

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TALES ROBERTO POSSAMAI GONÇALVES

**ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DE
GERAÇÃO PRÓPRIA E AJUSTE DE CONTRATO DE DEMANDA PARA UM
CONSUMIDOR INDUSTRIAL**

MEDIANEIRA

2022

TALES ROBERTO POSSAMAI GONÇALVES

**ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DE
GERAÇÃO PRÓPRIA E AJUSTE DE CONTRATO DE DEMANDA PARA UM
CONSUMIDOR INDUSTRIAL**

**Analysis of electric energy invoice using own generation and adjustment of
demand contract for an industrial consumer**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Evandro André Konopatzki

Coorientador: Filipe Marangoni

MEDIANEIRA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TALES ROBERTO POSSAMAI GONÇALVES

**ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DE
GERAÇÃO PRÓPRIA E AJUSTE DE CONTRATO DE DEMANDA PARA UM
CONSUMIDOR INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/junho/2022

Evandro André Konopatzki
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristiane Lionço Zeferino
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Antonio Pasa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2022

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu pai Osvaldo (*in memoriam*), e amigos por estarem sempre ao meu lado.

RESUMO

O presente trabalho visou propor medidas de eficiência energética para uma indústria do setor de plástico reforçado em fibra de vidro, a Tecniplas. Com a utilização do histórico de consumo de um ano e demanda de energia foi realizado um estudo para adequação tarifária em modalidade, grupo e subgrupo. Na sequência foi calculado um valor otimizado para o contrato de demanda. Também foi realizado o dimensionamento teórico de um sistema fotovoltaico para suprir todo consumo da indústria. Os resultados obtidos mostram que a empresa já está enquadrada na melhor modalidade tarifária (sazonal verde), e que a contratação otimizada da demanda consegue uma redução de 17,60% ao ano na parcela de demanda. O dimensionamento teórico de instalação da minigeração fotovoltaica, com consequente uso dos indicadores econômicos (*Payback* descontado (PBd), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL)) para análise da viabilidade econômica, mostrou viabilidade para sua instalação, visto que foram encontrados valores de TIR e VPL respectivamente iguais a 21,08% e R\$ 166.853,75, superando os valores estimados para taxa mínima de atratividade (de 13%). Para o PBd o resultado demonstrou que no oitavo ano projeto (se implantado) será alcançado o ponto de equilíbrio financeiro. As conclusões desse estudo mostram ser possível reduzir custos de energia elétrica através da aplicação da eficiência energética, tendo como ponto focal uma nova contratação de demanda e a implementação de uma fonte de geração distribuída fotovoltaica dimensionada para suprir 100% de seu consumo.

Palavras-chave: demanda ótima; eficiência energética; fonte de conversão fotovoltaica; redução de custos.

ABSTRACT

The present work aimed to propose energy efficiency measures for an industry of the fiberglass reinforced plastic sector, Tecniplas. Using the consumption history of one year and energy demand, a study was conducted for tariff adequacy in modality, group and subgroup. In the sequence, an optimized value for the demand contract was calculated. A theoretical sizing of a photovoltaic system to supply the entire consumption of the industry was also performed. The results obtained show that the company is already framed in the best tariff modality (green seasonal), and that the optimized demand contract achieves a reduction of 17.60% per year in the demand share. The theoretical sizing of the installation of photovoltaic minigeneration, with consequent use of economic indicators (discounted payback (PBd), internal rate of return (IRR) and net present value (NPV)) for analysis of economic feasibility, showed feasibility for its installation, since values of IRR and NPV were found respectively equal to 21.08% and R\$ 166,853.75, exceeding the values estimated for minimum rate of attractiveness (13%). For the PBd the result showed that in the eighth year of the project (if implemented) the point of financial equilibrium will be reached. The conclusions of this study show that it is possible to reduce electricity costs through the application of energy efficiency, having as a focal point a new demand contracting and the implementation of a source of distributed photovoltaic generation sized to supply 100% of its consumption.

Keywords: optimal demand; energy efficiency; photovoltaic conversion source; cost reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos consumidores nos grupos A e B, em concordância - aos valores de potência, e tipos de tarifas cobradas é apresentada.	20
Figura 2 – Esquema da organização geral do sistema tarifário.....	21
Figura 3 – Fluxograma com as etapas do trabalho	29
Figura 4 – Gráfico do Histórico da Demanda Registrada	30
Figura 5 – Gráfico do Histórico do Consumo de Energia	31
Figura 6 – Gráfico da Simulação da Demanda Ótima	32
Figura 7 – Payback Descontado	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos resultados VPL e TIR(Taxa de 13% a.a.)	36
Tabela 2 – Demanda e consumo registrado de ponta e fora ponta - ELEKTRO - (2019).....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
HSA	Tarifação Horo-Sazonal Azul
HSV	Tarifação Horo-Sazonal Verde
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VPL	Valor Presente Líquido
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problemas, premissas ou hipóteses	13
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivo geral	14
1.4	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Eficiência Energética	16
2.1.1	Eficiência energética da fonte fotovoltaica	18
2.2	Adequação Tarifária e Cálculo para o Contrato de Demanda	19
2.3	Tarifação do Grupo A	20
2.3.1	Energia	21
<u>2.3.1.1</u>	<u>Tarifa de energia de ponta</u>	<u>22</u>
<u>2.3.1.2</u>	<u>Tarifa de energia fora de ponta</u>	<u>22</u>
2.3.2	Demanda	22
<u>2.3.2.1</u>	<u>Demanda do grupo HVS</u>	<u>23</u>
<u>2.3.2.2</u>	<u>Demanda do grupo HSA</u>	<u>23</u>
<u>2.3.2.3</u>	<u>Otimização do contrato de Demanda</u>	<u>24</u>
2.4	Dimensionamento Teórico da Geração Distribuída Fotovoltaica	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	Tipo de Pesquisa	26
3.2	Objeto em Estudo	26
3.3	Procedimento Metodológico	26
3.3.1	Análise de Demanda	27
3.3.2	Enquadramento Tarifário	27
3.3.3	Implementação de geração distribuída fotovoltaica.....	27
<u>3.3.3.1</u>	<u>Dados Solarimétricos</u>	<u>27</u>
<u>3.3.3.2</u>	<u>Módulo fotovoltaico e inversor</u>	<u>28</u>
<u>3.3.3.3</u>	<u>Custo e viabilidade da implantação do projeto</u>	<u>28</u>
3.4	Plano de Recomendações	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Análise da Demanda	31
4.1.1	Análise resumida e ganho financeiro.....	33
4.2	Enquadramento Tarifário	33

4.2.1	Análise do enquadramento na tarifa verde	33
4.2.2	Análise do enquadramento na tarifa azul	34
4.2.3	Análise resumida e ganho financeiro.....	34
4.3	Análise do dimensionamento Fotovoltaico	34
4.3.1	Análise resumida e ganho financeiro.....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS.....	40
	APÊNDICE A – BASE DE DADOS DEMANDA E CONSUMO	44
	APÊNDICE B – SIMULAÇÃO TARIFÁRIA MODALIDADE VERDE	45
	APÊNDICE C – SIMULAÇÃO TARIFÁRIA MODALIDADE AZUL	46
	APÊNDICE D – DEMANDA CONTRATADA OTIMIZADA	47
	APÊNDICE E – SIMULAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	48

1 INTRODUÇÃO

É evidente que a qualidade de vida que se alcançou hoje se dá pela utilização de várias formas de energia, mas principalmente pela energia elétrica. Com os avanços tecnológicos e o aumento constante do setor industrial, além do crescimento populacional que acarreta maior consumo, fica indubitável que não é de hoje que a energia elétrica se tornou um dos maiores, quiçá o maior insumo para a evolução na sociedade (BATISTA, 2011).

Com isso entende-se que a energia elétrica deve ter uma gerência exímia, buscando sempre a melhor sinergia entre o lado da oferta de energia, pelos Sistemas Elétricos de Potência (SEP), e o lado da demanda, consumidores dos segmentos industrial, comercial e residencial (BATISTA, 2011).

Com esse desenvolvimento do Brasil, o aumento da demanda de energia elétrica se dá de forma exponencial nas últimas décadas. A água, um dos principais bens para a geração de energia visto que a predominância na matriz energética do Brasil é de origem hidráulica, está se tornando cada vez mais escassa. O Brasil possui uma grande malha hidrográfica, mas por conta de fenômenos como a seca, está enfrentando uma crise hídrica (ALVES, 2016).

Em 2021, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), foram registrados sucessivos recordes históricos de níveis críticos na quantidade de chuvas sobre os principais reservatórios desde setembro de 2020, onde iniciou a última temporada hidrológica úmida nas principais bacias hidrográficas com empreendimentos de geração de energia elétrica no Brasil. Nesse intervalo, alguns meses registraram as piores afluências de que se tinha conhecimento até então, onde têm-se referências desde 1931 (ANEEL, 2021).

Através desse contexto, vê-se que a utilização de pequenas fontes geradoras ganhou espaço no mercado, com um grande aumento do uso de tecnologias alternativas (Eólicas, Solar, Biogás, entre outras), trazendo inúmeras vantagens pelo fato de que diminui a concentração do impacto ambiental e amplia-se a matriz energética, além da produção em pequena escala disponível próxima ao consumidor (ALVES, 2016).

1.1 Problemas, premissas ou hipóteses

Os consumidores industriais em sua grande maioria carecem de uma análise aprofundada da fatura de energia. Com isso, o gasto com o uso de energia elétrica sempre se torna maior do que o necessário, visto que, ao se ter uma demanda sobre dimensionada ou subdimensionada e estar encaixado na modalidade tarifária mais cara quando se tem a possibilidade de migrar para uma com tarifas menores reflete no encarecimento da conta de energia.

