



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS - *CAMPUS*  
AVANÇADO ITABIRITO  
ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO FORNECIMENTO  
DE ENERGIA ENTRE O MERCADO LIVRE E A GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**BÁRBARA SANTOS DA SILVA**

Itabirito MG  
Agosto 2023

BÁRBARA SANTOS DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO FORNECIMENTO  
DE ENERGIA ENTRE O MERCADO LIVRE E A GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Orientador:** Prof. Dr. Eduardo José de Araújo.

Itabirito - MG  
Agosto 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586e Silva, Bárbara Santos da  
2023

Estudo comparativo da viabilidade econômica do fornecimento de energia entre o mercado livre e a geração fotovoltaica. – 2023.

63 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica)  
– Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais –  
Campus Avançado Itabirito, 2023.

Orientador: Dr. Eduardo José de Araújo.

1. Energia elétrica. 2. Geração distribuída. 3. Mercado livre de energia. 4. Sistema de geração fotovoltaica. I. Silva, Bárbara Santos da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito. III. Título.

CDD 621.319

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Avançado Itabirito**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes do Campus Avançado Itabirito**  
Rua José Benedito, 139 - Bairro Santa Efigênia - CEP 35450-000 - Itabirito - MG  
- www.ifmg.edu.br

Ata da Defesa de TCC da aluna Bárbara Santos da Silva,  
realizada em 18 de Agosto de 2023

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Avançado Itabirito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Aprovado** em 18/08/2023 pela banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo José de Araújo (IFMG)  
**Orientador (presidente da banca avaliadora)**

Prof. Me. Maicon Vaz Moreira (IFMG)  
**Membro avaliador**

Prof. Me. William Caires Silva Amorim (IFMG)  
**Membro avaliador**

Itabirito, 18 de agosto de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **William Caires Silva Amorim, Professor**, em 18/08/2023, às 18:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo José de Araújo, Professor**, em 18/08/2023, às 18:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Maicon Vaz Moreira, Professor**, em 18/08/2023, às 18:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1641297** e o código CRC **60D5167B**.

# Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de viver o mundo universitário, por guiar meus pensamentos e pela proteção divina. A minha família pelo apoio contínuo durante todo o período, por partilhar forças e palavras de incentivo. cursar a engenharia elétrica no IFMG me permitiu desenvolver tanto profissionalmente quanto pessoalmente. Durante a trajetória encontrei grandes professores, digo mestres, que com muita paciência e dedicação compartilharam os seus conhecimentos. Fica aqui o meu reconhecimento para cada um de vocês e minha eterna gratidão. E também para os servidores, que sem eles não teríamos uma instituição tão bem organizada. Como essencial, agradeço a todos os amigos que tive a oportunidade de conhecer, desde a UFSJ, até o IFMG, vocês tornaram os dias mais leves, transformaram momentos simples em grandiosos. Obrigada ao quarteto do IFMG por me receber tão bem, e me apoiar até o final. E por fim, ao Eduardo por ser meu orientador neste trabalho de conclusão de curso.

*“O sucesso começa com um sonho, do sonho para a meta, da meta para a disciplina, da disciplina para a persistência e da persistência para a conquista”*

# Resumo

Este trabalho visa realizar um estudo comparativo entre o mercado livre de energia e a geração fotovoltaica, voltado principalmente para pessoa jurídica, mas que também pode ser aplicado para pessoa física. A motivação do tema é devido a importância de ampliar o entendimento para o crescimento da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis e sustentáveis. O presente trabalho e todas as discussões aqui ditas, estarão embasadas em conhecimentos e políticas presentes no Brasil. Nesse contexto, o tema visa apresentar o mercado livre de energia que permite ao consumidor fazer a compra da energia, sem necessariamente ser dependente à uma distribuidora. Para o mercado livre de energia, a energia contratada pode ser tanto convencional, por exemplo as hidrelétricas e termelétricas, quanto provenientes de fontes incentivadas como a biomassa, solar e eólica. Como a energia vinda de incentivo possui descontos financeiros pelo governo para o investidor, ela se torna atrativa, aumentando consequentemente o consumo de energia através de fontes alternativas. Além da possibilidade de adquirir a energia direto do fornecedor, atualmente no Brasil, há a possibilidade de o consumidor investir na construção da sua própria usina provinda de fontes renováveis, opção que também se tornou viável após os incentivos governamentais. Para esse segmento, a energia solar se destaca devido às condições climáticas e também devido a facilidade para compra dos componentes principais como módulos fotovoltaicos e inversores para desenvolvimento da geração solar. Visando ambas as possibilidades de consumo de energia elétrica que fomentam as energias renováveis e também redução significativa com os gastos da mesma, o trabalho apresenta o estudo de caso para um perfil de consumidor que pode auxiliar na tomada de decisão de outros consumidores. Concluiu-se que tanto o mercado livre de energia quanto a energia fotovoltaica, são ambas vantajosas em relação a sustentabilidade, preços mais acessíveis do que consumir energia de forma convencional, regulamentação conforme a lei, negociação flexível, fácil instalação após obter os conhecimentos necessários. Por outro lado, com a constante evolução do mercado livre e por este não precisar de investimento inicial, se torna mais viável do que a construção de projeto fotovoltaico, acumulando um maior montante financeiro.

**Palavras-chave:** Energia elétrica, Geração distribuída, Mercado livre de energia, sistema de geração fotovoltaica.

# Abstract

This work aims to carry out a comparative study between the free energy market and photovoltaic generation, mainly aimed at legal entities, but which can also be applied to individuals. The motivation of the theme is due to the importance of expanding the understanding for the growth of electricity generation through renewable and attractive sources. The present work and all the discussions mentioned here will be based on knowledge and policies present in Brazil. In this context, the theme aims to present the free energy market that allows the consumer to purchase energy, without necessarily being dependent on a distributor. For the free energy market, contracted energy can be both conventional, for example hydroelectric and thermoelectric, and sources from incentivized sources such as biomass, solar and wind. As the energy coming from incentive has financial resources by the government for the investor, it becomes charged, consequently increasing energy consumption through alternative sources. In addition to the possibility of purchasing energy directly from the supplier, currently in Brazil, there is the possibility for consumers to invest in building their own plant from renewable sources, an option that also became viable after the electrical incentives. For this segment, solar energy stands out due to climatic conditions and also due to the ease of purchase of the main components such as photovoltaic modules and inverters for the development of solar generation. Aiming at both the possibilities of electricity consumption that encourage renewable energies and also a significant reduction in its costs, the work presents a case study for a consumer profile that can help other consumers in decision making. It was concluded that both the free energy market and photovoltaic energy are both advantageous in terms of sustainability, more affordable prices than conventionally consuming energy, regulation according to the law, flexible negotiation, easy installation after obtaining the necessary knowledge. On the other hand, with the constant evolution of the free market and because of this lack of initial investment, it becomes more viable than building a photovoltaic project, accumulating a greater financial amount.

**Keywords:** Electricity, Distributed generation, Free energy market, photovoltaic generation system.

# Lista de figuras

Figura 1 – Sistema elétrico de potência típico (BEZERRA, 2018). . . . .	1
Figura 2 – Fontes primárias da matriz energética brasileira (ANEEL, 2023a). . . . .	6
Figura 3 – Evolução da produção e oferta interna de energia elétrica 1970 a 2018 (MME and EPE, 2022). . . . .	10
Figura 4 – Dados de potência da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2023) . . . . .	11
Figura 5 – Evolução matriz elétrica brasileira 1970 a 2018 (MME and EPE, 2022). . . . .	12
Figura 6 – Sistema de compensação de energia elétrica na geração distribuída (JUNIOR et al., 2020). . . . .	13
Figura 7 – Fontes utilizadas para geração de energia micro e minigeração distribuída (MME and EPE, 2022). . . . .	14
Figura 8 – Passo a passo mercado livre de energia (Autoria própria). . . . .	17
Figura 9 – Atuação do comercializador de energia elétrica (ALMEIDA, 2018). . . . .	19
Figura 10 – Novas unidades consumidoras no ACL no período 2015-2021 (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023). . . . .	21
Figura 11 – Comparativo entre consumidores livres e especiais no período entre 2015 a 2021 (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023). . . . .	21
Figura 12 – Potencial consumidores (Grupo A) para entrada no mercado livre de energia (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023). . . . .	22
Figura 13 – Representação gráfica da definição de montantes e vigências (CCEE e ANEEL, 2019). . . . .	23
Figura 14 – Representação gráfica da modulação (CCEE e ANEEL, 2019). . . . .	24
Figura 15 – Representação gráfica de modulação <i>flat</i> realizada pelo sistema (CCEE e ANEEL, 2019). . . . .	24
Figura 16 – Composição conta de energia elétrica (CEMIG, 2022). . . . .	26
Figura 17 – Composição conta mercado cativo (RIZKALLA, 2018). . . . .	26
Figura 18 – Composição da TUSD (MEC, 2018). . . . .	29
Figura 19 – Fluxograma atividades (Autoria própria). . . . .	31
Figura 20 – Sistema de minigeração fotovoltaica <i>grid-tie</i> (GUSMAN et al., 2018). . . . .	32
Figura 21 – Composição da tarifa de energia (SMART, 2017). . . . .	39
Figura 22 – Indústria DEL REY Minerals (DEL REY, 2022). . . . .	43
Figura 23 – Consumo HP, HFP e total da empresa DEL REY Minerals (Autoria própria). . . . .	45
Figura 24 – Comparativo entre a demanda contratada e a demanda consumida da empresa DEL REY Minerals (Autoria própria). . . . .	46
Figura 25 – Comparação TE entre ACR e ACL . . . . .	53
Figura 26 – Diferença do custo da conta de energia entre os mercados cativo e livre para a DEL REY (Autoria própria). . . . .	54

Figura 27 – Diferença do acumulado financeiro entre mercado livre e geração fotovoltaica (TMA = 8% ) (Autoria própria). . . . .	56
Figura 28 – Diferença do acumulado financeiro entre mercado livre e geração fotovoltaica (TMA = 5%) (Autoria própria). . . . .	57

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Variáveis para cálculo da conta de energia . . . . .	40
Tabela 2 – Informações conta de energia DEL REY . . . . .	43
Tabela 3 – Histórico de consumo energia elétrica da empresa DEL REY . . . . .	44
Tabela 4 – Dados de irradiação média Itabirito-MG . . . . .	46
Tabela 5 – Dados técnicos do módulo fotovoltaico . . . . .	47
Tabela 6 – Resultados do dimensionamento dos módulos fotovoltaicos . . . . .	47
Tabela 7 – Dados técnicos dos inversores . . . . .	47
Tabela 8 – Resultados do dimensionamento dos inversores . . . . .	48
Tabela 9 – Compilação dos custos para geração fotovoltaica da empresa DEL REY . . . . .	48
Tabela 10 – Tarifas aplicáveis para modalidade A4 Verde - CEMIG (ANEEL, 2023b). . . . .	48
Tabela 11 – Valores para TUSD Fio A e Fio B . . . . .	49
Tabela 12 – Especificações fluxo de caixa - geração fotovoltaica . . . . .	50
Tabela 13 – Fluxo de caixa geração fotovoltaica da empresa DEL REY . . . . .	50
Tabela 14 – Conta ACR da empresa DEL REY . . . . .	51
Tabela 15 – Valores médios para conta ACR da empresa DEL REY . . . . .	52
Tabela 16 – Valores máximos para conta ACR da empresa DEL REY . . . . .	52
Tabela 17 – Valores MWh referênte a TE no mercado livre . . . . .	52
Tabela 18 – Conta ACL da empresa DEL REY . . . . .	53
Tabela 19 – Fluxo de caixa mercado livre de energia da empresa DEL REY . . . . .	55
Tabela 20 – Acumulado final mercado livre e a geração fotovoltaica (8% rendimento) . . . . .	55
Tabela 21 – Acumulado final mercado livre e a geração fotovoltaica (5% rendimento) . . . . .	56

# Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
PROINFA	Programa de incentivo às Fontes de Energia
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
UFV	Central Geradora Fotovoltaica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
EOL	Usina Eólica
UTE	Central Geradora Térmica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia de grande porte
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UTN	Usina Termonuclear
CGU	Central Geradora Undi-Elétrica
BNDS	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
IBOPE	Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística
GD	Geração Distribuída
MMGD	Micro e Minigeração distribuída
ABRACEEL	Associação brasileira dos comercializadores de energia
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
OIE	Oferta Interna de Energia

PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
CEEAL	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre
SLC	Sistema de Liquidação de Compensação
MRE	Mecanismo de realocação de energia
SMF	Sistema de Medição para Faturamento
PERS	Programa de Energia Renovável Social

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>4</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do Texto</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Recursos Energéticos</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Evolução da Geração de Energia Elétrica no Brasil</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Geração Distribuída</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Energia Solar Fotovoltaica</b>	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>Mercado Livre de Energia</b>	<b>16</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Requisitos de demanda</b>	<b>19</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Comparativo entre consumidores livres e especiais</b>	<b>21</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Modelos de contrato</b>	<b>22</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Adequação do sistema para medição do faturamento</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>Composição da conta de energia</b>	<b>25</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Tarifa de energia (TE)</b>	<b>26</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD)</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede</b>	<b>32</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Dimensionamento dos inversores</b>	<b>34</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Dimensionamento dos condutores</b>	<b>35</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Análise de viabilidade econômica- projeto fotovoltaico</b>	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>Análise de Consumo e Viabilidade Econômica para Entrada no Mercado Livre de Energia</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Método do ponto de equilíbrio</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Análise de viabilidade econômica - mercado livre</b>	<b>42</b>
<b>3.3</b>	<b>Estudo de Caso</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados da Geração Fotovoltaica</b>	<b>44</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Análise do investimento da geração fotovoltaica</b>	<b>48</b>

<b>4.2</b>	<b>Análise de investimento do Mercado Livre . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Análise do investimento no mercado livre . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>58</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>59</b>

# 1 Introdução

Ao longo do processo de desenvolvimento no Brasil, o setor elétrico tem passado por mudanças contínuas, abrangendo a geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia. Tais mudanças são decorrentes do crescimento acelerado das indústrias e populacional. Desse modo, surge a necessidade de desenvolver novas tecnologias e políticas de ampliação da infraestrutura energética para atender a demanda do consumo de energia elétrica (LIMA, 2011). Neste cenário de alta demanda energética, novas usinas de geração de energia deverão ser construídas. Além disso, outros componentes são necessários para o funcionamento do sistema elétrico, como, linhas de transmissão, subestações transmissoras e distribuidoras, elementos fundamentais que constituem o sistema de potência.

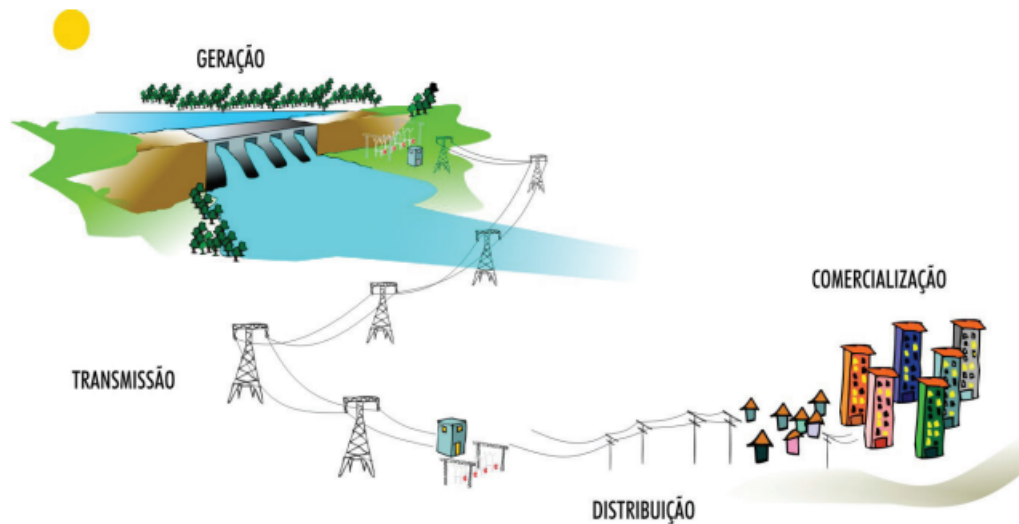


Figura 1 – Sistema elétrico de potência típico (BEZERRA, 2018).

