característica I-V. O módulo é submetido às condições-padrão de ensaio e uma fonte de tensão variável realiza uma varredura entre uma tensão negativa de poucos volts (em relação aos terminais do módulo) até ultrapassar a tensão de circuito aberto do módulo (quando sua corrente fica negativa). Durante esta varredura são registrados pares de dados de tensão e corrente, permitindo o traçado de uma curva característica como a apresentada na Figura 2-26 (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014).

Figura 2-26 - Curva característica I-V e curva de potência P-V para um módulo com potência nominal de 100Wp



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

Para cada ponto na curva I-V, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. A Figura 2-26 mostra também, além da curva I-V, uma curva de potência em função da tensão, chamada de curva P-V, que identifica o ponto com o máximo valor de potência. A este ponto na curva de potência corresponde um ponto na curva de corrente, com valores de tensão e corrente

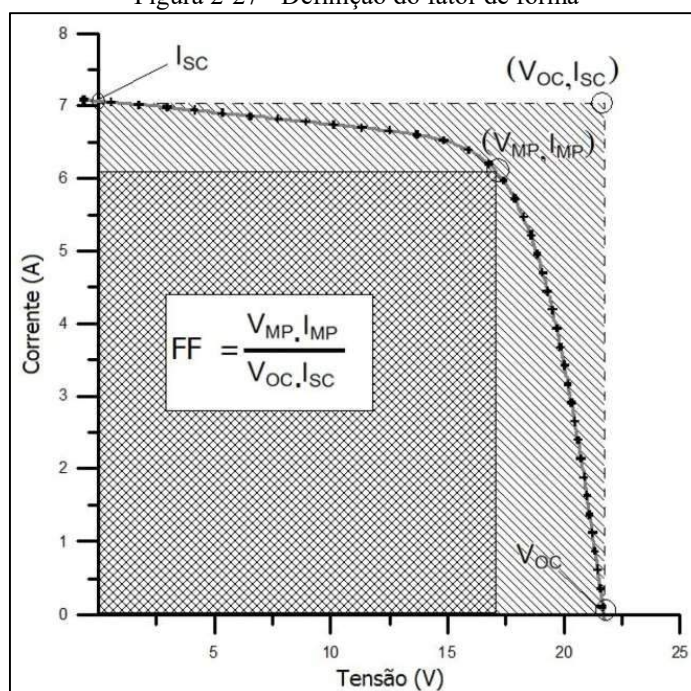
específicos, que são denominadas, respectivamente, de tensão e corrente de máxima potência (VMP,IMP). Este ponto é conhecido como o ponto de máxima potência PMP.

O ponto de máxima potência corresponde, então, ao produto da tensão de máxima potência (VMP) e corrente de máxima potência (IMP). Os valores PMP, VMP, IMP, Voc e Isc são os cinco parâmetros que especificam o módulo sob dadas condições de radiação, temperatura de operação de célula e massa de ar.

De forma similar ao mostrado para a célula fotovoltaica, o fator de forma (FF) do módulo é a grandeza que expressa quanto a sua curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama I-V.

Quanto melhor a qualidade das células no módulo, mais próxima da forma retangular será sua curva I-V. A definição do FF é apresentada na Figura 2-27. A área hachurada simples corresponde ao produto Voc x Isc, valor sempre acima da potência que o módulo pode alcançar. A área duplamente hachurada representa o produto VMP x IMP, ou seja PMP, a potência máxima do módulo.

Figura 2-27 - Definição do fator de forma



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

Da mesma forma que para as células fotovoltaicas, a eficiência dos módulos é obtida através da relação entre a potência elétrica máxima gerada e a irradiância solar.

Quando este número é determinado nas condições-padrão de ensaio, a irradiância é de $G = 1.000 \text{ W/m}^2$ e a potência luminosa incidente no módulo pode ser calculada multiplicando-se este valor pela área do módulo (AM) conforme demonstrado na equação 2-1.

No caso do módulo, entretanto, pelas normas técnicas a área inclui a moldura metálica e qualquer parte construtiva do módulo.

$$\eta = \frac{P_{MP}}{G \cdot A_M} \times 100 \quad [\%] \quad (2-1)$$

2.3.8. Inversores

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a.) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.). A tensão c.a. de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede.

Existe uma diversidade grande de tipos de inversores em função das peculiaridades de suas aplicações. Os inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) possuem características específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede.

De modo geral, inversores para conexão à rede com potências individuais de até cerca de 5kW têm saída monofásica. A partir dessa potência é mais comum a utilização de inversores com saída trifásica, ou inversores monofásicos em associação trifásica.

Enquanto os primeiros inversores para uso em sistemas fotovoltaicos eram meras adaptações de circuitos já existentes, os circuitos mais modernos são desenvolvidos levando em conta a complexidade e as exigências de sua aplicação específica. Desta forma, no decorrer de poucas décadas, as topologias foram sendo

otimizadas e os custos de fabricação reduzidos, enquanto que as eficiências de conversão evoluíram até chegar a valores próximos a 99 % em alguns inversores para conexão à rede elétrica.

Uma possível classificação de tipos de inversores para SFCRs é a seguinte:

- **Inversores Centrais** - inversores trifásicos de grande porte, com potência numa faixa que vai de centenas de kWp até MWp, utilizados em Usinas Fotovoltaicas (UFVs) (Figura 2-28).

Figura 2-28 - Inversores Centrais



Fonte: Internet

- **Inversores Multistring** - inversores trifásicos ou monofásicos dotados de várias entradas independentes com SPPMs para conexão de *strings* (fileiras) de módulos. São adequados a instalações urbanas (telhados, fachadas) nas quais cada *string* pode estar submetida a diferentes condições de irradiância e/ou sombreamento. Tem potência na faixa de dezenas de kWp (Figura 2-29).

Figura 2-29 - Inversores *Multistring*



Fonte: Internet

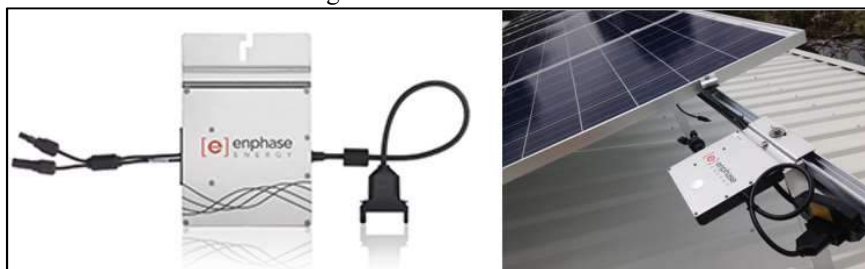
- **Inversores de String** - inversores monofásicos dotados de apenas uma entrada SPPM, adequados a instalações de microgeração (até 10kWp) (Figura 2-30);

Figura 2-30 - Inversores de *String*

Fonte: Internet

- **Módulo c.a.** - módulo fotovoltaico associado a um microinversor (Figura 2-31)

Figura 2-31 - Microinversor



Fonte: Internet

Uma vez que as características técnicas das redes elétricas variam entre países, os requisitos aplicados para interconexão de inversores à rede são definidos em regras locais. No caso do Brasil, tratam-se da regulamentação da Aneel e das normas da ABNT.

No Brasil, os inversores para SFCRs devem atender aos requisitos de proteção exigidos no item 5 da seção 3.3 Módulo 3 do Prodist (Aneel, 2012c), o que inclui a proteção anti-ilhamento e a exigência de transformador de acoplamento, entre outras.

O fenômeno denominado ilhamento é uma situação em que numa determinada seção da rede elétrica a demanda de potência é igual à geração fotovoltaica e um (ou mais) SFCR(s) permanece(m) funcionando e alimentando a carga quando a rede é desenergizada pela distribuidora. É considerada uma situação inaceitável por comprometer a segurança da manutenção da rede. Por isso, os inversores para SFCRs devem ser dotados de proteção anti-ilhamento, o que implica que estes

desconectem automaticamente da rede elétrica de distribuição, sempre que esta for desenergizada por motivo de falha ou de manutenção programada da distribuidora.

Alguns inversores incorporam um transformador de acoplamento enquanto que outros não o tem (*transformerless inverters*). Os transformadores podem ser de baixa frequência (60 Hz) para acoplar a tensão de saída na rede, ou de alta frequência (kHz), que tem menores perdas e menores dimensões, porém custo mais elevado (não só o transformador em si, mas o circuito como um todo). No Brasil, a regulamentação ANEEL exige o transformador de acoplamento nos SFCRs de minigeração, ou seja, cuja potência instalada é superior a 100kWp, de forma que se estes não já estiverem incorporados no inversor, então terão de ser instalados externamente.

No Brasil o inversor para conexão à rede deve atender à norma ABNT NBR 16149:2013 (ABNT, 2013b), que estabelece parâmetros como: faixas de variação de tensão e frequência, *Total Harmonic Distortion* (THD), proteção contra ilhamento, fator de potência etc.

Quase todos os inversores para conexão à rede existentes no mercado possuem incorporadas funções de monitoração e aquisição de dados, de forma a disponibilizar ao usuário informações operacionais. Entre os dados que podem ser cobertos estão: energia diária gerada, estado do equipamento e histórico de falhas, valores instantâneos de Pcc (potência c.c.), Pca (potência c.a.), Vcc (tensão c.c.), Vca (tensão c.a.), etc. Alguns equipamentos aceitam inclusive a conexão de sensores externos (radiação solar, temperatura, etc.), seja diretamente seja através de equipamentos externos auxiliares. Além de consultados no próprio painel do equipamento, tais dados podem ser transferidos através de meios como interface USB, modem GSM e rede wireless para análise detalhada em um computador, facilitando sobremaneira a detecção de falhas. Para SFCRs com potências de até algumas dezenas de kWp, tais recursos são equivalentes a um pequeno sistema de supervisão e controle tipo SCADA (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014).

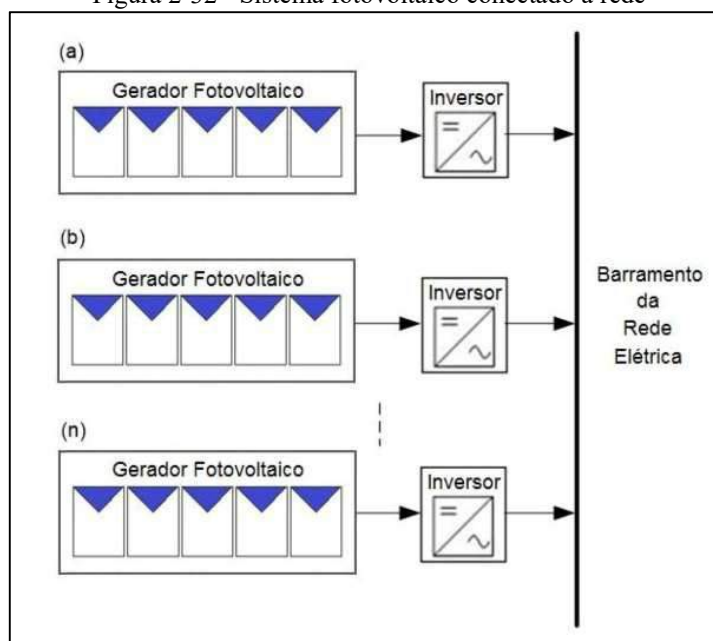
Os inversores para SFCRs são muitas vezes garantidos pelos fabricantes por períodos de 5 a 10 anos.

2.3.9. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Os Sistemas Fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Como o objetivo desse trabalho é propor uma usina fotovoltaica que faça uso do sistema de compensação, por definição técnica, a usina deve obrigatoriamente estar conectada à rede da concessionária.

Sistemas conectados à rede são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente à rede elétrica. Para tanto, é indispensável que se utilize um inversor que satisfaça às exigências de qualidade e segurança, para que não degrade a qualidade do sistema elétrico ao qual se interliga o gerador fotovoltaico. Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) foram incluídos na regulamentação disposta pela Aneel, através da Resolução 482 de abril de 2012, que estabeleceu preliminarmente as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. A Figura 2-32 mostra o esquema de um SFCR (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014).

Figura 2-32 - Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio; 2014)

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) produzem energia que pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição. Estes sistemas são basicamente de um único tipo e são aqueles em que o gerador fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado. Nesse trabalho em questão a usina fotovoltaica proposta foi dimensionada para atender a parcela de consumo do *shopping center* que não é atendida pela usina de cogeração a gás natural já existente (UGG-01) e que até o início do ano de 2017 era atendida pela concessionária local no ambiente de contratação regulado (ACR), e que a partir de meados do 2º trimestre do ano, foi migrada para o ambiente de contratação livre (ACL), também conhecido por mercado livre de energia elétrica, e permanecerá no mesmo pelo contrato atual vigente até dezembro de 2021.

2.3.10. Panorama Fotovoltaico Atual - Brasil

Os sistemas fotovoltaicos têm experimentado um enorme crescimento ao redor do mundo nos últimos anos. Até o início do terceiro milênio, a tecnologia era utilizada majoritariamente em sistemas isolados, enquanto atualmente mais de 95% são sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR). Este grande crescimento foi fruto de programas de incentivos à fonte, promovidos por países como Alemanha, Austrália, China, Espanha, EUA, entre outros. Os preços seguiram caminho inverso, caindo significativamente conforme a capacidade instalada aumentava, como reflexo da curva de aprendizagem e dos ganhos de escala.

Em 2012 a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou a nota técnica intitulada “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, contemplando as principais aplicações da energia solar para geração de eletricidade no Brasil, dando especial enfoque aos SFCR. Segundo a própria instituição (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2014) os estudos mostraram que a inserção fotovoltaica estaria mais próxima de se realizar naturalmente via geração distribuída, especialmente na autoprodução residencial e comercial, dada a iminência da ocorrência da paridade tarifária, ou seja, a equiparação do custo da energia gerada por um SFCR e as tarifas praticadas pelas distribuidoras. Concomitantemente, em

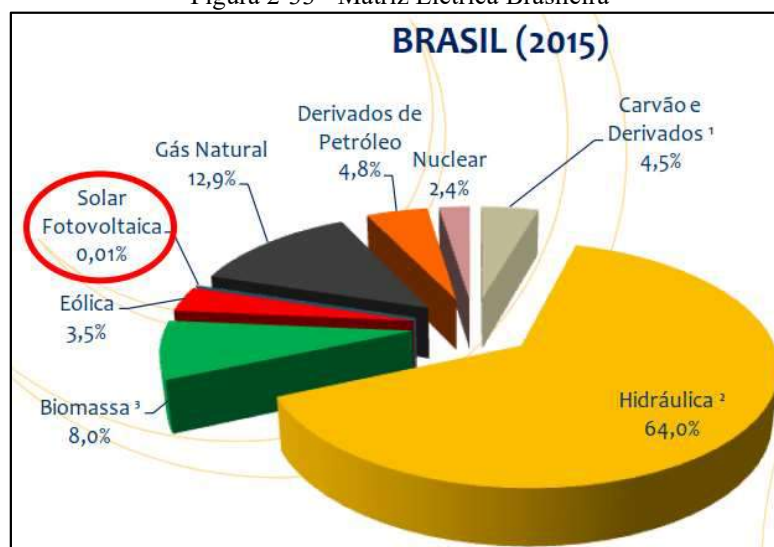
2012, a Agência nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa nº 482 estabelecendo as condições gerais para micro e mini geração distribuída no país, assim como o sistema de compensação de energia elétrica através do sistema conhecido como *net metering*.

Segundo dados da *International Energy Agency* (IEA), os sistemas residenciais e comerciais devem responder, em 2020, por aproximadamente 60% da geração fotovoltaica, enquanto as centrais fotovoltaicas representariam 30% do total, restando 10% em sistemas isolados. Tais estimativas refletem a maior atratividade econômica dos sistemas de pequeno porte ao longo desta década, que devem observar uma queda nos custos de aproximadamente 50% entre 2010 e 2020.

Comparado aos países líderes em capacidade instalada de geração distribuída fotovoltaica urbana, o Brasil possui enorme potencial, por possuir maior incidência solar e por suas tarifas de energia elétrica estarem em patamares parecidos. No entanto, o sistema de *net metering*, adotado no Brasil, não oferece a mesma atratividade proporcionada por outros mecanismos empregados inicialmente nos outros países, de forma que sua inserção recaia sobre a capacidade da própria fonte se viabilizar economicamente, se refletindo num prazo maior para a popularização da fonte.

No último relatório do Balanço Energético Nacional disponível até a elaboração desse trabalho, emitido em 2016 com dados do ano base 2015, podemos notar o quanto a representatividade da tecnologia solar fotovoltaica ainda é muito pequena dentro da matriz energética nacional (Figura 2-33) e como o cenário vem indicando grande tendência de crescimento desse setor.

Figura 2-33 - Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2016)

Conforme mostrado na tabela 2-4 a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos cresceu 42,3% entre 2014 e 2015. No mesmo período a geração desses sistemas cresceu 266,4% conforme apontado na tabela 2-5 e no figura 2-34.

Tabela 2-4 - Capacidade Instalada (MW)

Fonte	2015	2014	Δ 15/14
Hidrelétrica	91.650	89.193	2,8%
Térmica ²	39.564	37.827	4,6%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Eólica	7.633	4.888	56,2%
Solar	21	15	42,3%
Capacidade disponível	140.858	133.914	5,2%

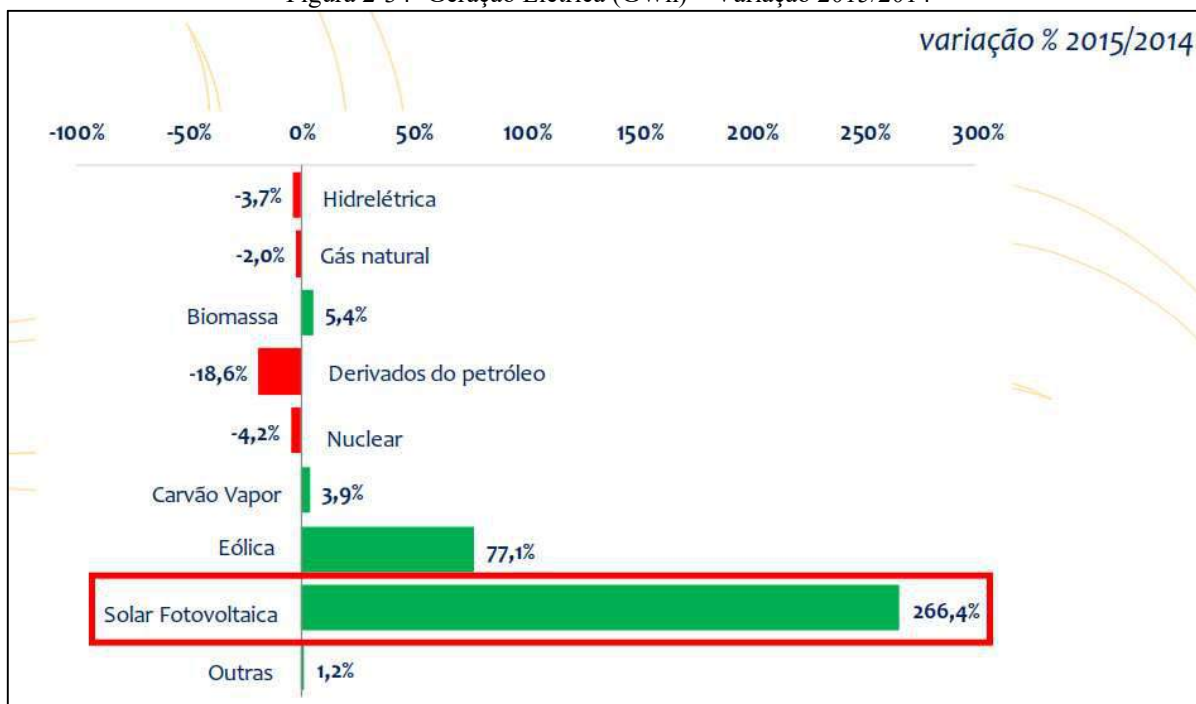
Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2016)

Tabela 2-5 - Geração Elétrica (GWh) – Comparação 2015/2014

Fonte	2015	2014
Hidrelétrica	359.743	373.439
Gás Natural	79.490	81.073
Biomassa ²	47.394	44.987
Derivados do Petróleo ³	25.662	31.529
Nuclear	14.734	15.378
Carvão Vapor	19.096	18.385
Eólica	21.625	12.210
Solar Fotovoltaica	59	16
Outras ⁴	13.682	13.524
Geração Total	581.486	590.542

Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2016)

Figura 2-34- Geração Elétrica (GWh) – Variação 2015/2014

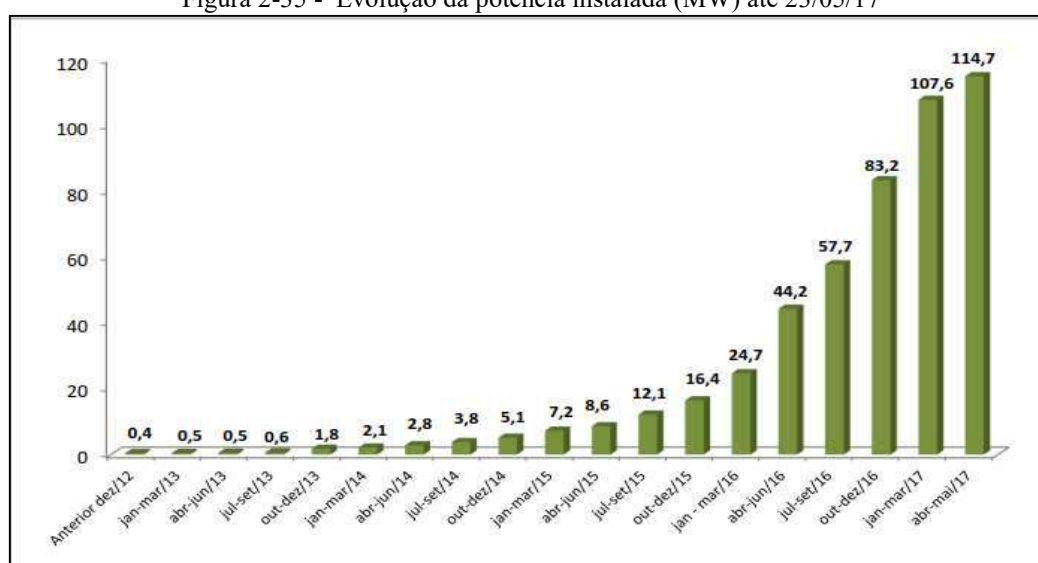


Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2016)

Em novembro de 2015 a ANEEL fez projeções agressivas para o crescimento do setor de geração distribuída com base nos primeiros anos após a implementação da RN 482/12. Com a Nota Técnica nº 0056/2017, publicada em maio deste ano, a agência revisou essas projeções, principalmente para os sistemas fotovoltaicos frente aos dados coletados até agora.