Além disso, existem outros fatores que podem estar ocasionando multas e aumentando o valor da fatura, como por exemplo, energia reativa excedente. Com um fator de potência abaixo do estipulado pela norma, 0.92, o consumidor tem como solução a implementação de banco de capacitores.

Este trabalho visa a utilização das recomendações de eficiência energética (estudo tarifário e averiguar a possibilidade de implementação de uma fonte geradora fotovoltaica própria). Para que tais recomendações surtam efeito a indústria deve atender alguns requisitos, são eles: não possuir um estudo tarifário otimizado aplicado, ter um contrato com a concessionária que não foi, ou não é revisado periodicamente e estar apta para a implementação de uma fonte de geração fotovoltaica própria.

Constituindo este estudo de eficiência energética que contempla análise tarifária e análise de viabilidade de implantação de minigeração distribuída fotovoltaica, tendo como base de dados às faturas de energia elétrica da empresa estudada, os mesmos serão abordados como hipóteses de mitigação de despesas com energia elétrica.

1.2 Justificativa

O consumidor e o Estado precisam trabalhar em conjunto para que projetos e a busca pela eficiência energética não seja exceção, mas sim uma ideia completamente estabelecida.

A adequação tarifária a partir das doze faturas do ano de 2019 e a implementação de uma fonte de geração fotovoltaica própria são as ações viáveis escolhidas de eficiência energética para o caso estudado na presente pesquisa.

1.3 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo calcular técnica e economicamente a redução de despesas com energia elétrica na indústria de equipamentos em compósitos PRFV, realizando o ajuste do contrato de demanda e o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica.

1.4 Objetivos Específicos

- Calcular um valor otimizado para o contrato de demanda para o ano subsequente com base na demanda medida das 12 faturas referentes ao ano de 2019;
- Apresentar as características do sistema fotovoltaico, dimensionado conforme a metodologia apresentada por ANEEL (2008) para suprir todo consumo da indústria;
- Calcular e identificar a melhor modalidade tarifária para enquadramento da indústria.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dados de indicadores mundiais de energia elétrica mostraram um aumento de cerca de 14.000 TWh em consumo desde a década de 1990, resultando em mais de 25.000 TWh consumidos em 2019 (IEA, 2022). No Brasil, em 2020, o consumo de eletricidade atingiu cerca de 540 TWh, acompanhado de reduções de 0,8% e 1% na energia elétrica disponibilizada e no consumo final de eletricidade, respectivamente, em relação a 2019 (EPE, 2021b).

Nos últimos 2 anos, em particular, essas mudanças nos perfis de geração e consumo de energia elétrica, foram consequências diretas dos impactos socioeconômicos causados pela pandemia da COVID-19 (e.g., SANTIAGO *et al.*, 2020; MASTOI *et al.*, 2022; EPE, 2021b). Medidas adotadas para impedir a propagação do vírus SARS-Cov-2, como o isolamento social (WHO, 2021), desencadearam o aumento de demanda diária para o setor residencial, reduzindo a demanda energética para outros setores, como os de transporte, indústria e comércio (EPE, 2021b).

Por consequência, o aumento das incertezas na demanda de eletricidade tem impulsionado a elaboração de medidas preventivas que minimizem e/ou reparem os impactos socioeconômicos já instaurados durante a pandemia, dentre elas a integralização do maior número de energias renováveis no mix de geração de energia de baixo carbono (MASTOI *et al.*, 2022). Segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE), fontes de baixo carbono e energias renováveis apresentaram cerca de 32% e 23%, respectivamente, de participação na geração de energia mundial em 2019, com aumento significativo nos últimos 10 anos, para ambas. Em contrapartida, embora fontes não renováveis, como o carvão e o petróleo, ainda representem mais de 60% de geração de energia mundial, ambas apresentaram quedas na sua participação no mesmo ano (IEA, 2022).

À medida em que a população mundial cresce e, conseqüentemente, a demanda energética, o investimento em fontes renováveis se expande na tentativa de controlar a emissão de carbono (CO₂) na atmosfera, preservar recursos naturais disponíveis (OLIVEIRA; MARIO; PACHECO, 2021) e, também manter o crescimento econômico ininterrupto (ANSER *et al.*, 2021). No setor industrial, por exemplo, onde há considerável consumo e demanda energética, a implementação de sistemas de fontes renováveis pode auxiliar, além da diminuição de variações climáticas, na

otimização da coleta de energia por fontes inesgotáveis; redução de impasses na distribuição, através da instalação próxima ao local de consumo; e, garantias de fornecimento fiável e mais econômico (OLIVEIRA, 2022).

No Brasil, a matriz elétrica é composta majoritariamente por fontes renováveis, responsáveis por mais de 84% da oferta nacional interna (EPE, 2021b). Como principal fonte renovável no país, a energia hidráulica se manteve predominante em 2020, com 63,8% na participação da geração de energia elétrica (EPE, 2021a). Esse alto potencial hidrelétrico se deve, principalmente, a conformação geográfica dos rios que ocupam o continente (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017); a exemplo da bacia do rio Paraná, onde encontra-se a Usina Hidrelétrica de Itaipu, considerada uma das principais geradoras mundiais de eletricidade (VIANA; TAVARES; LIMA, 2015).

Em conjunto ao aporte hidrelétrico nacional, outras fontes renováveis tem aumentado sua participação na matriz elétrica, com destaques para as fontes eólica (9,2%); de gás natural (8,6%) e biomassa (9,0%) (EPE, 2021a). Além dessas, o percentual de geração de energia por fonte solar fotovoltaica também apresentou um aumento considerável de 61,1% em 2020, resultando na geração de mais de 10.700 GWh de eletricidade (IEA, 2022).

2.1 Eficiência Energética

À medida que as taxas de emissão de gases de efeito estufa aumentam, a procura por maneiras, mais econômicas, de reduzir esses índices recai sobre a necessidade do aumento da eficiência energética (SUN *et al.*, 2020). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021b), a eficiência energética pode ser representada pela “razão entre a estimativa de atividade (t.km ou p.km) e a demanda total de energia (em unidades com Joule [J], Watt [W] ou tonelada equivalente de petróleo [tep])” (EPE, 2021b).

Como um forte aliado, o desenvolvimento tecnológico pensado para demandas ambientais pode resultar na mitigação do consumo energético e, conseqüentemente, no aumento dessa eficiência (PARAMATI; SHAHZAD; DOGAN, 2021). Em alguns países, o comércio tem sido um agente promissor na redução da intensidade energética, devido a permutação de tecnologias e, conseqüentemente,

na difusão acelerada de avanços tecnológicos necessários para a melhoria da eficiência de energia (SUN *et al.*, 2020). Essa permuta entre os países desenvolvidos e industrializados e os países em desenvolvimento permite que o processo de industrialização dos últimos ocorra de forma otimizada e com menores impactos (KOTO, 2009).

No Brasil, o perfil de eficiência energética pode ser acompanhado através de alguns programas já desenvolvidos, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que permite a classificação do desempenho energético de eletrodomésticos, transportes e edificações, a partir de um selo de A à E, sendo A o de menor consumo/mais eficiente e, E de maior consumo/com menor eficiência; o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que envolve diferentes subprogramas em todas as áreas de consumo (*i.e.*, indústria, educação, saneamento); a Lei de eficiência Energética, responsável por estipular e manter atualizados os níveis mínimos de eficiência energética e, os níveis máximos de consumo para equipamentos elétricos; e, o Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL) (IEI, 2018), que estabelece que concessionárias de distribuição privadas invistam com 1% de suas receitas em medidas de eficiência energética e projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e, direcionem 20% de seus recursos a PROCEL (IEI, 2018).

Em conjunto à eficiência energética, a geração distribuída também deve ser avaliada quanto seus impactos (IEI, 2018). Segundo o Decreto Nº 5.163, de 30 de julho de 2004, a geração distribuída é definida, como:

A produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei no 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004. (BRASIL, 2004)

Com a difusão da geração distribuída, a Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL), em 2012, a dividiu, a partir da potência gerada, em: micro e minigeração (IEI, 2018). Segundo a Resolução normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, define-se por micro e minigeração, respectivamente:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2012)

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2012)

Em 2020, na área de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), a energia solar fotovoltaica teve participação de 90,4%, sendo a principal responsável pelos aumentos de 137% na MMGD e 120% na sua capacidade instalada (EPE, 2021b).

Além da alta taxa de irradiação solar no país, o estabelecimento da energia fotovoltaica em redes privadas, rurais e urbanas, e o apoio de políticas públicas que incentivem a competitividade e acessibilidade tornam está uma engenhosa fonte renovável (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018).

2.1.1 Eficiência energética da fonte fotovoltaica

A eficiência energética de sistemas solares fotovoltaicos, considerando a potência de saída produzida, pode ser otimizada com base em fatores, como rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), com uso de algoritmos que considerem os aspectos climáticos; aumento da eficiência de conversão, a partir do aperfeiçoamento de placas solares e; melhora do funcionamento, a partir de mecanismos de resfriamento e armazenagem (AL-SHAHRI et al., 2021).