O fluxo da construção do sistema elétrico passa por algumas etapas, de geração, distribuição e comercialização da energia elétrica, ilustrado pela Figura 1. A geração da energia elétrica parte de fontes tradicionais, por exemplo, gás natural, petróleo, carvão mineral e água. No Brasil, grande parte da geração é proveniente de usinas hidrelétricas, tendo como a maior usina, a hidrelétrica de Itaipu, situada em Foz de Iguaçu com uma capacidade de 12.600 MW (SOUZA; AL., 2019). Além das grandes hidrelétricas, há as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas), situadas em regiões rurais para uma geração em pequena escala (FLESCH et al., 2022).

A geração de energia elétrica por hidrelétrica, apesar de ser considerada uma fonte limpa de geração de energia, apresenta um grande impacto ambiental na sua construção, como, o alagamento de grandes áreas e desmatamentos. Além disso, pode prejudicar comunidades locais. Essa fonte de energia se tornou predominante no país devido aos amplos mananciais de água

disponíveis em cada região. Uma desvantagem dessa fonte é a escassez de chuva, deixando as represas com baixos níveis de água e diminuindo sua força na geração da energia.

Devido aos problemas da geração de energia através de usinas hidrelétricas somado ao crescimento populacional, há uma busca e interesse do estado em desenvolver novas alternativas para a geração de energia limpa e renovável. Isso através de outras fontes de geração de energia, como solar e eólica. O Brasil é um país com boa incidência de irradiação solar. Esse foi um dos motivos para a integração de fontes renováveis dependentes desse fator entrar na matriz energética brasileira.

Um marco inicial significativo ocorreu com a regulamentação da micro e minigeração distribuída em 2012, desencadeando a descentralização da geração de energia elétrica. Nesse contexto, foram implementadas políticas e estímulos. Essas medidas incluíram isenções tributárias relevantes, como a dispensa de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), aplicada à energia produzida por sistemas de energia solar fotovoltaica, por exemplo.

Além disso, foi promovido o incentivo ao consumo através de fontes de energia sustentável por meio do mercado livre de energia, quando houve a abertura para os consumidores livres, em 2004, mas o mercado somente cresceu, após 2013 quando foi aprovada a criação da figura do comercializador varejista, que pode representar consumidores de qualquer porte de carga na CCEE, diminuindo a necessidade do consumidor ser vinculado a CCEE para negociar a energia. Esses consumidores tem a obrigatoriedade de adquirir energia proveniente de fontes incentivadas, contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

O sistema de transmissão de energia é a etapa seguinte a geração. Esse sistema é conectado ao processo de distribuição, tendo como função levar a energia elétrica ao consumidor final. Após essas etapas tem-se a comercialização da energia, sendo um processo que regulamenta como o conjunto da geração, transmissão e distribuição de energia serão tarifados para que o consumidor final possa utilizar a energia elétrica. Atualmente, o Brasil possui dois modelos de comercialização de energia:

- Ambiente de Contratação Regulado (ACR): conhecido como mercado cativo é o principal mercado de energia do país, onde o consumidor é atrelado ao contrato da distribuidora de seu estado ou cidade, por exemplo, Cemig, Light, EDP, entre outras;
- Ambiente de Contratação Livre (ACL): ambiente em que é permitido a negociação da tarifa de energia elétrica com diversos fornecedores e de diversas fontes elétricas.

Em 13 de agosto de 1993, ocorreu a primeira grande evolução da comercialização de energia elétrica no Brasil. Foi a publicação da resolução 265 que regulamentou o ACL, mais conhecido como mercado livre de energia, no qual consumidores, caso atinjam aos pré-requisitos necessários, passaram a ter a opção de comprar energia através de uma comercializadora de qualquer parte do país, que agregue o melhor custo x benefício. Sendo assim, maior liberdade

contratual, com a redução dos custos da energia, tendo o valor por kWh mais acessível comparando com a distribuidora local.

A flexibilidade para escolha do modelo contratual beneficiou principalmente às pessoas jurídicas (CNPJ) em função da regularização do mercado livre de energia, visto que, o consumo de energia elétrica em muitas companhias são responsáveis por grande parte dos gastos. Além disso, o mercado livre de energia possibilitou um novo modelo de investimento, onde qualquer empresa, dentro das normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pode gerar e fornecer energia elétrica para outras empresas. As usinas construídas para geração de energia elétrica podem ser tanto de fontes não renováveis, quanto de fonte renováveis.

Outro grande avanço do setor elétrico brasileiro, ocorreu no dia 17 de abril de 2012 com a publicação da Resolução Normativa nº 482, ou RN/482. Instituída pela ANEEL, a norma permite que o consumidor possa gerar sua própria energia, conectada à rede de distribuição. Além de conceder a permissão, outro fator importante foi a isenção de alguns impostos, como a isenção de IPI e/ou ICMS, apoio do BNDES e redução do imposto de importação para compra de peças necessárias a fim de construir uma fazenda para geração de energia. Essa resolução foi vantajosa para diferentes públicos:

- Investidores: os quais desejam construir usinas solar e fornecer energia para empresas;
- Empresários: indústrias que procuram ter autonomia energética com sua própria fonte de energia elétrica;
- Consumidores residenciais: os que desejam economizar na conta de energia, seja por investimento na sua própria geração, ou aluguel de energia de fontes renováveis através de empresas investidoras.

Com os incentivos governamentais, o crescimento do setor energético por geração de energia solar fotovoltaica obteve um grande crescimento nos últimos anos. Em 2012, ano em que foi publicado a resolução normativa, a potência instalada no país de energia solar fotovoltaica ao todo era de 7 MW, em 2023, o Brasil alcançou a marca de 29 GW, ocupando o segundo lugar da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2023). Esses dados são para geração de energia solar fotovoltaica através da geração distribuída. Contudo, os aspectos citados anteriormente apresentaram um grande passo para que o Brasil pudesse avançar no desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis. Em especial a energia solar fotovoltaica, fonte dependente da irradiação solar, que está disponível na maior parte do território brasileiro e considerada de fácil instalação.

Este trabalho busca estudar e analisar os aspectos entre o mercado livre de energia e a geração fotovoltaica. Além disso, abranger os aspectos financeiros, bem como das vantagens e desvantagens dentro desse cenário. Por fim, a fim de estabelecer uma comparação entre os pontos

destacados, será conduzido um estudo de caso aplicado a uma indústria. O objetivo é avaliar se é mais vantajoso para a empresa buscar a aquisição de energia no mercado livre ou embarcar na construção de uma fazenda solar própria por meio da geração distribuída.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar estudo de viabilidade econômica comparativo entre o mercado livre de energia e a geração fotovoltaica para uma indústria no ramo da mineração.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Apresentar o histórico e conceitos gerais relacionados a geração e comercialização de energia;
- Apresentar as normas que regulamentam o mercado livre de energia e a geração fotovoltaica;
- Realizar análise de investimento mercado livre de energia e geração fotovoltaica;
- Descrever as vantagens e desvantagens entre mercado livre de energia e geração fotovoltaica.

## **1.2 Justificativa**

Considerando o contexto apresentado, este trabalho busca realizar um estudo comparativo do fornecimento de energia elétrica no mercado livre com a geração fotovoltaica. Como há um crescimento acelerado das indústrias, nas últimas décadas houve uma necessidade de buscar novas fontes de energia. Uma pesquisa feita em 2014, divulgada pelo Ibope e da Associação dos Comercializadores de Energia, mostrou que 88% das pessoas entrevistadas consideravam a energia elétrica cara ou muito cara. Sendo assim, fontes alternativas para o consumo de energia elétrica, como a geração fotovoltaica, podem impactar no preço final da energia e, conseqüentemente, chegar com um preço mais acessível para o consumidor final.

No decorrer dos últimos anos, o Brasil passou por grandes mudanças no setor elétrico, que permitiu o avanço nas energias de fontes renováveis no país e oportunizou ao consumidor, seja ele físico ou jurídico, liberdade para escolher de qual empresa consumir energia elétrica e, conseqüentemente, economizar. O problema é que a maioria dos brasileiros não têm conhecimento sobre as opções disponíveis para reduzir os valores da sua conta de energia e usufruir destas possibilidades. Sendo assim, a grande parte da população ainda continua consumindo energia elétrica de maneira convencional e muitas pessoas acreditam que para ter energia renovável é necessário alto investimento. Além do fator econômico, as modalidades de energia que serão abordadas no estudo têm um papel importante com o compromisso global de redução de emissão

de dióxido de carbono na atmosfera, um dos temas mais discutidos atualmente dentro da pauta ESG (*Environmental, Social and corporate Governance*), que preza pela condução de uma organização concretamente fundamentada em aspectos ambientais, sociais e administração da empresa.

### **1.3 Organização do Texto**

Quanto a estrutura deste estudo, ele é dividido em cinco capítulos, sendo:

- Capítulo 1: introdução onde foram apresentados o tema, o objetivo e justificativa;
- Capítulo 2: revisão bibliográfica com referências teóricas, normas e leis;
- Capítulo 3: metodologia utilizada para o estudo de caso;
- Capítulo 4: resultados com a metodologia aplicada para a indústria;
- Capítulo 5: conclusão do tema abordado apontando se os objetivos foram alcançados e sugestões para pesquisas futuras.

## 2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo traz uma revisão bibliográfica que aborda o contexto histórico da geração e comercialização de energia, além de destacar as normas e leis essenciais para a realização do estudo de caso em uma indústria.

### 2.1 Recursos Energéticos

Segundo (GOMES; VIEIRA, 2012), a energia é entendida como a capacidade de gerar trabalho, além disso, é medida em unidades de trabalho com equivalência em potência. As fontes de energia que o homem tem conhecimento podem ser classificadas em primárias e secundárias. As fontes primárias, segundo (CHAVES, 2021), são originadas de processos essenciais da natureza, tais como a energia gravitacional, dos núcleos dos átomos e a energia liberada pelo sol, todas as formas encontradas na natureza podem ser visualizadas através da Figura 2. As fontes primárias de energia são comumente agrupadas em fontes renováveis (que não se esgotam, a exemplo do sol e do vento) e em fontes não renováveis (que são finitas, tais como o petróleo) (EPE, 2023).

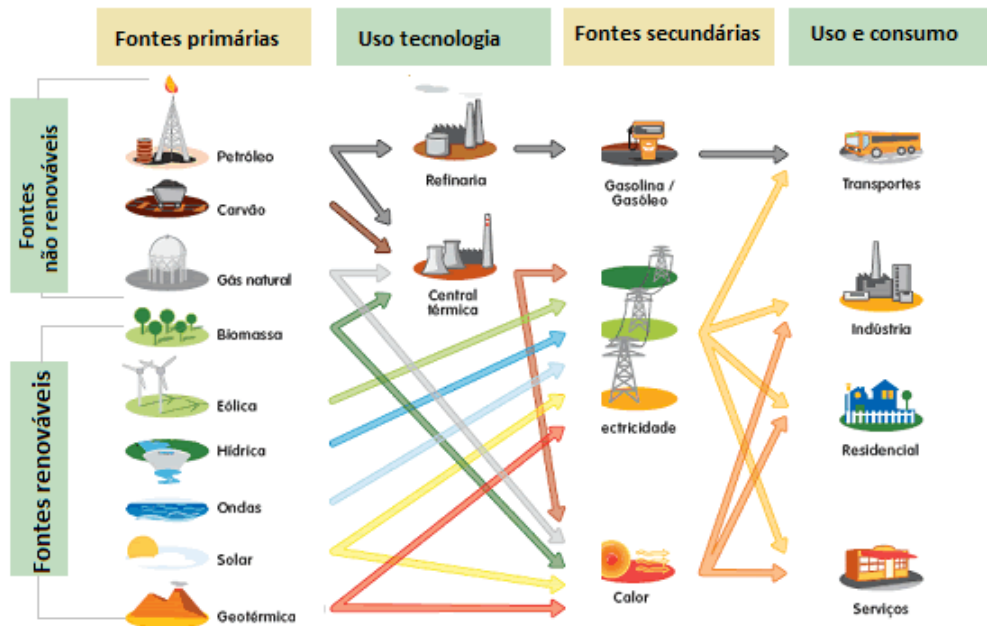


Figura 2 – Fontes primárias da matriz energética brasileira (ANEEL, 2023a).

Para que as fontes primárias se transformem em fontes secundárias é necessário o uso da

tecnologia, como por exemplo, para o petróleo se transformar em gasolina, passa pelo processo de uma refinaria. Outro exemplo, é a fonte eólica que para ser transformada em eletricidade, precisa de uma usina eólica que contém estrutura onde ocorre a conversão da energia cinética em energia elétrica, através do movimento das pás quando os ventos batem nas mesmas. Existe também, a energia primária consumida diretamente sem a necessidade de processos, como as lenhas que são utilizadas em fogões. As fontes secundárias são aquelas que sofreram algum tipo de transformação, tendo como destino os diversos setores de consumo, como transporte, indústria, residências e serviços. Além disso, pode ocorrer casos em que a fonte secundária passa por outro processo de transformação.

O conjunto de fontes utilizadas para suprir a demanda da energia, para diversos usos como combustíveis de veículos, gás de cozinha, aquecimento e eletricidade é chamado de matriz energética. Já a matriz elétrica são as fontes utilizadas para geração de energia elétrica, ou seja, a matriz elétrica é parte da matriz energética. A participação dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial vem sendo objeto das mais elevadas preocupações ambientais. É nesse contexto que o Brasil, detentor de uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, pode e deve contribuir e, mais do que isso, monetizar uma experiência indubitavelmente de vanguarda no uso de alternativas que não utilizam combustíveis fósseis como matéria prima para sua geração.

É importante mencionar que energia alternativa e energia renováveis não possuem o mesmo conceito. Energias renováveis são aquelas que não se esgotam facilmente, e a energia alternativa não contribui com emissão de gás carbônico e conseqüentemente agravamento do efeito estufa. Algumas das fontes que contemplam os dois conceitos são a fonte solar, eólica, hídrica e geotérmica.