Na figura 2-35 o que pode ser facilmente visualizado é o crescimento da potência instalada que ocorreu a partir de 2016.

Figura 2-35 - Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17



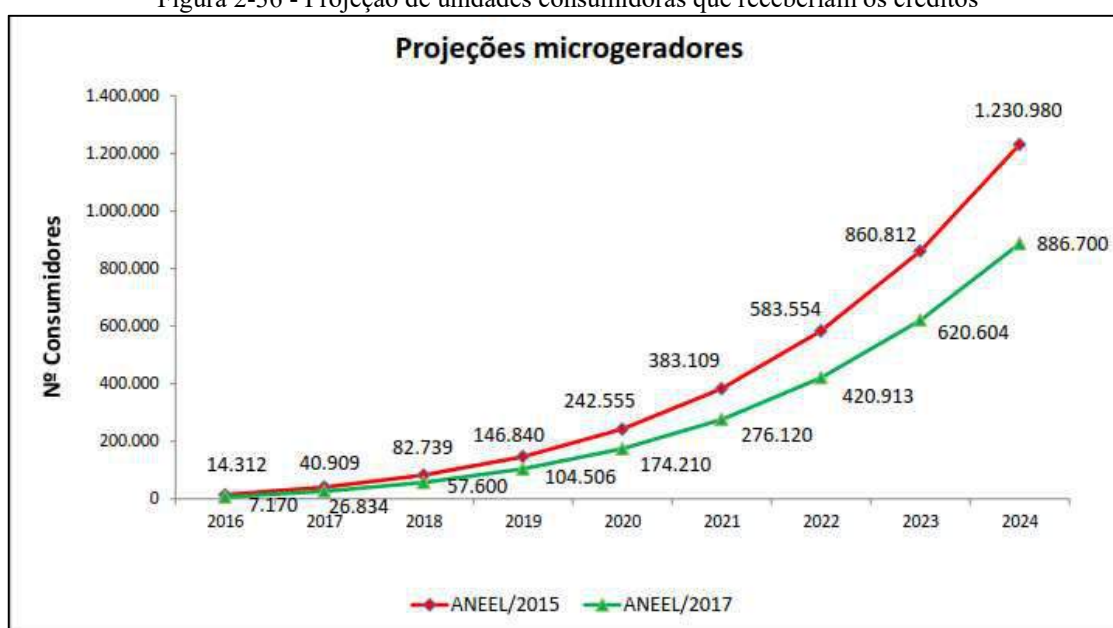
Fonte: (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica 2017)

A expectativa de crescimento da potência instalada indica uma queda de 30% entre a perspectiva inicial e a atual, que passou da projeção de 4.577 MW para 3.209 MW até 2024. As justificativas que a ANEEL indica para a redução na projeção são relativas ao menor crescimento esperado dos mercados residenciais e comerciais entre 2017 e 2024, além da premissa de adoção da bandeira amarela para todo o período, na projeção de 2015 a bandeira considerada foi a vermelha. Além disso a ANEEL aponta como motivos da desaceleração do crescimento do setor: a crise financeira pelo qual o Brasil vem passando nos últimos anos, o perfil conservador do consumidor, que tem receio em fazer investimentos com payback de em média 5 anos e a falta de linhas de financiamento acessíveis.

Ainda que a ANEEL tenha reduzido a expectativa de crescimento do setor fotovoltaico é importante avaliar que este crescimento ainda é muito expressivo. Como

é possível ver no figura 2-36 projetado pela agência, espera-se que em 2017 o número de unidades consumidoras que podem receber créditos de geração distribuída chegue a 26.834. Como até junho deste ano o total de sistemas era de 11.160, espera-se a implementação de ao menos mais 15.600 sistemas, um crescimento de 140% em apenas 6 meses, mesmo considerando as condições desfavoráveis da economia. Se for considerado todo o período projetado pela ANEEL, o crescimento esperado será de mais de 7.800% em 8 anos ou mais de 900% por ano. Mesmo com a revisão da previsão da agência o potencial de crescimento é grande.

Figura 2-36 - Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos



Fonte: (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica 2017)

3. SEGMENTO COMERCIAL - *SHOPPING CENTERS*

3.1. Cenário Atual

Os shopping centers já não são mais apenas locais de compras, eles se tornaram centros de lazer e entretenimento. Essa tendência visa a atrair ainda mais os consumidores para os empreendimentos, que faturaram R\$157,9 bilhões em 2016, segundo a Associação Brasileira de Shopping Centers (Abrasce 2017). A entidade realiza todo ano o Censo Abrasce, pesquisa detalhada sobre o setor, que conta com a participação dos mais de 500 *shoppings* em operação no país.

Mesmo em meio a um cenário econômico adverso em que, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o varejo nacional teve redução de 6,5% no número de vendas até outubro de 2016, a indústria de Shopping Centers cresceu 4,26%. “Assim como outros setores, sentimos o impacto da crise no fluxo de visitantes, que teve redução de 1,26%, em relação a 2015. Porém, o balanço positivo reflete a mudança no comportamento do consumidor, que tem visitado os empreendimentos já disposto a gastar uma determinada quantia”, ressalta Glauco Humai, presidente da Abrasce.

Além disso, o executivo afirma que a adaptação dos centros de compras ao momento atual tem atraído a atenção do público. “A arquitetura e a estética são diferenciais para os consumidores. Muitos empreendimentos têm investido em áreas verdes e espaços abertos. É uma preocupação constante manter o centro vivo e atual a fim de atender ao desejo dos visitantes. Por isso, o setor passa sempre por revitalizações, expansões e renovações de *mix* de lojas. Seguir tendências e revitalizar espaços são medidas necessárias para ganhar competitividade”, analisa Humai.

3.2. Retomada do setor

A indústria de Shopping Centers representa 2,57% do PIB, o que reflete no número de empregos no setor. Somente na região Centro-Oeste foram registrados

100 mil novos postos de trabalho, crescimento de 5,1% em relação a 2015. No total, os *shopping centers* brasileiros empregam diretamente 1.016.428 pessoas.

Em 2016, foram inaugurados 20 empreendimentos, 3,7% a mais do que no ano anterior. No total, são 558 *shoppings* em operação no Brasil e a expectativa é que, até o final de 2017, o país conte com mais 30 novos *malls*. A área bruta locável (ABL) alcançou os 15,2 milhões de metros quadrados dedicados às lojas e serviços. O número de lojas também cresceu e somam 99.990 unidades.

Por concentrar 54% do total de *shopping centers*, a região Sudeste foi a que mais faturou em 2016, com R\$91,9 bilhões. Já a região do país que mais cresceu foi o Sul. Juntos, os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná viram as vendas aumentarem 5,84% e possuem 93 empreendimentos. “É inegável o potencial econômico do Sul e Sudeste, porém as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste chamam atenção em outros aspectos, como a oferta de empregos e a possibilidade de expansão dos *shoppings*”, comenta o presidente da Abrasce.

3.3. Perspectivas 2017

3.3.1. *OUTLET*

Tornar a visita ao shopping center uma experiência única e totalmente satisfatória é uma vertente que está em evidência no setor. “O crescimento de empreendimentos especializados confirma esta tendência. Os *Outlets*, por exemplo, já representam 17% deste mercado”, reforça o presidente da entidade. Outro fator que impulsionou o aumento de vendas neste segmento é a alta dólar, que retraiu as viagens ao exterior. “A principal característica desse tipo de *shopping* é a oferta de preços menores que os praticados pelo mercado. Os brasileiros estão cada vez mais adquirindo produtos internacionais e encontram nos *Outlets* uma alternativa para o consumo de suas marcas preferidas”, explica Glauco Humai.

Atualmente, são 11 *Outlets* e a expectativa é que sejam inaugurados cinco novos empreendimentos até 2020, contribuindo para o crescimento de, pelo menos, 40% no número de vendas deste segmento.

3.3.2. Fora das capitais

O movimento de novos empreendimentos fora das capitais brasileiras tem se intensificado nos últimos anos. Em 2016, dos 20 novos shoppings, apenas sete estavam localizados em capitais. “Cidades das regiões metropolitanas e do interior dos estados estão se desenvolvendo em grande velocidade e atraindo a atenção de empresas”, ressalta o presidente da Abrasce. Outro fenômeno recorrente são municípios que recebem o primeiro *shopping center*. Nos últimos seis anos, 56 cidades debutaram na indústria de *Shopping Center*.

A apresentação dos dados de desempenho da indústria de *Shopping Centers*, seus perfis no Brasil, definições e evolução do setor podem ser vistos no **APÊNDICE A**.

4. CENTER VALE *SHOPPING*

4.1. Localização

Localizado próximo à Rodovia Presidente Dutra que liga Rio de Janeiro e São Paulo, duas das mais importantes cidades do Brasil, o CenterVale *Shopping* é de fácil acesso para quem dirige-se ao empreendimento vindo dos dois sentidos da rodovia.

Seu endereço é Avenida Deputado Benedito Matarazzo, 9403 Jardim Oswaldo Cruz - São José dos Campos – SP.

Figura 4-1 - Fachada da entrada principal



Fonte: (Ancar Ivanhoe 2017)

4.2. O *shopping*

Inaugurado em 28 em maio de 1987, o CenterVale *Shopping* mudou a realidade do comércio no Vale do Paraíba, o primeiro grande centro comercial da região alia tradição e vanguarda inovando cada vez mais o seu conceito de moda, entretenimento e serviços, numa identificação com a cidade e criando vínculo com os frequentadores de outras regiões.

Figura 4-2 - Imagem entrada marginal rodovia Presidente Dutra



Fonte: (Ancar Ivanhoe 2017)

São 240 operações sendo 09 Âncoras dentre elas C&A, Lojas Americanas, Renner, Cybelar, Pernambucanas, Casas Bahia, Tok & Stok, Ponto Frio e Zara e 12 Megalojas como, Saraiva, Centauro, PBKids, Zelo, Camicado, Outback, etc. Para o lazer de seus visitantes, o *shopping* conta com um cinema com 6 salas (2 com tecnologia 3D), parque de diversão, além de gastronomia com pratos e especialidades de diferentes culinárias.

O empreendimento é o primeiro da região a possuir sistema de estacionamento com contador de vagas inteligente.

O *shopping* preocupa-se com as questões socioambientais, com seu sistema de gestão ambiental e apoio a uma entidade social.

Desde 2010 o CenterVale *Shopping* é administrado pela Ancar Ivanhoe, empresa pioneira em gestão de importantes *shoppings centers* pelo Brasil.

4.3. Administração – Ancar Ivanhoe

Pioneira no setor de *shopping centers*, a Ancar Ivanhoe é uma das líderes do mercado, com mais de 40 anos de atuação. Sua história teve início na década de 70,

quando ingressou na indústria como uma das responsáveis pelo desenvolvimento do segundo *shopping* construído no Brasil: o Conjunto Nacional Brasília.

Em 2006, associou-se à canadense Ivanhoe Cambridge, e continuou sua trajetória em constante expansão. Atualmente, opera como empreendedora e/ou administradora de *shoppings* presentes nas cinco regiões do Brasil.

4.4. Sustentabilidade

O CenterVale *Shopping* desenvolve uma série de ações de sustentabilidade em seus processos, tendo como compromisso a responsabilidade socioambiental. Com a implantação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em 2007, o *shopping* busca técnicas cada vez mais limpas diminuindo o impacto ao meio ambiente: reciclagem, descarte ambientalmente correto de todos os resíduos gerados, reuso da água, entre outras ações, sempre cumprindo a legislação com padrões internos mais exigentes.

Já é uma prática comum do CenterVale *Shopping* realizar a separação de resíduos entre orgânicos e recicláveis. Todos os resíduos são classificados na estação de triagem e destinados para descarte consciente, visando a diminuição da poluição e a preservação do meio ambiente.

Nas praças de alimentação há Ilhas de segregação, os clientes levam as bandejas para os colaboradores que separaram os resíduos entre rejeito (material orgânico), reciclável e lata de alumínio. O rejeito é encaminhado para um aterro sanitário licenciado pela CETESB. Já o material reciclável (plástico, papel, metal e vidro) é triado, prensado no próprio *Shopping*, e, por fim, destinado para a reciclagem.

De acordo com a administradora (2017) a coleta seletiva local reduziu o volume de resíduos que vão para o aterro sanitário:

- Material reciclado: 40.000 kg/mês
- Material orgânico: 80.000 kg/mês

O *shopping* conta ainda com uma fábrica de sabão que fica em suas próprias dependências e são produzidas pelos colaboradores mais de 6 mil pedras de sabão por mês. O projeto começou em 2002, com o início do processo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). O principal objetivo da Fábrica de Sabão é impedir que o óleo de cozinha utilizado nos restaurantes do *Shopping* chegue à rede de esgoto, causando entupimentos, contaminando o solo e os mananciais da nossa região. A quantidade de óleo que os restaurantes entregam é revertida em pedras de sabão para os próprios restaurantes.

A água, que seria normalmente descartada, passa pelo tratamento e desinfecção, e é bombeada para irrigar jardins, abastecer banheiros e para a limpeza de pátios. O reuso da água provem da captação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do *shopping*, processo todo desenvolvido pelos funcionários. Cada litro de água de reuso utilizado representa um litro de água potável conservada.

Por 9 anos o shopping vem desenvolvendo diversas ações para diminuir os impactos negativos ao meio ambiente. Esse trabalho em prol da sustentabilidade foi reconhecido pela prefeitura de São José dos Campos que lhes emitiu o selo de 'Compromisso' (Figura 4-3).

Figura 4-3 - Selo Sustentabilidade outorgado pela Prefeitura de São José dos Campos



Fonte: (Ankar Ivanhoe 2017)

Além do selo de sustentabilidade recebido da prefeitura local a WWF-Brasil concedeu ao Center Vale Shopping o Certificado Empresas por participar oficialmente da Hora do Planeta de 2017. A WWF-Brasil é uma organização não-governamental brasileira dedicada à conservação da natureza com os objetivos de harmonizar a atividade humana com a conservação da biodiversidade e promover o uso racional dos recursos naturais em benefício dos cidadãos de hoje e das futuras gerações (WWF-Brasil 2017).

A iniciativa visa contribuir para o maior movimento global sobre as mudanças climáticas e o aquecimento global.

Figura 4-4 - Certificado Hora do Planeta – WWF - Brasil



Fonte: (Ancar Ivanhoe 2017)

5. ESTUDO DE CASO

5.1. *Levelized Cost of Energy (LCOE)* – Custo nivelado da Energia

Identificar e compreender plenamente o real custo do ciclo de vida de um projeto de energia é um desafio. Como resultado, isso nos leva a um dos principais indicadores de desempenho fiscal e ferramentas de *benchmarking*, o custo de energia nivelado, ou como é mais conhecido em sua forma original, *levelized cost of energy (LCOE)*.

O LCOE para um projeto, conforme definido pelo *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* e usado no software *System Advisory Model (SAM)* é:

"The LCOE is the total cost of installing and operating a project expressed in dollars per kilowatt-hour of electricity generated by the system over its life. It accounts for: Installation costs, Financing costs, Taxes, Operation and maintenance costs, Salvage value, Incentives, Revenue requirements (for utility financing options only), Quantity of electricity the system generates over its life. "

O *website Wikipedia* define o LCOE como:

"The levelized cost of electricity (LCOE) is a measure of a power source which attempts to compare different methods of electricity generation on a consistent basis. It is an economic assessment of the average total cost to build and operate a power-generating asset over its lifetime divided by the total energy output of the asset over that lifetime. The LCOE can also be regarded as the minimum cost at which electricity must be sold in order to break-even over the lifetime of the project. "

De forma generalista, conforme apresentado por (NAKABAYASHI, R. K. 2014), o LCOE pode ser definido como demonstrado na equação 5-1:

$$LCOE = \frac{\text{Custos ao longo da vida útil}}{\text{Energia gerada ao longo da vida útil}} = \sum_{t=0}^T \frac{C_t/(1+r)^t}{E_t/(1+r)^t} \quad (5-1)$$

onde, C_t representa os custos no período t , E_t a energia gerada no período t e r a taxa de desconto.

Para sistemas fotovoltaicos, os maiores custos envolvidos estão no investimento inicial, já que o custo de operação de uma usina desta tecnologia é baixo. Por outro lado, usinas térmicas a combustíveis como a cogeração a gás natural, têm os custos de combustível agregados ao custo de operação, o qual tem uma maior participação nos custos totais apresentados ao longo da vida útil do empreendimento.

De acordo com Nakabayashi (2014) uma proposta dada por (BRANKER, PATHAK e PEARCE 2011) para o cálculo do LCOE para sistemas fotovoltaicos, é considerar a degradação na geração dos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo, a qual geralmente é considerada, nos modelos de projeção, com valores de 0,5% a 1% ao ano, embora valores mais baixos sejam alcançados na prática (NAKABAYASHI, R. K. 2014). A garantia fornecida pelos fabricantes, em geral, é de uma degradação máxima de 1% ao ano. O modelo proposto por (BRANKER, PATHAK e PEARCE 2011) é dado pela Equação 5-2:

$$LCOE = \sum_{t=0}^T \frac{(I_t + O_t + M_t + F_t)/(1+r)^t}{E_t/(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{(I_t + O_t + M_t + F_t)/(1+r)^t}{S_t(1-d)^t/(1+r)^t} \quad (5-2)$$

onde, I_t representa o investimento inicial, O_t os custos com operação, M_t os custos com manutenção, F_t os custos com financiamento, r a taxa de desconto, S_t a energia anual gerada em potência nominal (*rated energy output per year*), e d a taxa anual de degradação dos módulos.

Para a cogeração a gás natural a degradação pode ser desconsiderada pois a perda da eficiência elétrica é recuperada como aumento na eficiência térmica, resultando em uma manutenção da energia total produzida pelo sistema ao longo dos anos de operação.

Para o desenvolvimento desse trabalho não foram consideradas opções de financiamento, portanto $F_t = 0$.

5.2. Cenário atual do *shopping*

Atualmente o *shopping* conta com uma usina de cogeração a gás natural em operação isolada da rede desde 2012. Essa usina (UGG-01) foi instalada como solução energética para uma área de expansão e atualmente responde por aproximadamente 60,6% da demanda de energia elétrica e 38% da demanda por energia térmica em forma de água gelada para sistema de ar-condicionado, operando por, em média, 13 horas por dia das 09:00 horas até por volta das 22:00 horas.

Para atendimento do restante da demanda elétrica o *shopping* era consumidor cativo da concessionária local, porém, desde maio de 2017 até dezembro de 2021 foi firmado um contrato no mercado livre (ACL) como consumidor especial com uma demanda contratada de 570 kW.

O sistema completo da cogeração instalada é composto por um motogerador e um resfriador de líquido por absorção a água quente (CHABS AQ 01). Conta ainda com a participação de um resfriador de líquido por absorção de queima direta (CHABS QD 01) e um *chiller* elétrico tipo centrífugo (CHEL 01) para o atendimento da parcela de demanda térmica restante. O COP é a sigla de “*Coefficient Of Performance*” e significa “Coeficiente de Performance”. Esse termo representa a relação entre a energia térmica fornecida por uma bomba de calor e a energia elétrica consumida pelo sistema, quanto maior for o COP, mais eficiente é o equipamento.