O uso de semicondutores a base de silício (Si) é o mais comum em painéis solares fotovoltaicos (Koto, 2009). No Brasil, a vasta disponibilidade de silício no solo de algumas regiões torna ainda mais atrativa a implantação de geração distribuída por energia solar fotovoltaica, visto que a extração para fins de exportação do semi-metal já ocorre no país (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018). Segundo esses autores, sobre os possíveis impactos ambientais da mineração do silício, eles afirmam que:

A mineração tem de ser avaliada com cuidado visto que gera impactos ambientais consideráveis, e o intuito com a diversificação através de fontes renováveis tem por finalidade aumentar a capacidade geradora de forma paralela à conservação ambiental. No entanto, não haveria a necessidade de aumentar o número de garimpos ou a intensidade de exploração, mas de direcionar ao mercado interno a exploração, conjuntamente com a abertura de uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE), impulso importante para beneficiar em grande escala o quartzo nacional. Como área de livre comércio, a ZPE atrairia também mais empresas competitivas globalmente. (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018, p. 8)

Células monocristalinas e multicristalinas ocupam quase que integralmente o mercado fotovoltaico (90%), apresentando 25% e 20% de eficiência energética, respectivamente; porém em módulos observa-se uma redução dessa eficiência para 14% e 12% (LUQUE; HEGEDUS, 2003). Segundo Al-Shahri *et al.* (2021), a busca por células mais eficientes, como células multijunção, necessitam de avaliação prévia por serem processos custosos e complicados.

2.2 Adequação Tarifária e Cálculo para o Contrato de Demanda

Segundo o manual que compõe o Plano de Eficiência Energética nos Prédios Públicos Federais do PROCEL, a adequação tarifária deve, em primeiro lugar, estar baseada na seleção correta do grupo tarifário, ao qual pertence a unidade consumidora de interesse (PROCEL, 2001). Dessa forma, com base no nível de tensão atendidos pelos consumidores, estes são classificados em grupo A e grupo B. Sendo assim é determinado que:

Os consumidores atendidos em baixa tensão, em geral em 127 ou 220 volts, como residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais e boa parte dos edifícios comerciais, são classificados no Grupo B. É o caso da maioria dos prédios públicos federais. O Grupo B é dividido em sub-grupos, de acordo com a atividade do consumidor. Os consumidores residenciais, por exemplo, são classificados como B1, os rurais como B2. (PROCEL, 2001). Por outro lado:

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios ELETROBRÁS 5 PROCEL comerciais, são classificados no Grupo A. Esse grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento. (PROCEL, 2001)

Após o enquadramento no grupo consumidor adequado, a determinação de tarifas impostas para os respectivos grupos é esclarecida. Consumidores do grupo B são submetidos à tarifa monômnia, que prevê a cobrança apenas da energia consumida, como para unidades residenciais; no entanto, para consumidores do grupo A, a cobrança é dada sobre a demanda energética e a energia consumida, classificada como tarifa binômnia (PROCEL, 2001). Na Figura 1, a classificação dos consumidores nos grupos A e B, em concordância aos valores de potência, e tipos de tarifas cobradas é apresentada.

Figura 1 – Classificação dos consumidores nos grupos A e B, em concordância aos valores de potência, e tipos de tarifas cobradas é apresentada.

Nível de Tensão	Tipo de Consumidor	Tipo de Tarifa
B1	Residencial	Mônomia Convencional
B2	Rural	Mônomia Convencional
B3	Poder Público	Mônomia Convencional
B4	Iluminação Pública	Mônomia Convencional
A1	Geral em 230 kV	Contrato de Fornecimento
A2	Geral em 138 kV	Contrato de Fornecimento
A3	Geral em 69 kV	Contrato de Fornecimento
A4	Geral em 13,8 kV	Contrato de Fornecimento

Fonte: Becker (2014)

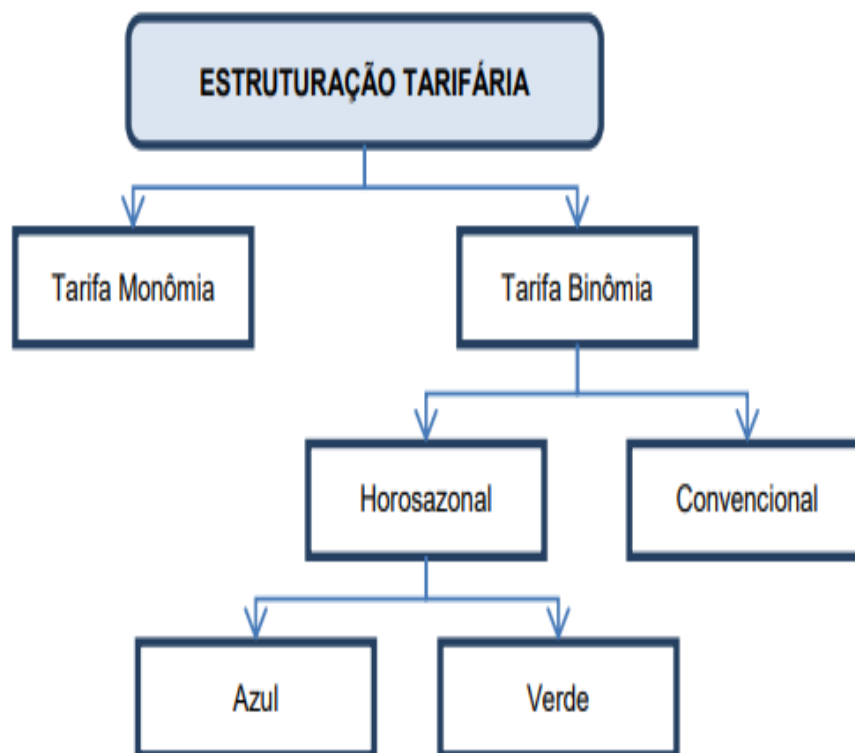
A demanda a ser contratada em concessionárias deve ser bem avaliada e, mediante análise da demanda medida. Além disso, segundo a Resolução Normativa Nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 da ANEEL, em casos de alteração na tarifa durante o período de faturamento, a aplicação de tarifa proporcional deve ser realizada por parte da distribuidora (BRASIL, 2021).

2.3 Tarifação do Grupo A

Consumidores do grupo A podem se adequar a uma das opções tarifárias oferecidas, sendo elas a tarifação convencional, tarifação horo-sazonal verde (HSV), e tarifação horo-sazonal azul (HSA) (PROCEL, 2001). Apesar de ambas as tarifas, convencional e horo-sazonais, se pautarem na contratação de demanda e energia, a tarifa convencional é isenta de variações por horário de utilização; contrário das

tarifas horo-sazonais, que são dependentes do horário de uso (BRASIL, 2021). Dos sub-grupos pertencentes a A, apresentados na figura 1, A3a, A4 e AS são incluídos na tarifação convencional (demanda contratada < 300 kW), podendo ser opcionalmente incluídos na tarifação horo-sazonal verde (fornecimento < 69 kV; demanda contratada < 300 kW); enquanto, A1, A2 e A3 compõem obrigatoriamente a tarifação horo-sazonal azul (demanda contratada > 300 kW) (PROCEL, 2001). A ordenação geral do sistema tarifário é esquematizada na Figura 2.

Figura 2 – Esquema da organização geral do sistema tarifário



Fonte: Becker (2014)

2.3.1 Energia

Segundo a Eletrobrás (2022), energia é definida como o “potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação. Qualquer coisa que esteja trabalhando, movendo outro objeto ou aquecendo-o, por exemplo, está gastando (transferindo) energia” (ELETROBRÁS, 2022). Na energia elétrica, refere-se a quantia elétrica necessária para o funcionamento de um aparelho, por um determinado tempo (PROCEL, 2001). A energia elétrica pode ser dividida em energia elétrica ativa,

podendo ser transformada em outro tipo de energia; ou ainda, a energia elétrica reativa, capaz de transitar entre campos eletromagnéticos, porém sem gerar trabalho (BRASIL, 2021).

2.3.1.1 Tarifa de energia de ponta

Presente no inciso XXXVIII do artigo 2, da Resolução Normativa Nº 1.000, define-se como posto tarifário, o “período em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia”. No caso da tarifa de ponta, refere-se ao intervalo de 3 horas diárias seguidas estipuladas pela concessionária, baseando-se na curva de carga do sistema de eletricidade, com exceção de sábados, domingos, e alguns feriados nacionais (BRASIL, 2021). Durante esse intervalo, são mais altos os valores de consumo e demanda energética (PROCEL, 2001).

2.3.1.2 Tarifa de energia fora de ponta

Complementar ao período de energia de ponta, a tarifação de energia fora de ponta corresponde as 21 horas consecutivas restantes, após as 3 horas de ponta estipuladas pela concessionária (PROCEL, 2001; BRASIL, 2021)

2.3.2 Demanda

Segundo a ANEEL (BRASIL, 2021), demanda pode ser definida como a “média das potências elétricas ativas ou reativas, injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição durante um intervalo de tempo especificado”.

Entre as demandas, a demanda contratada refere-se àquela concedida contínua e obrigatoriamente pela concessionária; a demanda de ultrapassagem, representa a porcentagem de demanda medida que ultrapassa a demanda contratada; a demanda faturável, submetida a tarifação; e, a demanda medida, que após medição num intervalo de 15 minutos, apresenta maior demanda de potência ativa (COPEL, 2022).