O tema em discussão concentra-se na matriz elétrica. No cenário atual, observa-se um conjunto diversificado de usinas que empregam várias fontes primárias para compor essa matriz elétrica:

- Usina Hidrelétrica de grande porte (UHE), exemplificada pela notável Usina de Itaipu, a qual tem uma capacidade de produção superior a 30MW por hora. Sua fonte primária é hídrica e, seu funcionamento se baseia na conversão das forças das águas em energia elétrica. Contudo, é importante mencionar que a construção de UHEs apresenta desvantagens, incluindo impactos ambientais e sociais. Por outro lado, uma de suas principais vantagens é ser uma fonte de energia limpa e renovável;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), com potência instalada variando entre 5MW e 30MW, também merecem destaque. Seu funcionamento assemelha-se ao das UHEs, aproveitando o potencial da água para a geração de energia elétrica. Entretanto, é crucial observar que as PCHs apresentam um impacto ambiental e social consideravelmente menor em comparação com as UHEs;

- Central Geradora Hidrelétrica (CGH): São as usinas hidrelétricas de menor porte em relação às PCHs, com potência igual ou inferior a 5MW. Seu funcionamento assemelha-se ao das PCHs e UHEs. No entanto, é fundamental notar que as CGHs têm o menor impacto ambiental e social entre esses três tipos de usinas que empregam a fonte hídrica para gerar energia elétrica. Isso se deve ao fato de que não requerem grandes reservatórios de água para operar;
- Usinas Fotovoltaicas (UFV): Sua fonte primária é o sol. Seu mecanismo de operação envolve a instalação de painéis capazes de capturar a luz solar e convertê-la em correntes elétricas, que por sua vez são aproveitadas como fonte de energia elétrica. Ainda que a desvantagem inicial seja o alto investimento, esse custo tende a ser recuperado em um curto espaço de tempo. Uma das vantagens notáveis é a sua natureza limpa e renovável;
- Usina Termelétrica de Energia (UTE): Sua fonte de energia é proveniente de combustíveis fósseis. A usina termelétrica é um tipo de instalação voltada para a produção de energia elétrica, tirando proveito da energia térmica gerada pela combustão de combustíveis fósseis ou biomassa. Uma desvantagem substancial está relacionada à liberação de gases poluentes na atmosfera como resultado desse processo. No entanto, é importante mencionar que, apesar dessa desvantagem, essa forma de geração também é considerada renovável;
- Usina Termonuclear (UTN): A energia térmica liberada em reações nucleares, mais especificamente a fissão nuclear do urânio-235, é a base para o funcionamento desse tipo de usina. Uma das vantagens notáveis reside na enorme quantidade de energia que pode ser produzida a partir de uma quantidade relativamente pequena de material, em comparação com as Usinas Termelétricas (UTES);
- Usina Geradora Eólica (EOL): Sua fonte geradora é o vento. Nesse tipo de instalação, hélices são instaladas e movimentadas pela força dos ventos. A energia cinética resultante desse movimento é transformada em energia elétrica por meio de um gerador. É importante mencionar que, apesar das vantagens, há desvantagens associadas a esse tipo de geração, incluindo a capacidade de geração variável e custos elevados. Contudo, uma das principais vantagens é sua natureza limpa e renovável;
- Central Geradora Undi-Elétrica (CGU) utiliza a energia obtida pela cinética das ondas do mar. A energia das marés é um tipo de energia originada da força das ondas. Segundo (GUERRINI, 2001), ela pode ser obtida a partir da construção de uma barragem, constituindo-se em um reservatório junto ao mar. Em dias de maré alta, esse reservatório enche de água que, por sua vez, passa através de uma turbina, produzindo, por fim, a energia elétrica. Quando a maré está baixa, esvazia-se o reservatório e a água que sai dele passa através da turbina, mas em sentido contrário, produzindo também, energia elétrica.

## 2.2 Evolução da Geração de Energia Elétrica no Brasil

Esse tópico será dedicado à contextualização da evolução do setor elétrico brasileiro. A primeira fonte energética utilizada foi a lenha. Após a proclamação da República, em 1889, o carvão mineral passou a ser utilizado como principal fonte energética, substituindo a lenha e, trazendo grandes avanços, por exemplo, a iluminação pública.

Em 1934, fomentado pela revolução industrial foi publicado o Código de Águas, o qual determinava que a propriedade das quedas d'água e do potencial hidroelétrico deixava de ser do proprietário da terra e passava a ser patrimônio do Estado, logo o aproveitamento de potencial hidroelétrico passava a ser feito via concessão (VEIGA; FONSECA, 2002).

Após a Segunda Guerra Mundial, a demanda de energia elétrica começou a ultrapassar a oferta, iniciando o processo de racionamento nas principais capitais brasileiras. Ao longo da década de 50, praticamente todos os estados da federação constituíram empresas estatais de energia elétrica. Em 1957, o governo criou a central elétrica de Furnas e em 1961, a Hidrelétrica do Vale do Paraíba. O Brasil teve um período marcado por consolidações como, decisão de executar dois grandes projetos, hidrelétrica de Tucuruí e Itaipu. Desde então, o país teve um cenário bem dominado pelas grandes usinas hidrelétricas, as UHE.

A hidrelétrica de Itaipu teve sua construção iniciada em 1971. O Paraguai, soberano sobre uma das margens do rio Paraná, tem direito à metade da usina e de sua produção. Só necessita, porém, de uma pequena fração dela e exporta o restante para o Brasil. Com 14.000MW de capacidade total, distribuídos entre 20 turbinas de 700MW (UHE), cada uma instalada entre 1984 e 1991 (mais duas foram acrescentadas em 2005), Itaipu representa, em 2023, cerca de 8,4% do consumo brasileiro de eletricidade (ITAIPU, 2023).

Em 1985, a primeira usina nuclear (UTN) brasileira entrou em operação comercial com um reator de água pressurizada com 640 MW, Angra 1 gera energia suficiente para suprir uma cidade de 1 milhão de habitantes, como Porto Alegre ou São Luís. Em 1991, o Brasil teve a sua primeira usina eólica (EOL) instalada em Fernando de Noronha.

Até 1995, o setor elétrico brasileiro era formado por empresas verticalizadas, predominantemente estatais, detentoras das atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Assim, toda atividade relacionada à energia elétrica era um monopólio, não existindo competição, uma vez que todos os consumidores eram cativos, precisavam utilizar a energia elétrica da estatal que detinha a concessão de acordo com a localização, e assim, o mercado era completamente regulado, incluindo as tarifas para todos os segmentos (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2011).

Devido à falta de competitividade do setor elétrico, este começou a mostrar sinais de estagnação culminando, em 1996, na implementação do projeto de reestruturação do setor elétrico brasileiro (Ministério de Minas e Energia, 2001). Neste mesmo ano, foi criada a ANEEL através da Lei 9.427/1996. Desde então, as tarifas da energia elétrica no Brasil são regulamentadas pela

Agência Nacional de Energia Elétrica. Para calcular as tarifas, a agência leva em consideração três principais custos: geração, transporte e encargos. Os consumidores eram inseridos no mercado cativo de energia, onde a energia é comprada da distribuidora, de acordo com a concepção da localização.

Outra opção de obtenção de energia para o consumidor só foi possível através da criação do mercado livre de energia em 1995, lei 9074/1995, onde possibilitou a empresas privadas produzir e comercializar a energia elétrica. O mercado livre de energia pode ser definido como um ambiente para comércio de energia elétrica de forma autônoma em relação às grandes concessionárias. Atualmente, o mercado livre de energia chegou a 38% da carga do Brasil (Abraceel, 2022).

Além da necessidade de atender à demanda produtiva do país e de possibilitar mais opções para aquisição da energia elétrica, a importância do mercado livre de energia dentro do contexto de consumo da energia também ocupa um lugar relevante quando pensamos na expansão e diversificação da matriz elétrica, tornando-a cada vez mais sustentável. Isso porque dentro do mercado livre de energia, há a possibilidade de compra de energia não somente das hidrelétricas, mas de outras usinas eólicas, solares e biomassa, por exemplo.

Conforme pode-se observar na Figura 3, desde 1970, a produção e oferta interna de Energia Elétrica (OIEE) caminhou em ritmo crescente. Em 2001, ocorre pela primeira vez em 50 anos uma ruptura da trajetória, a produção e a oferta recuaram -6% e -7%, respectivamente, devido a fatores como, a escassez hídrica, a insuficiência de linhas de transmissão que conecta os subsistemas elétricos, ou seja falta de infraestrutura que viabilizasse o transporte de energia das regiões onde havia excedente para os locais carentes de eletricidade (MME and EPE, 2022).

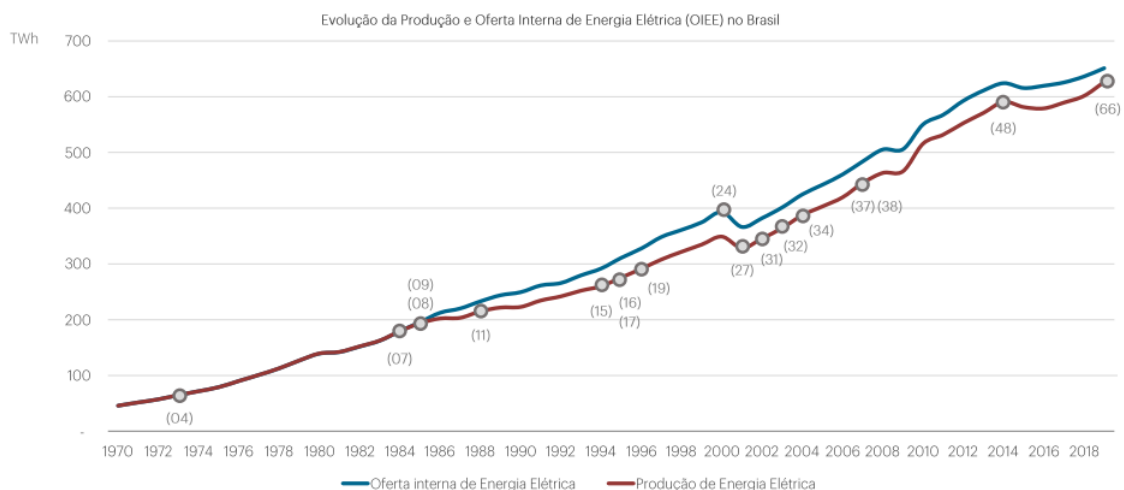


Figura 3 – Evolução da produção e oferta interna de energia elétrica 1970 a 2018 (MME and EPE, 2022).

Reforçando a pauta de necessidade de geração de energia elétrica através de fontes renováveis, ocorreu no dia 17 de abril de 2012 a publicação da Resolução Normativa nº 482, ou RN/482. Instituída pela ANEEL, a norma permite que o consumidor possa gerar sua própria

energia a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição. Trata-se da Microgeração e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMGD e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE. Além de conceder a permissão, outro fator importante foi a isenção de alguns tributos, como a isenção de IPI ou ICMS, apoio do BNDES e redução do imposto de importação, no caso de compra das peças necessárias à construção de fazendas solares para geração de energia elétrica. Isto foi um grande passo para que o Brasil pudesse avançar nas fontes de energia renováveis, especialmente, biomassa, eólica e solar.

Pode-se observar através da Figura 2.2 como é composta a matriz elétrica no Brasil em 2023. Nota-se que as usinas hidrelétricas UHE permanecem até hoje representando mais de 50% da matriz elétrica do Brasil. De acordo com a Figura 5 também é possível notar que, após as políticas governamentais, a energia elétrica gerada através das fontes alternativas começa a aparecer na composição da matriz elétrica e permanece em constante evolução. Em 2000, a energia eólica representava menos de 1% de participação, atingindo 8% em 2019 e atualmente, é de 12,00% (ABSOLAR, 2023).

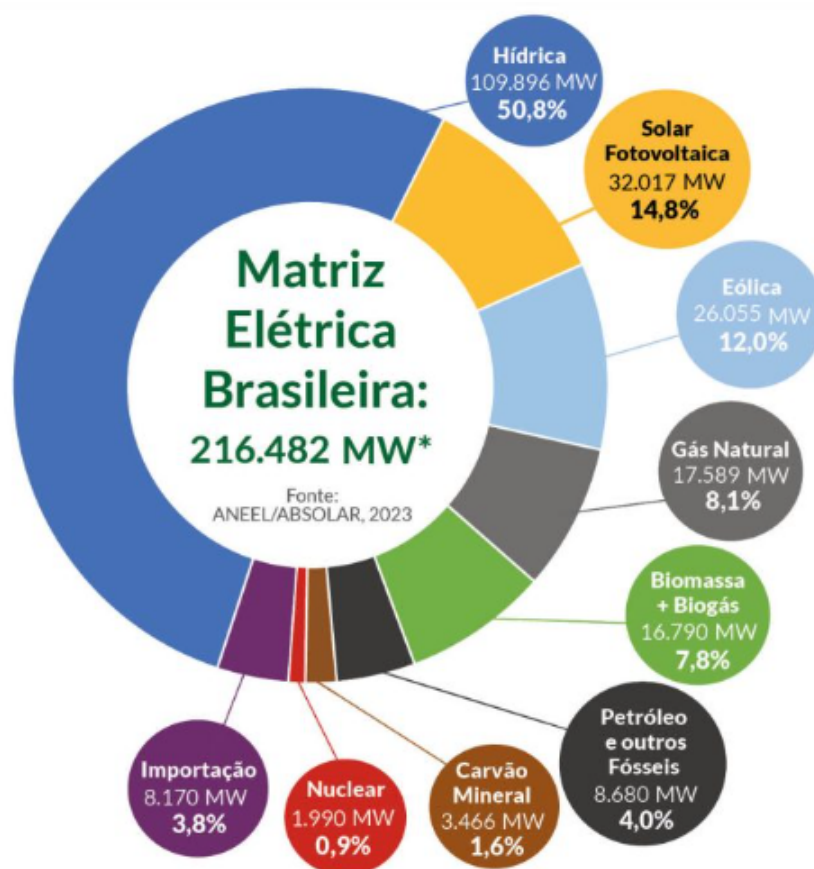


Figura 4 – Dados de potência da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2023)

A energia solar fotovoltaica em 2019 representava 1% na geração de energia elétrica e em 2023, atingiu 14,8%, ocupando o segundo lugar na matriz elétrica brasileira. A energia solar fotovoltaica ganhou destaque por ser considerada de fácil instalação, aproveitando a boa

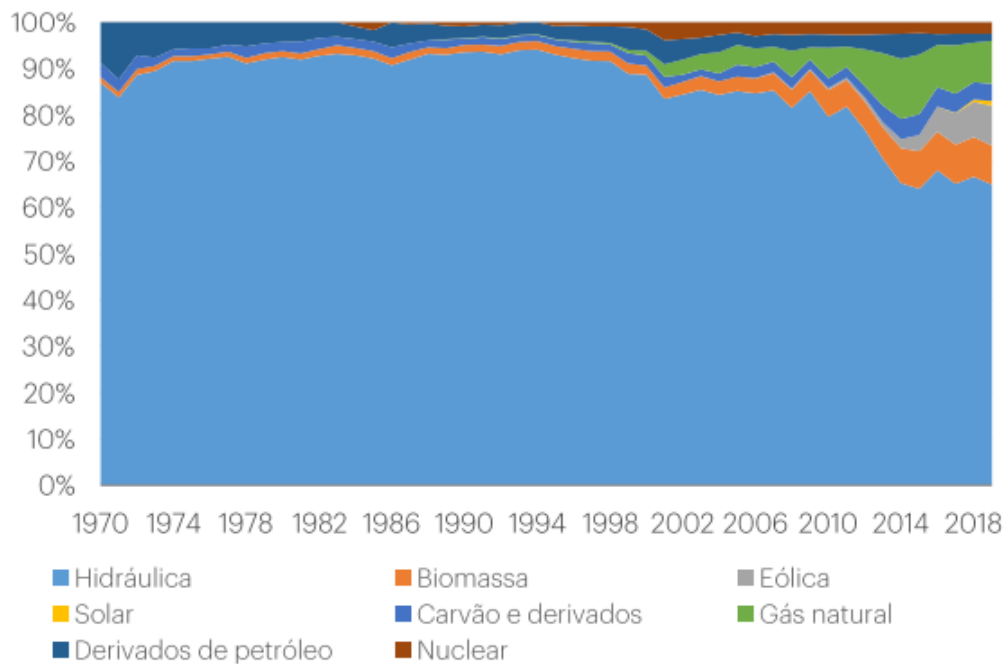


Figura 5 – Evolução matriz elétrica brasileira 1970 a 2018 (MME and EPE, 2022).

irradiação solar na maioria do território brasileiro.

## 2.3 Geração Distribuída

A Geração distribuída (GD) contribui tanto para uma matriz elétrica mais limpa quanto para diminuir as perdas da energia nas fases de transmissão e distribuição uma vez que ela é caracterizada pela instalação de uma central geradora próxima às unidades de consumo, o que minimiza perdas durante o transporte e diminui a necessidade de longas linhas de transmissão (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

Desde a criação da Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, fica permitida a conexão de GD à rede, bem como sua regulamentação. Esse tipo de geração se caracteriza como a modalidade de compensação de energia, que é definida como um arranjo no qual a energia ativa injetada na rede pela unidade consumidora, através da microgeração ou minigeração distribuída, é cedida à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Abaixo tem-se a definição para microgeração e minigeração distribuída:

- É permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada. Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada, em corrente alternada, até 75 kW (SCEE E PERS, 2022);
- É permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada. Minigeração

distribuída é aquela com potência, em corrente alternada, acima de 75 kW e menor ou igual a 3 MW (podendo ser até 5 MW em situações de fontes despacháveis, nos termos dos incisos IX e XIII e do Parágrafo Único do art. 1º da Lei nº 14.300/2022) (SCEE E PERS, 2022).