A especificação do sistema segue a seguir:

- Motogerador modelo G3520C:
 - Potência = 2055 kWe (Fator de carga de 100%)
 - Rendimento elétrico = 38,5 % / Rendimento térmico = 47,2 %

- *Chiller* água quente modelo WCM-W060/*Hot Water*
 - Potência = 553 TR / COP = 0,718

- *Chiller* queima direta WCD-N070SG/*Direct fired*
 - Potência = 670 TR / COP = 1,43

- *Chiller* centrífugo modelo MSC113
 - Potência = 850 TR / COP = 5,641

A tabela 5-1 e 5-2 detalham todo o consumo energético (eletricidade e água gelada) do período entre abril 2016 até março 2017.

Tabela 5-1 - Dados de Consumo Energético - 2016 / 2017 - TR

Descrição Sistema	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março
Geração E.E - UGG1 (kWh)												
Geração Ponta	107.080	123.050	122.020	114.270	125.820	103.980	107.330	110.500	126.910	126.930	111.680	111.430
Geração Fora de Ponta	384.420	198.880	442.420	493.810	473.300	418.170	455.410	521.550	567.910	567.890	488.250	461.570
Geração Total	491.500	318.880	564.440	608.080	599.120	522.150	562.740	632.050	694.820	694.820	599.930	573.000
Importação E.E Concessionária (kWh)												
Ponta	24.750	22.471	6.528	2.690	2.557	2.213	7.176	3.737	4.065	27.655	12.931	17.446
Fora de Ponta	523.201	503.075	606.239	269.124	264.524	212.458	281.098	302.286	267.208	300.978	251.400	352.516
Demanda	2.641	2.558	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555
Importação TOTAL	547.952	525.545	612.767	271.814	267.081	214.671	288.273	306.023	271.293	328.633	263.331	369.962
Demanda Total E.E (kWh)	1.039.452	844.425	1.177.207	879.894	866.201	736.821	851.013	938.073	966.113	1.023.453	863.261	942.962
GERAÇÃO ÁGUA GELADA												
CHEL 01 - 850 TR's	181.152	72.922	842	2.499	45.382	82.484	89.973	120.768	228.208	172.380	164.645	185.640
Geração Total CHEL (TRh)	181.152	72.922	842	2.499	45.382	82.484	89.973	120.768	228.208	172.380	164.645	185.640
CHABS AQ 01 - 553 TR's	156.764	102.051	155.293	175.307	102.056	147.524	159.917	164.645	170.385	170.385	130.862	75.278
Geração Total CHABS AQ (TRh)	156.764	102.051	155.293	175.307	102.056	147.524	159.917	164.645	170.385	170.385	130.862	75.278
CHABS QD 01 - 670 TR's	145.403	120.225	40.917	92.882	90.082	69.908	140.057	126.262	71.121	69.915	127.843	104.593
Geração Total CHABS QD (TRh)	145.403	120.225	40.917	92.882	90.082	69.908	140.057	126.262	71.121	69.915	127.843	104.593
Geração Total Água Gelada - TRh	483.320	295.197	197.052	270.688	237.519	299.916	389.946	411.674	469.713	412.679	423.350	365.511
Geração CHABS QD + CHEL (TRh)	326.555	193.146	41.758	95.381	135.463	152.392	230.029	247.030	299.329	242.295	292.488	290.233

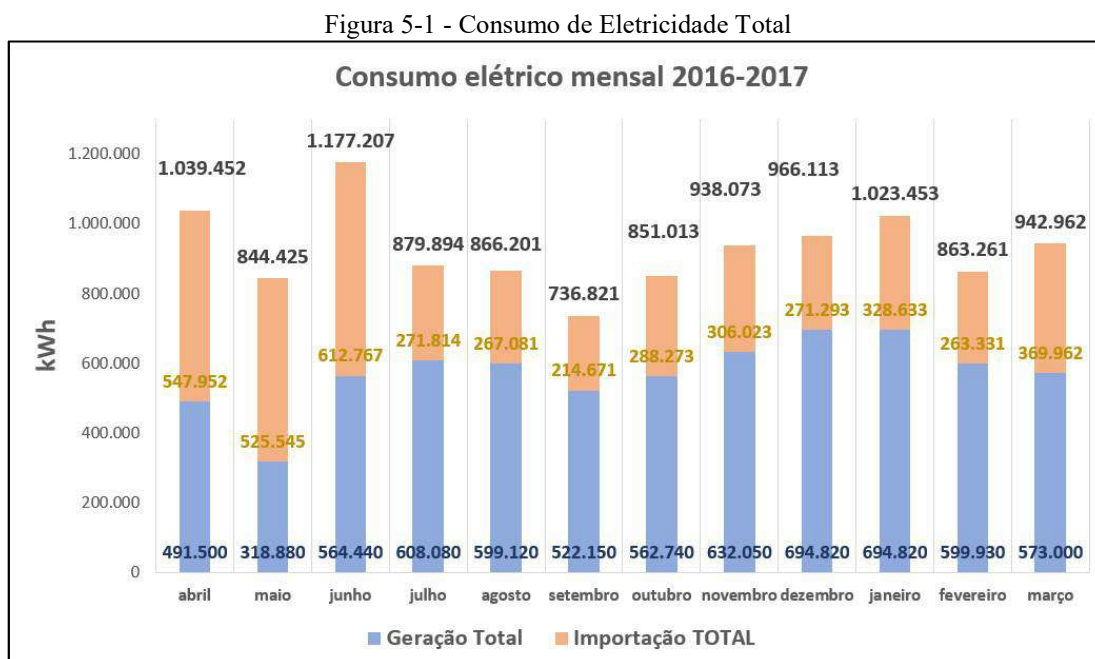
Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

Tabela 5-2 - Dados de Consumo Energético - 2016 / 2017 - kW

Descrição do Sistema	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março
Geração E.E - UGG1 (kWh)												
Geração Ponta	107.080	123.050	122.020	114.270	125.820	103.980	107.330	110.500	126.910	126.930	111.680	111.430
Geração Fora de Ponta	384.420	195.830	442.420	493.810	473.300	418.170	455.410	521.550	567.910	567.890	488.250	461.570
Geração Total	491.500	318.880	564.440	608.080	599.120	522.150	562.740	632.050	694.820	694.820	599.930	573.000
Importação E.E Concessionária - (kWh)												
Ponta	24.750	22.471	6.528	2.690	2.557	2.213	7.176	3.737	4.085	27.655	12.931	17.446
Fora de Ponta	523.201	503.075	606.239	289.124	264.524	212.458	281.098	302.286	287.208	300.978	250.400	352.516
Demanda	2.641	2.558	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555
Importação TOTAL	547.952	525.545	612.767	271.814	267.081	214.671	288.273	306.023	271.293	328.633	263.331	369.962
Demanda Total E.E (kWh)	1.039.452	844.425	1.177.207	879.894	866.201	736.821	851.013	938.073	966.113	1.023.453	863.261	942.962
GERAÇÃO ÁGUA GELADA												
CHEL 01 - 2.989,45 KW	637.112	256.465	2.960	8.789	159.607	290.096	316.433	424.741	802.608	606.260	579.056	652.896
Geração Total CHEL (kWh)	637.112	256.465	2.960	8.789	159.607	290.096	316.433	424.741	802.608	606.260	579.056	652.896
CHABS AQ 01 - 1.944,9 kW	551.341	358.912	546.167	616.553	358.931	518.841	562.426	579.055	599.243	599.243	460.241	264.751
Geração Total CHABS AQ (kWh)	551.341	358.912	546.167	616.553	358.931	518.841	562.426	579.055	599.243	599.243	460.241	264.751
CHABS QD 01 - 2.356,4 kW	511.384	422.831	143.905	326.666	316.817	245.866	492.580	444.062	250.131	245.889	449.623	367.855
Geração Total CHABS QD (kWh)	511.384	422.831	143.905	326.666	316.817	245.866	492.580	444.062	250.131	245.889	449.623	367.855
Geração Total Água Gelada - (kWh)	1.699.836	1.038.208	693.031	952.008	835.355	1.054.803	1.371.440	1.447.858	1.651.982	1.451.393	1.488.921	1.285.502
Geração CHABS QD + CHEL (kWh)	1.148.495	679.296	146.864	335.455	476.423	535.962	809.013	868.803	1.052.738	852.150	1.028.679	1.020.751

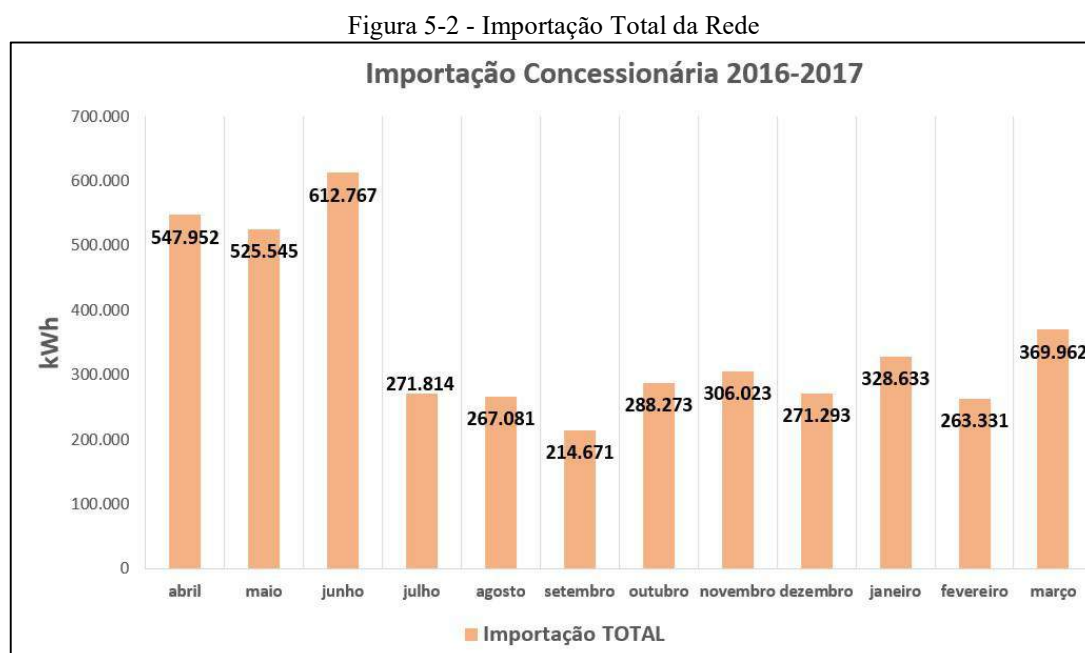
Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

O figura 5-1 retrata o consumo elétrico¹ total, geração própria e importação da rede, pelo período entre abril 2016 até março 2017.



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

O figura 5-2 retrata a importação elétrica¹ total pelo período entre abril 2016 até março 2017.

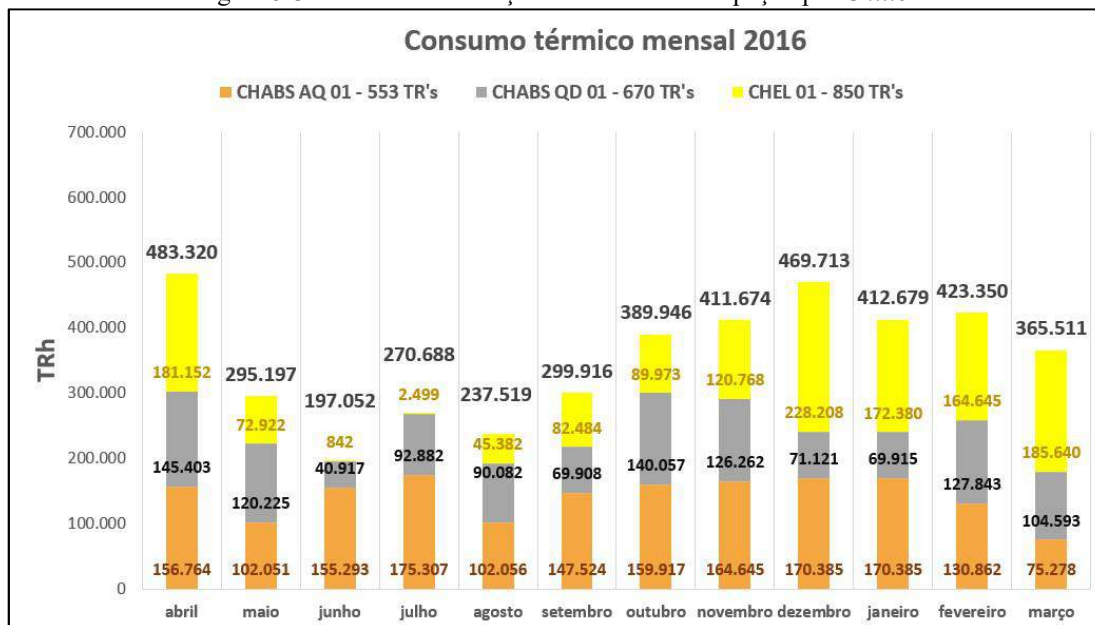


Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

1- O consumo da rede no mês de julho 2016 e nos meses posteriores sofreu uma diminuição devido a um projeto de eficiência energética em luminotécnica aplicado.

O figura 5-3 mostra o consumo de energia térmica (água gelada) e a respectiva participação de cada *chiller* na geração total pelo período entre abril 2016 até março 2017.

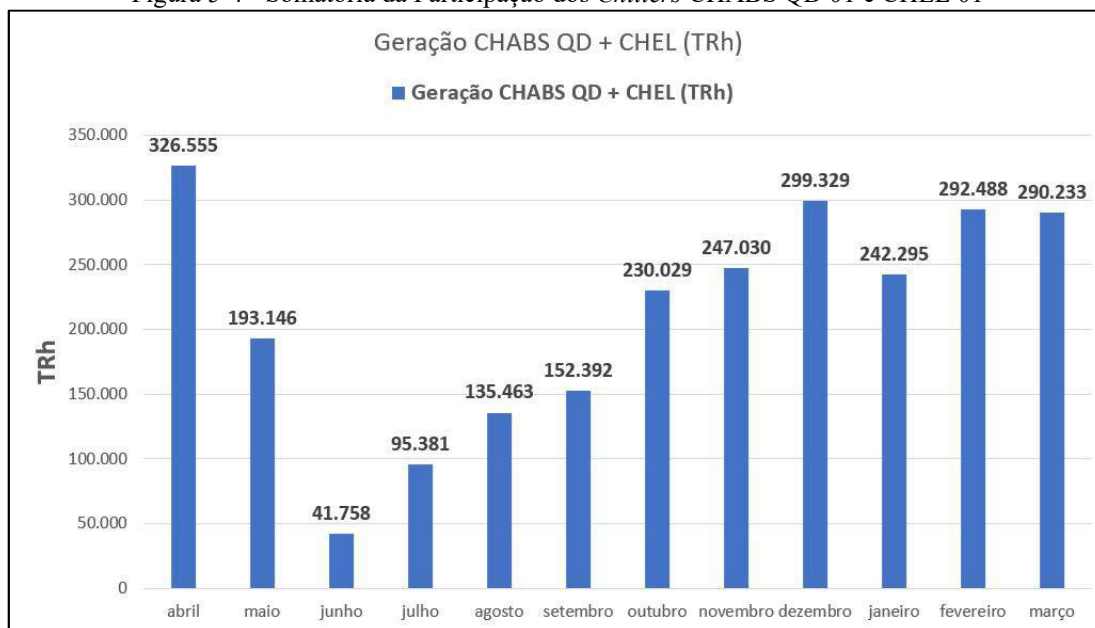
Figura 5-3 - Consumo / Geração Térmica – Participação por *Chiller*



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

O figura 5-4 ilustra a parcela² de energia térmica fornecida pelos *chillers* CHABS QD 01 e CHEL 01 pelo período entre abril 2016 até março 2017.

Figura 5-4 - Somatória da Participação dos *Chillers* CHABS QD 01 e CHEL 01



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo *shopping*

2- Esse trabalho visa diminuir essa parcela aumentando a participação do CHABS AQ 01 na opção de cogeração.

5.3. Análise econômica para novo contrato no ACL para 2022

Para o desenvolvimento desse trabalho de estudo comparativo entre as tecnologias de cogeração a gás natural e solar fotovoltaica como soluções de geração foi também estudado a possibilidade de um novo contrato no mercado livre como solução energética para atendimento das necessidades do *shopping* a partir de janeiro de 2022. Essa é uma solução simples pois tem como vantagem não necessitar de qualquer obra ou instalação técnica, apenas um contrato firmado com um fornecimento que é feito pela própria rede de distribuição local já existente. A (grande) desvantagem é a necessidade de sempre precisar elaborar um novo contrato cada vez que o vigente chega ao final. Como o preço praticado varia em função do mercado de energia é praticamente impossível fazer uma previsão precisa.

Nesse breve estudo o objetivo foi realizar uma comparação estimativa entre momentos similares do mercado da energia, fato passado e projeção futura, **apenas a título de curiosidade**, pois conforme dito no parágrafo anterior, essa é uma tarefa praticamente impossível. Esse trabalho não tem nenhuma intenção de ser usado como referência para uma tomada de decisão referente a contratação ou não da energia no mercado livre. Conforme já tratado na Introdução, no subtópico Objetivo, essa monografia tem a intenção de estudar os sistemas de **geração própria** de energia.

Foram utilizados como premissas de estudo o Produto Interno Bruto (PIB) histórico e o valor do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), também histórico. Esses parâmetros são correlacionados pois com a evolução econômica do país sua respectiva demanda por eletricidade também aumenta, ocasionando uma maior participação de usinas termelétricas no SIN. Tais usinas possuem uma operação mais caras e, portanto, puxam o preço da energia para cima. Como o PLD tem como base da sua valoração o Custo Marginal de Operação (CMO), esse índice tem seu valor indiretamente afetado pela demanda nacional.

Os preços praticados no ACL tomam como referência o PLD e por isso esse índice foi considerado como indicador estimativo dos preços que estarão sendo

praticados a época. A tabela 5-3 mostra o histórico do PIB desde 2010 até 2016 e a estimativa para o período de 2020-2024.

Tabela 5-3 – Histórico e Projeção PIB nacional

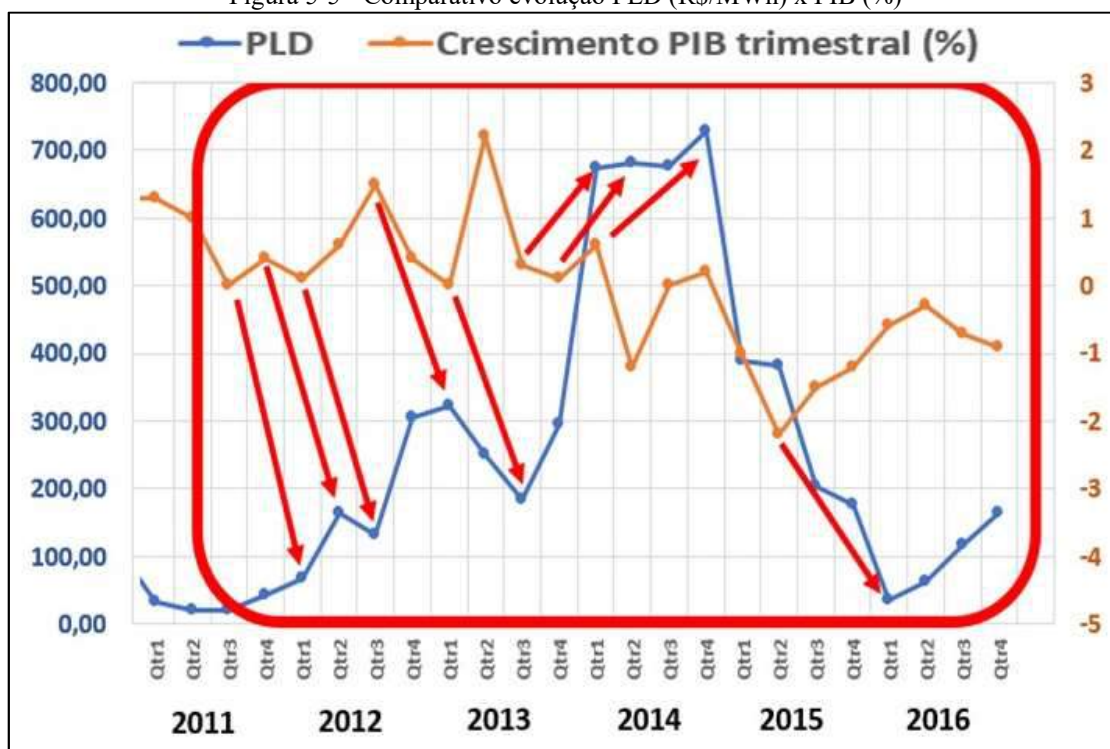
Crescimento Real do PIB (% aa.)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	2018*	2019*	2020*	2021*	2022*	2023*
	7,5	4	1,9	3	0,5	-3,8	-3,6	0,3	2,5	3	3	3	3	3

Fonte: Fundação Getúlio Vargas - Centro de Contas Nacionais - diversas publicações, período 1947 a 1989

Essa verificação serviu para correlacionar o crescimento esperado do PIB em 2021, ano em que provavelmente o *shopping* iria realizar um novo contrato, com um período passado recente de crescimento similar. Conforme mostrado na tabela 5-3 o ano de 2013 teve um PIB anual de 3%, o mesmo percentual de crescimento esperado para 2021.