2.3.2.1 Demanda do grupo HSV

O grupo HSV, ou horo-sazonal verde pretende a contratação de demanda, independentemente do posto de ponta ou fora de ponta, levando em conta apenas os valores de demanda para o período seco e úmido; de forma que, apenas dois valores contratuais são calculados (PROCEL, 2001). Em suma, a parcela de demanda do grupo HSV pode ser representada pela parcela de demanda (P_{demanda} em R\$), que é dada pela relação entre a tarifa da demanda (T_{demanda} em R\$.kW⁻¹) e a demanda contratada ($D_{\text{contratada}}$ em kW), conforme a Equação 1:

$$P_{\text{demanda}} = T_{\text{demanda}} \times D_{\text{contratada}} \quad (1)$$

Salienta-se que, desde que não extrapolado o limite de 10% da demanda contratada pela demanda medida (D_{medida} em kW), a parcela de demanda também pode ser calculada Conforme a Equação 2:

$$P_{\text{demanda}} = T_{\text{demanda}} \times D_{\text{medida}} \quad (2)$$

Em caso de ultrapassagem da demanda contratada ($P_{\text{ultrapassagem}}$ em R\$), tal parcela de ultrapassagem é calculada com tarifa de ultrapassagem de demanda ($T_{\text{ultrapassagem}}$ em R\$), como demonstrado na Equação 3:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = T_{\text{ultrapassagem}} \times (D_{\text{medida}} - D_{\text{contratada}}) \quad (3)$$

2.3.2.2 Demanda do grupo HSA

O grupo HSA, ou horo-sazonal azul pretende a contratação de demanda, mediante as variações dos postos de ponta e fora de ponta (PROCEL, 2001). Em suma, a parcela de demanda no grupo HSA pode ser representada pela Equação 4:

$$P_{\text{demanda}} = T_{\text{demanda_ponta}} \times D_{\text{contratada_ponta}} + T_{\text{demanda_fora_ponta}} \times D_{\text{contratada_fora_ponta}} \quad (4)$$

Onde $T_{\text{demanda_ponta}}$ é a tarifa da demanda no horário de ponta (em R\$.kW⁻¹); $D_{\text{contratada_ponta}}$ é a demanda contratada na hora de ponta (em kW); $T_{\text{demanda_fora_ponta}}$ é

a tarifa de demanda no horário fora de ponta (em R\$.kW⁻¹) e $D_{\text{contratada_fora_ponta}}$ é a demanda contratada no horário fora de ponta (em kW).

Salientando que, desde que não extrapolado o limite de 10% da demanda contratada pela demanda medida (D_{medida}) no respectivo intervalo de medição (ponta ou fora de ponta), essa parcela de demanda é calculada conforme a Equação 5:

$$P_{\text{demanda}} = T_{\text{demanda_ponta}} \times D_{\text{medida_ponta}} + T_{\text{demanda_fora_ponta}} \times D_{\text{medida_fora_ponta}} \quad (5)$$

Já no caso de ultrapassagem da demanda contratada, tal parcela de ultrapassagem é calculada como demonstrado na Equação 6:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = T_{\text{ultrapassagem_ponta}} \times (D_{\text{medida_ponta}} - D_{\text{contratada_ponta}}) + T_{\text{ultrapassagem_fora_ponta}} \times (D_{\text{medida_fora_ponta}} - D_{\text{contratada_fora_ponta}}) \quad (6)$$

Vale ressaltar ainda, segundo o Manual de Tarifação de Energia Elétrica, que as tarifas variam entre as distribuidoras e, reajustes anuais são validados e tornam-se disponíveis através da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (PROCEL, 2001).

2.3.2.3 Otimização do contrato de Demanda

A demanda máxima consiste na maior demanda registrada num período de tempo pela unidade consumidora (COPEL, 2022). Segundo o Manual de Tarifação de Energia Elétrica, recomenda-se a documentação de valores de demanda mensais, nos últimos 12 meses, para conhecimento de uma demanda medida máxima ($D_{\text{máx}}$) para então, uma posterior previsão de contratação adequada, que evite o limite de ultrapassagem proposto pela concessionária (PROCEL, 2001).

2.4 Dimensionamento Teórico da Geração Distribuída Fotovoltaica

A primeira medida a ser tomada na instalação de um sistema solar fotovoltaico é a execução do dimensionamento pautado em métricas, como demanda e média de consumo de energia elétrica na unidade selecionada; cálculo de energia gerada pelo sistema fotovoltaico; potência instalada; e, área selecionada

para a implantação do sistema (SILVA; SILVA, 2013; ALENCAR, 2016; ARAÚJO, 2016). Índices de radiação no local de instalação e o potencial de painéis fotovoltaicos permitem estabelecer a dinâmica de consumo diário e de compensação de energia (RIBEIRO, 2016). Outros dois pontos importantes no dimensionamento do sistema, é a seleção de módulos fotovoltaicos e inversores e, seus arranjos e configurações na previsão de retorno de investimento (BEZERRA, 2013; ALENCAR, 2016).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

O tipo de pesquisa se dá como aplicada, visto que as metodologias serão aplicadas para redução de custos com energia elétrica em uma indústria. Descritiva, explicando como a eficiência energética pode trazer ao consumidor a quantidade de energia necessária utilizando menos recurso, no caso, dinheiro. Será um estudo combinado, onde o lado quantitativo envolverá simulações de cenário, e qualitativo por ser o estudo de caso de uma empresa.

3.2 Objeto em Estudo

A empresa Tecniplas está localizada no município de Cabreúva, região sudeste do estado de São Paulo. A empresa fica localizada na latitude $-23^{\circ} 16' 55.566''$ S e longitude $-47^{\circ} 7' 37.993''$ O. A empresa funciona em horário comercial, 07:30 às 17:30, de segunda-feira a sexta-feira. A indústria pertence ao setor de plástico reforçado em fibra de vidro e foi constituída em 1976. Em 2012 ocorreu a ampliação e reformulação da unidade, contando com uma completa e atualizada estrutura para transformação de compósitos.

3.3 Procedimento Metodológico

O consumidor industrial foi escolhido devido ao grande número de variáveis disponíveis para estudo e a redução significativa nos custos de energia quando aplicada a eficiência energética. Tem-se uma boa referência de consumo de energia elétrica pelo acesso ao cadastro do consumidor no site da ELEKTRO, especificamente o histórico de doze meses do ano de 2019. O mesmo proporciona ao consumidor o monitoramento em tempo real da demanda e do consumo de energia elétrica, ambos fundamentais para o trabalho atual. Para analisar o melhor cenário de enquadramento de demanda e tarifário, serão desenvolvidas planilhas em Excel para auxiliar na previsão de valores e estimativa de custos.

3.3.1 Análise de Demanda

Através do acesso ao cadastro do consumidor na ELEKTRO, foram coletados os dados de demanda contratada, demanda medida e a tolerância dos meses anteriores. Foi desenvolvido uma análise do ano de 2019, verificando como a demanda energética da empresa se comportou nesse período. Através dos dados coletados, simulou-se na planilha de cálculo o valor de demanda ótima, buscando atingir o pagamento mínimo desse item na fatura de energia e então apresentar o melhor cenário de contratação de demanda para o consumidor.

3.3.2 Enquadramento Tarifário

Foi realizada a captação dos valores de kWh do consumo, de kW da demanda de ponta e fora de ponta de cada tarifa disponibilizados pela ELEKTRO e os valores registrados na fatura de energia do ano de 2019.

Dessa forma, fez-se a comparação tarifária entre as tarifas verde e azul através da simulação na planilha de cálculo do Excel para verificar a melhor modalidade a ser contratada pela empresa na concessionária.

3.3.3 Implementação de geração distribuída fotovoltaica

Através da coleta dos dados na fatura de energia, foi analisado o consumo médio mensal de energia elétrica da empresa em estudo. Dessa forma inicia-se o estudo do dimensionamento fotovoltaico.

3.3.3.1 Dados Solarimétricos

O programa SunData fornece os dados necessários. O programa destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média em qualquer ponto do território nacional e é em uma tentativa do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) de fornecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Foram obtidos os dados de horas de sol pleno na região onde está situada a indústria, conforme atualização da base de dados de radiação solar produzida utilizando o Atlas Brasileiro de Energia solar – 2ª Edição, a partir dos 17 anos de imagens de satélite, do período de 1999 até 2015. Esses dados foram recolhidos no site da CRESESB. O valor de horas de sol pleno fornecido foi de 5,06h. O valor da constante de irradiação solar assumido para o presente estudo é de 1000W/m².

3.3.3.2 Módulo fotovoltaico e inversor

Foi realizado o cálculo de potência de pico, utilizando os dados necessários que foram coletados, são eles: Consumo médio mensal da empresa, constante de irradiação solar, horas de sol pleno, número de dias no mês (30 dias), e a eficiência do módulo solar (75%). Com o valor de potência de pico, calculou-se o número de placas solares que serão necessárias para suprir a demanda conhecida da empresa.

Definiu-se, através de pesquisa, qual o modelo, tanto de módulo fotovoltaico como de inversor, e o preço de cada equipamento conforme o orçamento definido pela empresa para esse tipo de investimento. Com isso, foi calculado qual o custo da implementação do projeto de geração distribuída fotovoltaica e pode-se apresentar a viabilidade da implantação através dos indicadores financeiros.