Fontes despacháveis são aquelas em que é possível armazenar a energia em determinadas situações. Exemplos de fontes despacháveis: hidrelétrica, biomassa, biogás. A energia eólica e solar fotovoltaica são fontes não despacháveis.

É importante mencionar que pela regra trazida pela Lei 14.300/22 mudou-se a definição da potência da usina para construção de fazenda pela geração distribuída. Anteriormente, a potência da usina deveria ser identificada pela menor potência entre a corrente alternada e a corrente contínua. Após a atualização deve ser considerada potência de saída do inversor, ou seja, a potência em corrente alternada.

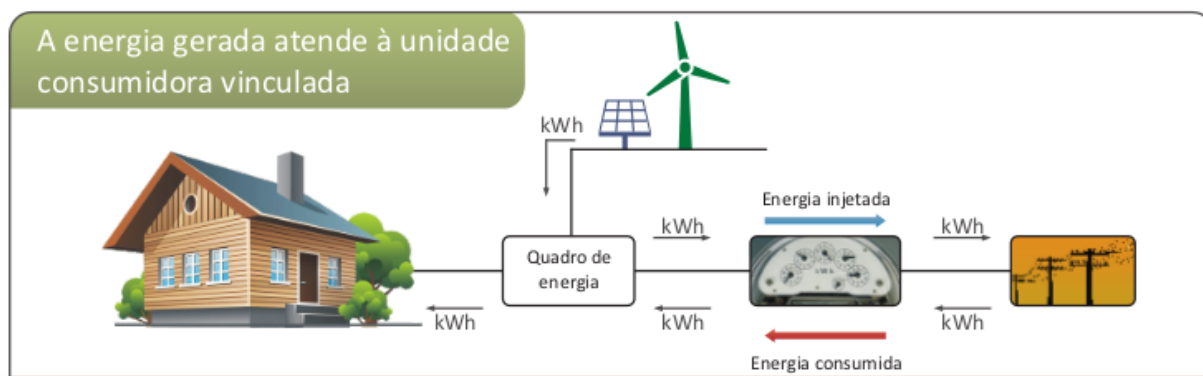


Figura 6 – Sistema de compensação de energia elétrica na geração distribuída (JUNIOR et al., 2020).

A geração distribuída no Brasil é caracterizada pelo *Net Metering*, onde o consumidor-gerador, quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, receberá um crédito em energia positivo (sistema de compensação de energia elétrica - SCEE). Sempre que existir esse saldo positivo, o consumidor recebe um crédito em energia (em kWh) na próxima fatura que continuam válidos por 60 meses. Essa contabilização de energia gerada e fornecida à rede é registrada pelo medidor bidirecional (SCEE E PERS, 2022). Uma melhor ilustração do SCEE pode ser observada através da Figura 6.

É importante ressaltar que o consumidor-gerador somente pode comercializar o montante excedente da energia gerada com órgãos públicos desde que seja beneficiária de programa social ou habitacionais das esferas federal, estadual, distrital ou municipal, incluído pela Lei nº 14.620, de 2023 (SCEE E PERS, 2022).

A rede elétrica disponível é utilizada como *backup* quando a energia gerada localmente não é suficiente para satisfazer as necessidades de demanda do consumidor-gerador, ou seja

quando a energia gerada é menor que a energia consumida, o que geralmente é o caso para fontes intermitentes de energia, como a solar (SILVA, 2018).

No balanço energético divulgado pela EPE em 2022, observa-se através da Figura 7, que a energia solar fotovoltaica domina o cenário de geração distribuída, a energia solar fotovoltaica representou 88,3% da MMGD em 2021, e foi a principal fonte responsável pelo aumento registrado na micro e minigeração distribuída, que obteve o aumento de 84%, crescendo de 5.346 GWh em 2021 para 9.810 GWh em 2022 (MME and EPE, 2022).

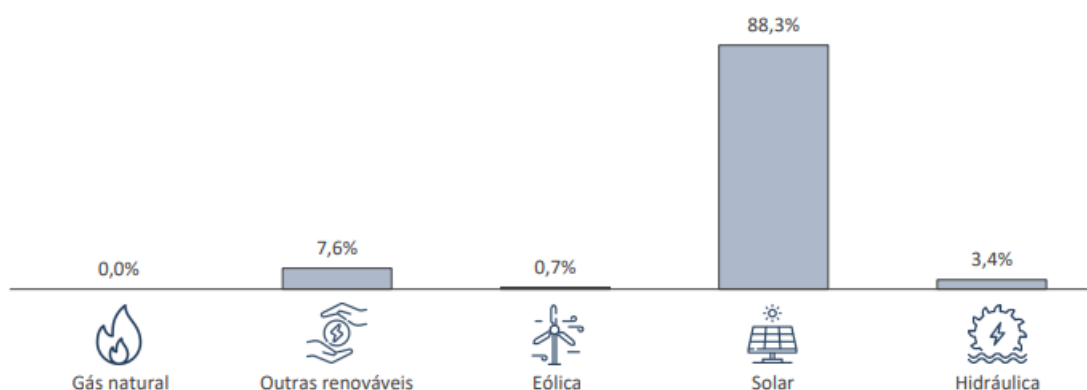


Figura 7 – Fontes utilizadas para geração de energia micro e minigeração distribuída (MME and EPE, 2022).

(DADALTO, 2008) sinaliza que, como fonte alternativa em edificações, a energia solar fotovoltaica se mostra como mais vantajosa, por seu impacto reduzido na poluição em cada *W* de energia aproveitada pelo sol. Apesar de acarretar poluição na fabricação dos componentes e no descarte dos materiais ao fim da vida útil, o autor destaca que a energia solar fotovoltaica minimiza a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Isto se deve à ausência de emissões gasosas durante a geração, o que resulta em menor poluição.

É notório que a energia solar fotovoltaica é uma fonte inesgotável e renovável, o que possibilita a redução da dependência da população em relação aos combustíveis fósseis, à medida que a quantidade de energia solar fotovoltaica produzida aumenta. Com o crescimento da busca por fontes de energia alternativas, a energia solar fotovoltaica se tornou uma excelente opção, especialmente para residências, comércios e indústrias. Por outro lado, é crucial ter ciência de que essa fonte de energia apresenta algumas desvantagens, como a variação na geração, dependendo das condições climáticas, a necessidade de manutenção anual e a degradabilidade do sistema.

## 2.4 Energia Solar Fotovoltaica

O Brasil possui um ótimo recurso solar, a irradiação solar é de 1.550 a 2.350 kWh/m<sup>2</sup> e, conforme (REIS, 2000), não exclusivo e não disputável, pois, um cidadão ao se apropriar dela,

não tem qualquer permissão de vetar o mesmo uso por parte de outras pessoas, por ser o Sol uma fonte de energia gratuita. Ao ser utilizado para determinados fins, como para o aquecimento de água, refrigeração, ou outro, a energia solar fotovoltaica se torna um recurso benéfico ao meio ambiente por evitar a degradação de recursos naturais, tornando-se favoravelmente sustentável.

(JUNIOR; ROMANEL, 2013) afirmam que a energia do sol, em conjunto com a energia eólica e das ondas, biomassa, entre outros, são os responsáveis por dispensar grande parte da energia renovável que se encontra disponível na Terra. Desta totalidade, somente uma mínima fração da energia solar fotovoltaica que está disponível, é usada pelo homem. A energia do Sol possui uma diversidade de modos de ser utilizada por todas as partes do mundo, contudo, em locais que estejam mais próximos ao Equador, a energia apresenta maior potencialidade de captação com o uso de painel solar (geração fotovoltaica).

Atualmente, existem dois modelos de sistemas para a energia fotovoltaica: o sistema *off-grid* e o sistema *on-grid*. No modelo *off-grid*, ocorre a captação da irradiação solar através das placas solares. A corrente elétrica obtida é contínua e é armazenada em baterias, então, passa pelo inversor que converte a corrente contínua em alternada. A corrente alternada produzida pode ser usada para alimentar aparelhos elétricos ou ser armazenada em um outro grupo de baterias estacionárias a ser utilizada posteriormente. Como não possui conexão com a rede pública de energia, não é necessário pagar nenhuma conta de energia. Esse sistema é mais indicado para lugares remotos, como áreas rurais, pois seu uso não depende da rede pública de energia.

No sistema *on-grid*, também chamado de *grid-tie*, a geração de energia solar fotovoltaica também é através de painéis solares, porém, o sistema não contém baterias de armazenamento sendo conectado à rede pública. Como no sistema *off-grid*, no *grid-tie* também é necessário o uso do inversor, para realizar a conversão de energia gerada pelas placas solares em corrente contínua (CC), transformando-a em energia elétrica de corrente alternada (CA). Esse modelo é ilustrado na Figura 6. Neste exemplo é ilustrado o sistema fotovoltaico para o segmento residencial, mas o *grid-tie*, também é utilizado para os setores comerciais, industriais e públicos.

O sistema *on-grid* é mais viável pois, se o sistema não conseguir gerar a energia necessária para o consumo, a energia pendente é injetada pela rede conectada. Em caso de geração excedente pelo consumidor-gerador, essa energia é injetada na rede e gera saldo positivo na conta de energia que pode ser utilizada em até 60 meses, conforme SCEE. É instalado o medidor bidirecional no ponto de conexão com a rede para realizar a medição da diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede a fim de contabilizar o montante a ser pago ou recebido em forma de créditos. Os custos de instalação deste medidor são de responsabilidade do próprio consumidor e a manutenção fica a cargo da concessionária. Este medidor deve atender as especificações PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Em 06/01/2022, a lei 14.300, regulamentou a possibilidade de realocar os créditos excedentes para outras unidades consumidoras do mesmo titular. A distribuidora tem até 30 dias para operacionalizar esse procedimento, possibilitando maior flexibilidade aos consumidores

geradores.

Adicionalmente, o sistema fotovoltaico tem grande crescimento no Brasil também devido à atratividade financeira para sua construção, quando é instalado o projeto, o consumidor deixa de pagar grande parte da sua fatura de energia para a concessionária local, uma vez que se torna um consumidor gerador. Após um tempo de retorno do investimento, *Payback*, quando o investimento se paga, o consumidor pode até investir o dinheiro que seria destinado ao pagamento da conta de energia. Mas para todos os casos devem ser realizados estudos de viabilidade, considerando fatores como a incidência solar local e o custo da energia fornecida pelas concessionárias de distribuição.

## 2.5 Mercado Livre de Energia

A demanda global por energia elétrica está em constante evolução e tende a crescer continuamente, impulsionada pelo desenvolvimento de cada país (HOROWITZ, 2022). Assim, os métodos tradicionais de produção de energia requerem altos custos em sua manutenção e expansão, para atender a toda a população (COSTA, 2021). No Brasil, o SEB é constituído por dois ambientes distintos de contratação. O ACR e o ACL, conforme já mencionado, após a regulamentação do mercado livre de energia ocorreu a descentralização do setor, possibilitando ao consumidor negociar a energia de diversas empresas e fontes. Para melhor compreensão desse modelo de consumo de energia elétrica, pode-se observar as etapas necessárias para a adesão ao ACL, através da Figura 8.

## PROCESSO DE MIGRAÇÃO PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA

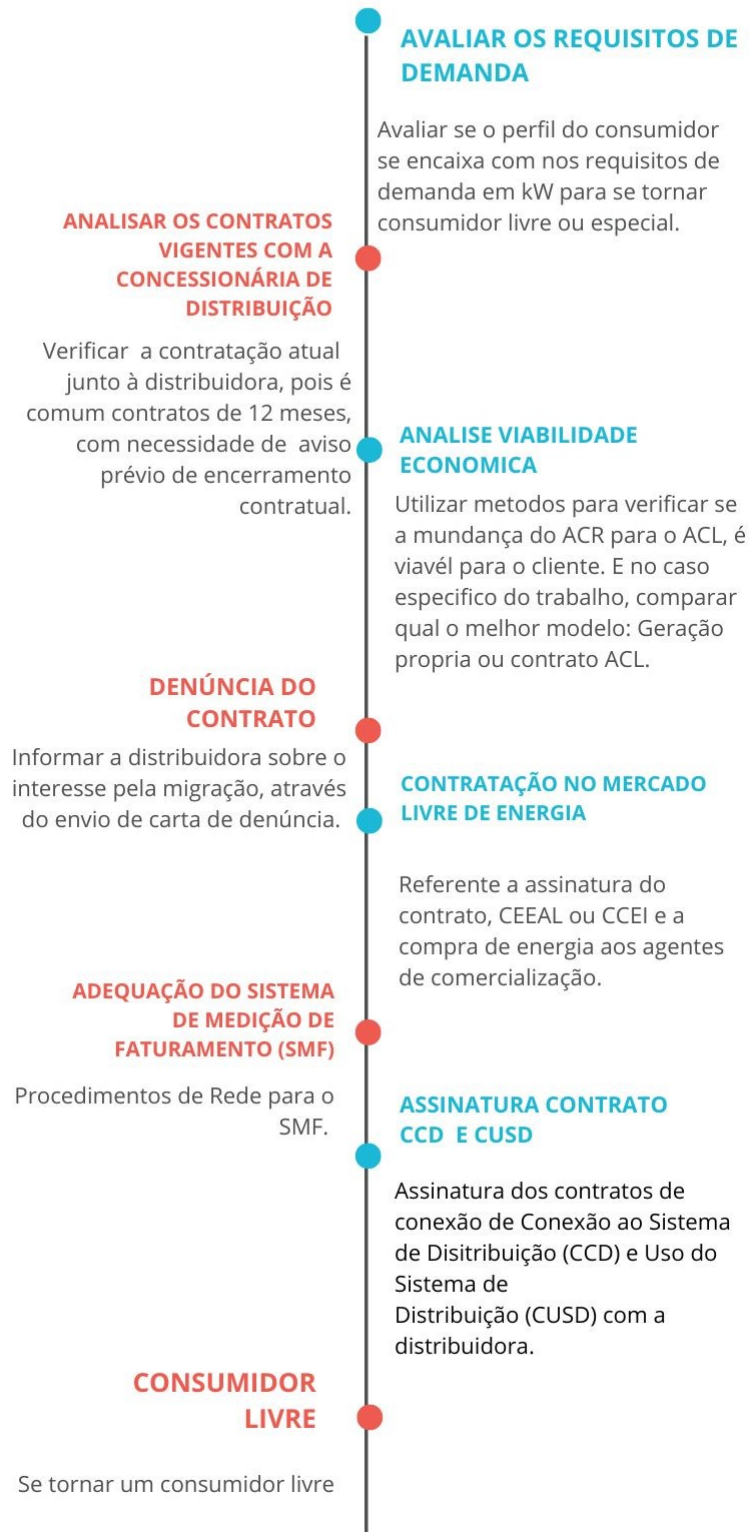


Figura 8 – Passo a passo mercado livre de energia (Autoria própria).

A regulação deste mercado é feita pela CCEE. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica realiza a integração entre geradores, distribuidores, comercializadores e consumidores. Todas as transações, de compra e venda de energia elétrica, precisam ser lastreadas por contratos, que podem ser curtos ou longos, celebrados de acordo com a necessidade e avaliação do consumidor que deseja contratar de kWh.

Na negociação de energia no mercado livre de energia é necessário a associação na CCEE, para facilitar essa entrada, nos últimos anos, muito se tem falado sobre o comercializador varejista. Trata-se de um representante que constitui empresa para representar continuamente um consumidor ou empresas no mercado livre de energia. A partir disso, o consumidor que passa a ser seu cliente não se associa à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, pois quem irá lhe representar junto a ela será o comercializador varejista que se torna o responsável por realizar sua habilitação no órgão e representá-la nas negociações que surgirem e se fizerem necessárias. Na transferência do modelo ACR para o ACL é preciso que o representante desempenhe papel de gestor de energia com a finalidade de ser capaz de realizar a análise das contas, migração e demais procedimentos conferidos ao comercializador varejista (OLIVEIRA, 2023).