De posse desses dados, foi pesquisado junto a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) o histórico do PLD médio mensal de forma a levantar os valores praticados no ano de 2013. Porém, foi percebido um atraso na resposta do mercado de energia a variação do PIB nacional. A figura 5-5 foi elaborado para demonstração desse atraso.

Figura 5-5 - Comparativo evolução PLD (R\$/MWh) x PIB (%)



Fonte: Elaboração própria com dados da (CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica 2017) / IBGE

As setas mostram um acompanhamento do PIB pelo PLD, a tabela 5-4 consolida as conclusões obtidas a partir da figura 5-5 e identifica um padrão de comportamento no atraso da resposta.

Tabela 5-4 - Verificação do atraso no ajuste do PLD em relação ao PIB

	PIB	PLD	Atraso
3 TRI 2011	↑		2 tri
1 TRI 2012		↑	
4 TRI 2011	↓		2 tri
2 TRI 2012		↓	
1 TRI 2012	↑		2 tri
3 TRI 2012		↑	
3 TRI 2012	↓		2 tri
1 TRI 2013		↓	
1 TRI 2013	↑		2 tri
3 TRI 2013		↑	
1 TRI 2014	↓		3 tri
4 TRI 2014		↓	
2 TRI 2015	↑		3 tri
1 TRI 2016		↑	

Fonte: Elaboração própria com dados da (CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica 2017) / IBGE

Pode-se notar que leva em torno de 6 a 9 meses para a variação do PIB afetar o preço do PLD. Com isso, foi desenvolvida a tabela 5-5 para se verificar o preço do PLD, considerando o atraso a partir do segundo trimestre de 2013, período onde houve a retomada do crescimento após 2 períodos consecutivos de quedas.

Tabela 5-5 - Histórico PLD Médio / PIB

Período	PLD MédioSE/CO	Crescimento PIB trimestral (%)
2013	262,54	
Qtr1	322,75	0,0
Qtr2	249,53	2,2
Qtr3	183,61	0,3
Qtr4	294,26	0,1
2014	690,00	
Qtr1	674,63	0,6
Qtr2	680,82	-1,2
Qtr3	677,01	0,0
Qtr4	727,54	0,2
2015	288,11	
Qtr1	388,48	-1,0
Qtr2	382,82	-2,2
Qtr3	204,07	-1,5
Qtr4	177,09	-1,2

Fonte: Elaboração própria com dados da (CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica 2017) / IBGE

O valor de **R\$674,63** correspondente ao primeiro trimestre de 2014 é encontrado como uma possível projeção de preço para o PLD em 2021 e está destacado em vermelho na tabela 5-5.

Na fase comparativa desse trabalho, dentro do cenário considerado como provável, esse será o valor utilizado como referência para os cálculos da opção de renovação contratual no mercado livre em comparação com as soluções propostas para geração própria. No subtítulo 5.6 esse assunto será abordado mais profundamente e maiores detalhes a respeito dos diferentes cenários estudados serão explicados.

5.4. Proposta de Cogeração a Gás Natural

A proposta de geração de energia pela tecnologia de cogeração a gás natural estudada nesse trabalho visa atender a dois aspectos:

- Prover energia elétrica para a parcela de aproximadamente 40% da demanda do *shopping*, que atualmente é fornecida via contrato no ML, fazendo uso do sistema de compensação de energia proposto pela RN687.
- Prover mais energia térmica para aumentar a participação do CHABS AQ 01 e consequentemente diminuir os custos com o consumo de eletricidade na participação do CHEL 01 e também do consumo de gás natural no CHABS QD 01.

Dessa forma o *shopping* teria duas usinas de cogeração a gás natural operando em paralelo com capacidade de atender a 100% da sua demanda diária de eletricidade.

A proposta desse dimensionamento para a energia elétrica é gerar cerca de 3% a mais do que a demanda anual (baseado no histórico já apresentado na tabela 5-1) em uma rotina de operação diária de 13 horas. Esse acúmulo de energia na rede se torna crédito que, dentro do prazo de até 60 meses, pode ser utilizado para abater

eventual consumo. Isso permite uma maior tranquilidade a operação do *shopping* pois o sistema precisa de um consumo mínimo da rede para realização do paralelismo, podendo também ser um fôlego maior para a manutenção preventiva e corretiva em ambos motogeradores ou até mesmo um desligamento intencional simplesmente para fazer uso dos créditos acumulados. A conexão com a rede permite ainda, caso necessário, operar mais horas por dia acumulando energia na rede para eventuais necessidades de paradas não programadas.

A proposta para a energia térmica é complementar a capacidade ociosa do CHABS AQ 01 com a energia térmica resultante da operação descrita anteriormente, até o limite da capacidade nominal do equipamento que é de 553 TR. Atualmente, considerando um fator de carga de 90% que é a média mensurada na operação da UGG-01, o máximo de energia térmica capaz de ser produzida pelo CHABS AQ 01 é 426 TR, ocasionando uma capacidade ociosa de 127 TR. Essa alternativa reduz o custo de investimento inicial do projeto proposto pois não necessita a compra de um novo *chiller* de absorção tornando a opção economicamente mais atrativa.

A usina de cogeração proposta, aqui identificada por UGG-02, é composta basicamente por um motogerador de **800 kW_e** da Caterpillar modelo CG132-16 (optou-se por manter o mesmo fabricante da UGG-01) com seus trocadores de calor dedicados, um de placas para recuperação do calor da jaqueta do bloco do motor e um tubular para recuperação do calor dos gases de exaustão.

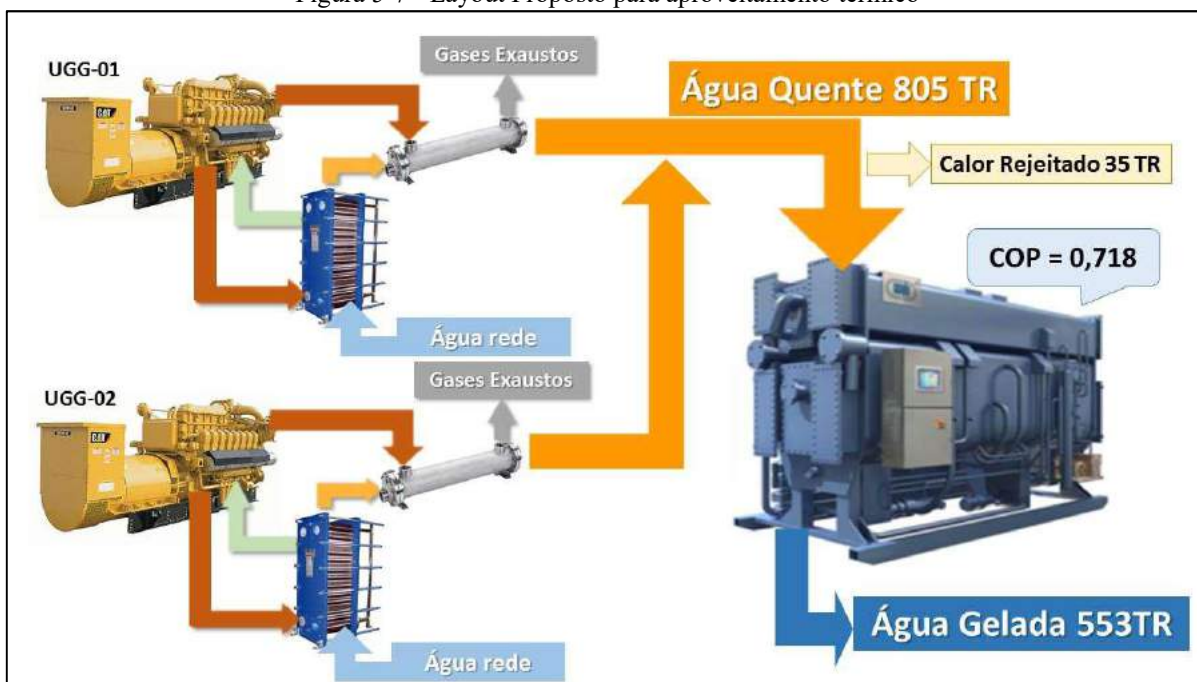
Figura 5-6 - Potência e Eficiências Motogerador gás natural CG132-16

ENGINE TYPE	60 Hz	UNITS	CG132-16	
Electrical power ²⁾		kW _e	800	
Mean effective pressure		bar psi	15.7	228
Thermal output (+/-8 %) ³⁾		kW Btu/m	892	50772
Electrical efficiency ²⁾		%	41.5	
Thermal efficiency ³⁾		%	46.3	
Total efficiency		%	87.8	

Fonte: Catálogo Caterpillar

A seguir a figura 5-7 ilustra o *layout* proposto para aproveitamento térmico.

Figura 5-7 - Layout Proposto para aproveitamento térmico



Fonte: Elaboração própria

Como a solução dada para a energia térmica propõe o uso conjunto do mesmo *chiller* de absorção, o balanço energético teve que ser feito para ambas usinas, UGG-01 e UGG-02, para se chegar a um resultado final da produção conjunta de água gelada. A tabela 5-6 inicia o balanço realizado mostrando os dados da UGG-01:

Tabela 5-6 - UGG-01

Balanco Energético	Valores	Unidades
MOTOGERADOR - UGG-01 (Existente)		
Fabricante	Caterpillar	
Modelo	G3520C	
Fator de Carga	90,0%	-
Potência Elétrica	1.849	kWe
Eficiência Elétrica	37,9%	-
Eficiência Térmica	47,6%	-
PCI GN	8.560	kcal/m3
Consumo Geradores	0,2651	m3/kWh
Vazão horária GN:	490	m3/h
Potência Entrada UGG-01	4.880	kW
Calor rejeitado UGG-01	2.325	kW
	661	TR

Fonte: Elaboração Própria com dados do catálogo do fabricante

Como citado anteriormente, o fator de carga (FC) mensurado na operação da UGG-01 foi de aproximadamente 90%, como no catálogo do fabricante não constam os dados de potência e eficiências em função desse FC, foi realizado uma interpolação linear para se obter um valor mais preciso para consideração nos cálculos. Segue na tabela 5-7 os dados obtidos do catálogo e a interpolação realizada:

Tabela 5-7 – Funções do Fator de carga – UGG-01

	DADOS	INTERPOLAÇÃO LINEAR				DADOS	DADOS
Fator de Carga	100%	95%	90%	85%	80%	75%	50%
Potência Gerador	2055	1952,2	1849,4	1746,6	1643,8	1541	1027
Eficiência Elétrica	38,5%	38,2%	37,9%	37,6%	37,3%	37,0%	35,1%
Eficiência Térmica	47,2%	47,4%	47,6%	47,9%	48,1%	48,3%	49,4%
Eficiência Total	85,70%	85,62%	85,54%	85,46%	85,38%	85,3%	84,5%

Fonte: Elaboração Própria com dados do catálogo do fabricante

A tabela 5-8 continua o balanço com os dados da usina de cogeração proposta UGG-02:

Tabela 5-8 - Funções do Fator de carga – UGG-02

Balanco Energético	Valores	Unidades
MOTOGERADOR - UGG-02 (Proposta)		
Fabricante	Caterpillar	
Modelo	CG132-16	
Fator de Carga	90,0%	-
Potência Elétrica	720	kWe
Eficiência Elétrica	41,0%	-
Eficiência Térmica	47,1%	-
PCI GN	8.560	kcal/m3
Consumo Geradores	0,2449	m3/kWh
Vazão horária GN:	176	m3/h
Potência Entrada UGG-02	1.755	kW
Calor rejeitado UGG-02	827	kW
	235	TR

Fonte: Elaboração Própria com dados do catálogo do fabricante

Novamente foi necessário chegar nos dados de FC 90%, a tabela 5-9 mostra os dados obtidos do catálogo e a interpolação realizada para a UGG-02:

Tabela 5-9 - Funções do Fator de carga – UGG-02

	DADOS	INTERPOLAÇÃO LINEAR				DADOS	DADOS
Fator de Carga	100%	95%	90%	85%	80%	75%	50%
Potência Gerador	800	760	720	680	640	600	400
Eficiência Elétrica	41,5%	41,3%	41,0%	40,8%	40,6%	40,3%	38,0%
Eficiência Térmica	46,3%	46,7%	47,1%	47,5%	47,9%	48,3%	51,7%
Eficiência Total	87,80%	87,97%	88,15%	88,32%	88,50%	88,7%	89,7%

Fonte: Elaboração Própria com dados do catálogo do fabricante

A energia térmica gerada em cada usina de cogeração passa por recuperadores de calor dedicados para aproveitamento e conversão em energia útil como fonte energética do CHABS AQ 01. Foi considerado nesse trabalho índices de eficiência para os trocadores de placa e tubular de 95% e 85% respectivamente devido à dificuldade de se encontrar os dados reais em catálogos dos fabricantes. Esses percentuais são valores médios já consolidados no mercado e largamente utilizados para a elaboração de estudos técnicos. A tabela 5-10 demonstra a memória de cálculos das potências térmicas **após** a recuperação do calor nos respectivos trocadores.

Tabela 5-10 - Calor útil após recuperadores de calor

RECUPERADORES DE CALOR		
Eficiência do Trocador Placa	95,0%	-
Eficiência do Trocador Tubular	85,0%	-
Potência Térmica após Trocadores de Calor		
UGG-01		
Calor rejeitado no bloco do motor	1.055	kW
Calor rejeitado nos gases de exaustão	1.032	kW
Calor Útil UGG-01	2.087	kW
	593	TR
UGG-02		
Calor rejeitado no bloco do motor	393	kW
Calor rejeitado nos gases de exaustão	351	kW
Calor Útil UGG-02	744	kW
	212	TR

Fonte: Elaboração própria

Devido à dificuldade de também se conseguir os dados do fabricante sobre o balanço da energia térmica no motogerador foi assumido um valor prático de que tal energia recuperável se divide em aproximadamente 50% entre o bloco do motor e os gases da exaustão.

Para o dimensionamento da geração de água gelada pelo CHABS AQ 01 foi calculado um valor teórico de 578 TR, valor acima da capacidade nominal do equipamento. Por isso deve ser rejeitado uma pequena parcela da energia térmica útil disponível na entrada do *chiller* de 35 TR, correspondente a 4,34% do total disponível na entrada, para que não se exceda a capacidade nominal. Dessa forma se atinge 100% da capacidade de geração do equipamento conforme pode ser analisado na tabela 5-11.

Tabela 5-11 - Geração de água gelada - CHABS AQ 01

GERAÇÃO DE ÁGUA GELADA		
Chiller Absorção Água Quente - CH-ABS-01		
Potência Nominal CH-ABS-01	553	TR
Potência Térmica UGG-01 + UGG-02 (Entrada CHABS AQ 01)	805	TR
COP CHABS AQ 01	0,718	
Potência Térmica UGG-01 (Saída CHABS AQ 01)	426	TR
Potência Térmica UGG-02 (Saída CHABS AQ 01)	152	TR
Capacidade Geração Térmica AG - TEÓRICA (Saída CHABS AQ 01)	578	TR
Calor Rejeitado (Entrada CHABS AQ 01)	35	TR
Capacidade Geração Térmica AG (Saída CH-ABS-01)	553	TR

Fonte: Elaboração própria

Nesse novo dimensionamento, a participação do CHABS AQ 01 aumenta em uma média anual **22,31%**, subindo de 40,47% para 62,78% podendo ser visualizada na tabela 5-12.

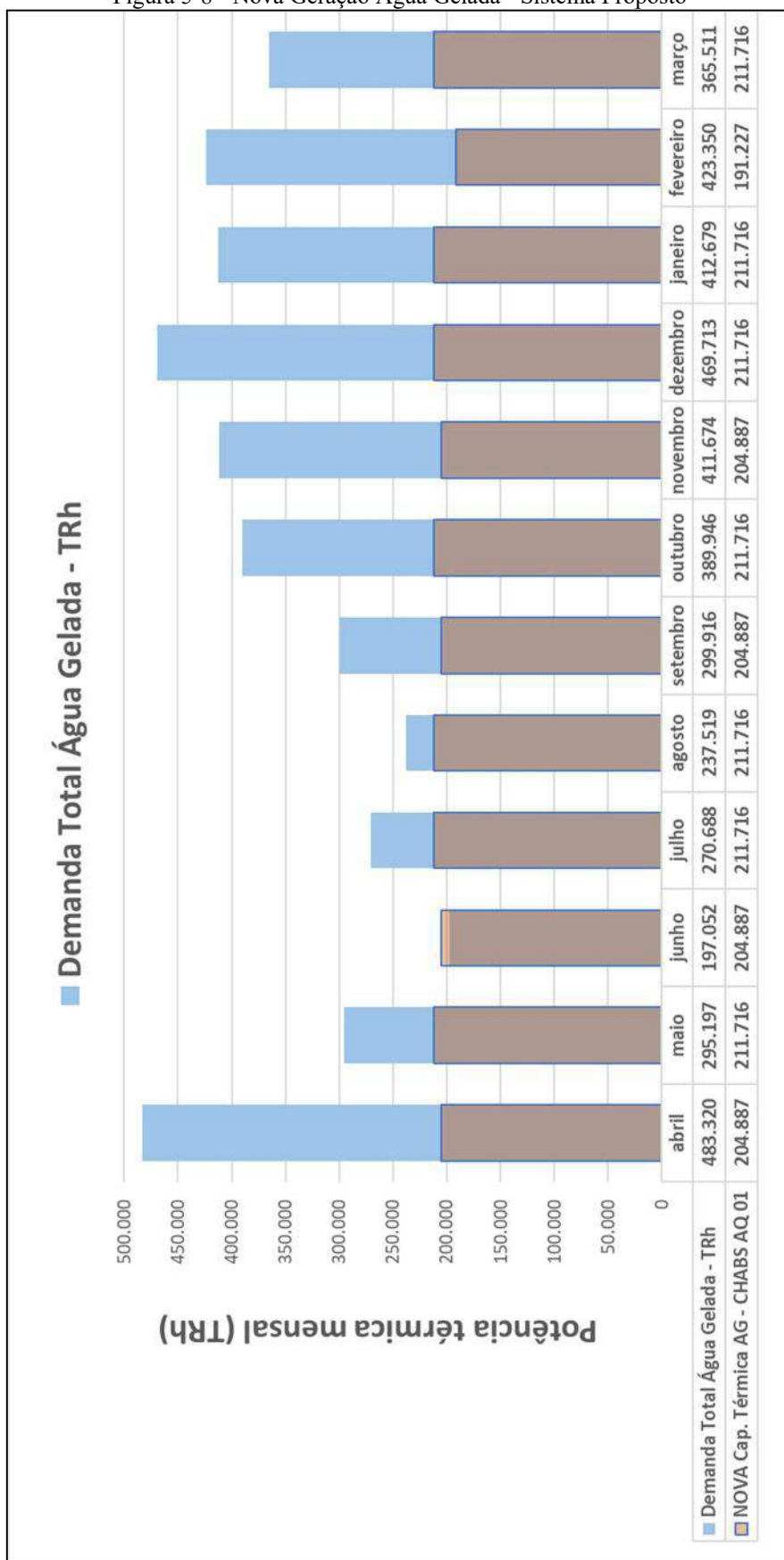
A figura 5-8 ilustra o cenário da nova geração térmica proposta podendo ser observado que toda a base da demanda anual é coberta, apenas com um leve excedente de 3,9% no mês de junho onde a demanda por refrigeração é baixa devido a estação do ano.

Tabela 5-12 - Comparativo geração CHABS AQ 01 – Atual x Proposta

Descrição do Sistema	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	Total
Geração Atual													
CHABS AQ 01 - 553 TR's	156.764	102.051	155.293	175.307	102.056	147.524	159.917	164.645	170.385	170.385	130.862	75.278	1.710.465
% Atendimento demanda ATUAL	32%	35%	79%	65%	43%	49%	41%	40%	36%	41%	31%	21%	40,47%
Demanda Total Água Gelada - TRh	483.320	295.197	197.052	270.688	237.519	299.916	389.946	411.674	469.713	412.679	423.350	365.511	4.256.564
NOVA Cap. Térmica AG - CHABS AQ 01	204.887	211.716	204.887	211.716	211.716	204.887	211.716	204.887	211.716	211.716	191.227	211.716	2.492.786
% NOVO Atendimento demanda	42%	72%	100%	78%	89%	68%	54%	50%	45%	51%	45%	58%	62,76%

Fonte: Elaboração própria

Figura 5-8 - Nova Geração Água Gelada - Sistema Proposto



Fonte: Elaboração própria

Para o balanço do sistema de compensação elétrica (*Net Metering*) foram utilizados os dados reais de consumo horário do mês de junho de 2017 obtidos do relatório de medição da operadora de comercialização que faz a gestão do contrato do *shopping* no ML. Considerando-se a operação por 13 horas diárias e uma disponibilidade do sistema de 95%, a produção de energia elétrica diária seria de 9.360 kWh enquanto que a demanda diária seria de 8.629 kWh¹, resultando em um atendimento da demanda de 103,05%. As tabelas 5-13 e 5-14 mostram os cálculos realizados.