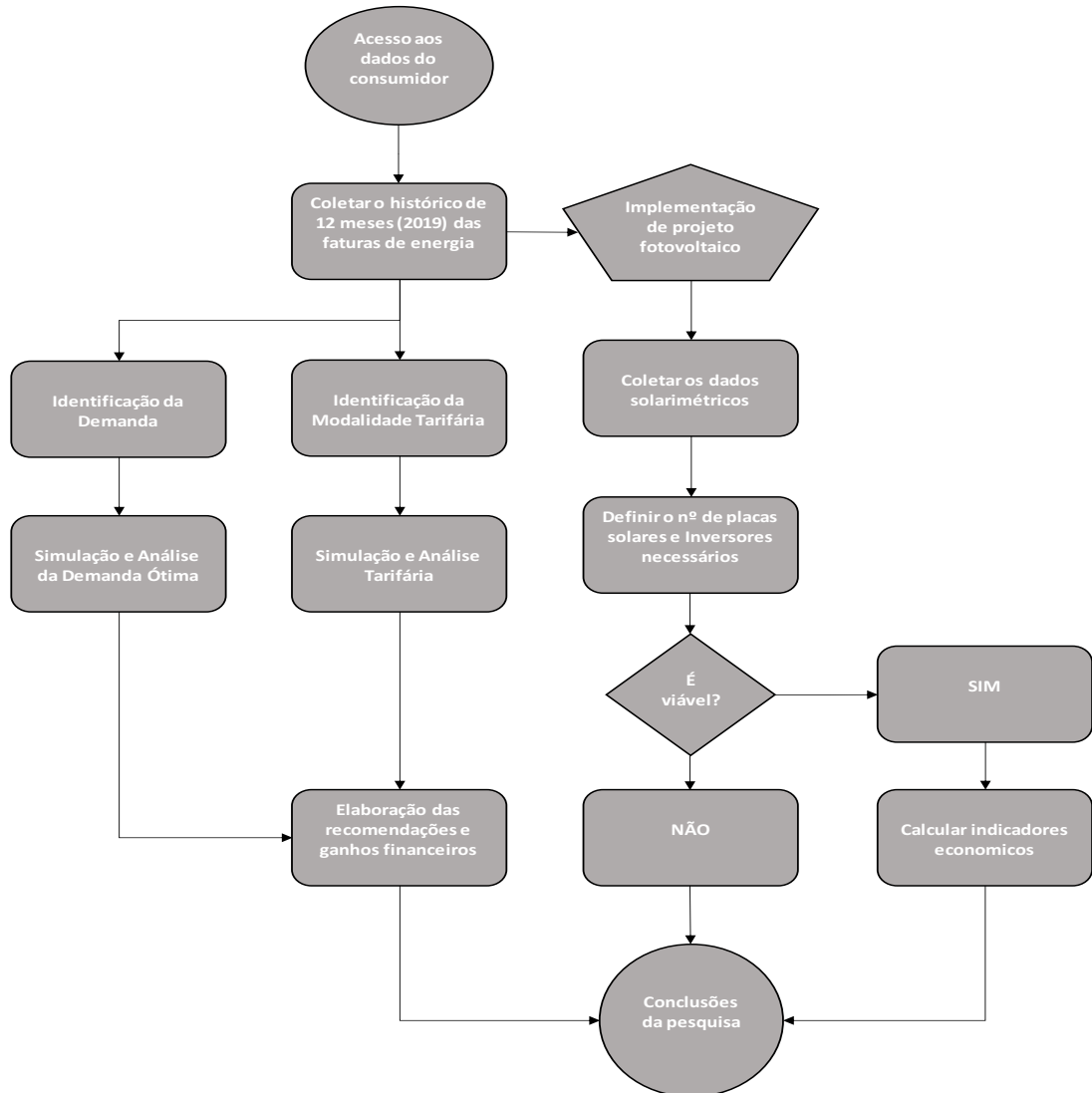
3.3.3.3 Custo e viabilidade da implantação do projeto

Após todos os resultados obtidos conforme a metodologia citada nos tópicos anteriores, foi calculado o custo da implementação do projeto de geração distribuída fotovoltaica e com isso pode ser apresentado a viabilidade da implantação através dos indicadores financeiros: TIR, VPL, *payback* descontado.

3.4 Plano de Recomendações

Com o estudo dos tópicos antecedentes, deve-se desenvolver os resultados e discussões, e apresentar as vantagens e ganhos financeiros que a indústria obtém com a implementação das recomendações. As etapas do trabalho serão realizadas conforme descreve o fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma com as etapas do trabalho



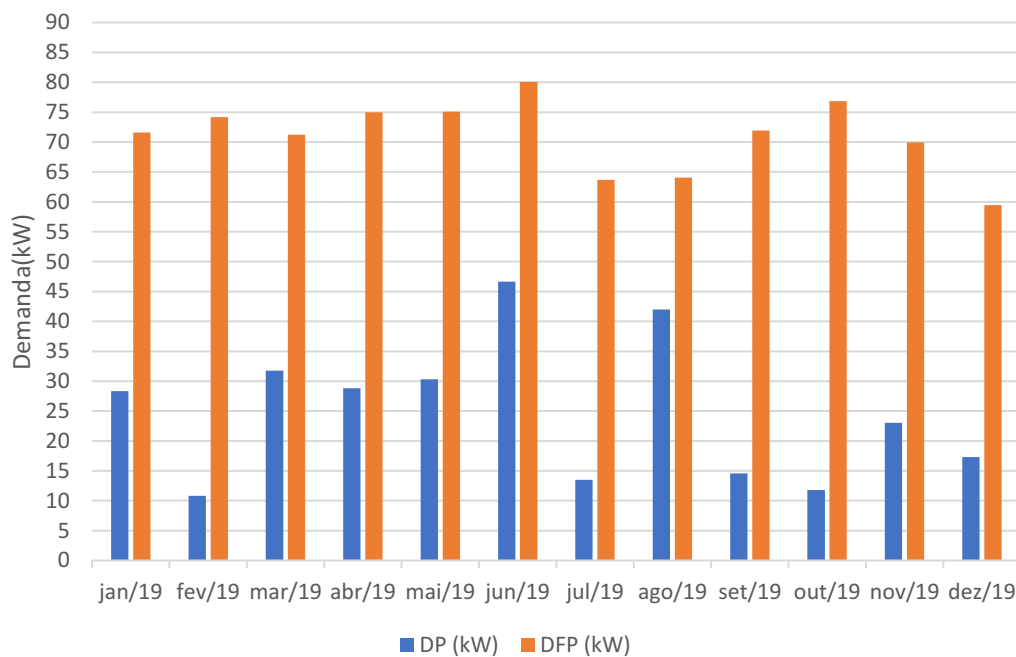
Fonte: Autoria Própria (2022).

A partir do acesso aos dados do consumidor é possível dar início aos estudos. Com a coleta dos dados das faturas de 2019 pode-se realizar o estudo de adequação tarifária e de contratação de um valor otimizado para a demanda, assim como analisar a viabilidade de implementação de um projeto fotovoltaico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coletadas as informações, foi obtido que o consumidor se encaixa no subgrupo A4, nível de tensão de 13,8kV, possui uma demanda contratada de 90kW e a tarifa contratada verde. A base de dados do histórico de 12 meses de consumo e demanda de ponta e fora de ponta, foram organizados na tabela do Apêndice A e separados nos dois gráficos exibidos nas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Gráfico do Histórico da Demanda Registrada

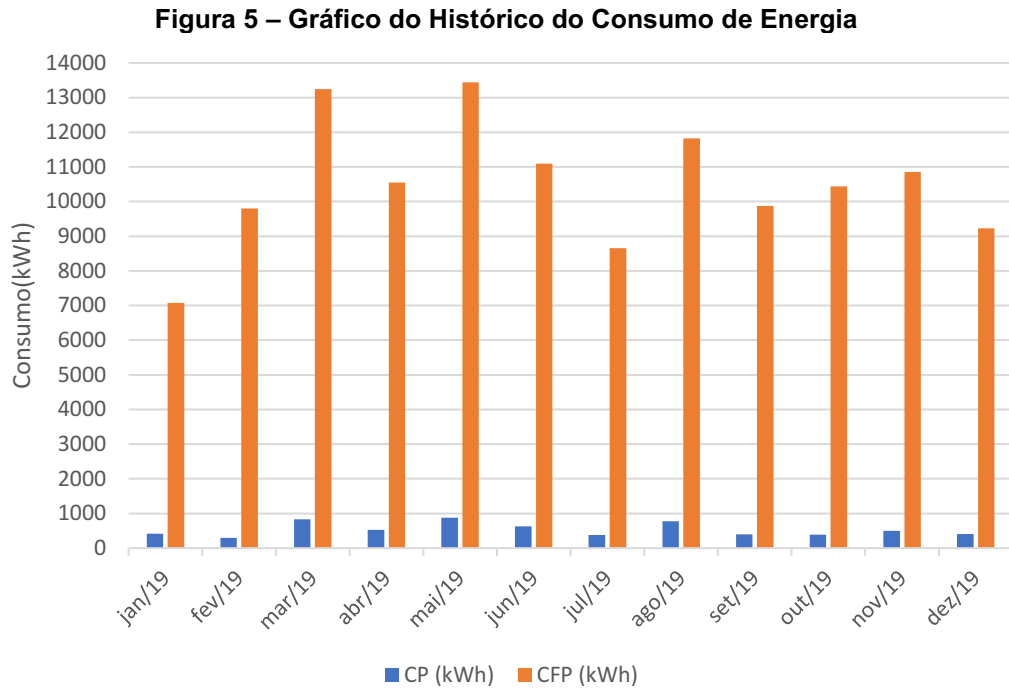


Fonte: Adaptado de ELEKTRO (2019)

A Figura 4 mostra o gráfico de demanda mensal registrada de ponta e fora de ponta, tendo 80kW no mês de junho como a maior demanda registrada e aproximadamente 60kW registrado no mês de dezembro, onde a demanda na indústria é reduzida por conta de férias dos funcionários e feriados, sendo o menor valor.

A Figura 5 mostra o histórico de consumo registrado tanto na ponta como fora no ano de 2019. Assim como para a demanda, o mês de junho registrou o maior consumo de energia. O menor consumo registrado encontra-se no mês de janeiro.