O ACL é conhecido no Brasil como um tipo de mercado a varejo de energia, geralmente, constituído por comercializador varejista de energia elétrica, conforme explicado acima, agentes geradores e consumidores de energia elétrica, caracterizados como consumidores livres. No ambiente do ACL, os consumidores são livres para negociar a contratação da energia com opções de serem por comercializadoras ou direto com os geradores de energia. Ao decidir como adquirir sua energia, o consumidor e a empresa firmaram, por meio de contrato bilateral, a compra de energia elétrica de modo formalizado (COSTA, 2021).

Dentre os consumidores aptos para a aquisição de energia elétrica pelo ambiente ACL, tem-se as pequenas e médias empresas que, muitas vezes, por possuírem uma estrutura simples, a melhor alternativa para ele é utilizar o varejista de energia para diminuir seus custos. Tais custos, geralmente, são em decorrência do atendimento às obrigações que deve cumprir conforme estabelecido pela CCEE que são, entre outros, habilitação técnica para modelagem e encargos que, ao ser migrado para o ACL, passa a ser responsabilidade do comercializador varejista de energia elétrica (Sá, 2022). O papel do varejista é apresentado através da Figura 9.

Além do papel técnico, o comercializador varejista pode ajudar em análises de quanto de energia deseja negociar e por quanto tempo. Dentro do mercado livre de energia, quando não se atinge ou ultrapassa a quantidade de energia contratada, faz-se obrigatório a venda ou compra desta diferença. Essa tarifa é diferenciada e se chama PLD, que significa Preço de Liquidação das Diferenças.

O Preço de Liquidação das Diferenças, ou PLD, é o resultado de um cálculo que determina os valores de toda a energia elétrica que foi produzida, mas não foi contratada pelos agentes do mercado. Portanto, o cálculo deve levar em consideração o benefício presente do uso da água e o benefício futuro de seu armazenamento, e da economia que essa reserva proporcionará



Figura 9 – Atuação do comercializador de energia elétrica (ALMEIDA, 2018).

em combustíveis das usinas termelétricas, evitando déficits futuros. O PLD propõe um valor, onde a energia comercializada é tratada como igualmente disponível em todos os seus pontos de consumo, tornando o preço único dentro de cada uma dessas regiões (CCEE, 2023).

Este cálculo é realizado pelos modelos computacionais Newave, Decomp e Dessem e tem como base o Custo Marginal de Operação (CMO), que é o custo do equilíbrio entre uso e armazenamento da energia elétrica no momento. No início de cada ano, desde 2017, a ANEEL divulga um piso, sendo o valor mínimo e um teto, valor máximo. Atualmente, O PLD mínimo para o ano de 2023 é de R\$69,04/MWh, e o PLD máximo estrutural é de R\$678,29/MWh, sendo a diferença entre o mínimo e máximo alta, o que se deve principalmente a variações climáticas, uma vez que a maioria da matriz elétrica é composta por usinas hidrelétricas, como apresentado neste trabalho. Reforçando a necessidade da contratação no ACL ser bem dimensionada, de forma a evitar a exposição à variação dessa tarifa (CCEE, 2023).

### 2.5.1 Requisitos de demanda

Os requisitos para ingressar no mercado livre de energia têm diminuído constantemente, permitindo o acesso mais amplo para os consumidores. No entanto, ainda existem pré-requisitos para entrar nessa modalidade de consumo.

Conforme resolução normativa Nº1.000, de 7 de dezembro de 2021, e Art. 160, o consumidor do grupo A atendido em qualquer tensão pode optar pela compra de energia elétrica no ACL, sendo que a participação no grupo A deve ser comprovado pela celebração do CUSD, o qual deve integrar os processos de adesão e de modelagem dos pontos de consumo na CCEE, conforme procedimentos de comercialização.

- Consumidor Especial: consumidores ou grupo de consumidores de mesmo CNPJ ou mesma área que possuem potência maior ou igual a 500 kW e que tenha adquirido energia elétrica apenas através de fontes ditas incentivadas (ANEEL, 2021);
- Consumidor Livre: consumidor, atendido em qualquer tensão, que tenha exercido a opção de compra de energia elétrica de fontes ditas incentivadas ou não incentivadas e possua demanda mínima de 500 kW (ANEEL, 2021).

Desta forma, pode-se observar que consumidores livres possuem tanto as opções de energia incentivada e de energia convencional, e o consumidor especial deve contratar apenas energia de fonte incentivada. De acordo com a regulação vigente, energia incentivada são aquelas provindas das fontes renováveis, são elas: usinas eólicas, solares, biomassa, hidráulicas ou cogeração qualificada com potência igual ou inferior a 30.000kW. Ao optar por contratos de energia elétrica com geração através dessas fontes e dependendo da data de homologação outorga do empreendimento os consumidores recebem descontos entre 50% e 100% na parcela de energia referente a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão (TUST). Essa é uma forma de incentivar o crescimento dessas fontes na matriz energética brasileira.

As energias convencionais são aquelas provenientes de UHE (grandes hidrelétricas) e UTE (termelétricas), possuem valores mais competitivos, porém não há possibilidade de desconto na fatura de energia referente às taxas pagas pela TUSD e TUST.

Através da Figura 10, é possível observar a evolução da utilização da energia por meio do mercado livre. Nota-se um significativo aumento no número de novas unidades consumidoras entre 2015 e 2016, motivado pela vantagem econômica. No entanto, essa tendência não se sustentou devido ao aumento do valor da tarifa, resultante da baixa nos reservatórios hidroelétricos.

Em 2019, o mercado livre de energia elétrica voltou a crescer, impulsionado pelo apoio da pauta ESG (*Environmental, Social and Governance*) e pela viabilidade financeira. Em 2023, o ambiente de contratação livre de energia é responsável por 39% do consumo nacional de eletricidade no Brasil (ABRACEEL, 2023). As vantagens são várias que contribuíram para o aumento da carteira de clientes, entre os aspectos podemos citar:

- Preços mais competitivos e menores do que o mercado cativo;
- Não é necessário investir em um projeto completo para inserção;
- Mesmo preço para os horários de ponta e fora de ponta;
- Previsibilidade orçamentária;
- Contribuição com o meio ambiente;



Figura 10 – Novas unidades consumidoras no ACL no período 2015-2021 (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023).

- Consumidores especiais contribuem para a matriz elétrica mais renovável, consequente contribuição para a pauta ESG.

### 2.5.2 Comparativo entre consumidores livres e especiais

Pode-se observar através da Figura 11, como a abertura do mercado livre para os consumidores especiais permitiu uma grande evolução do mercado e, até mesmo, maior crescimento do que comparado aos consumidores livres. Quando o mercado livre de energia foi regulado, em 1995 por meio da Lei 9.074, o ACL era altamente restrito. Apenas consumidores de alta tensão, com alimentação maior ou igual a 69kV, e com demanda contratada maior ou igual a 10.000 kW estavam aptos a escolher os seus fornecedores de energia.



Figura 11 – Comparativo entre consumidores livres e especiais no período entre 2015 a 2021 (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023).

O mercado livre de energia foi evoluindo gradualmente. Em 2007, houve um grande

avanço, quando a ANEEL possibilitou a comercialização de energia para consumidores especiais através de energia incentivada para fontes eólicas, solar, PCH e biomassa com certa potência instalada definida. Na oportunidade, os consumidores que tivessem a demanda contratada acima de 500kW poderiam aderir ao mercado livre de energia, com isso o interesse aumentou e, em, 2015 os consumidores especiais ultrapassaram as unidades consideradas consumidores livres. O mercado livre de energia está avançando constantemente na busca por uma maior flexibilização para facilitar a entrada de novos consumidores. Foi definido um prazo para que a ANEEL e a CCEE apresentem um estudo sobre as medidas regulatórias necessárias para permitir a abertura do mercado livre de energia para os consumidores com carga inferior a 500 kW, com início a partir de 01/01/2024. A mudança está prevista na Portaria 50/2022, do Ministério de Minas e Energia – MME, que poderá atrair indústrias, empresas e redes de serviço de médio porte (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023).

A estimativa é que a abertura do mercado a todos os consumidores pode acontecer em janeiro de 2026, inclusive, consumidores de baixa tensão poderão aderir, com perspectiva de proporcionar uma economia de 18% na conta de energia elétrica (Abraceel, 2022). Em estudo realizado pela CCEE, estimam-se que 72 mil novas unidades possam migrar para o mercado livre de energia, conforme apresentado na Figura 12, devido a mudança na portaria 50/2022. Pode-se observar ainda que 93 mil unidades consumidoras que poderiam estar no mercado livre de energia estão na MMGD. O objetivo do trabalho é justamente auxiliar na escolha do melhor processo para investimento e mudança do consumidor.

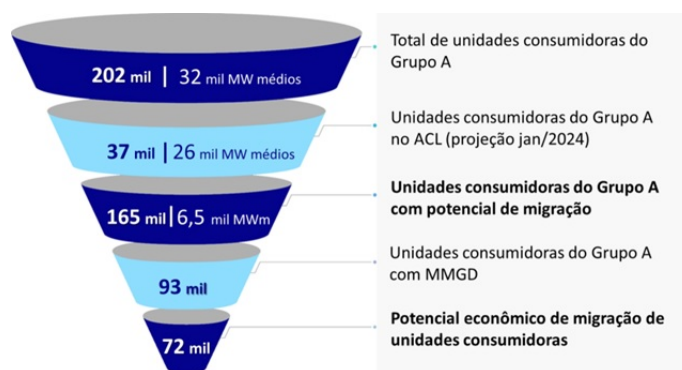


Figura 12 – Potencial consumidores (Grupo A) para entrada no mercado livre de energia (Mercado Livre de Energia Elétrica, 2023).

### 2.5.3 Modelos de contrato

O contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) representa o documento que firma a negociação entre um agente varejista e um comprador, de acordo com a regulamentação e legislação vigente, sem a interferência da CCEE. Esse modelo de contratação pode ser usado tanto no ACR quanto no ACL e todo contrato fechado deve ser registrado na CCEE, conforme o art. 56 do Decreto nº 5.163/04.

No mercado livre de energia, consumidor especial e livre, os termos de atendimento, preços e outras cláusulas são definidas livremente entre as partes, de acordo com a projeção do consumo, sendo o montante de energia em MW e o período, os principais parâmetros para definição. Para isso, existem dois modelos de contratação, conforme segue:

- Contrato de vigência única: é firmado um contrato onde o montante de energia em MW se mantém ao longo do período contratado com o mesmo valor, prazo de início e término. Essa modalidade proporciona maior previsibilidade e estabilidade;
- Contrato de vigências múltiplas: É firmado um contrato onde o montante de energia em MW varia de acordo com a demanda.

Os dois tipos de contratos podem ser observados através da Figura 13. Além das vigências, há uma outra definição para a contratação de energia no mercado livre de energia, em relação à modulação do contrato. Conforme definição da ANEEL tem-se que a modulação corresponde ao processo de determinação de valores de energia em cada período de comercialização. A distribuição do montante mensal/vigência pelo número de período de comercialização é feita de acordo com um perfil de entrega, previamente validado entre as partes (CCEE, 2018).

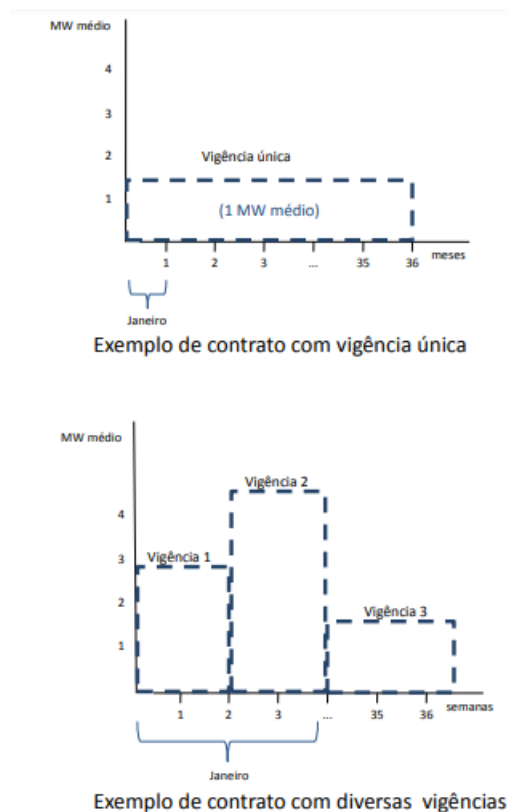


Figura 13 – Representação gráfica da definição de montantes e vigências (CCEE e ANEEL, 2019).

A modulação pode ser representada através da Figura 14, observa-se que o montante pode ser distribuído ao longo do período de vigência de contrato, isso possibilita uma maior segurança para a entrada no modelo ACL. Quando essa métrica não é realizada, o CCEAL é automaticamente calculado pelo SLC, dividindo proporcionalmente a quantidade de MW contratado para todo o período, essa modulação é denominada *flat*, demonstrada através Figura 15.

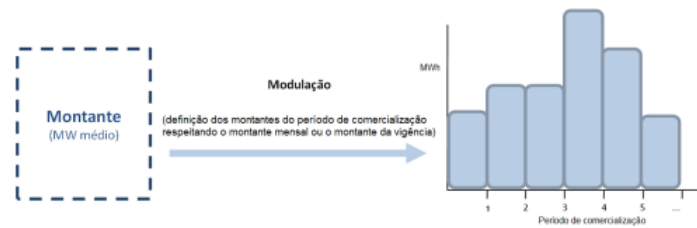


Figura 14 – Representação gráfica da modulação (CCEE e ANEEL, 2019).



Figura 15 – Representação gráfica de modulação *flat* realizada pelo sistema (CCEE e ANEEL, 2019).

Existe também o mecanismo de relocação de energia (MRE), que proporciona a modulação de acordo com a geração, consumo ou perfil das usinas integrantes, isso resulta em uma automatização dessa tarefa pela CCEE, com a inserção de um perfil pré-estabelecido atrelado a medição de um ativo específico ou um conjunto de ativos, acordado entre as partes. Para essa opção a ANEEL regulamenta três formas, são elas: modulação de CCEAL conforme carga ou conjunto de cargas, modulação de CCEAL conforme geração ou conjunto de usinas e modulação de CCEAL conforme MRE. Na primeira opção, a medição apurada é de acordo com uma carga específica ou um conjunto de cargas modeladas na CCEE, como empresas do mesmo grupo econômico. Já a segunda, a carga modulada é vinculada ao perfil da medição apurada de uma usina ou um conjunto de usinas modeladas na CCEE. E para a modulação conforme MRE, é definida conforme o perfil conjunto de usinas que integram o MRE em todo o SIN.

#### 2.5.4 Adequação do sistema para medição do faturamento

O medidor utilizado para o ambiente de contratação regulado é diferente do mercado livre, sendo assim, quando o consumidor deseja participar do mesmo é necessário a adequação do Sistema de Medição para Faturamento (SMF) que é necessário ser realiza no período de 180

dias, após o envio da carta de renúncia. Para isso, é feito um projeto do SMF de acordo com as exigências da distribuidora local, na maioria das vezes é preciso ajustes no cabeamento, painéis, estruturas e eletrodutos, após a adequação dos padrões, o consumidor está apto para o processo de migração.

É importante salientar que o objetivo do SMF é garantir a contabilização da energia elétrica e contribuir para a apuração das demandas pelo ONS, assim possuem tanto regras gerais quanto específicas da distribuidora para esta mudança, sendo assim a distribuidora realiza o comissionamento e verifica se tudo está acontecendo dentro de seus padrões técnicos até que o processo termine. Por fim, a distribuidora aprova o processo SMF, é realizado um cadastro do ponto de medição na CCEE, que é a responsável pela contabilização de energia no ACL. Cumprindo os demais requisitos exigidos no processo de migração, o consumidor já faz parte do mercado livre de energia.