Tabela 5-13 - Balanço elétrico 1- *Net Metering*

Verde = Produção > Consumo														
HORAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Demanda Elétrica (kW)	487	464	431	419	419	464	554	727	675	265	61			
Geração Motogeradores (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0	720	720	720			
NET METERING	-487	-464	-431	-419	-419	-464	-554	-727	45	454	659			
Consumo Concessionária (kW)	487	464	431	419	419	464	554	727	0	0	0			
Injetado Concessionária (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0	45	454	659			
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Perfil DIÁRIO
	91	79	87	90	79	125	95	77	103	420	1.080	734	622	8.629 kWh
	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	0	0	0	9.360 kWh
	629	641	633	630	641	595	625	643	617	300	-1.060	-734	-622	731 kWh
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.080	734	622	6.380 kWh
	629	641	633	630	641	595	625	643	617	300	0	0	0	7.111 kWh

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5-14 - % Atendimento Demanda

Demanda média mensal	258.861	kWh/mês
Disponibilidade	95%	
% Atendimento Demanda	103,05%	

Fonte: Elaboração própria

Nessa configuração de sistema o consumo no horário de ponta e no fora-ponta seriam zerados, ainda acumulando na rede anualmente 96.103 kWh que poderiam ser usados a qualquer momento a critério da operação do *shopping* conforme mostrado na tabela 5-15.

Tabela 5-15 - Balanço elétrico 2- *Net Metering*

Injetado FP	5.227 kWh
Consumido FP Bruto	6.380 kWh
Saldo Consumo Fora de Ponta	1.153 kWh
Saldo Líquido Injetado Ponta	1.885 kWh
Fator ajuste (TARIFA VERDE)	1,49
Saldo Compensável Fora Ponta	2.811 kWh
Saldo Consumo Fora de Ponta ANUAL	0 kWh
Consumido Ponta Líquido / DIA	0 kWh
Saldo Consumo Ponta ANUAL	0 kWh
Energia gerada ANUALMENTE	3.245.580 kWh
Energia acumulada (Rede) anualmente	96.103 kWh

Fonte: Elaboração própria

1- A demanda diária informada já contempla a redução do consumo via CHEL 01 devido ao aumento da geração de água quente pela UGG-02.

Para poder ser caracterizada como minigeração conforme definido pela REN687 (abordado anteriormente no subtópico 2.1.2), a usina de cogeração deve ser qualificada. A qualificação é determinada pela REN235, tema já abordado no subtópico 2.2.6, e tem como premissas os valores de “X” e “Fc” para aplicação no cálculo de verificação de cumprimento dos requisitos da resolução normativa, a tabela 5-16 mostra os valores que devem ser levados em consideração:

Tabela 5-16 - Valores de “X” e “Fc” em função da potência elétrica instalada e da fonte

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: (ANEEL 2006)

De acordo com os dados obtidos no balanço energético e na tabela 5-16 pode-se efetuar o cálculo e verificar se a usina proposta atende aos requisitos da REN235 para ser considerada como qualificada. Conforme demonstrado na tabela 5-17 a usina proposta cumpre com os requisitos e pode ser considerada como cogeração qualificada.

Tabela 5-17 - Cálculo cogeração qualificada - REN235

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06				
<i>E_f</i>	1.928 kWh/h			
<i>E_e</i>	800 kWh/h	$46\% = \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$	Cumpre	requisito (a)
<i>E_t</i>	893 kWh/h			
<i>X</i>	2,14			
<i>F_c</i>	41%	$63\% = \left(\frac{E_t}{E_f}\right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$	Cumpre	requisito (b)

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

Para se verificar a eficiência da usina no uso e conversão da energia do combustível primário se utiliza o Fator de Utilização de Energia (FUE). A tabela 5-18 consolida os dados obtidos no balanço energético e aponta o índice de 88% de aproveitamento da energia do gás natural entre sua conversão em trabalho mecânico (convertido em eletricidade) e calor útil.

Tabela 5-18 - FUE

Fator de Utilização de Energia - FUE		
W	800 kW	$FUE = \frac{W + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{comb}} = 88\%$
Q_u	893 kW	
Q_{comb}	1.928 kW	

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

5.5. Proposta Solar Fotovoltaica

Assim como a proposta de cogeração a gás natural a proposta para a usina solar fotovoltaica (UFV) visa prover energia elétrica para a parcela de aproximadamente 40% da demanda do *shopping*, que atualmente é fornecida via contrato no ML.

A UFV proposta possui potência pico de 2.635 Wp, sendo considerada minigeração distribuída e estará conectada à rede da concessionária fazendo uso do sistema de compensação de energia proposto pela RN687. A atual demanda contratada pelo shopping é de 2.555 W por isso será necessário solicitar uma consulta de capacidade de aumento de demanda SEM necessidade de obras na rede, pois de acordo com a RN687 em seu artigo 5º parágrafo segundo, a responsabilidade financeira para essa adequação é de responsabilidade do consumidor conforme descrito na íntegra a seguir:

“Art. 5º Quando da conexão de nova unidade consumidora com minigeração distribuída, ou no caso do §2º do art. 4º, aplicam-se as regras de participação financeira do consumidor definidas em regulamento específico.

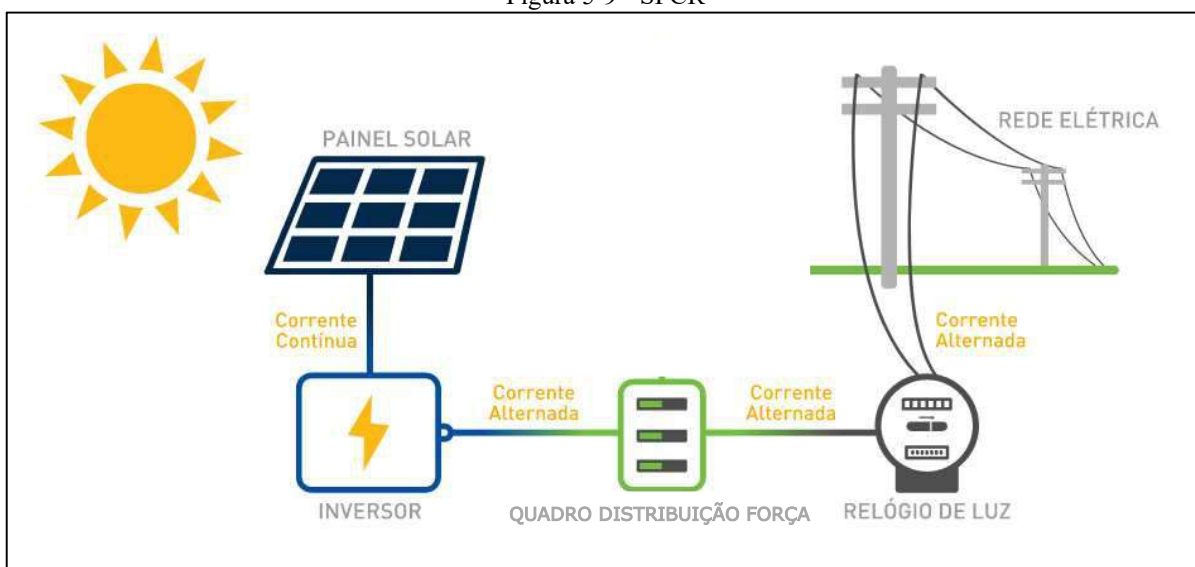
§2º Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função

exclusivamente da conexão de minigeração distribuída devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor.”

Como a diferença é de apenas 80 W acredita-se que não serão necessários reforços no sistema de distribuição, porém caso sejam, pode-se reduzir a dimensão da UFV para que se adeque a capacidade atual da rede local para não incidirem custos adicionais ao projeto. Nesse caso a energia produzida não atenderia totalmente a parcela proposta necessitando de uma pequena fração de consumo da rede. Na elaboração desse trabalho foi considerado apenas o cenário de conexão sem custos por reforços na rede.

O sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) proposto tem o seu *layout* conforme ilustrado na figura 5-9.

Figura 5-9 - SFCR



Fonte: Internet

Conforme citado no subtópico 1.4, foi utilizado o *software* PV*SOL Premium R9 2017 (versão *trial*) para a modelagem 3D, dimensionamento, estimativa de irradiação local e estimativa de geração.

A estimativa de irradiação do local utilizada pelo PV*SOL foi importada do *software* Meteonorm 7.2.1. A tabela 5-19 é uma amostra dos dados coletados e mostra a irradiação global no plano horizontal (Gh) para a cidade de São José dos Campos.

Tabela 5-19 - Meteonorm 7.2.1 – Irradiação Global horizontal (Gh - kWh/m²)

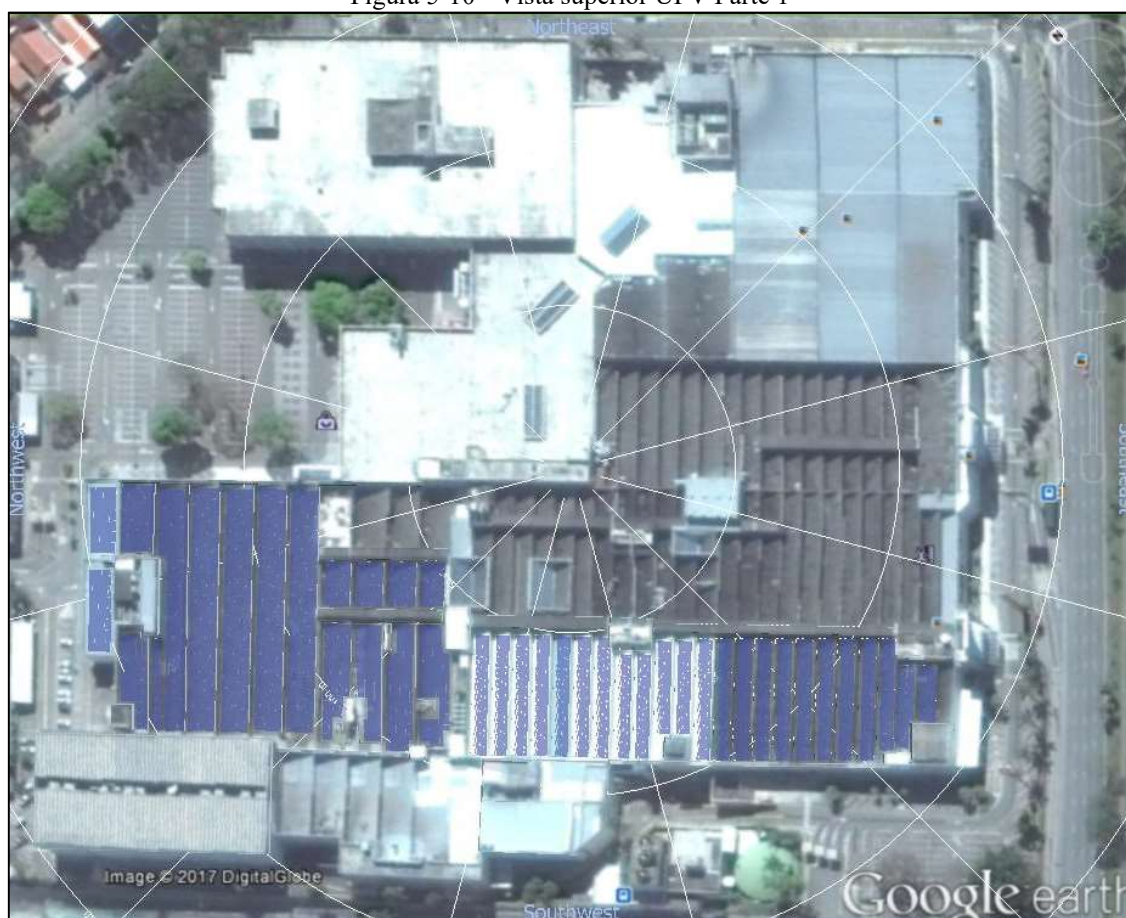
São José dos Campos							
☀ Radiation		🌡 Temperature		☁ Precipitation		☀ Sunshine duration	
★ Daily global radiation		🌡 Daily temperature		📄 Data table			
	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s	
January	153	81	104	22,4	18,8	2,9	
February	150	72	110	22,9	19	2,8	
March	139	72	100	22,5	18,6	2,7	
April	115	55	95	21,3	17,2	2,6	
May	106	52	99	18	14	2,6	
June	94	40	106	17,5	13,2	2,4	
July	107	43	123	16,5	11,9	2,6	
August	126	53	122	18,1	12,4	2,7	
September	126	68	86	18,7	13,7	3,2	
October	141	82	87	20,8	16,1	3,1	
November	161	78	118	21,1	16,9	3,3	
December	156	83	103	21,9	18,2	3,1	
Year	1575	781	1252	20,1	15,8	2,8	

Fonte: (Meteonorm 2017)

Para a modelagem 3D, dimensionamento e estimativa de geração a UFV teve que ser dividida em 2 partes por uma limitação de capacidade de processamento de dados do PV*SOL. O *software* consegue trabalhar com modelagem 3D até o máximo de 5.000 painéis, como a UFV proposta ultrapassou esse valor teve que ser adequada ao limite. Por isso a apresentação dos resultados da usina proposta gerado pelo *software* será feita sempre em duas partes e posteriormente consolidado manualmente em planilha de dados.

A parte 1 se refere a área coberta com painéis fotovoltaicos conforme demonstrado na figura 5-10 e 5-11:

Figura 5-10 - Vista superior UFV Parte 1



Fonte: Google Earth / PV*SOL

Figura 5-11 - Vista Norte - Partel



Fonte: Google Earth / PV*SOL (a definição da imagem é prejudicada devido a quantidade de painéis instalados)

Os dados gerais da parte 1 são informados na tabela 5-20:

Tabela 5-20 - Dados Gerais - Parte 1

3D, Sistema fv conectado à rede	
Dados climáticos	São José dos Campos (1991 - 2010)
Potência do gerador fotovoltaico	1348,92 kWp
Área do gerador fotovoltaico	8.177,5 m ²
Quantidade de módulos	4996

Fonte: Dados do software PV*SOL

A energia gerada, o rendimento específico, desempenho do sistema (PR), perdas por sombreamento e emissões de CO₂ evitadas são mostradas na tabela 5-21. Os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termoelétricas. O valor utilizado para cálculo é 89 g CO₂/kWh.

Tabela 5-21 - Rendimento UFV - Parte 1

O rendimento	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	1.748.534 kWh
Rendimento anual específico	1.296,25 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	80,0 %
Perdas por sombreamento	5,0 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	155.620 kg/ano

Fonte: Dados do software PV*SOL

A parte 2 se refere a área coberta com painéis fotovoltaicos conforme demonstrado na figura 5-12 e 5-13:

Figura 5-12 - Vista superior UFV Parte 2



Fonte: Google Earth / PV*SOL

Figura 5-13 - Vista Norte – Parte 2



Fonte: Google Earth / PV*SOL (a definição da imagem é prejudicada devido a quantidade de painéis instalados)

Os dados gerais da parte 2 são informados na tabela 5-22:

Tabela 5-22 - Dados Gerais - Parte 2

3D, Sistema fv conectado à rede	
Dados climáticos	São José dos Campos (1991 - 2010)
Potência do gerador fotovoltaico	1285,74 kWp
Area do gerador fotovoltaico	7.794,4 m ²
Quantidade de módulos	4762

Fonte: Dados do software PV*SOL

A energia gerada, o rendimento específico, desempenho do sistema (PR), perdas por sombreamento e emissões de CO₂ evitadas são mostradas na tabela 5-23.

Tabela 5-23 - Rendimento UFV - Parte 2

O rendimento	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	1.647.665 kWh
Rendimento anual específico	1.281,49 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	79,3 %
Perdas por sombreamento	6,8 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	146.642 kg/ano

Fonte: Dados do software PV*SOL

Para o dimensionamento da UFV foram considerados painéis de 270 Wp, as suas respectivas características técnicas são mostradas na tabela 5-24:

Tabela 5-24 - Características técnicas painéis fotovoltaicos

Dados elétricos	
Tipo de célula	Si polycrystalline
Exige inversor com transformador	Não
Número de células	60
Número de diodos de desvio	3
Dados mecânicos	
Largura	992 mm
Altura	1650 mm
Profundidade	40 mm
Largura da moldura	35 mm
Peso	18,2 kg
Com moldura	Não

Características U-I sob STC	
Tensão PMP	30,8 V
Corrente PMP	8,75 A
Potência nominal	270 W
Tensão de circuito aberto	37,9 V
Corrente de curto-circuito	9,32 A
Aumento da tensão de circuito aberto até estabilização	0 %
Características em carga parcial U-I	
Fonte dos valores	Fabricante/próprio
Irradiação	200 W/m ²
Tensão PMP com carga parcial	30,0294 V
Corrente PMP com carga parcial	1,7385 A
Tensão de circuito aberto com carga parcial	35,3364 V
Corrente de curto-circuito sob carga parcial	1,8647 A
Mais	
Coefficiente de tensão	-117,11 mV/K
Coefficiente de corrente	4,66 mA/K
Coefficiente de potência	-0,41 %/K
Fator de correção do ângulo	99 %
Tensão máxima do sistema	1000 V
Capacidade térmica esp.	920 J/(kg*K)
Coefficiente de absorção	70 %
Coefficiente de emissão	85 %

Fonte: Dados do software PV*SOL

Os inversores utilizados possuem potência nominal de 360 kW e têm suas características técnicas descritas na tabela 5-25:

Tabela 5-25 - Características técnicas Inversores

Dados elétricos	
Potência nominal c.c.	366,7 kW
Potência nominal c.a.	360 kW
Potência c.c. máx.	369 kW
Potência c.a. máx.	360 kW
Consumo em espera	168 W
Consumo noturno	168 W
Injeção a partir de	2000 W
Corrente de entrada máx.	1094 A
Tensão de entrada máx.	1000 V
Tensão nominal c.c.	505 V
Quantidade de fases de injeção	3
Quantidade de entradas c.c.	6
Com transformador	Não
Alteração do eficiência se a tensão de entrada se desviar da tensão nominal	-0,27 %/100V
Seguidor PMP	
Potência de saída < 20% da potência nominal	99,97 %
Potência de saída > 20% da potência nominal	99,97 %
Quantidade de seguidores es PMP	1
Corrente de entrada máx. por seguidor PMP	729 A
Potência de entrada máx. por seguidor PMP	369 kW
Tensão mín. do PMP	505 V
Tensão máx. PMP	820 V

Fonte: Dados do software PV*SOL

A somatória dos dados de cada uma das partes da usina fotovoltaica é demonstrada na tabela 5-26:

Tabela 5-26 - Consolidação dos dados totais da UFV

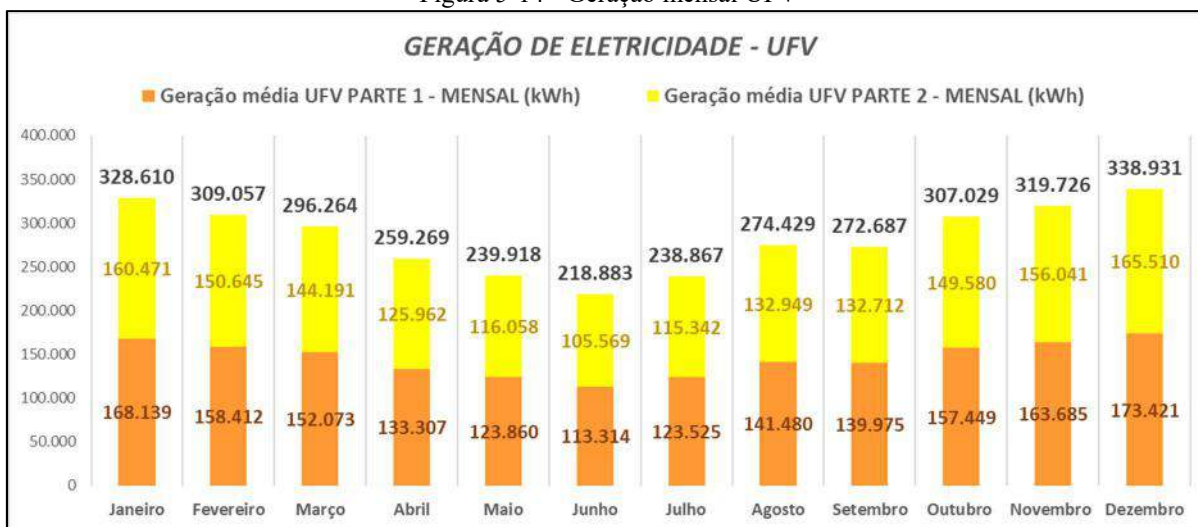
UFV	ENERGIA (kWh/ano)	PAINÉIS	POTÊNCIA PICO (kWp)	ÁREA COBERTA (m ²)	EMISSÕES CO2 EVITADAS (kg CO ₂ /ano)
Parte 1	1.748.639	4.996	1.349	8.178	155.620
Parte 2	1.655.030	4.762	1.286	7.794	146.642
TOTAL	3.403.669	9.758	2.635	15.972	302.262

Fonte: Elaboração própria

O rendimento específico, desempenho do sistema (PR) e perdas por sombreamento não podem ser somados pois são informações específicas geradas para cada projeto realizado pelo PV*SOL, portanto cada parte tem seu resultado calculado individualmente.