Os valores utilizados na tarifa verde e azul nas simulações disponíveis nos apêndices foram obtidos da resolução homologatória da ANEEL, nos anos de 2019, levando em consideração os reajustes tarifários anuais (ANEEL, 2021).



Fonte: Adaptado de ELEKTRO (2019)

A cada mês em estudo foi observado uma mínima alteração nos valores em reais. Os valores adotados como padrão para todos os meses é uma média para obter os resultados próximos da realidade. Essa média adotada não irá interferir na análise, sabendo que o foco está em encontrar a demanda ótima e a melhor opção tarifária.

4.1 Análise da Demanda

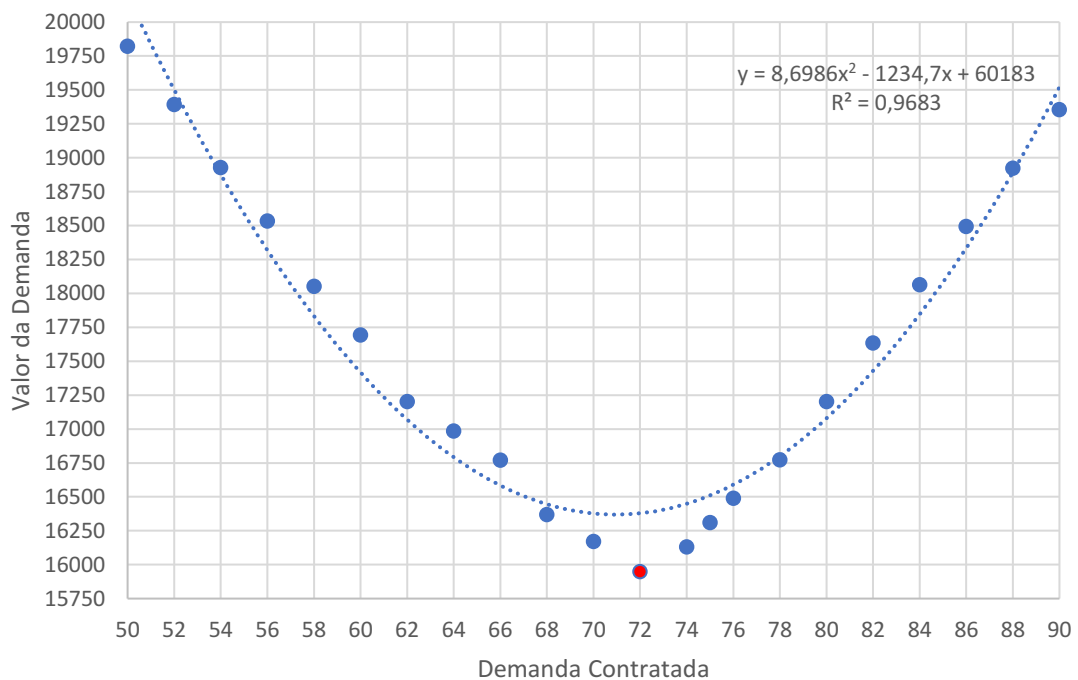
De acordo com a simulação da planilha disponível no Apêndice D, realizada para entender como está o comportamento real no período escolhido (2019), estão os valores referente a tarifa verde em reais e o contrato da demanda em kW, o valor de 90 kW inicialmente escolhido foi de acordo com o atual contrato.

Na primeira coluna são apresentados os 12 meses em estudo, na segunda coluna se localiza a demanda registrada para o respectivo mês, em seguida o teste lógico, ele foi utilizado para facilitar a análise de cada mês da demanda contratada e registrada, caso a demanda registrada for menor que a demanda contratada o teste lógico será zero, caso a demanda registrada seja entre o valor de tolerância de 5%, o teste lógico será um, caso a demanda registrada for maior que a tolerância de 5% da demanda contratada, o teste lógico é dois.

Em seguida as colunas referentes ao pagamento da demanda e demanda de ultrapassagem, e, na última coluna está o valor total referente a cada mês e a última linha o somatório de todos os meses. O valor total arredondado é de setenta mil reais.

Para determinar a demanda ótima para esses registros de demanda foi utilizado um intervalo entre a demanda contratada atualmente pela empresa, 90 kW, e 50 kW, sendo o intervalo de 2 kW.

Figura 6 – Gráfico da Simulação da Demanda Ótima



Fonte: Autoria Própria (2022)

De acordo com a figura anterior é possível observar alguns pontos importantes, tais como, a demanda ótima no valor de 72kW apresentando o menor valor total de R\$ 15.946,65 enquanto com a demanda atual contratada de 90kW seria de R\$ 19.353,60. O valor total reduzido seria de R\$ 3.406,95, ou seja, seria obtida uma economia anual de 17,60%.

Outro ponto a ser observado é a curva de tendência. A equação que melhor representa a curva ótima para este estudo é a polinomial de ordem 2. O índice de determinação neste caso apresenta uma assertividade de 96,83%.

4.1.1 Análise resumida e ganho financeiro

No ano de 2019 a demanda não apresentou ultrapassagem com relação a demanda contratada da empresa. No mês de junho a empresa chegou a registrar 80 kW de demanda, sendo o maior de todo o ano de 2019, indicando que a demanda contratada esta superdimensionada.

A demanda contratada de 90 kW está distante da demanda ótima de 72 kW, com isso a economia de R\$ 3.406,95 representa 17.60%, sendo um valor muito expressivo.

Em relação ao investimento para mudar o valor da demanda contratada, não terá custo para alteração do contrato realizado com a concessionaria local, ou seja, o potencial de ganho financeiro apresentado anteriormente começa a valer com o novo contrato. Com o contrato validado, após trinta dias corridos ocorre a atualização de dados e o consumidor tem a opção de ajuste nos primeiros três meses depois da mudança.

4.2 Enquadramento Tarifário

Como a empresa em estudo tem uma tensão de 13,8 kV, a possibilidade de tarifação no grupo B é descartada, restando apenas as opções de modalidade tarifaria horária azul e modalidade tarifaria verde.

A planilha de cálculo desenvolvida para a simulação tarifária contém dois cálculos, um referente ao pagamento da demanda de ponta e consumo de ponta e outro da demanda fora de ponta e consumo fora de ponta. O teste lógico foi utilizado para as duas colunas de demanda, indicando onde o valor se enquadra em comparação aos dados de contrato. Foi adotado o valor atual de demanda contratada (90 kW) para as simulações a seguir.

4.2.1 Análise do enquadramento na tarifa verde

O valor obtido da simulação do enquadramento tarifário verde disponível no Apêndice B será utilizado como base de comparação com os outros casos em estudo, já que os valores são os mesmos do contrato atual.

É possível observar uma não consistência de valores totais mensais, isso ocorreu por conta da variação de consumo e demanda causado de acordo com a demanda de produção de cada mês. O valor total calculado foi de R\$ 70.003,01.

4.2.2 Análise do enquadramento na tarifa azul

A simulação foi feita a partir dos valores em reais do consumidor do grupo A4, tarifa azul, disponível no Apêndice C.

A demanda contratada fora de ponta foi mantida no mesmo valor da tarifa verde de 90kW, o valor de demanda de ponta definido em 25kW foi escolhido considerando o ponto otimizado de todos os meses em estudo, sendo ele o que proporciona a maior economia.

O valor total calculado na tarifa azul foi de R\$ 81.978,86.

4.2.3 Análise resumida e ganho financeiro

O cenário atual (tarifa verde), no valor de R\$ 70.003,01, comparado com a tarifa azul, no valor de R\$ 81.978,86, aponta que a tarifa verde é a melhor opção tarifária a ser contratada, com uma economia de R\$ 11.975,85.

Na modalidade tarifária não foi possível obter ganhos financeiros, pois a condição atual já está de forma otimizada.

4.3 Análise do dimensionamento Fotovoltaico

Através do cálculo da potência de pico necessária para atender ao consumo médio mensal da empresa, pode-se estimar o número de módulos fotovoltaicos que serão utilizados. Este cálculo mostra, de forma aproximada, a capacidade da empresa de se manter autônoma apenas utilizando energia solar, se tornando independente da rede elétrica pública.

Para realizar esta avaliação é necessário assumir e conhecer algumas condições iniciais. Primeiramente, tem-se como consumo médio mensal da empresa, o valor do consumo anual dividido pelo total de meses do ano. Este valor foi calculado e corresponde a um consumo médio de 11.039,50 kWh por mês. Outro

dado utilizado para o cálculo é a constante de irradiação solar, que tem como valor padrão 1000 W/m².

As horas de sol pleno também deve ser levado em consideração para nosso cálculo, e este dado foi obtido através do site cresesb.cepel.br, onde ao colocar a latitude e longitude do local onde a empresa está situada ele mostra a média de quantas horas nós teremos de sol pleno se tem por dia, o valor obtido foi de 5,06 h por dia.

A eficiência de quanto o módulo fotovoltaico conseguirá absorver da radiação solar também deve ser levado em conta, e para o presente trabalho foi utilizada uma eficiência de 75%. E por último, a quantidade de dias no mês, onde foi utilizado o valor padrão de 30 dias.

Através da aplicação da Equação 7 determina-se a potência de pico (Pp) instalada (kWp) necessária para atender a demanda da empresa.

$$P_p = \frac{C_m * G_{stc}}{H_{sp} * N_{dm} * E} \quad (7)$$

Onde: C_m = Consumo médio mensal da empresa (kWh); G_{stc} = Constante de irradiação solar (W/m²); H_{sp} = Horas de sol pleno ou Horas de sol pico (h); N_{dm} = Número de dias no mês; e E = Eficiência.