## 2.6 Composição da conta de energia

Para avaliar a atratividade econômica, tanto do mercado livre de energia, quanto da aquisição de projeto fotovoltaico, faz-se muito importante entender como é composto o valor pago atualmente da conta de energia, quais valores serão isentos e quais taxas o investidor ainda precisará pagar para a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica. A conta de energia basicamente é dividida entre tarifa de energia (TE), tarifa de uso dos sistemas de distribuição (TUSD) e encargos setoriais. O TUSD inclui os encargos e também perdas que podem ocorrer na distribuidora. Além disso, ainda compõem a conta de energia as tributações como ICMS e PIS/COFINS e existe também o pagamento da contribuição para iluminação Pública.

Para melhor entender a composição tarifária, tem-se como referência a Cemig, concessionária que atende as principais regiões de Minas Gerais. De um total de 100% pagos na conta de energia pelo consumidor 23,1% ficam na Cemig distribuição. Os demais 76,9% são utilizados para cobrir encargos setoriais (16,1%), tributos pagos aos Governos Federal e Estadual (27,3%), energia comprada (26%), encargos de transmissão (7%) e receitas irre recuperáveis (0,5%). Os tributos arrecadados na tarifa de energia, como taxa de iluminação pública, ICMS, PIS e COFINS são repassados integralmente para as prefeituras, Governo Estadual e Governo Federal. (CEMIG, 2022). A composição pode ser demonstrada através da Figura 16.

O transporte de energia elétrica engloba a transmissão da energia desde o processo de geração até a unidade consumidora, sendo realizado em duas etapas. Na primeira etapa, a energia é conduzida da unidade geradora através das linhas de transmissão até a área da distribuidora. Esse primeiro processo é cobrado sobre a tarifa da energia elétrica (TE). Depois, ao chegar na área da distribuidora, a energia é direcionada até as unidades consumidoras através do sistema de distribuição da concessionária (TUSD). As concessionárias, então, cobram por esse serviço em

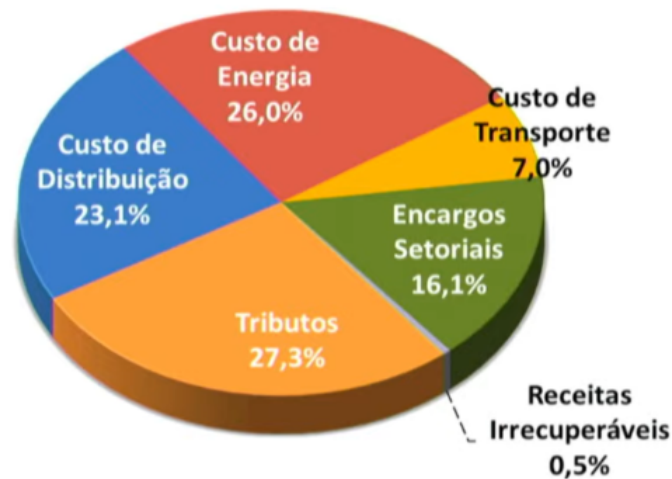


Figura 16 – Composição conta de energia elétrica (CEMIG, 2022).

uma parcela separada na conta de energia.

A composição tarifária para o mercado cativo, pode ser melhor visualizada através da Figura 17 (RIZKALLA, 2018).



Figura 17 – Composição conta mercado cativo (RIZKALLA, 2018).

### 2.6.1 Tarifa de energia (TE)

O modelo tarifário brasileiro é regulamentado na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária – Proret. A resolução diz que existem dois grupos que compreende as modalidades tarifárias no Brasil, são eles o Grupo A consumidores atendidos em alta tensão e o Grupo B consumidores atendidos em baixa tensão.

O grupo B corresponde aos consumidores que recebem tensão abaixo de 2.300V, geralmente, residências e comércios, divididos em:

- B1: residencial e baixa renda;
- B2: rural e cooperativa de eletrificação rural;
- B3: demais classes;
- B4: iluminação pública.

O modelo tarifário desse grupo é do tipo Convencional Monômio, onde as tarifas são aplicáveis apenas para o consumo, sendo o valor de sua conta calculado multiplicando a tarifa em reais pelo consumo em kWh. Existe uma parte referente a um consumo mínimo que, mesmo se não for atingido em um determinado mês, deve ser pago à concessionária pela disponibilidade do sistema. Esse custo varia de acordo com o tipo de ligação do consumidor, para clientes monofásicos esse custo é equivalente ao consumo de 30 kWh, para clientes bifásicos o custo é equivalente a 50 kWh e para clientes trifásicos 100 kWh.

Em 2018 foi permitido aos consumidores do grupo B com média mensal de consumo superior a 500 kWh adesão a tarifa horária branca. A tarifa horária branca é diferenciada de acordo com as horas no consumo de utilização do dia (postos tarifários), o consumidor passou a ter possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana, se, o consumidor priorizar o uso da energia elétrica fora do horário de ponta de consumo, a opção pela tarifa branca pode reduzir o valor da conta de energia. Essa modalidade não está disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse baixa renda do subgrupo B1.(CEMIG, 2022)

O grupo A são os consumidores com tensão acima de 2.300 Volts. Esses consumidores são tipicamente indústrias e grandes complexos comerciais, divididos em 6 subgrupos:

- A1: para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- A2: para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- A3a: para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- AS para sistema subterrâneo.

No grupo A, as tarifas podem ser do tipo horária azul ou horária verde. A tarifa horária azul está disponível para todos os consumidores do subgrupo A e, é diferenciada de acordo com o horário de consumo de energia elétrica e a demanda de potência. A tarifa horária verde é diferenciada para o consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e com a tarifa única de demanda de potência, está disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS (ANEEL, 2021).

As bandeiras tarifárias têm o objetivo de trazer parte do custo sazonal da geração de energia para a conta do consumidor, aplicando uma variação no valor em kWh de acordo com época do ano, condições hidrológicas, volume de chuvas, dentre outras variáveis. Por exemplo, se há maior quantidade de termelétricas conectadas, a bandeira tende a subir um nível, de verde para amarela. A seguir, é descrito o que representa cada uma das cores de acordo com a geração

de eletricidade em um determinado período. Em consulta ao site da ANEEL é possível verificar qual bandeira está sendo aplicada (ANEEL, 2021).

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01874 para cada quilowatt-hora consumidos;
- **Bandeira vermelha - Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,03971 para cada quilowatt-hora consumido;
- **Bandeira vermelha - Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,09492 para cada quilowatt-hora consumido.

No Brasil, as tarifas podem variar de acordo com os postos tarifários que são definidos por distribuidora, no seu processo de revisão tarifária periódica (a cada 4 ou 5 anos), de acordo com a Resolução Normativa (REN) nº 1.000/2021 e os Procedimentos de Regulação Tarifária – Proret. Nas modalidades tarifárias do Grupo A, aplicam-se os horários de ponta e fora de ponta. E na tarifa branca aplicada ao Grupo B, aplicam-se os três postos tarifários: ponta, intermediário e fora ponta (ANEEL, 2021), conforme segue:

- **Horário de ponta:** três horas diárias consecutivas a ser definida pela distribuidora, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais;
- **Horário intermediário:** uma hora antes e uma hora após o horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades tarifárias pertencentes à tarifa branca;
- **Horário fora ponta:** período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário.

Na maioria do estado de Minas Gerais, onde a Cemig é a concessionária, o horário de ponta é das 17h às 20h.

## **2.6.2 Tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD)**

A tarifa de energia TUSD é o valor financeiro único determinado pela ANEEL em concordância com a distribuidora, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do consumidor. A tarifa abrange os custos associados às infraestruturas, equipamentos e componentes da rede de distribuição empregados para fornecer energia com alta qualidade. A composição da TUSD pode ser observada através da Figura 18.

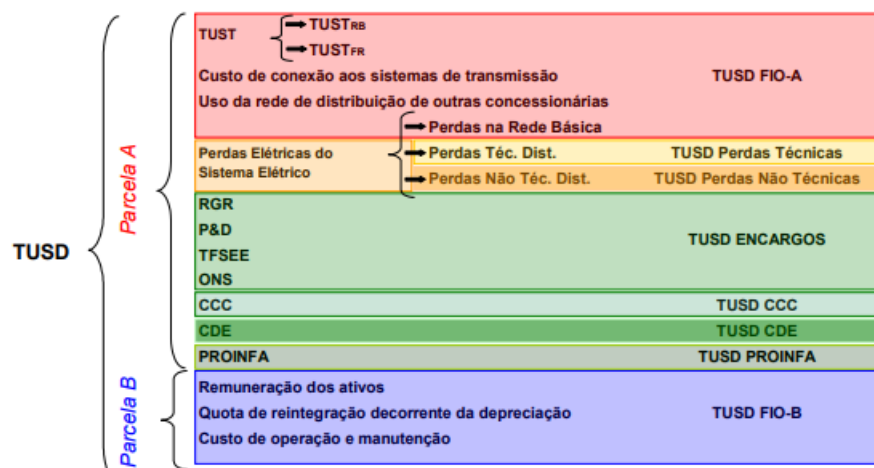


Figura 18 – Composição da TUSD (MEC, 2018).

A lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, promoveu mudanças quanto ao marco da geração distribuída e por isto, será aqui abordada. Observa-se através da Figura 18, que a TUSD é dividida entre a parcela A que contém a TUSD Fio A, e a parcela B, que contém a TUSD Fio B. De forma simplificada, tem-se que:

- O Fio B se refere a infraestrutura do sistema da rede de distribuição da concessionária de acordo com a localização. O termo está associado aos custos deste, desde a distribuição até a entrega da energia nos pontos a serem utilizados, como residências, comércios e indústrias;
- O Fio A se refere a manutenção e operação das linhas de transmissão.

A Lei Nº 14.300 trouxe uma mudança significativa que afeta as unidades de minigeração distribuída com capacidade acima de 500 kW em fontes não despacháveis. Isso se aplica tanto à modalidade de autoconsumo remoto quanto à modalidade de geração compartilhada, onde um único titular detém 25% ou mais de participação no excedente de energia elétrica. Consequentemente, a partir dessa lei, a faturação de energia para essas unidades deve considerar, até 2028, a aplicação da tarifa correspondente à cobrança da tarifa referente a (JUNIOR, 2022):

1. de 100% das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição — Fio B;
2. de 40% das componentes tarifárias relativas ao uso dos sistemas de transmissão da Rede Básica, ao uso dos transformadores de potência da Rede Básica com tensão inferior a 230kV e das Demais Instalações de Transmissão (DIT) compartilhadas, ao uso dos sistemas de distribuição de outras distribuidoras e à conexão às instalações de transmissão ou de distribuição — Fio A;

3. de 100% dos encargos Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética (EE) e Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE).

Após 2023, passa-se a pagar essas taxas de forma gradual. As datas citadas abaixo pelo Art27, levam em consideração a data de solicitação de acesso protocolada, por exemplo, caso a solicitação ocorra em setembro de 2022, inicia-se pagando 15% e após a virada do ano, passa-se a pagar 30%.

Art. 27. O faturamento de energia das unidades participantes do SCEE não abrangidas pelo art. 26 desta lei deve considerar a incidência sobre toda a energia elétrica ativa compensada dos seguintes percentuais das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição:

- I – 15% (quinze por cento) a partir de 2023;
- II – 30% (trinta por cento) a partir de 2024;
- III – 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
- IV – 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;
- V – 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
- VI – 90% (noventa por cento) a partir de 2028;
- VII – a regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

Com base nas informações coletadas sobre geração distribuída, mercado livre de energia e métodos de cobrança de tarifas, bem como nas normas e leis relacionadas à compensação de energia, é possível progredir para o estudo de caso e aplicar os conceitos aprendidos no processo de dimensionamento.

### 3 Metodologia

Neste capítulo, são apresentados os componentes e requisitos necessários para as análises comparativas aplicadas ao estudo de caso proposto. Com o intuito de reforçar os conceitos discutidos no capítulo 2, é feito um estudo sobre uma conta de consumo de energia elétrica industrial. A Figura 19 ilustra a metodologia empregada no estudo. Inicialmente, os dados da conta de energia elétrica são coletados, seguidos pelo dimensionamento do sistema fotovoltaico. Posteriormente, é realizada uma análise financeira para a geração de energia por meio desse sistema. O mesmo processo é conduzido para a análise no contexto do mercado livre de energia. Ao final, os resultados são obtidos por meio da comparação entre os modelos abordados.

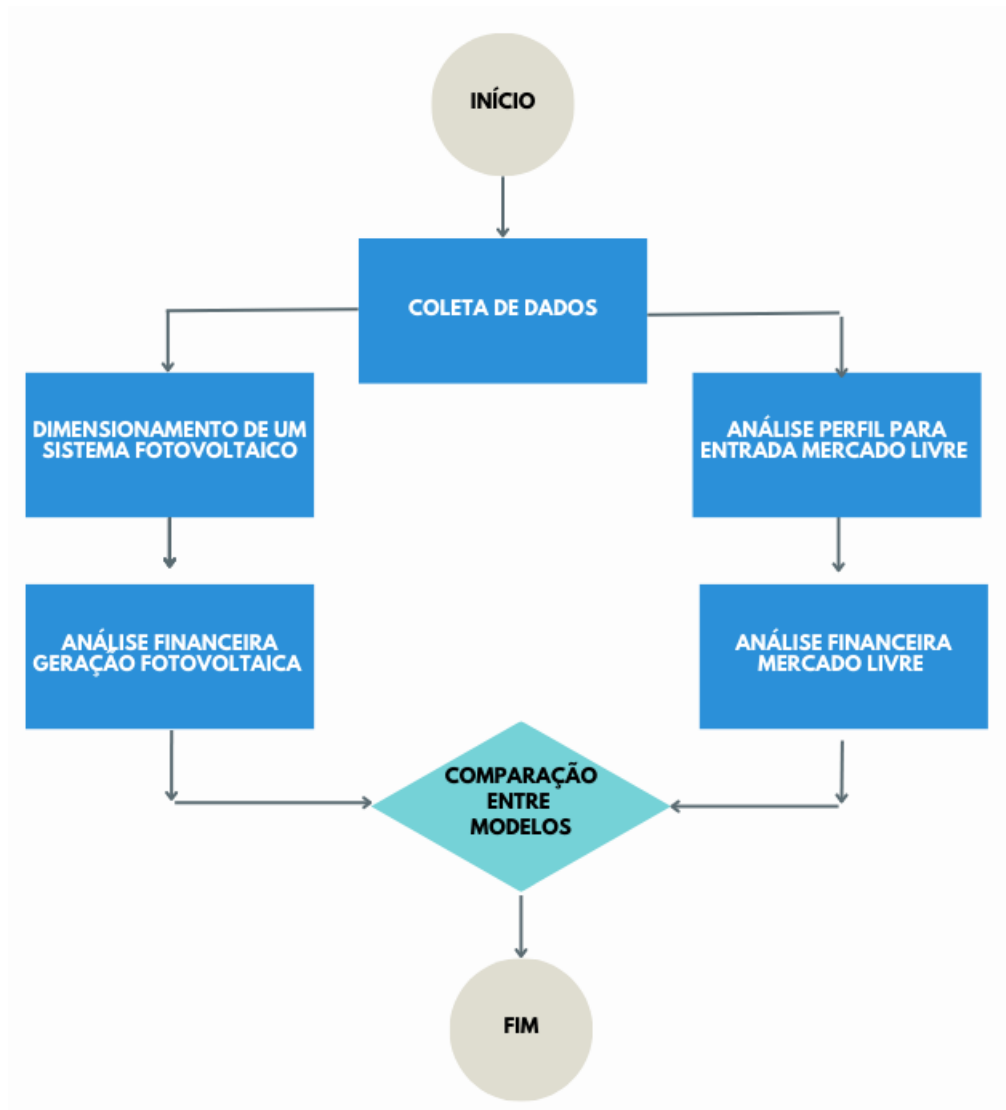


Figura 19 – Fluxograma atividades (Autoria própria).