A geração de energia elétrica na base mensal, por partes e no total, é demonstrada na figura 5-14:

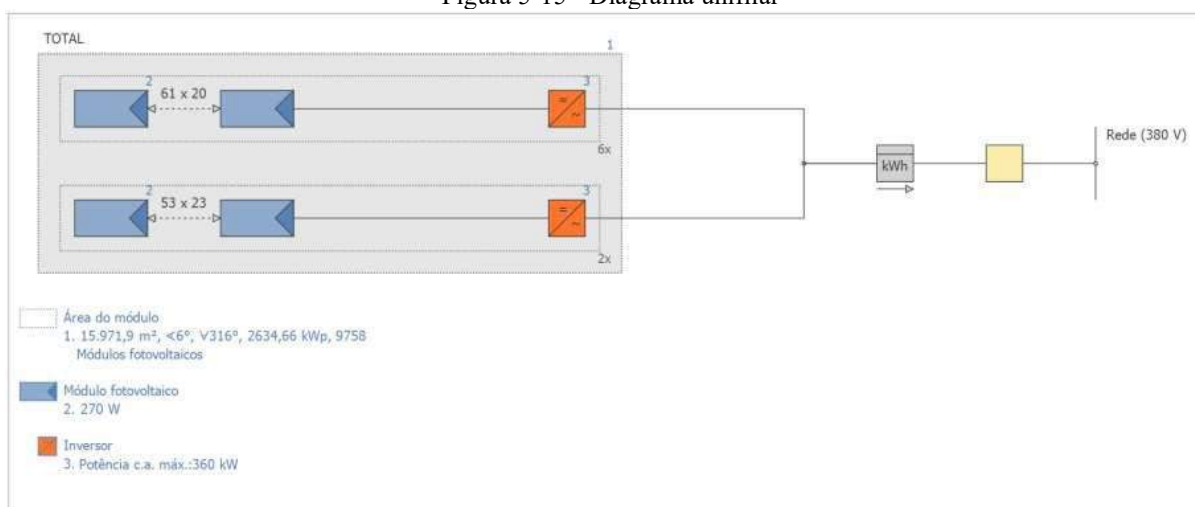
Figura 5-14 - Geração mensal UFV



Fonte: Elaboração própria com dados obtidos pelo PV*SOL

O diagrama unifilar resultante do dimensionamento realizado é mostrado na figura 5-15:

Figura 5-15 - Diagrama unifilar



Fonte: Dados do software PV*SOL

O *net metering* para a UFV foi realizado na base mensal, diferentemente da usina de cogeração que foi realizada na base horária. O motivo disso é a dificuldade de se levantar os dados de geração diária de uma usina fotovoltaica na base horária durante todo o ano devido ao grande volume de dados. O recurso solar varia sua geração diariamente e por isso necessita de um mapeamento dos 365 dias do ano para se conseguir elaborar o estudo nessa base de tempo e ser possível separar em ponta e fora de ponta. A usina de cogeração mostrada anteriormente tem como vantagem uma maior previsibilidade de geração pois tem seu horário de funcionamento pré-determinado e segue esse padrão o ano todo.

A metodologia utilizada nesse caso foi a realização de um resumo da geração e da demanda na base mensal e posterior cálculo do saldo líquido consumido da concessionária e injetado na rede. A tabela 5-27 mostra a memória de cálculos:

Tabela 5-27 - *Net Metering* - UFV

UFV	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
GERAÇÃO TOTAL	328.610	309.057	296.264	259.269	239.918
DEMANDA	328.633	263.331	369.962	267.081	214.671
Consumo Concessionária (kWh)	22	0	73.698	7.812	0
Injetado Concessionária (kWh)	0	45.726	0	0	25.247

Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL ANUAL
218.883	238.867	274.429	272.687	307.029	319.726	338.931	3.403.669
271.814	271.814	267.081	214.671	288.273	306.023	271.293	3.334.647
52.931	32.947	0	0	0	0	0	0
0	0	7.348	58.016	18.755	13.702	67.637	69.023

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos pelo PV*SOL

Pode-se notar que no saldo líquido total anual a UFV proposta tem uma estimativa de geração de 69.023 kWh/ano a mais do que consumo histórico anual. Como não foi possível a separação da energia gerada em ponta e fora de ponta, no estudo comparativo a consideração realizada foi de que o saldo líquido anual seria um abatimento de quaisquer diferenças por compensação de tarifas horárias.

As imagens da UFV contemplando as 2 partes juntas podem ser vistas nas figuras 5-16 e 5-17.

Figura 5-16 - UFV completa - Vista Norte



Fonte: Elaboração própria com dados obtidos pelo PV*SOL

Figura 5-17 - UFV completa - Vista superior



Fonte: Elaboração própria com dados obtidos pelo PV*SOL

5.6. Comparativo

Nesse tópico serão apresentados os comparativos econômicos entre as soluções energéticas citadas no item 1.1 (Objetivo) com base nos dados técnicos já demonstrados nos outros subtópicos do título 5 (Estudo de caso).

a) Cálculo da energia consumida da concessionária

Como tanto na proposta da UGG-02 quanto na proposta da UFV os dimensionamentos foram feitos para não haver consumos (saldo líquido após compensação), somente será apresentado aqui as parcelas da fatura de energia relacionadas a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), pois as respectivas tarifas de energia (TE) são zeradas. Apenas no caso do ML existe pagamento pela energia consumida, porém esse pagamento é feito para a comercializadora e não para a concessionária local.

Primeiramente foi verificado em qual modalidade tarifária os cenários propostos para cada solução seriam mais financeiramente atrativos. As tabelas 5-28 e 5-29 mostram que é mais econômico a adesão a modalidade verde para o cenário do ML.

Tabela 5-28 - ML - Modalidade tarifária AZUL

<i>Cálculo custo de Energia Elétrica - MERCADO LIVRE</i>			<i>TUSD</i>		
EDP BANDEIRANTE - A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda Ponta	R\$ 19,96000 /kW	R\$ 26,09150 /kW	2.555	-	799.965
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.555	-	284.958
Consumo Anual Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	87.950	4.452
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	3.246.696	164.330
Total Anual				3.334.647	1.253.704
Custo Específico EE (R\$/MWh)					375,96
				Impostos inclusos:	PIS/COFINS 5,5%
					ICMS 18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

Tabela 5-29 - ML - Modalidade tarifária VERDE

<i>Cálculo custo de Energia Elétrica - MERCADO LIVRE</i>			<i>TUSD</i>		
EDP BANDEIRANTE - A4 VERDE	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.555	-	284.958
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	0	-	0
Consumo Anual Ponta	R\$ 0,48411 /kW	R\$ 0,63282 /kW	-	87.950	55.657
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	3.246.696	164.330
Total Anual				3.334.647	504.944
Custo Específico EE (R\$/MWh)					151,42
				Impostos inclusos:	PIS/COFINS 5,5%
					ICMS 18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

As tabelas 5-30 e 5-31 mostram que é mais econômico a adesão a modalidade verde para o cenário da expansão da cogeração (UGG-02).

Tabela 5-30 – UGG-02 - Modalidade tarifária AZUL

Cálculo custo de Energia Elétrica - COGERAÇÃO				TUSD		
EDP BANDEIRANTE - A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	
Demanda Ponta	R\$ 19,96000 /kW	R\$ 26,09150 /kW	2.555	-	799.965	
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.555	-	284.958	
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0	
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0	
Total Anual				0	1.084.923	
Custo Especifico EE (R\$/MWh)					0,00	
				Impostos inclusos:	PIS/COFINS	5,5%
					ICMS	18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

Tabela 5-31 - UGG-02 - Modalidade tarifária VERDE

Cálculo custo de Energia Elétrica - COGERAÇÃO				TUSD		
EDP BANDEIRANTE - A4 VERDE	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	
Demanda Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.555	-	284.958	
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	0	-	0	
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,52283 /kW	R\$ 0,68344 /kW	-	0	0	
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0	
Total Anual				0	284.958	
Custo Especifico EE (R\$/MWh)					0,00	
				Impostos inclusos:	PIS/COFINS	5,5%
					ICMS	18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

As tabelas 5-32 e 5-33 mostram que também é mais econômico a adesão a modalidade verde para o cenário da UFV.

Tabela 5-32 – UFV - Modalidade tarifária AZUL

Cálculo custo de Energia Elétrica - UFV				TUSD		
EDP BANDEIRANTE - A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	
Demanda Ponta	R\$ 19,96000 /kW	R\$ 26,09150 /kW	2.635	-	824.907	
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.635	-	293.880	
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0	
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0	
Total Anual				0	1.118.787	
Custo Especifico EE (R\$/MWh)					0,00	
				Impostos inclusos:	PIS/COFINS	5,5%
					ICMS	18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

Tabela 5-33 – UFV - Modalidade tarifária VERDE

Cálculo custo de Energia Elétrica - UFV			TUSD		
EDP BANDEIRANTE - A4 VERDE	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	2.635	-	293.842
Demanda Fora Ponta	R\$ 7,11000 /kW	R\$ 9,29412 /kW	0	-	0
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,52283 /kW	R\$ 0,68344 /kW	-	0	0
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,03872 /kW	R\$ 0,05061 /kW	-	0	0
Total Anual				0	293.842
Custo Específico EE (R\$/MWh)					0,00
			Impostos inclusos:	PIS/COFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Fonte: Formatação de (ANDREOS, R. 2016) com dados de elaboração própria

As tarifas utilizadas para o estudo da modalidade tarifária foram retiradas da tabela vigente disponível no *website* da EDP Bandeirante e são demonstradas abaixo na figura 5-18 como uma versão resumida.

Figura 5-18 – Tarifas EDP Bandeirante – Vigência desde 21/10/2016

edp		RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.158 de 21/10/2016	
Leituras a partir do dia 23.10.2016		Homologa as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSD referentes a Bandeirante Energia S.A.	
		Res. Homologatoria nº 2203 de 14.02.2017, Estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das Bandeiras tarifárias, a partir de fevereiro de 2017.	

SUBGRUPO/CLASSE/SUBCLASSE	MODALIDADE TARIFÁRIA AZUL - GRUPO A (QUADRO C)											
	TUSD			PONTA				FORA PONTA				
	PONTA	FORA DE PONTA	R\$/kWh	Tarifa de Energia (TE)			Tarifa de Energia (TE)			Tarifa de Energia (TE)		
				RS/kw	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh
A1 - (230 ou MAIS) - VILLARES AÇOS ANHAGUERA S.A	1,93000	1,98000	0,02932	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	
A2 - (88 a 138 kV)	7,69000	2,86000	0,02998	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	
A3a - (30 a 44 kV)	19,96000	7,11000	0,03872	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	
A4 - (2,3 a 25 kV)	19,96000	7,11000	0,03872	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	

SUBGRUPO/CLASSE/SUBCLASSE	MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE - GRUPO A (QUADRO F)											
	TUSD			PONTA				FORA PONTA				
	PONTA	FORA DE PONTA	R\$/kWh	Tarifa de Energia (TE)			Tarifa de Energia (TE)			Tarifa de Energia (TE)		
				RS/kw	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh	RS/kWh
A3a - (30 a 44 kV)	7,11000	0,52283	0,03872	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	
A4 - (2,3 a 25 kV)	7,11000	0,52283	0,03872	0,33001	0,33001	0,35001	0,36001	0,22128	0,22128	0,24128	0,25128	

SUBGRUPO/CLASSE/SUBCLASSE	MODALIDADE TARIFÁRIA FONTE INCENTIVADA - GRUPO A (QUADRO D e G)							
	AZUL				VERDE			
	PARCELA SUJEITA AO DESCONTO		PARCELA NÃO SUJEITA AO DESCONTO		PARCELA SUJEITA AO DESCONTO		PARCELA NÃO SUJEITA AO DESCONTO	
	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA
A1 - (230 ou MAIS) - VILLARES AÇOS ANHAGUERA S.A	1,93000	1,98000	0,02932	-	-	-	-	
A2 - (88 a 138 kV)	7,69000	2,86000	0,02998	-	-	-	-	
A3a - (30 a 44 kV)	19,96000	7,11000	0,03872	7,11000	0,48411	0,03872	0,03872	
A4 - (2,3 a 25 kV)	19,96000	7,11000	0,03872	7,11000	0,48411	0,03872	0,03872	

Fonte: (Tabela tarifas EDP Bandeirante 2017)

O comparativo de consumo elétrico entre as soluções é mostrado na tabela 5-34. Para o custo total da TUSD no ML foi aplicado 50% de desconto referente ao incentivo de contratação de energia renovável conforme legislação vigente. Para a TE do ML foi considerado o valor de R\$674,63/ MWh conforme detalhado no subtópico 5.3.

Tabela 5-34 - Consumo Energia elétrica TUSD

UTILIDADES ENERGIA ELÉTRICA	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
TUST+TUSD	EDP Bandeirante	EDP Bandeirante	EDP Bandeirante
	Modalidade - VERDE	Modalidade - VERDE	Modalidade - VERDE
Demanda Contratada (kW)	2.555	2.555	2.635
Custo Demanda ANUAL	R\$284.958	R\$284.958	R\$293.842
Custo Demanda ANUAL	R\$284.958	R\$284.958	R\$293.842
Consumo Energia Elétrica ANUAL PONTA (kWh)	87.950	0	0
Custo Consumo PONTA (R\$/kWh)	R\$55.657	R\$0,00	R\$0,00
Consumo Energia Elétrica ANUAL FORA-PONTA (kWh)	3.246.696	0	0
Custo Consumo FORA-PONTA (R\$/kWh)	R\$164.330	R\$0	R\$0
Custo Consumo ANUAL	R\$219.986	R\$0	R\$0
Custo Total ANUAL - TUSD	R\$252.472	R\$284.958	R\$293.842

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5-35 - Consumo Energia elétrica TE e total


UTILIDADES ENERGIA ELÉTRICA	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
TE	Comercializadora	EDP Bandeirante	EDP Bandeirante
Demanda Contratada (kW)	570	-	-
Consumo Anual Total (kWh)	4.993.200	-	-
Preço Energia Contratada (R\$/kWh)	R\$0,674627	-	-
Custo Energia Contratada (R\$/kWh)	R\$3.368.546	-	-
Consumo Energia Elétrica ANUAL PONTA (kWh)	-	0	0
Custo Consumo PONTA (R\$/kWh)	-	R\$0	R\$0
Consumo Energia Elétrica ANUAL FORA-PONTA (kWh)	-	0	0
Custo Consumo FORA-PONTA (R\$/kWh)	-	R\$0	R\$0
Custo Total ANUAL - TE	R\$3.368.546	R\$0	R\$0
Custo anual total de energia elétrica	R\$3.621.018	R\$284.958	R\$293.842

Fonte: Elaboração própria

b) Cálculo da Geração de Energia anual

A tarifa do gás natural utilizada para o cálculo da geração de energia da UGG-02 foi baseada na deliberação da Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP) nº 716 de 30/03/2017 e é mostrada na tabela 5-36.

Tabela 5-36 – Tarifa gás natural para cogeração - COMGÁS

Volume mensal:	66.227 m ³	Deliberação Arsesp nº 716, de 30-03-2017		 Natural na sua vida.
Termo Variável (Cogeração)		Tarifas	Valores	
	<i>Termo Variável</i>	0,265216 R\$/m ³	RS 24.119,65	
	<i>Termo Fixo =</i>	0,814300 R\$/m ³	RS 53.928,29	
COGERAÇÃO		Valor fatura s/ ICMS	RS 78.047,95	
		Valor fatura c/ ICMS	RS 91.821,11	
		Tarifa média s/ ICMS	1,178499 R\$/m ³	
		Tarifa média c/ ICMS	1,386469 R\$/m³	

Fonte: Formatação (ANDREOS, R. 2016) com dados da Deliberação Arsesp nº 716, de 30-03-2017

O cálculo da geração de energia pelas soluções propostas é demonstrado na tabela 5-37:

Tabela 5-37 – Cálculo da geração de energia

GERAÇÃO ENERGIA ANUAL	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Capacidade de Geração Elétrica (kW _e / kW _p)	-	720	2.635
Disponibilidade	-	95%	100%
Energia Elétrica Anual Gerada (kWh)	-	3.245.580	3.403.669
Consumo Anual de Gás Natural - UGG-02 (m ³)	-	794.719	-
Consumo Anual de Gás Natural - TOTAL (m³)	-	794.719	-
Custo do GN de Cogeração (R\$/m ³) - C/ Impostos	-	R\$1.386.469	-
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$1.101.853	R\$0
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$1.101.853	R\$0
Custo Específico Geração a Gás Natural (R\$/kW)	-	R\$0,339494	-

Fonte: Elaboração própria

A geração de energia térmica para a produção de água gelada na UGG-02 é ilustrada na tabela 5-38:

Tabela 5-38 – Produção de água gelada

UTILIDADES	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
PRODUÇÃO DE ÁGUA GELADA - MUDANÇA			
Energia Térmica Anual produzida UGG-02 (TRh)	-	684.805	-
Potência Térmica Útil UGG-02 - (TR)	-	152	-
Potência Térmica Útil UGG-02 - (kW)	-	534,29	-
COP CHEL	-	5,641	-
Economia de energia no uso do CHEL (kW)	-	94,72	-
Média de Horas em Operação CHEL - ANUAL	-	1.955	-
Energia a ser economizada com o CHEL - ANUAL (kWh)	-	185.170	-
Custo EXTRA com reposição de água e tratamento químico CH-ABS 01	-	R\$126.006	-
ECONOMIA com reposição de água e tratamento químico CHEL	-	-R\$95.459	-
Custo EXTRA de geração de energia térmica CH-ABS01 - ANUAL	-	R\$30.547	-

Fonte: Elaboração própria

O custo específico para atendimento das necessidades energéticas totais em cada solução tem seu resultado apresentado na tabela 5-39:

Tabela 5-39 – Custo específico final

UTILIDADES	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Custo Específico Final (R\$/kWh)	R\$0,725190	R\$0,245278	R\$0,086331

Fonte: Elaboração própria

c) Resultados custos

Para o cálculo dos custos operacionais foram utilizadas as seguintes premissas:

Tabela 5-40 – Premissas custos operacionais

Descrição	ÍNDICES ECONÔMICOS	UNIDADES
Manutenção UGG-02	R\$75	R\$/MWh
Manutenção UFV	1%	Investimento Inicial

Fonte: Elaboração própria

Custo operacional:

Tabela 5-41 – Custo operacional

CUSTO OPERACIONAL	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Custo anual total de energia elétrica	R\$252.472	R\$284.958	R\$293.842
Custo anual com geração EE	R\$3.368.546	R\$1.101.853	R\$0
Custo EXTRA de geração de energia térmica CH-ABS01 - ANUAL	-	R\$30.547	-
Custo com Manutenção da Planta	-	R\$243.419	R\$95.638
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$3.621.018	R\$1.660.776	R\$389.480
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$1.960.242	R\$3.231.538
		54,1%	89,2%
	REFERÊNCIA		R\$1.271.296
			76,5%

Fonte: Elaboração própria

Para o cálculo dos custos de instalação foram utilizadas as seguintes premissas:

Tabela 5-42 – Premissas custos de instalação

Descrição	UGG-02		Descrição	UFV	
	ÍNDICES ECONÔMICOS	UNIDADES		ÍNDICES ECONÔMICOS	UNIDADES
Compra	R\$1.200	RS/Kwe	Compra	R\$2.310	RS/Kwp
Instalação	R\$1.400	RS/Kwe	Projeto e Instalação	R\$990	RS/Kwp
Compra/Instalação	R\$100.000	RS/Recuperador			
Compra/Instalação	R\$100.000	RS/Recuperador			
Contingências	10%	%	Contingências	10%	%

Fonte: Elaboração própria

Custo instalação:

Tabela 5-43 – Custo instalação

INVESTIMENTOS	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Aquisição de Geradores		R\$864.000	R\$6.086.065
Instalação de Geradores / Projeto		R\$1.008.000	R\$2.608.313
Trocador de calor Placa (Água - Água)		R\$100.000	-
Trocador de calor Tubular (Gás - Água)		R\$100.000	-
CONTINGÊNCIAS		R\$207.200	R\$869.438
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$2.279.200	R\$9.563.816
IVESTIMENTO ADICIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.279.200	R\$9.563.816
PAYBACK SIMPLES (anos)		1,2	3,0
IVESTIMENTO ADICIONAL		REFERÊNCIA	R\$7.284.616
PAYBACK SIMPLES (anos)			5,7

Fonte: Elaboração própria

d) LCOE

Para a aplicação do LCOE foram considerados reajustes nos custos da energia elétrica (EE), do gás natural (GN) e a inflação baseada no IPCA. Como é muito incerto tentar prever os reajustes da EE e do GN a longo prazo, foi escolhido trabalhar com os reajustes já conhecidos até a data de 2022. Após essa data apenas a inflação foi usada como fator de correção financeira.