Após realizar o cálculo foi obtido o valor de 96,96531 kWp. Considerando um módulo fotovoltaico de 500 W, nós podemos calcular então o número de módulos que vão ser utilizados para suprir o consumo desta empresa. Ao realizar a divisão da potência média necessária pela potência do módulo escolhido, se obtém o valor de 194 módulos. O modelo de módulo fotovoltaico escolhido é o Sunova – SS500-66-MTF Para os inversores foi selecionado o modelo Fronius Eco 25.0-3-S trifásico de 25kW. Serão necessárias 03 unidades, visto que cada inversor consegue suportar 68 módulos para a configuração de 194 módulos, restando uma folga para 10 módulos caso seja de interesse do cliente.

O custo tanto do módulo como do inversor foi definido após analisar os valores em e-commerces e empresas que realizam a venda dos mesmos, respeitando o orçamento estabelecido em conversa com a indústria estudada. Assumindo o valor de R\$ 1.350,00 por unidade do módulo e R\$ 21.000,00 por

unidade do inversor, tem-se um custo total de R\$ 324.900,00 para a implementação deste sistema.

4.3.1 Análise resumida e ganho financeiro

A viabilidade econômica do projeto fotovoltaico foi determinada através da análise do Valor Presente Líquido (VPL), sendo considerado a Taxa Interna de Retorno (TIR), a economia gerada pelo sistema e o valor investido no projeto. Foi utilizado o software Excel para a fórmula do valor presente líquido e taxa interna de retorno. Será considerado 20 anos para o estudo financeiro, mas é importante ressaltar que as placas fotovoltaicas têm uma vida útil de 25 a 30 anos.

De acordo com a simulação realizada na planilha do Apêndice E, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 1.

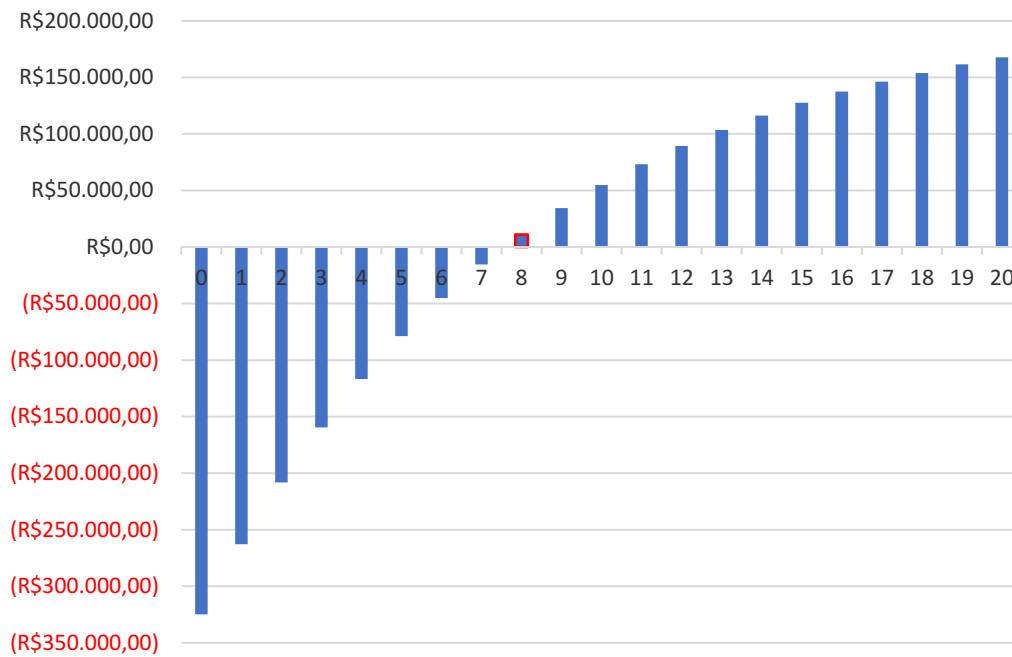
Tabela 1 – Resumo dos resultados VPL e TIR(Taxa de 13% a.a.)

	VALOR	Análise	Conclusão
VPL	R\$ 166.853,75	< 0	viável
TIR	21,08%	< TMA	viável

Fonte: Autoria própria.

Para um investimento ser considerável viável, o VPL deve ser um valor positivo dentro dos 20 anos, o que se concretiza para este caso, a VPL para o período de 20 anos foi de R\$ 166.853,75. Analisando a Taxa Interna de Retorno, tem-se a conclusão de que o investimento é viável, visto que o nosso resultado foi de 21,08%, ou seja, é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Para a análise de investimento pelo *Payback* descontado foi utilizada a planilha de simulação que pode ser observada no Apêndice E, para uma melhor visibilidade, os dados estão apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Payback Descontado

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com a Figura 7, o investimento já se paga no oitavo ano, significando que, pelo tempo de *Payback* descontado, o investimento é viável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise do ano de 2019 no presente estudo, foi possível perceber que a empresa está com uma demanda contratada muito acima do que realmente necessita. É pressentido que a empresa obtenha uma redução de custos significativa com a aplicação das recomendações de eficiência energética, através de um novo contrato com a concessionária.

As simulações realizadas para comparar os cenários existentes, conforme as modalidades tarifárias que a indústria pode ser encaixada, comprovaram que não é necessária readequação. Com este estudo conclui-se que o consumidor industrial estudado já está enquadrado na melhor modalidade tarifária.

Ao apresentar a demanda ótima ao gestor, ele comentou que pretende simular valores mais atualizados de consumo e demanda de energia a fim de verificar o valor otimizado.

A empresa possui grande território inutilizado, sendo passível de uma instalação fotovoltaica para suprir a sua demanda de energia. Com base na análise econômica, onde foi levado em consideração a vida útil do equipamento de 20 anos, o investimento se mostra viável, tendo um *Payback* descontado de 8 anos, um valor presente líquido com valor positivo de R\$ 166.853,75 e a taxa interna de retorno de 21,08%, sendo maior do que a taxa mínima de atratividade.

Após apresentada a viabilidade técnica econômica da usina fotovoltaica o *Board* executivo justificou que, por conta de a empresa estar situada em um terreno alugado, não existe uma alta prioridade para este tipo de investimento.

Como trabalhos futuros sugere-se:

- Considerar a viabilidade de adequação da empresa no Ambiente de Contratação Livre (ACL) em busca de maior economia nas despesas com energia elétrica;
- Realizar um estudo de caso para o investimento em geradores a diesel ou banco de baterias para suprir a demanda de energia da empresa no horário de ponta com adequação tarifária para horo sazonal azul;
- Construir as curvas de carga da indústria para identificação dos fatores de carga e de demanda usando um analisador de energia a fim de propor

alterações do processo produtivo e/ou promover a melhor gestão de energia pelo lado da demanda.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. A. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de um prédio comercial em Curitiba**. Monografia (Especialização em Energias Renováveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- ALVES, G. H. **Projeto e análise de viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial**. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2016.
- ANEEL. **Resolução normativa n. 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >
- ANEEEL, AID. **ANEEL define que Bandeira tarifária de julho custará R\$ 9,492 a cada 100 kWh**. 2021. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-define-que-bandeira-tarifaria-de-julho-custara-r-9-492-valor-sera-analisado-em-consulta-publica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/ >
- ANSER, M. K.; *et al.* The dynamic impact of renewable energy sources on environmental economic growth: evidence from selected Asian economies. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, v. 29, p. 3323-3335, nov. 2021.
- ARAÚJO, R. V. M. **Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado a uma fábrica de polpas de fruta**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- AL-SHAHRI, O. A.; *et al.* Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 1-15, dec. 2020.
- BATISTA, O. E. **Gestão Energética Industrial: Uma abordagem frente à inteligência Empresarial**. 84p. Trabalho de conclusão de Curso – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.
- BECKER, T. V. **Otimização da demanda e consumo de energia elétrica da universidade tecnológica federal do paraná – Campus Medianeira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

BORGES, Rafael Cruz et al. **Análise da estrutura tarifária de energia elétrica de uma unidade consumidora utilizando modelo de otimização para demanda contratada**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 10060-10071, 2020.

BRASIL. **Decreto n. 5.163, de 30 de julho de 2004**. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2004. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM >

BRASIL. **Resolução normativa ANEEL n. 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651> >

COPEL. Demanda. 2022. Disponível em: < <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/para-sua-empresa/demanda/> >

DA SILVA DIAS, André Luiz. **Microgeração distribuída para uso residencial com base em fontes de energia eólica e solar fotovoltaica**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE SOUZA, Andréa; GUERRA, Jorge Carlos Correa; KRUGER, Eduardo Leite. **Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico**. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 7, n. 12, p. 1-7, 2011.

ELETROBRÁS. O que é energia?. 2022. Disponível em: < <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/O-que-e-Energia.aspx> >

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021a. **Anuário estatístico2021: principais destaques desta edição**. 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf> >

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese 2021 – Ano base 2020**. 2021b. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf >

GUESSE, Marina Latini. **Dimensionamento de uma turbina eólica de eixo horizontal de pequeno porte aplicado a residências**. Projeto de graduação – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016.