### 3.1 Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Na etapa de avaliação da atratividade da energia fotovoltaica é fundamental calcular todos os custos envolvidos, por exemplo, dos equipamentos, instalação e manutenção. Primeiramente, é realizado o levantamento da carga que o sistema deseja suprir, ou sua capacidade de geração de energia. Estes aspectos serão abordados com base em uma usina fotovoltaica de minigeração de energia pelo sistema *grid-tie* ilustrado pela Figura 20.

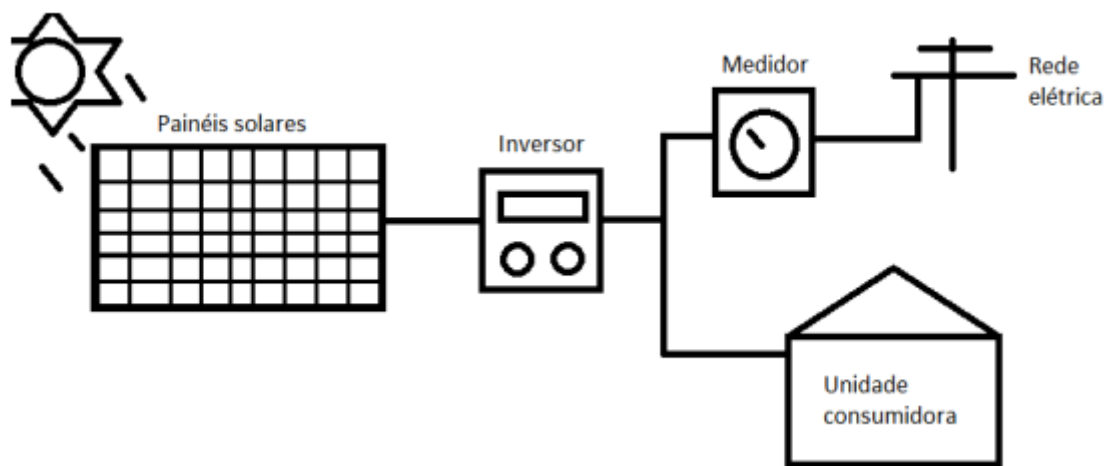


Figura 20 – Sistema de minigeração fotovoltaica *grid-tie* (GUSMAN et al., 2018).

No dimensionamento do sistema é importante realizar o cálculo da quantidade de energia mensal que deseja compensar. O consumo médio/dia será a energia que se deseja compensar no dia (RIBEIRO, 2016), conforme a equação 3.1, abaixo:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{30}, \quad (3.1)$$

onde:  $E_{cd}$  é a energia que deseja compensar no dia, e  $E_{cm}$ , a energia que deseja compensar no mês.

Com uma análise na conta de energia elétrica, verifica-se o consumo atual e o consumo médio anual, em kWh. Caso o valor médio não esteja destacado na conta, basta calcular o consumo médio. Quando o consumidor é do grupo A, a média do consumo deve ser calculada separadamente para hora ponta e hora fora ponta. Baseado no cálculo de consumo, os seguintes passos devem ser considerados para dimensionar o sistema:

- Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos;
- Dimensionamento dos inversores;

- Dimensionamento dos condutores, proteções, estruturas e acessórios.

### 3.1.1 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

As placas fotovoltaicas são utilizadas para converter a energia luminosa em energia elétrica. O módulo fotovoltaico é uma estrutura de alumínio, composta por células fotovoltaicas em paralelo e em série, comumente coberta por vidro ou plástico. Essa cobertura protege o módulo contra as ações do tempo e possíveis impactos de animais com a estrutura. As placas solares possuem perdas durante o processo de geração, por exemplo, perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica (*Mismatch*), acúmulo de sujeira, sombreamento, degradação, cabeamento corrente contínua, cabeamento corrente alternada e perdas do inversor. O rendimento do sistema de forma a compensar as perdas pode ser calculado com a Equação 3.2.

$$\eta = 100 - \sum P_t, \quad (3.2)$$

onde:  $\eta$  representa o rendimento e  $P_t$  o somatório das perdas.

Dado o rendimento do sistema, faz-se necessário conhecer o número de horas de sol pleno (HSP), ou seja, número de horas em que a irradiância solar deve ser constante e igual a 1000 W/m<sup>2</sup>, quando as placas conseguem fornecer sua potência máxima. Esse dado varia de acordo com a região, logo, antes de realizar um projeto deve consultar a cidade de instalação no *Google Maps* para obter as informações de latitude e longitude. Após a obtenção desses dados, basta acessar a ferramenta Potencial Solar - SunData v 3.0 que é um mapa solar métrico criado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). Assim, obtém-se as referências para a irradiação solar diária média em kWh/m<sup>2</sup>.dia de acordo com a cidade. A média de incidência solar diária nos municípios do Brasil é de 5,26 kWh/m<sup>2</sup>. Dessa forma, pode-se encontrar quanto de potência de energia deve-se gerar, conforme abaixo:

$$W_p = \frac{Ecd}{I_s \cdot \eta}, \quad (3.3)$$

onde:  $W_p$  é a potência elétrica e  $I_s$ , a irradiação solar diária média em kWh/m<sup>2</sup>.

Obtido o valor da potência elétrica que deve ser gerada pelos painéis e sabendo a potência de cada painel, obtém-se o número de painéis ( $N_{ps}$ ) a serem usados, a partir da equação abaixo:

$$N_{ps} = \frac{W_p}{P_p}, \quad (3.4)$$

onde:  $N_{ps}$  é o número de painéis necessários no projeto e  $P_p$ , a potência de cada painel solar.

Caso a quantidade de painéis não dê um valor exato, sugere arredondamento para cima, de modo a garantir o valor mínimo de consumo. Com isso, recalcula-se a potência total dos módulos, assim:

$$Wp = Nps.P_p, \quad (3.5)$$

onde:  $Wp$  é a potência elétrica projetada para geração do sistema fotovoltaico.

A geração diária em kWh é dada pela equação a seguir:

$$Eg = Is.Wp.\eta, \quad (3.6)$$

onde:  $Eg$  é a energia de geração.

Visando a otimização do projeto, recomenda-se utilizar painéis com a potência maior, em torno de 330W e 575W, pois proporcionam menor preço por  $W$ , em comparação às placas pequenas, como de 150W e 240W. Além disso, permite montar um sistema com menos módulos, o que deixa a instalação mais simples e rápida. O painel deve ser fixado pelo mesmo valor da latitude local, levando em consideração a inclinação da residência, comércio ou indústria. Ademais, o Brasil está localizado no Hemisfério Sul, os painéis irão apresentar a face orientada para o Norte (SELHORST; ALVES; NOBRE, 2020).

O material dos módulos mais comum encontrados no mercado são do tipo silício monocristalino e policristalinos. Silício monocristalino são compostos por células finas entre 0,4 e 0,5mm<sup>2</sup> de espessura de silício, possuem a capacidade de conversão da luz solar em energia elétrica em torno de 15 a 22%. A grande vantagem é que em condições de pouca luz ou sombras, possuem maior rendimento que os policristalinos, porém maior custo. Já os policristalinos possuem o rendimento menor, e conseqüentemente, eficiência diminuída para 14 e 20% de conversão solar, isso ocorre pois os átomos não se organizam num único cristal e sim em muitos pequenos cristais, reduzindo a espessura. Para o presente estudo, foram consideradas células com material silício monocristalino devido a maior eficiência.

O dimensionamento do número de painéis é arredondado para cima porque o sistema solar deve entregar, mesmo ao fim da sua vida útil, a potência gerada total, para projeção inicial é considerada potência necessária constante, porém, na prática, ao longo dos anos a energia gerada vai diminuindo, impossibilitando o sistema de suprir as necessidades desta unidade, com os cálculos contendo uma maior capacidade de geração necessária, há um excedente de energia elétrica gerada ao longo dos primeiros anos de instalação do sistema. Este excesso é injetado na rede elétrica da concessionária e o gerador individual receberá o ressarcimento na forma de créditos acumulados por, no máximo, 60 meses sendo feita uma compensação de consumo.

### 3.1.2 Dimensionamento dos inversores

O inversor tem a função de converter a energia contínua proveniente dos painéis solares em corrente alternada e faz a sincronização de frequência da energia produzida com a fornecida pela concessionária. A escolha do inversor deve ser feita de acordo com a tensão CC gerada pelo sistema fotovoltaico corrigida pelo efeito de temperatura e a potência total do sistema. Outra

indicação importante é que existem inversores diferentes para sistemas monofásicos, bifásicos e trifásicos. A tensão máxima do sistema na condição nominal é dada, conforme segue:

$$V_{ts} = V_{oc} \cdot N_{ps}, \quad (3.7)$$

onde:  $V_{ts}$  é a tensão máxima na condição nominal (V) e  $V_{oc}$  é a tensão de circuito aberto do painel (V).

A correção de tensão por efeito de temperatura, é calculado pela equação abaixo:

$$V_t = V_{ts}(1 - \beta \Delta T), \quad (3.8)$$

onde:  $V$  representa a tensão corrigida pelo efeito temperatura (V),  $\Delta t$  a variação de temperatura possível (Tmin), e  $\beta$  o coeficiente de temperatura da tensão (%/°C).

Assim, obtém-se qual a tensão de entrada CC corrigida e, a partir disto, é possível calcular qual a corrente máxima de entrada:

$$IF_v = \frac{W_p}{V \Delta t}, \quad (3.9)$$

onde:  $IF_v$  é a corrente máxima de entrada.

Após a conclusão dos cálculos, é importante verificar a tensão nominal do sistema fotovoltaico, a qual é determinada com base na configuração dos painéis solares. Além disso, a potência nominal do inversor deve ser igual ou superior à potência total dos painéis solares. A partir desses critérios, é possível selecionar o inversor mais compatível com o sistema a ser dimensionado.

Outra opção a ser considerada é a compra de múltiplos inversores para o dimensionamento do sistema, de acordo com a seguinte abordagem:

$$N_i = \frac{W_p}{P_i}, \quad (3.10)$$

onde:  $N_i$  é o número de inversores, e  $P_i$  é a potência de cada inversor.

### 3.1.3 Dimensionamento dos condutores

O sistema fotovoltaico possui tanto corrente contínua quanto alternada. Desse modo, deve-se usar cabos diferentes para atender aos requisitos de correntes diferentes. As correntes contínuas estão sujeitas à ação de forças de natureza eletromagnética que resultam em correntes paralelas de sentido inverso e também ao aquecimento por efeito de *Joule*. O cabeamento é dividido entre os cabos de fileira, cabo principal CC e cabo do ramal CA. Os cabos de fileira são os condutores que estabelecem a ligação elétrica entre as células fotovoltaicas e a caixa de junção do gerador, usados para proteção em caso de ocorrência de falhas de terra, como curto-circuito.

O cabo de corrente contínua é para estabelecer a ligação entre a junção do gerador e o inversor e, esses cabos devem ser entubados. O cabo da linha de corrente alternada é o cabo que liga o inversor à rede receptora, através de um equipamento de proteção, geralmente disjuntores termomagnético bifásicos de correntes nominais fixados em um quadro de proteção e isolamento da rede CA que também possui proteção contra surtos provenientes dessa rede.

Para garantir a manutenção mais assertiva do sistema, é essencial isolar o inversor do gerador fotovoltaico utilizando um interruptor principal AC, conforme estipulado pela norma IEC 60364-7-712, que regula as instalações elétricas em edifícios. Essa norma requer a instalação de um aparelho de corte para a ligação entre o gerador fotovoltaico e o inversor. Essa proteção é implementada por meio das chamadas *Strings Box*, que consistem em invólucros que abrigam os dispositivos de proteção e as conexões elétricas, um dispositivo seccionador, como uma chave ou disjuntor, além de dispositivos de proteção contra sobretensão e sobrecorrente (SAMPAIO, 2022)

Posteriormente ao dimensionamento do sistema fotovoltaico quantidade de placas e inversores é possível efetuar um esquema geral da instalação, onde é determinado o comprimento aproximado dos cabos referentes a cada parte da instalação e calcular qual a seção necessária dos cabos. Os custos da infraestrutura do sistema incluem diversos componentes. Além dos cabos e dispositivos de proteção, deve ser considerado no orçamento o valor do medidor bidirecional para realizar a leitura do consumo de energia da rede e da energia injetada na rede pelo sistema fotovoltaico. Outro custo do sistema é a instalação e mão de obra especializada para realizar tal atividade.

O dimensionamento dos cabos, proteções, estrutura e mão de obra está diretamente relacionado ao dimensionamento dos módulos e inversores. Assim, para a análise de investimento, será considerado um percentual de 30%, referente a esses itens em relação ao valor total do dimensionamento dos módulos e inversores. Deste percentual, 5% é destinado à mão de obra, enquanto o restante é destinado à parte estrutural e materiais (OLIVEIRA, 2015).

### 3.1.4 Análise de viabilidade econômica- projeto fotovoltaico

Esse tópico aborda estudo de viabilidade econômica para o sistema fotovoltaico. Na análise serão utilizados parâmetros de investimentos:

- Taxa mínima de atratividade (TMA);
- Valor presente líquido (VPL);
- Taxa interna de retorno (TIR);
- Tempo para retorno do investimento - *Payback*.

A TMA representa uma opção de investimento praticamente isenta de riscos e, é considerada a melhor alternativa disponível para aplicação de recursos financeiros. Por exemplo,

aplicação na poupança e tesouro direto são considerados investimentos de risco baixo. Diante dessas informações, para que o projeto fotovoltaico seja viável é preciso que a sua taxa de retorno seja maior do que a TMA (NETO, 2009).

O valor presente líquido ou valor líquido atual é um conceito que consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto, ou seja, a rentabilidade que o mesmo está apresentando com o investimento e somá-los ao valor do investimento inicial, esse último entra como o valor negativo que deve ser descontado ao longo do tempo. Nesse cálculo deve ser descontada também a TMA da empresa ou projeto (CAMARGO, 2017a), conforme segue:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} k = \frac{Fct}{(1+i)^n}, \quad (3.11)$$

onde:  $VPL$  é o Valor Presente Líquido,  $FC$  é fluxo de caixa,  $t$  o momento em que o fluxo de caixa ocorreu,  $i$  é a taxa mínima de atratividade e  $n$  é o período de tempo que se deseja estimar.

Assim, com base no resultado considera-se que:

- VPL negativo: as despesas são maiores que as receitas, e o projeto é inviável;
- VPL positivo: as receitas são maiores que as despesas, e o projeto é viável;
- VPL zero: as despesas e receitas são iguais, e o projeto é neutro.

A taxa interna de retorno (TIR) é um parâmetro utilizado para avaliar a rentabilidade do investimento. A TIR calcula a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que seu VPL se igual a zero (CAMARGO, 2017b), calculado pela equação 3.12.

$$VP = capital + \sum_{N}^{t=1} \frac{Ft}{(1+i)^t}, \quad (3.12)$$

onde:  $VP$  é o valor presente,  $capital$  é o valor total do investimento,  $N$  é a quantidade de períodos,  $Ft$  é a entrada de capital no período  $t$ , e  $i$  é a taxa interna de retorno.

O  $VP$  deve ser considerado igual a zero, pois, conforme definição, a TIR calcula a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que seu VPL seja igual a zero. O  $capital$  é o investimento inicial e deve ser sempre negativo,  $N$  é a quantidade de períodos a serem analisados. O  $Ft$  é o valor da entrada de dinheiro no período  $t$  (CAMARGO, 2017b).

No estudo de caso industrial será considerada a taxa de rendimento da Selic como a taxa mínima de atratividade. Portanto, para o investimento em geração fotovoltaica ser vantajoso a TIR deve ser maior do que a TMA.

- $TIR > TMA$ : Projeto viável;
- $TIR < TMA$ : Projeto inviável;

- TIR = TMA: Projeto neutro.