Os índices utilizados para os respectivos reajustes são demonstrados na sequência:

Tabela 5-44 – Índices de reajustes econômicos

Reajuste Líquido EE	5,00%
Reajuste Bruto EE	10,92%
Reajuste do GN	5,92%
Inflação (IPCA) / ANO	5,92%

Fonte: Elaboração própria

O LCOE para o ano de 2022 é mostrado na tabela 5-45 e continuado para os anos seguintes na tabela 5-46:

Tabela 5-45 – LCOE 2022

ANO	REFERÊNCIA	5
ANO REFERÊNCIA	2017	2022
UTILIDADES	MERCADO LIVRE	MERCADO LIVRE
Custo Total ANUAL - EDP Bandeirante	R\$252.472	R\$423.836
Custo Total ANUAL - EE - Comercializadora	R\$1.013.620	R\$3.368.546
<i>Expectativa de custo energia no ML</i>	<i>R\$0,203</i>	<i>R\$0,675</i>
CUSTO OPERACIONAL / ANO	R\$1.266.092	R\$3.792.381
Energia Consumida (Mwh / ano)	4.993	4.993
LCOE (R\$/Mwh)	R\$254	R\$760
ANO	REFERÊNCIA	5
ANO REFERÊNCIA	2017	2022
UTILIDADES	UGG-02	UGG-02
Custo Total ANUAL - EDP Bandeirante	R\$284.958	R\$478.370
Custo Total ANUAL - EE - Comgás	R\$1.101.853	R\$1.468.741
Custo EXTRA RA+TQ - CH-ABS01	R\$30.547	R\$40.718
Custo com Manutenção da Planta	R\$243.419	R\$324.470
CUSTO ACUMULADO	R\$1.660.776	R\$4.591.500
Energia Produzida ACUMULADA (Mwh)	5.654	5.654
LCOE (R\$/Mwh)	R\$294	R\$812
ANO	REFERÊNCIA	5
ANO REFERÊNCIA	2017	2022
UTILIDADES	UFV	UFV
Custo Total ANUAL - EDP Bandeirante	R\$293.842	R\$493.285
Custo com Manutenção da Planta	R\$95.638	R\$127.483
Troca Decenal dos Inversores	-	R\$82.216
CUSTO ACUMULADO	R\$389.480	R\$10.266.800
Energia Produzida ACUMULADA (Mwh)	3.404	3.404
LCOE (R\$/Mwh)	R\$114	R\$3.016

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5-46 – Continuação LCOE – UGG-02 / UFV

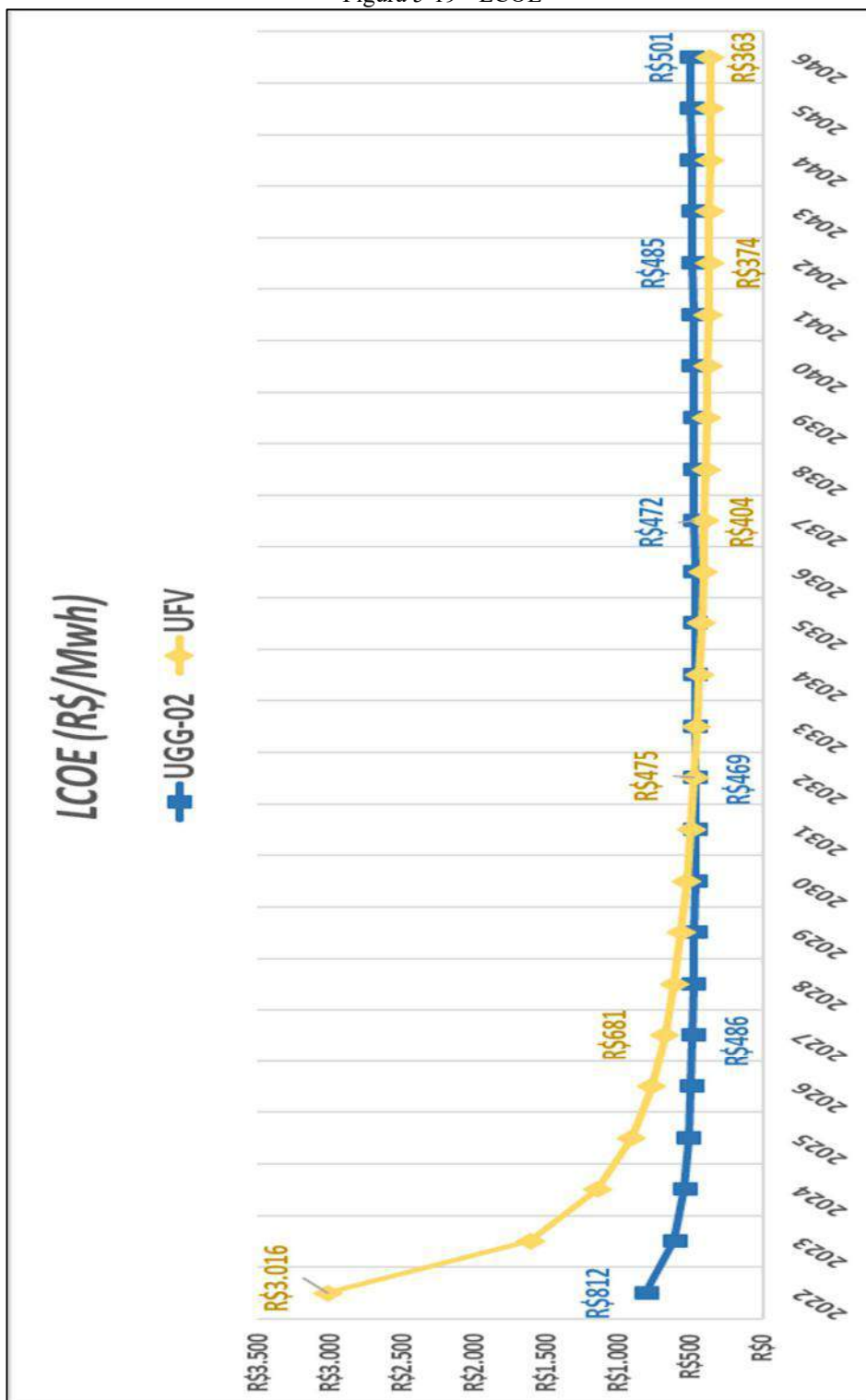
6	7	8	9	10	11
2023	2024	2025	2026	2027	2028
UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02
R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370
R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741
R\$43.127	R\$45.679	R\$48.382	R\$51.244	R\$54.276	R\$57.488
R\$343.668	R\$364.002	R\$385.539	R\$408.350	R\$432.510	R\$458.101
R\$6.925.408	R\$9.282.200	R\$11.663.233	R\$14.069.938	R\$16.503.837	R\$18.966.537
11.308	16.962	22.616	28.270	33.924	39.578
R\$612	R\$547	R\$516	R\$498	R\$486	R\$479
6	7	8	9	10	11
2023	2024	2025	2026	2027	2028
UFV	UFV	UFV	UFV	UFV	UFV
R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285
R\$135.026	R\$143.015	R\$151.477	R\$160.439	R\$169.932	R\$179.986
R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216
R\$10.977.327	R\$11.695.843	R\$12.422.821	R\$13.158.761	R\$13.904.193	R\$14.659.680
6.807	10.211	13.615	17.018	20.422	23.826
R\$1.613	R\$1.145	R\$912	R\$773	R\$681	R\$615
12	13	14	15	16	17
2029	2030	2031	2032	2033	2034
UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02
R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370
R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741
R\$60.889	R\$64.491	R\$68.307	R\$72.349	R\$76.629	R\$81.163
R\$485.205	R\$513.913	R\$544.319	R\$576.525	R\$610.636	R\$646.765
R\$21.459.743	R\$23.985.259	R\$26.544.997	R\$29.140.983	R\$31.775.360	R\$34.450.400
45.232	50.886	56.540	62.194	67.848	73.503
R\$474	R\$471	R\$469	R\$469	R\$468	R\$469
12	13	14	15	16	17
2029	2030	2031	2032	2033	2034
UFV	UFV	UFV	UFV	UFV	UFV
R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285
R\$190.635	R\$201.914	R\$213.861	R\$226.514	R\$239.916	R\$254.112
R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216
R\$15.425.816	R\$16.203.232	R\$16.992.594	R\$17.794.609	R\$18.610.027	R\$19.439.639
27.229	30.633	34.037	37.440	40.844	44.248
R\$567	R\$529	R\$499	R\$475	R\$456	R\$439

18	19	20	21	22	23
2035	2036	2037	2038	2039	2040
UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02
R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370
R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741
R\$85.965	R\$91.052	R\$96.439	R\$102.145	R\$108.188	R\$114.590
R\$685.032	R\$725.563	R\$768.493	R\$813.962	R\$862.121	R\$913.130
R\$37.168.510	R\$39.932.237	R\$42.744.280	R\$45.607.499	R\$48.524.920	R\$51.499.751
79.157	84.811	90.465	96.119	101.773	107.427
R\$470	R\$471	R\$472	R\$474	R\$477	R\$479
18	19	20	21	22	23
2035	2036	2037	2038	2039	2040
UFV	UFV	UFV	UFV	UFV	UFV
R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285
R\$269.146	R\$285.071	R\$301.938	R\$319.802	R\$338.724	R\$358.765
R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216
R\$20.284.287	R\$21.144.859	R\$22.022.298	R\$22.917.601	R\$23.831.826	R\$24.766.092
47.651	51.055	54.459	57.862	61.266	64.670
R\$426	R\$414	R\$404	R\$396	R\$389	R\$383
24	25	26	27	28	29
2041	2042	2043	2044	2045	2046
UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02	UGG-02
R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370	R\$478.370
R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741	R\$1.468.741
R\$121.370	R\$128.551	R\$136.156	R\$144.212	R\$152.745	R\$161.782
R\$967.157	R\$1.024.380	R\$1.084.989	R\$1.149.185	R\$1.217.178	R\$1.289.194
R\$54.535.390	R\$57.635.432	R\$60.803.690	R\$64.044.199	R\$67.361.233	R\$70.759.322
113.081	118.735	124.389	130.043	135.697	141.351
R\$482	R\$485	R\$489	R\$492	R\$496	R\$501
24	25	26	27	28	29
2041	2042	2043	2044	2045	2046
UFV	UFV	UFV	UFV	UFV	UFV
R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285	R\$493.285
R\$379.992	R\$402.475	R\$426.288	R\$451.510	R\$478.224	R\$506.519
R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216	R\$82.216
R\$25.721.585	R\$26.699.561	R\$27.701.350	R\$28.728.361	R\$29.782.087	R\$30.864.107
68.073	71.477	74.881	78.284	81.688	85.092
R\$378	R\$374	R\$370	R\$367	R\$365	R\$363

Fonte: Elaboração própria

A figura 5-19 consolida as informações das tabelas 5-45 e 5-46:

Figura 5-19 - LCOE



Fonte: Elaboração própria

6. CONCLUSÃO

Após a elaboração dos estudos técnicos-econômicos das soluções energéticas propostas e da realização da análise comparativa pode-se concluir que os objetivos propostos nesse trabalho foram alcançados com sucesso de forma satisfatória.

6.1. Expectativas

A grande expectativa com a elaboração desse trabalho era demonstrar como as soluções de geração distribuída estão e continuarão ainda mais a serem opções técnica e economicamente viáveis, principalmente em relação a solução mais “fácil” que é a compra de energia via contratos no ML, que ainda trabalha na sistemática de centros de geração distantes dos pontos de consumo enfrentando grandes perdas pelas redes de transmissão e distribuição. A instabilidade dos preços praticados no ML deixa os consumidores sem precisão na previsibilidade do mercado, aumentando assim os riscos econômicos. Isso pode ser visto nesse trabalho na enorme variação do PLD praticado ao longo dos anos.

O estudo comparativo na metodologia do LCOE permite justamente trabalhar com a questão da previsibilidade dos custos na geração própria, fornecendo ao consumidor dados com uma precisão muito mais assertiva. Esse estudo por meio dessa metodologia pode concluir que num horizonte de 10 anos ambas soluções de geração própria já estariam operando com custos figurando entre R\$450 – R\$500 / MWh, o que de acordo com a expectativa de preços a serem praticados no ML, se mostram competitivos levando em consideração as perspectivas de crescimento econômico do país (PIB). A UGG-02 tem seu custo operacional dentro dessa faixa em apenas 4 anos (2026) enquanto que a UFV demora 9 anos (2031) para chegar nessa faixa de custos.

Os grandes fatores influenciadores desses resultados foram:

1º Custos de investimento inicial.

- Na UFV apesar de estarem bem baixos, se comparados com o histórico de anos recentes do próprio setor, em relação a usina

de cogeração (UGG-02) ainda estão elevados. A UFV tem um custo inicial aproximadamente 4,2 vezes maior do que a UGG-02.

2º Custo na geração de energia.

- Em contrapartida da vantagem de baixo investimento inicial da UGG-02, a desvantagem dessa tecnologia que permitiu uma rápida (menos de 10 anos) equiparação dos custos anuais pela UFV foi o custo da geração da energia. Na usina solar isso é zero, enquanto na usina de cogeração a tecnologia é dependente do consumo do gás natural assim como fica exposta, mesmo que de forma muito reduzida, a volatilidade do preço do insumo energético.

O *payback* simples comparativo entre as soluções apresentou os seguintes resultados:

- Conforme pode ser visualizado nas tabelas 5-41 e 5-43 apresentadas anteriormente, o custo operacional da UGG-02 é 54,1% mais viável do que o ML e apresenta um *payback* simples de 1,2 anos. A UFV apresenta a grande economia de 89,2% e *payback* de 3,0 anos também com referência a solução do ML.
- A UFV comparada em relação a UGG-02 mostrou economia operacional de 76,5% e um *payback* simples de 5,7 anos.

6.2. Cenários

Além do cenário apresentado no tópico 5 que foi considerado como provável, foi simulado mais 2 cenários para visualização dos impactos no *payback* identificados como cenário favorável e cenário desfavorável.

6.2.1. Cenário favorável

Para o cenário favorável foi considerado um preço já praticado no final de 2014

de **R\$804,54 / MWh**, pois esse ano teve um histórico dos maiores preços já comercializados até então, principalmente alavancados pelo crescimento do PIB em 2013 de 3%, o mesmo percentual previsto pelo governo brasileiro para os anos de 2018 até 2023.

Conforme pode ser visualizado nas tabelas 6-1 e 6-2, o custo operacional da UGG-02 é 61,1% mais viável do que o ML e apresenta um *payback* simples de 0,9 anos. A UFV apresenta a grande economia de 90,9% e *payback* de 2,5 anos também com referência a solução do ML.

Tabela 6-1 – Custo Operacional – Cenário favorável

CUSTO OPERACIONAL	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Custo anual total de energia elétrica	R\$252.472	R\$284.958	R\$293.842
Custo anual com geração EE	R\$4.017.229	R\$1.101.853	R\$0
Custo EXTRA de geração de energia térmica CH-ABS01 - ANUAL	-	R\$30.547	-
Custo com Manutenção da Planta	-	R\$243.419	R\$95.638
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$4.269.701	R\$1.660.776	R\$389.480
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.608.925	R\$3.880.221
		61,1%	90,9%
	REFERÊNCIA	R\$1.271.296	
		76,5%	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6-2 – Investimentos iniciais – Cenário favorável

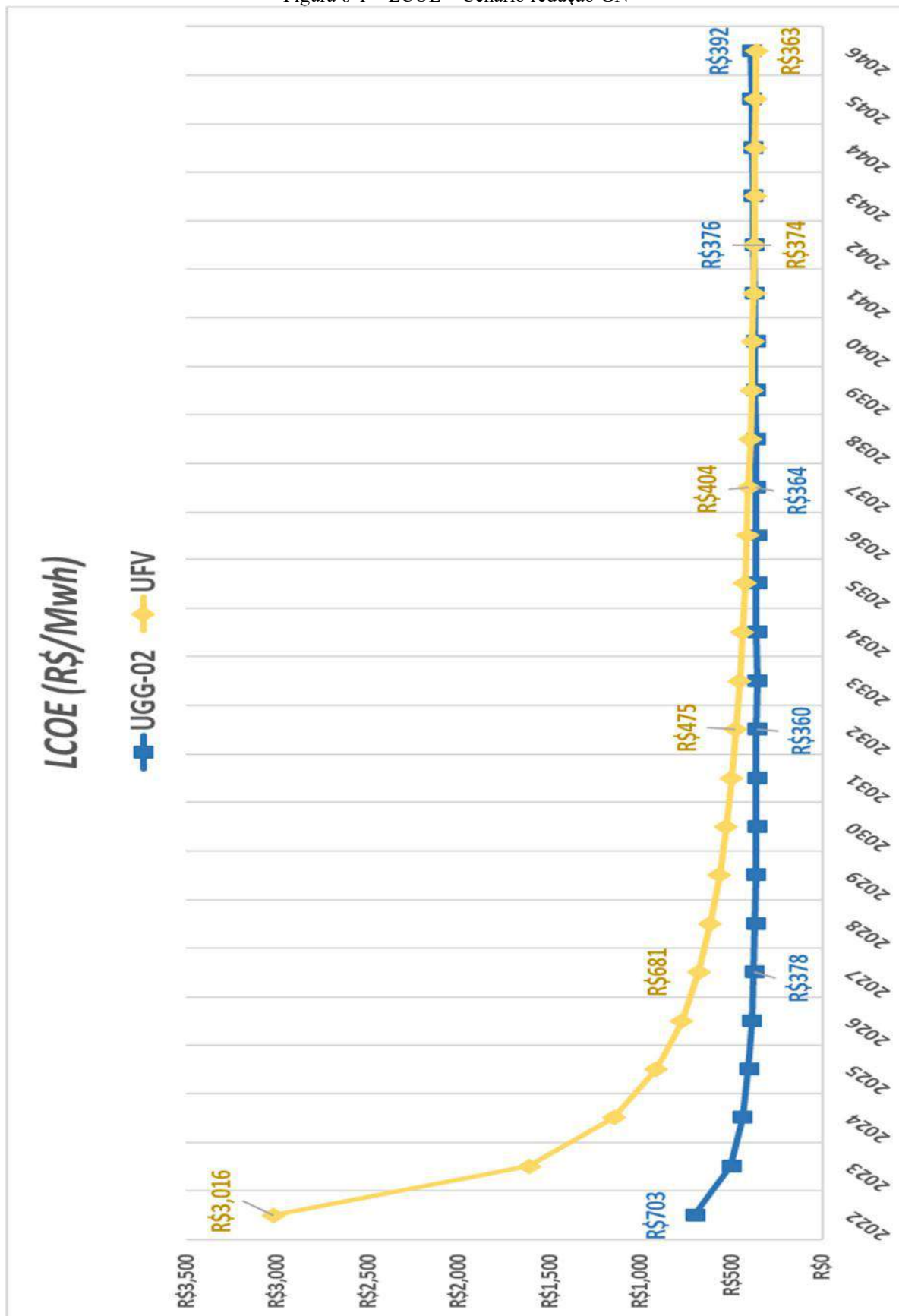
INVESTIMENTOS	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Aquisição de Geradores		R\$864.000	R\$6.086.065
Instalação de Geradores / Projeto		R\$1.008.000	R\$2.608.313
Trocador de calor Placa (Água - Água)		R\$100.000	-
Trocador de calor Tubular (Gás - Água)		R\$100.000	-
CONTINGÊNCIAS		R\$207.200	R\$869.438
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$2.279.200	R\$9.563.816
INVESTIMENTO ADICIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.279.200	R\$9.563.816
PAYBACK SIMPLES (anos)		0,9	2,5
INVESTIMENTO ADICIONAL		REFERÊNCIA	R\$7.284.616
PAYBACK SIMPLES (anos)			5,7

Fonte: Elaboração própria

6.2.1.1. Redução preço gás natural

Um segundo cenário favorável foi analisado vislumbrando uma possível redução do preço do gás natural. Foi utilizado como parâmetro uma queda de 5% ao ano tendo como referência 2017. O novo resultado do LCOE é mostrado na figura 6-1.