IEA (International Energy Agency). Explore energy data by category, indicator, country or region. **Data and Statistics**. 2022. Disponível em: < <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=BRAZIL&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel> >

IEI (International Energy Initiative). Geração distribuída e eficiência energética. **Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. 2018. Disponível em: < <http://iei-brasil.org/wp-content/uploads/2018/01/Gera%C3%A7%C3%A3o-distribu%C3%ADa-e-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-Reflex%C3%B5es-para-o-setor-el%C3%A9trico-de-hoje-e-do-futuro.pdf> >

KOTO, S. M. **Fontes renováveis para a produção de energia elétrica no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: estudo de caso de duas fontes – eólica e fotovoltaica**. Monografia (Especialização em gestão ambiental e negócios no setor energético) – Pós-graduação em gestão ambiental e negócios no setor energético, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. England: John Wiley & Sons Ltd., 2003.

MASTOI, M. S.; *et al.* A Critical Analysis of the Impact of Pandemic on China's Electricity Usage Patterns and the Global Development of Renewable Energy. **Int J Environ Res Public Health**, v. 19, n. 8, p. 1-30, apr. 2022.

MAUAD, FERREIRA, TRINDADE. **Energia Renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Saiba como funcionam as bandeiras tarifárias de energia elétrica**. 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funcionam-as-bandeiras-tarifarias-de-energia-eletrica#:~:text=ENERGIA%20EL%C3%89TRICA-,Saiba%20como%20funcionam%20as%20bandeiras%20tarif%C3%A1rias%20de%20energia%20el%C3%A9trica,oportunidade%20de%20adaptar%20seu%20consumo> >

>

OLIVEIRA, A. C. **Comunidades de energia renovável como mecanismo de mitigação ambiental no setor industrial**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2022.

OLIVEIRA, A. M.; MARIO, M. C.; PACHECO, M. T. T. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 257-272, jan. 2021.

PARAMATI, S. R.; SHAHZAD, U.; DOGAN, B. The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: Evidence from OECD countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 153, p. 1-9, sept. 2021.

PEREIRA, Tiago de Oliveira et al. **Análise de viabilidade econômica da microgeração distribuída fotovoltaica no Brasil**. Programa de pós-graduação em energias e ambiente. Universidade Federal do Maranhão. 2018.

PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Manual de tarifação da energia elétrica. 2001. Disponível em: <
<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/7502/material/Apostila%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20II%20Manual%20de%20Tarifacao.pdf> >

RIBEIRO, R. P. **Estudo de caso: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Automoção Industrial), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas, Araxá, 2016.

SANTIAGO, I.; *et al.* Electricity demand during pandemic times: The case of the COVID-19 in Spain. **Energy Policy**, v. 128, p. 1-18, Oct. 2020.

SILVA, A. B.; SILVA, E. L. **Dimensionamento simplificado de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica para uma residência unifamiliar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2013.

STEFANELLO, C.; MARANGONI, F.; ZEFERINO, C. L. A importância das políticas públicas para o fomento da energia solar fotovoltaica no Brasil. *In*: Congresso Brasileiro de Energia Solar. 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado: UTFPR, 2018. p. 1-10.

SUN, H.; *et al.* Estimating Persistent and Transient Energy Efficiency in Belt and Road Countries: A Stochastic Frontier Analysis. **Energies**, v. 13, n. 15, p. 1-19, jul. 2020.

VIANA, M. B.; TAVARES, W. M.; LIMA, P. C. R. **Sustentabilidade e as principais fontes de energia**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2015.

WHO (World Health Organization). 2021. Coronavirus disease. Disponível em: <
<https://www.who.int/health-topics/coronavirus> >

APÊNDICE A – BASE DE DADOS DEMANDA E CONSUMO

Tabela 2 – Demanda e consumo registrado de ponta e fora ponta - ELEKTRO (2019)

Mês	DP (kW)	DFP (kW)	CP (kWh)	CFP (kWh)
Jan/19	28,33	71,63	412	7072
Fev/19	10,82	74,19	299	9795
Mar/19	31,78	71,24	831	13244
Abr/19	28,83	74,98	529	10546
Mai/19	30,3	75,07	881	13436
Jun/19	46,64	80,09	625	11092
Jul/19	13,48	63,66	381	8654
Ago/19	42,01	64,05	774	11818
Set/19	14,56	71,93	393	9875
Out/19	11,8	76,85	389	10441
Nov/19	23,02	69,96	503	10850
Dez/19	17,31	59,43	405	9229

APÊNDICE B – SIMULAÇÃO TARIFÁRIA MODALIDADE VERDE

		Verde	Demanda	Consumo de Energia		Ultrapass. Demanda	
		Subgrupo	D (R\$/kW)	CP (R\$/kW)	CFP (R\$/kW)	D (R\$/kW)	
		A4	18,98	1,598549	0,31129	37,96	
Demanda Contratada (kW)							
90							
			Pagamento Demanda		Pagamento Consumo		
Mês	Demanda (kW)	Teste Lógico	Demanda	Dem Ultrapass.	Consumo Ponta	Consumo FP	Valor Total Mensal
jan/19	71,63	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 658,60	R\$ 2.201,44	R\$ 4.568,25
fev/19	74,19	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 477,97	R\$ 3.049,09	R\$ 5.235,25
mar/19	71,24	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 1.328,39	R\$ 4.122,72	R\$ 7.159,32
abr/19	74,98	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 845,63	R\$ 3.282,86	R\$ 5.836,70
mai/19	75,07	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 1.408,32	R\$ 4.182,49	R\$ 7.299,01
jun/19	80,09	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 999,09	R\$ 3.452,83	R\$ 6.160,12
jul/19	63,66	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 609,05	R\$ 2.693,90	R\$ 5.011,15
ago/19	64,05	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 1.237,28	R\$ 3.678,83	R\$ 6.624,30
set/19	71,93	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 628,23	R\$ 3.073,99	R\$ 5.410,42
out/19	76,85	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 621,84	R\$ 3.250,18	R\$ 5.580,21
nov/19	69,96	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 804,07	R\$ 3.377,50	R\$ 5.889,77
dez/19	59,43	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 647,41	R\$ 2.872,90	R\$ 5.228,51
						Valor Total Anual	R\$ 70.003,01

APÊNDICE C – SIMULAÇÃO TARIFÁRIA MODALIDADE AZUL

Demanda Contratada		Azul		Demanda		Consumo de Energia		Ultrapass. Demanda			
Ponta	Fora Ponta	Subgrupo	DP (R\$/kW)	DFP (R\$/kW)	OP (R\$/kW)	OFP (R\$/kW)	DP (R\$/kW)	DFP (R\$/kW)			
25	90	A4	46,18	18,98	0,47353	0,31129	92,36	37,96			
Pagamento Demanda Ponta											
Mês	Demanda Ponta (kW)	Teste Lógico	Demanda	Dem Ultrapass.	Demanda FP (kW)	Teste Lógico	Demanda	Demanda Ultrapass.	Consumo Ponta	Consumo Fora de Ponta	Valor Total Mensal
jan/19	28,33	2	R\$ 1.154,50	R\$ 307,56	71,63	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 195,09	R\$ 2.201,44	R\$ 5.566,80
fev/19	10,82	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	74,19	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 141,59	R\$ 3.049,09	R\$ 6.053,37
mar/19	31,78	2	R\$ 1.154,50	R\$ 626,20	71,24	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 393,50	R\$ 4.122,72	R\$ 8.005,13
abr/19	28,83	2	R\$ 1.154,50	R\$ 353,74	74,98	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 250,50	R\$ 3.282,86	R\$ 6.749,80
mai/19	30,3	2	R\$ 1.154,50	R\$ 489,51	75,07	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 417,18	R\$ 4.182,49	R\$ 7.951,88
jun/19	46,64	2	R\$ 1.154,50	R\$ 1.998,67	80,09	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 295,96	R\$ 3.452,83	R\$ 8.610,16
jul/19	13,48	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	63,66	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 180,41	R\$ 2.693,90	R\$ 5.737,02
ago/19	42,01	2	R\$ 1.154,50	R\$ 1.571,04	64,05	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 366,51	R\$ 3.678,83	R\$ 8.479,08
set/19	14,56	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	71,93	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 186,10	R\$ 3.073,99	R\$ 6.122,79
out/19	11,8	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	76,85	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 184,20	R\$ 3.250,18	R\$ 6.297,08
nov/19	23,02	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	69,96	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 238,19	R\$ 3.377,50	R\$ 6.478,38
dez/19	17,31	0	R\$ 1.154,50	R\$ -	59,43	0	R\$ 1.708,20	0	R\$ 191,78	R\$ 2.872,90	R\$ 5.927,38
Valor Total										R\$ 81.978,86	

APÊNDICE D – DEMANDA CONTRATADA OTIMIZADA

Demanda Contratada(kW)		Tarifa Verde			
72		Demanda (R\$)	Dem. Ultrapass. (R\$)	Consumo Ponta (R\$)	Consumo FP (R\$)
		R\$ 17,92	R\$ 35,84	R\$ 1,59	R\$ 0,39
			Pagamento		
Mês	Demanda (kW)	Teste Lógico	Demanda	Dem Ultrapass.	Total (R\$)
jan/19	71,63	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
fev/19	74,19	1	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
mar/19	71,24	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
abr/19	74,98	1	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
mai/19	75,07	1	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
jun/19	80,09	2	R\$ 1.290,24	R\$ 289,95	R\$ 1.580,19
jul/19	63,66	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
ago/19	64,05	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
set/19	71,93	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
out/19	76,85	2	R\$ 1.290,24	R\$ 173,82	R\$ 1.464,06
nov/19	69,96	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
dez/19	59,43	0	R\$ 1.290,24	R\$ -	R\$ 1.290,24
				TOTAL (R\$)	R\$ 15.946,65