Figura 6-1 – LCOE – Cenário redução GN



Fonte: Elaboração própria

6.2.2. Cenário desfavorável

Para o cenário desfavorável foi considerado o preço de **R\$249,53 / MWh**, simulando uma situação de preços similares aos praticados entre o final de 2016 e início de 2017.

Conforme pode ser visualizado nas tabelas 6-3 e 6-4, o custo operacional da UGG-02 deixa de ser atrativo e se mostra inviável economicamente em -10,8% em relação ao ML e apresenta um *payback* simples de -14 anos. A UFV apresenta ainda apresenta economia de 74% e *payback* de 8,6 anos também com referência ao ML.

Tabela 6-3 - Custo Operacional – Cenário desfavorável

CUSTO OPERACIONAL	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Custo anual total de energia elétrica	R\$252.472	R\$284.958	R\$293.842
Custo anual com geração EE	R\$1.245.953	R\$1.101.853	R\$20
Custo EXTRA de geração de energia térmica CH-ABS01 - ANUAL	-	R\$30.547	-
Custo com Manutenção da Planta	-	R\$243.419	R\$95.638
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$1.498.425	R\$1.660.776	R\$389.480
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	-R\$162.351	R\$1.108.945
		-10,8%	74,0%
		REFERÊNCIA	R\$1.271.296
			76,5%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6-4– Investimentos iniciais – Cenário desfavorável

INVESTIMENTOS	MERCADO LIVRE	UGG-02	UFV
Aquisição de Geradores		R\$864.000	R\$6.086.065
Instalação de Geradores / Projeto		R\$1.008.000	R\$2.608.313
Trocador de calor Placa (Água - Água)		R\$100.000	-
Trocador de calor Tubular (Gás - Água)		R\$100.000	-
CONTINGÊNCIAS		R\$207.200	R\$869.438
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$2.279.200	R\$9.563.816
IVESTIMENTO ADICIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.279.200	R\$9.563.816
PAYBACK SIMPLES (anos)		-14,0	8,6
IVESTIMENTO ADICIONAL		REFERÊNCIA	R\$7.284.616
PAYBACK SIMPLES (anos)			5,7

Fonte: Elaboração própria

6.3. Expectativas de evolução dos custos das tecnologias

Apesar de os resultados apresentados já se mostrarem interessantes como opções de soluções energéticas, esse estudo básico foi realizado com custos reais praticados no ano de 2017. Como o objetivo desse trabalho é fornecer informações para tomada de decisão para fornecimento de energia em 2022, caso alguma dessas tecnologias seja considerada, os preços utilizados precisarão ser atualizados para o

ano das respectivas compras dos equipamentos e portanto, alterando os cenários já calculados.

Para a tecnologia solar fotovoltaica a expectativa é de uma contínua diminuição nos preços conforme apontado pelo estudo da EPE (Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos 2014), mostrada nas tabelas 6-5 e 6-6, melhorando os resultados já apresentados pela tecnologia.

Tabela 6-5 - Perspectiva internacional de longo prazo para queda dos custos de instalação dos sistemas FV (USD/kWp)

	Custo do sistema(USD/kWp)			2010-2020		2020-2030	
	2010	2020	2030	Δ Custo de instalação	Decréscimo % a.a.	Δ Custo de instalação	Decréscimo % a.a.
Residencial	3.800	1.950	1400	-48,7%	6,45%	-28,2%	3,3%
Comercial	3.400	1.825	1300	-46,3%	6,03%	-28,8%	3,3%
Planta Centralizada	3.100	1.400	1100	-54,8%	7,64%	-21,4%	2,4%

Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2014)

Tabela 6-6 - Trajetória de redução de custos

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Residencial (R\$/Wp)	7,7	7,2	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,8	4,5	4,4	4,2	4,1
Comercial (R\$/Wp)	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	4,1	3,9	3,8

Fonte: (EPE - Empresa de Pesquisa Energética 2014)

Para a tecnologia de cogeração a gás natural não foi encontrado nenhum estudo ou pesquisa que indicasse qualquer expectativa de evolução dos preços do setor.

6.4. Considerações finais

Os cenários analisados, as perspectivas futuras de crescimento da demanda por energia no Brasil e as expectativas de redução nos preços dos equipamentos da tecnologia solar fotovoltaica levam essa a ser uma solução altamente recomendada para consideração da aplicação no Center Vale *shopping* para 2022.

Vantagens em relação a opção da UGG-02 são:

- Não será necessário indispor de área útil pois todos os painéis foram alocados sobre o telhado já existente, fazendo então um duplo uso de uma área já disponibilizada. Os inversores podem também ser na cobertura (laje) de algum dos prédios para não ocuparem área de piso térreo. Mesmo caso isso não seja possível, os inversores necessitariam de uma área relativamente pequena, cada um ocupa uma área de apenas 2,27 m², o projeto apresentado prevê o uso de 8 unidades.
- O fato de apresentar custo e necessidade de intervenções de O&M muito baixos, e uma consequente não necessidade de uma equipe de operações local são fatores a serem considerados na tomada de decisão.

A desvantagem da tecnologia solar no alto custo de instalação, conforme visto na expectativa de queda nos preços na subseção 5-6 tabela 5-43, poderá num futuro próximo ser reduzida. Além disso novas linhas de financiamento incentivadas para o setor estão sendo negociadas com juros muito acessíveis, para um horizonte de 3 a 4 anos espera-se que esses financiamentos sejam mais abrangentes, mais acessíveis e com taxas ainda melhores para o consumidor que optar pela geração própria via solar fotovoltaica.

Além disso, o *shopping* optando pela solução solar fotovoltaica iria diversificar suas fontes energéticas. Como atualmente já possui uma usina de cogeração a gás natural operando, poderia fazer uso de uma outra fonte, aumentando mais o leque de fornecimento, pois iria contar com 3 fontes distintas, a rede da concessionária, o gás natural utilizado em uma tecnologia de alta eficiência energética e o Sol com fonte energética “infinita” e gratuita.

Uma outra análise que pode ser levada em consideração é o apelo da sustentabilidade que poderia ser explorado pelo departamento de marketing do *shopping* a fim de promover a contribuição que o mesmo daria para a sociedade ao gerar a própria energia utilizando uma fonte limpa e renovável. Experiências recentes mostraram que após a instalação de sistemas de geração solar fotovoltaica em estabelecimentos comerciais houve um aumento no público local, atraídos pelo apelo

da sustentabilidade, e conseqüentemente um aumento nas vendas. No caso de um *shopping center* essa pode ser uma estratégia de atração de clientes e aumento no volume de vendas muito vantajosa.

Por questões de *marketing* poderia-se instalar alguns painéis no estacionamento como cobertura para os carros, também conhecido como *carport*, para que a tecnologia tenha maior visibilidade entre os clientes visitantes. Nesse caso o estudo econômico deverá ser refeito pois o custo da estrutura de suporte das placas tem é mais alto, o que afeta diretamente os resultados apresentados no capítulo anterior. A figura 6-2 indica um possível local a ser estudo para instalação de um *carport* solar:

Figura 6-2 – Possível local para instalação *Carport*



Fonte: Elaboração própria com dados obtidos pelo PV*SOL

A figura 6-3 ilustra um exemplo de *carport* solar:

Figura 6-3 – Exemplo de *Carport*

Fonte: <https://www.solarelectricsupply.com/commercial-solar-systems/solar-carport>

A contribuição ambiental desse projeto também é bastante significativa pois conforme demonstrado no subtópico 5.5 as emissões de CO₂ evitadas são de mais de 302 toneladas por ano.

6.5. Sugestões para trabalhos futuros

Para propostas de trabalhos futuros pode-se sugerir um acompanhamento da evolução do mercado de minigeração distribuída e atualização deste estudo, considerando novos cenários regulatórios, quando for iniciado o processo de revisão da REN nº 482/2012, cujo término está previsto até o final de 2019. A mudança no arcabouço regulatório nacional poderá melhorar os resultados obtidos nesse trabalho ou até mesmo trazer novas soluções viáveis.

APÊNDICE A

Desempenho da indústria de *shopping centers* no Brasil

De acordo com pesquisas (Abrasce 2017), 67% dos centros de compras inaugurados em 2015 estão concentrados no interior e em regiões metropolitanas.

A indústria de *shopping centers* continua em desenvolvimento no Brasil. É o que mostra o Censo Abrasce 2015-2016. Maior radiografia do setor, o levantamento realizado pela Associação Brasileira de Shopping Centers (Abrasce), em parceria com a GEU (Grupo de Estudos Urbanos), traz importantes informações sobre o cenário de *malls* no país, englobando aspectos como faturamento, frequência, localização e estrutura. Para esta edição, foram convidados 538 empreendimentos em operação no Brasil.

Entre os dados da pesquisa, destacam-se as vendas realizadas por região. Do total registrado em 2015, R\$ 151,5 bilhões - crescimento de 6,5% com relação a 2014 - os *shoppings* no Sudeste contribuem com o maior faturamento do setor: R\$ 87 bilhões. O segundo melhor desempenho foi o da região Nordeste, com R\$ 25,8 bilhões, seguida pelo Sul (R\$ 18,17 bilhões), Centro-Oeste (R\$ 13,5 bilhões) e Norte (R\$ 6,9 bilhões). O Nordeste reforçou seu potencial este ano, superando mais uma vez o Sul em ABL e faturamento e apresentando shoppings com maior tamanho médio de ABL: 31.656 m², seguido pelas regiões Norte (29.089 m² de ABL) e Sudeste (28.168 m² de ABL). A região foi também a que apresentou maior faturamento anual médio por shopping: R\$ 322,6 milhões, seguida pelo Sudeste (R\$ 298 milhões) e Centro-Oeste (R\$ 270,8 milhões).

A pesquisa permite constatar a consolidação do interior como ponto de atração para novos *shoppings*. Segundo o levantamento, 67% das inaugurações de 2015 ocorreram fora das capitais. O Censo Abrasce 2015-2016 mostra que, no fim de 2015, 48% dos *shopping centers* estavam localizados em capitais brasileiras e 52% em outras cidades. Ainda, 41% do total dos centros de compras estão concentrados em cidades com menos de 500 mil habitantes, o que aponta para uma tendência cada

vez maior de interiorização desses empreendimentos. Em 2016, dos 30 lançamentos anunciados até o fim do ano, 23 estão previstos para ocorrer fora das capitais.

Outro destaque fica por conta dos formatos dos empreendimentos, acompanhando a tendência de transformar os centros comerciais em núcleos de convivência. Segundo o Censo 2015-2016, 34% dos shoppings fazem parte de um complexo multiuso. Muitos deles incluem condomínio empresarial (69%), hotel (38%), torre com centro médico e/ou laboratórios (29%), condomínio residencial (23%), faculdades/universidades (18%), entre outros. Cada vez mais comuns, os complexos multiuso otimizam a exploração dos espaços e oferecem maior comodidade e conveniência aos frequentadores.

Em 2015, a indústria de *malls* totalizou cerca de 53.800 novos postos de trabalho. Atualmente, estima-se que haja mais de 1 milhão de empregos diretos nos *shoppings* brasileiros, o que corresponde a um aumento de 5,5% com relação a 2014. O número de frequentadores também saltou de 431 milhões de visitas por mês para 444 milhões em 2015, alta de 3,2% com relação ao ano anterior.

O Perfil de *Shoppings* no Brasil

- *Shopping centers* em operação: 538;
- Número de cidades com *shoppings* no Brasil, ao final de 2015: 196;
- Total de ABL (Área Bruta Locável) no Brasil: 14,680 milhões de m² (aumento de 6% em relação ao ano anterior);
- Faturamento total do Brasil em 2015: R\$ 151,5 bilhões, o que representa um crescimento de 6,5% em relação a 2014;
- O Sudeste é a região do Brasil que, disparado, obteve o maior faturamento do setor: R\$ 87 bilhões. O segundo melhor desempenho foi da região Nordeste, com R\$ 25,8 bilhões, seguido pela região Sul (R\$ 18,17 bilhões), Centro-Oeste (R\$ 13,5 bilhões) e Norte (R\$ 6,9 bilhões);

- 89% dos *shopping centers* brasileiros são empreendimentos do tipo tradicional e 11% especializados (*outlet, lifestyle* e temáticos). Destes, 15% são *outlets*.
- 48% dos *shopping centers* estão localizados em capitais brasileiras e 52% em outras cidades;
- Os *shoppings* brasileiros receberam cerca de 444 milhões de visitas por mês em 2015, o que representa um aumento de 3,2% em relação ao ano de 2014;
- Existem mais de 98.200 lojas nos 538 *shopping centers* brasileiros;
- Existem 770.597 vagas de estacionamento em *shoppings* em todo o território nacional;
- 2.581 salas de cinema nos centros de compra de todo o Brasil;
- Estima-se que haja mais de 1 milhão de empregos diretos nos *shoppings* brasileiros (aumento de 5,5%);

Definições e convenções

A Abrasce considera *shopping center* os empreendimentos com Área Bruta Locável (ABL), normalmente, superior a 5 mil m², formados por diversas unidades comerciais, com administração única e centralizada, que pratica aluguel fixo e percentual. Na maioria das vezes, dispõe de lojas âncoras e vagas de estacionamento compatível com a legislação da região onde está instalado. A tabela A-1 demonstra a classificação por tipo de empreendimento.

Tabela A-1 - Classificação Abrasce por Tipo de Empreendimento

Classificação Abrasce por Tipo de Empreendimento		
Tipo	Porte	ABL
Tradicional	Mega	Acima de 60.000 m ²
	Regional	De 30.000 a 59.999 m ²
	Médios	De 20.000 a 29.999 m ²
	Pequenos	Até 19.999 m ²
Especializado <i>Podem ser do tipo Outlet, Life Style ou Temáticos</i>	Grandes	Acima de 20.000 m ²
	Médios	De 10.000 a 19.999 m ²
	Pequenos	Até 9.999 m ²

Fonte: (Abrasce 2017)

A classificação atualizada foi aprovada pelo Conselho Deliberativo da associação em Dezembro de 2000, e sua aplicação é recomendada aos *shopping centers* em geral, como instrumento de aferição estatística e apoio gerencial.

Evolução do setor

A tabela A-2 mostra a evolução anual dos *shopping centers* no Brasil até 2016:

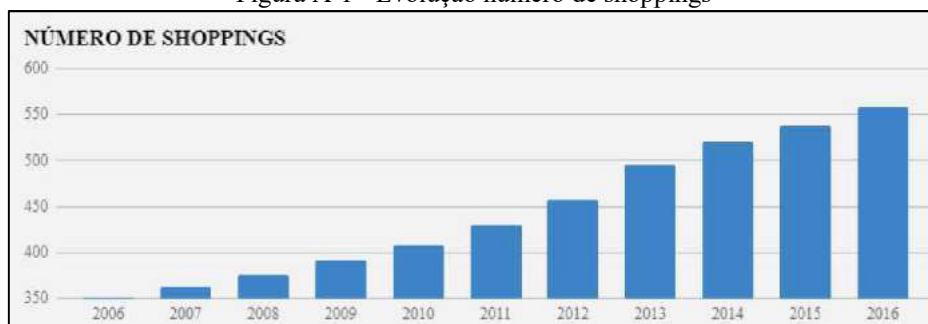
Tabela A-2 - Evolução do setor - 2016

ANO	Nº DE SHOPPINGS	ABL (MILHÕES DE M2)	LOJAS	FATURAMENTO (EM BILHÕES DE REAIS/ANO)	EMPREGOS	TRÁFEGO DE PESSOAS (MILHÕES VISITAS / MÊS)
2006	351	7,492	56.487	50	524.090	203
2007	363	8,253	62.086	58	629.700	305
2008	376	8,645	65.500	64,6	700.650	325
2009	392	9,081	70.500	74	707.166	328
2010	408	9,512	73.775	91	720.641	329
2011	430	10,344	80.192	108,2	775.383	376
2012	457	11,403	83.631	119,4	804.683	398
2013	495	12,940	86.271	129,2	843.254	415
2014	520	13,846	95,242	142,3	978.963	431
2015	538	14,68	98,201	151,5	990.126	444
2016	558	15,237	99,990	157,9	1.016.428	439

Fonte: (Abrasce 2017)

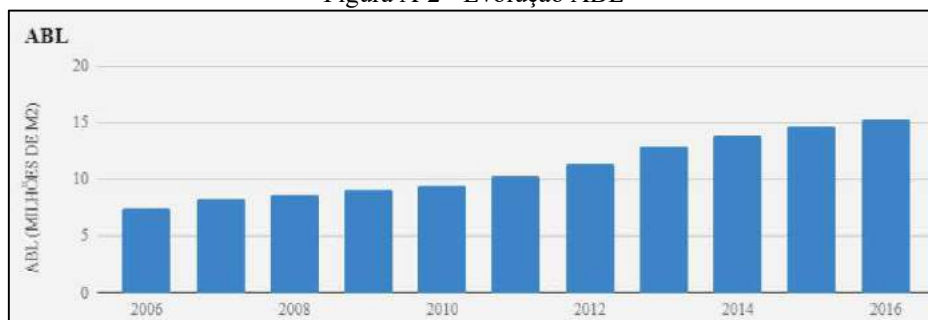
A evolução em número de *shoppings* instalados (figura A-1), área bruta locada (ABL) (figura A-2), número de lojas (figura A-3), faturamento anual (figura A-4), tráfego de pessoas (figura A-5) e empregos (figura A-6) é demonstrada nos seus respectivos gráficos:

Figura A-1 - Evolução número de shoppings



Fonte: (Abrasce 2017)

Figura A-2 - Evolução ABL



Fonte: (Abrasce 2017)

Figura A-3 - Evolução número de lojas



Fonte: (Abrasce 2017)

Figura A-4 - Evolução faturamento anual



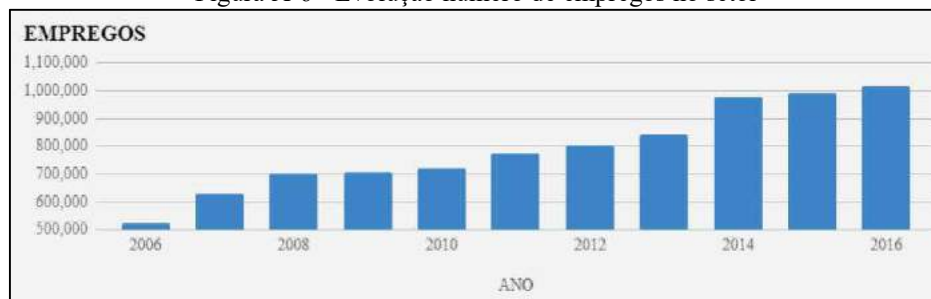
Fonte: (Abrasce 2017)

Figura A-5 - Evolução Tráfego pessoas



Fonte: (Abrasce 2017)

Figura A-6 - Evolução número de empregos no setor



Fonte: (Abrasce 2017)

REFERÊNCIAS

Abrasce. *Associação Brasileira de Shopping Centers*. 2017. <http://www.abrasce.com.br> (acesso em 04 de 07 de 2017).

Ancar Ivanhoe. *Center Vale Shopping*. 2017. <http://www.centervale.com.br> (acesso em 04 de 07 de 2017).

ANDREOS, R. *Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo*. Dissertação Mestrado, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

ANDREOS, R. *Notas de Aula do Curso de Especialização Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. Notas de Aula, São Paulo: PECE, Escola Politécnica da USP, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024*. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, Brasília: ANEEL, 2017.

ANEEL. "Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica." *Cadernos Temáticos*, 2016.

ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA No 235, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2006*. Resolução Normativa, ANEEL, 2006.

BRANKER, K., M.J.M PATHAK, e J.M PEARCE. *A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity*. 2011.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. *PLD Médio Final*. 07 de 2017. https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos (acesso em 05 de 07 de 2017).

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos*. NOTA TÉCNICA DEA 19/14, Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Plano, Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Síntese Relatório Final*. Balanço Energético Nacional, Rio de Janeiro: EPE, 2016.

Meteonorm. *Meteonorm*. 2017. <http://www.meteonorm.com> (acesso em 11 de 07 de 2017).

NAKABAYASHI, R. K. *Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras*. Dissertação (Mestrado em Energia), São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio;. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

SIMÕES-MOREIRA, J. R. (Org.). *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. São Paulo: LTC, 2017.

SolarGIS. *SolarGIS GeoModel Solar*. 2016. <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download> (acesso em 27 de Junho de 2017).

Tabela tarifas EDP Bandeirante. 2017. <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/comerciais/tarifas-de-fornecimento> (acesso em 21 de 06 de 2017).

VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações*. São Paulo: érica / Saraiva, 2016.

WWF-Brasil. *Quem somos*. 2017. http://www.wwf.org.br/wwf_brasil/ (acesso em 04 de 07 de 2017).

ZILLES, R., e S.H.F. OLIVEIRA. "O Preço do Wp e o Custo do KWh Fornecido por Sistemas." Rio de Janeiro: CBE, 1999.