## 3.2 Análise de Consumo e Viabilidade Econômica para Entrada no Mercado Livre de Energia

Na adesão ao Mercado Livre de energia, não há uma construção de uma usina geradora, como ocorre para a geração distribuída, assim sendo, não é necessário analisar o dimensionamento de projeto. Para essa alternativa deve-se entender a composição da conta de energia no mercado cativo para entender o percentual que ainda será pago à concessionária e o percentual a ser negociado livremente. Após isso, realizar pesquisa de mercado para verificar qual o valor será ofertado ao consumidor, estimar o valor gasto com o SMF, e realizar projeções para viabilidade do mesmo. Neste estudo, será utilizado o método de ponto de equilíbrio conhecido como *Break Even Point*. O ponto de equilíbrio é escolhido como método de avaliação porque é um indicador de segurança do negócio, onde irá avaliar se a migração para o ACL é viável e indicar o valor máximo para tarifa de energia no mercado livre, onde ao realizar a troca, o consumidor não terá prejuízo.

### 3.2.1 Método do ponto de equilíbrio

O método do ponto de equilíbrio é um parâmetro de gestão financeira que permite determinar a quantidade de vendas necessárias que cobrem as despesas do negócio. Desse modo, sendo o ponto em que a receita é igual aos custos, resultando em um lucro zero. Essa análise é fundamental para as empresas, pois ajudam a identificar o mínimo de vendas necessário, a fim de evitar prejuízos e alcançar a estabilidade financeira. Além disso, conhecendo o ponto de equilíbrio, é possível estabelecer metas de vendas realistas e tomar decisões estratégicas.

No mercado livre de energia, o ponto de equilíbrio é alcançado quando a tarifa de energia para migração no ACL é igual a tarifa no mercado regulado. Por exemplo, existe um preço definido para aquisição da energia no mercado cativo. Por outro lado, no mercado livre o preço deve atender às condições do consumidor, de forma que seja viável. Assim sendo, o custo máximo para a migração é igual ao valor da tarifa de energia do mercado cativo. Além disso, a tarifa no ACL deve ser menor considerando o custo do SMF. Contudo, esse método é utilizado pelos agentes comercializadores para justificar aos consumidores a viabilidade para o ACL.

A Figura 21 ilustra a conversão da tarifa cativa na tarifa livre. Para a cativa, tem-se a divisão entre TE e TUSD, na tarifa livre é possível obter descontos na tarifa de energia e TUSD. Para melhor abordagem e evidência em que há uma redução na ACL, a composição da conta de energia elétrica será separada em:

$$T_{ACR} = TE + TUSD, \quad (3.13)$$

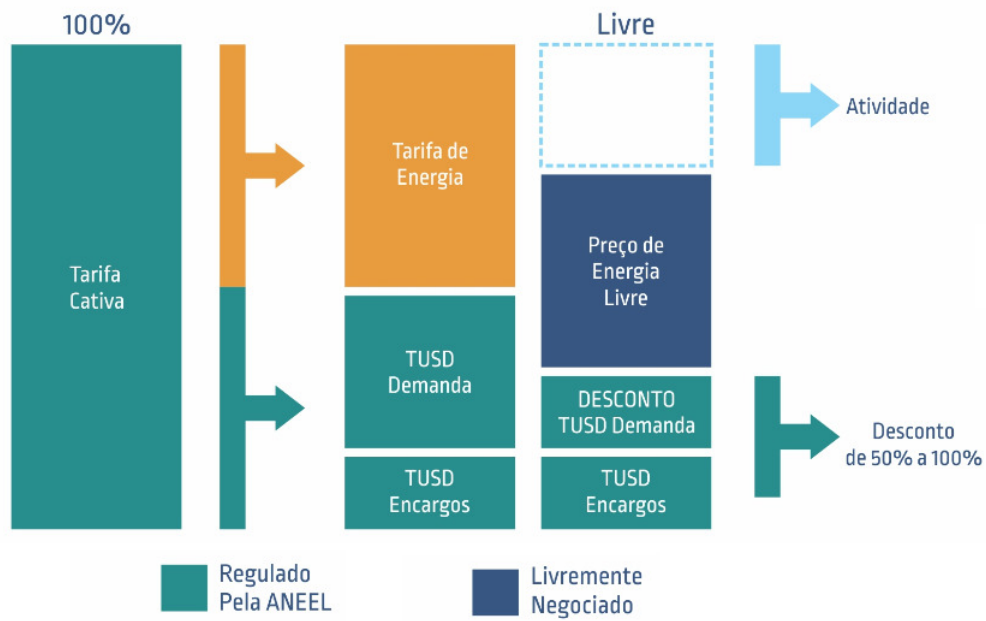


Figura 21 – Composição da tarifa de energia (SMART, 2017).

onde: TE é a parcela referente aos custos de aquisição da energia e pelos percentuais de perdas na rede básica do SIN. E a segunda parcela, TUSD são os custos de encargos somados aos custos de distribuição, sendo pagos à concessionária tanto para o consumidor cativo quanto para o consumidor livre, sendo a parcela em comum aos dois ambientes.

O desconto mencionado na Figura 21, é conforme regulamentação para os consumidores ditos especiais, são aqueles que adquirem energias provenientes de fontes renováveis, como a solar, por exemplo. As fontes incentivadas têm direito a um desconto mínimo de 50% sobre importante parcela da TUSD, conferindo também tal direito aos consumidores por elas atendidos.

Sendo assim, para o encontro do ponto de equilíbrio, tem-se que:

$$V = VTE_{ACR} + VTUSD_{ACR} = VTE_{ACL} + VTUSD_{ACL}, \quad (3.14)$$

onde:  $V$  é o valor do ponto de equilíbrio e é dado em R\$/MWh;  $VTE_{ACR}$  é o valor referente a TE no ACR;  $VTE_{ACL}$  é o valor referente a TE no ACL,  $VTUSD_{ACR}$  é o valor referente à TUSD no ACR e  $VTUSD_{ACL}$  é o valor referente à TUSD no ACL.

O primeiro passo consiste em calcular o valor da conta de energia no mercado cativo, aplicando-se as tarifas referentes a modalidade tarifária do mesmo. Considera-se o consumo em kWh e a demanda em kW. Para o grupo A, tem-se que:

$$V_{ACR} = VTE_{ACR} + VTUSD_{ACR} \quad (3.15)$$

Para a TE, tem-se que:

$$VTE_{ACR} = C_p \cdot TC_p + C_{fp} \cdot TC_{fp} \quad (3.16)$$

Para a TUSD, tem-se que:

$$VTUSD_{ACR} = D_p \cdot T_p + D_{fp} \cdot T_{fp} + C_p \cdot T_{ep} + C_{fp} \cdot T_{efp} + D_u \cdot T_{Du} \quad (3.17)$$

As grandezas das equações (3.15), (3.16) e (3.17) estão relacionadas através da Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis para cálculo da conta de energia

Sigla	Descrição	Unidade
$C_p$	Consumo do cliente no horário de ponta	kWh
$TC_p$	Valor da tarifa de consumo para o horário de ponta,	R\$/kWh
$C_{fp}$	Consumo do cliente no horário fora de ponta	kWh
$TC_{fp}$	Valor da tarifa de consumo para o horário fora de ponta,	R\$/kWh
$D_p$	Demanda contratada para o horário de ponta	kW
$T_p$	Tarifa aplicada à demanda na ponta, sem tributos	R\$/KW
$D_{fp}$	Demanda contratada para o horário fora de ponta	kW
$T_{fp}$	Tarifa aplicada à demanda na ponta, sem tributos	R\$/KW
$T_{ep}$	Tarifa referente aos encargos no horário de ponta, sem tributos	R\$/KWh
$T_{efp}$	Tarifa referente aos encargos no fora horário de ponta, sem tributos	R\$/KWh
$D_u$	Demanda de ultrapassagem	kW
$T_{Du}$	Valor da tarifa de demanda de ultrapassagem	R\$/kW

Considerando a aplicação do tributos como ICMS, PIS/COFINS, o valor final é calculado pela seguinte equação:

$$V_{ACRF} = VTE_{ACR} + VTUSD_{ACR} + V_{ICMS} + V_{PIS}, \quad (3.18)$$

Onde:  $V_{ICMS}$  significa o valor do ICMS em R\$, e  $V_{PIS}$  significa o valor do PIS/COFINS em R\$.

A fim de evitar que o estudo apresente uma inclinação em favor do mercado livre de energia, será adotado o cenário mais favorável do ACR. Isso implica considerar o consumo sob a bandeira verde, sem quaisquer acréscimos na parcela de consumo de energia. No estudo de viabilidade será considerado a TUSD como 100%, pois o desconto na mesma depende da opção de contratação da energia de fontes incentivadas e da outorga do empreendimento, não sendo uma regra para todos os consumidores especiais. Considerando o valor total da TUSD proporcionará um estudo mais real e seguro. Porém, recomenda-se ao consumidor livre escolher fontes incentivadas para ir de encontro à pauta ESG e oportunizar uma melhor redução na conta de energia elétrica.

A conta de energia analisada pode ser de apenas um mês, ou idealmente referente à média de consumo dos últimos 12 meses, assim, faz-se necessário obter qual a média de tarifa paga para a TE, TUSD e valor total no ACR, conforme segue:

$$VTE_{ACR_{medio}} = \frac{V_{ACR}}{C_p + C_{fp}}, \quad (3.19)$$

onde:  $VTE_{ACR_{medio}}$  é o valor da TE considerando a média dos últimos 12 meses para o mercado cativo.

$$VTUSD_{ACR_{medio}} = \frac{VTUSD_{ACR}}{C_p + C_{fp}}, \quad (3.20)$$

onde:  $VTUSD_{ACR_{medio}}$  é o valor da TUSD considerando a média dos últimos 12 meses para o mercado cativo.

$$V_{ACRF_{medio}} = \frac{V_{ACRF}}{C_p + C_{fp}}, \quad (3.21)$$

onde:  $V_{ACRF_{medio}}$  é o valor da conta de energia média dos últimos 12 meses para o mercado cativo.

Para o valor no ACL, tem-se que:

$$V_{ACL} = VTE_{ACL} + VTUSD_{ACL} + V_{CCEE}, \quad (3.22)$$

onde:  $V_{CCEE}$  é o valor cobrado pela CCEE pela energia de reserva, liquidação financeira (encargos e mercado de curto prazo) e contribuição associativa da câmara comercializadora de energia elétrica.

Para obter o ponto de equilíbrio, entre o mercado cativo e livre e, igualando as tarifas, tem-se que:

$$V = VTE_{ACR} + VTUSD_{ACR} = VTE_{ACL} + VTUSD_{ACL} + V_{CCEE} \quad (3.23)$$

Sendo assim, calcula-se a TUSD para o ACL uma vez que pretende-se encontrar a variável dependente para o cálculo, tem-se que:

$$VTUSD_{ACL} = (1 - V_{desc})D_p \cdot T_p + D_{fp} \cdot T_{fp} + C_p \cdot T_{ep} + C_{fp} \cdot T_{efp}, \quad (3.24)$$

onde:  $V_{desc}$  é o valor do desconto concedido por contratação de energia elétrica provinda de fontes renováveis, que nesse estudo não será considerado, mesmo quando a energia é adquirida de fontes incentivadas. Isso ocorre porque esse desconto depende da data em que a concessão foi concedida ao empreendimento que está negociando a energia. Mas, caso o leitor tenha o desconto, basta substituir nessa grandeza.

Isolando o valor da tarifa de energia no mercado livre, encontra-se o valor máximo que deve ser pago na mesma, já inclusos os impostos que é o ponto de equilíbrio, quando nos dois mercados as tarifas são iguais. Assim:

$$VTE_{ACLmax} = VTE_{ACR} + VTUSD_{ACR} - VTUSD_{ACL} + V_{CCEE} \quad (3.25)$$

Obtendo o valor  $VTE_{ACLmax}$  pode-se encontrar o equilíbrio entre o mercado cativo e livre. Desta forma, se o valor ofertado pelo agente varejista for maior que o valor encontrado, deve-se continuar no mercado cativo, já se o preço praticado no ambiente de contratação livre for menor do que o valor  $VTE_{ACLmax}$ , será mais vantajoso para o consumidor migrar para esse ambiente.

Assim, o total da conta no mercado livre será dado pela Equação (3.22) com base no valor ofertado pelo agente varejista para a  $VTE_{ACL}$ .

### 3.2.2 Análise de viabilidade econômica - mercado livre

Caso seja viável pelo método de ponto de equilíbrio, a segunda análise será de um conjunto de conceitos financeiros aplicados anteriormente para o sistema fotovoltaico: TMA, VPL, TIR e *Payback*.

Embora a migração para o ACL não requer investimento da usina geradora, é necessário investimento no Sistema de Medição para Faturamento, conforme mencionado anteriormente. Segundo a Sion Energia, o valor para a adequação do sistema pode variar de R\$ 2.000,00 até R\$ 30.000,00 mil. Em alguns casos o SMF pode chegar até R\$50.000,00 para sistemas com nível de tensão de 15kV (CAPETTA, 2009). No estudo de caso em análise, será adotado o valor de R\$20.000,00 para a adequação.

## 3.3 Estudo de Caso

A DEL REY Minerals é uma indústria que fornece equipamentos e soluções para a mineração, atualmente com quadro de mais de 400 funcionários, atuando em diversos países como Brasil, Peru, Espanha e Chile. A sede da empresa está localizada em Itabirito-MG. A Figura 22 ilustra o parque industrial, o qual ocupa a área de 30.000 m<sup>2</sup>.



Figura 22 – Industria DEL REY Minerals (DEL REY, 2022).

A conta de análise é referente a abril de 2023 e abrange o histórico de consumo de maio de 2022 a abril de 2023. A conta de energia contém as seguintes informações conforme apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Informações conta de energia DEL REY

Distribuidora	Cemig
Classe	Industrial
Modalidade Tarifária	THS Verde A4
Modulação contratual/Horário de ponta	17:00 às 20:00
Demanda contratada	800 kW

A modalidade tarifária THS é baseada no horário de consumo de energia elétrica, sendo aplicadas distintas tarifas de acordo com os períodos do dia, como pico (HP) e fora de pico (HSP). A4 refere-se a tensão de alimentação entre 2,3 kV e 25 kV.

O turno principal da empresa é de 07:00 às 17:00 horas e os demais horários funcionam apenas em caso de demanda, sendo variável. A empresa atende ao requisito de demanda mínima de 500 kW e pode realizar a compra de energia no mercado livre, bem como, investir em minigeração distribuída da energia.

Contudo, no estudo de caso é feita uma abordagem para avaliar qual o tipo de fornecimento de energia elétrica é mais viável para a empresa DEL REY Minerals que possui demanda contratada de 800 kW que pode ser atendida por geração fotovoltaica ou mercado livre.

## 4 Resultados

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia, utilizando como base o estudo de caso realizado na empresa DEL REY. São discutidas as análises de viabilidade econômica do mercado livre de energia e do projeto fotovoltaico.

### 4.1 Resultados da Geração Fotovoltaica

O estudo da empresa DEL REY será para usina fotovoltaica de minigeração de energia pelo sistema *grid-tie*. A empresa possui média de consumo de 97.695 kWh/mês, somando o consumo ponta e fora ponta, porém como a empresa pertence ao grupo A, faz-se necessário analisar qual a média de consumo fora ponta e ponta. A Tabela 3 mostra que a média de consumo no horário ponta é de 7.875 kWh/mês e no horário fora ponta é de 89.880 kWh/mês.

Tabela 3 – Histórico de consumo energia elétrica da empresa DEL REY

MÊS	Energia (kWh)	
	HP	HFP
abr/23	6.020	69.790
mar/23	7.560	80.220
fev/23	5.460	58.590
jan/23	7.560	77.280
dez/22	7.770	62.790
nov/22	8.610	99.540
out/22	6.510	73.710
set/22	8.610	99.750
ago/22	10.920	121.800
jul/22	7.980	119.490
jun/22	9.030	106.890
mai/22	11.340	117.810
Média	7.875	89.880

Para calcular a quantidade de energia que se pretende compensar por meio do sistema fotovoltaico, é importante considerar que, no grupo A, a compensação não ocorre da mesma forma que no grupo B. Enquanto no grupo B, a compensação é realizada pela média do consumo geral, e no grupo A em uma base diferente. No grupo A, a compensação ocorre de forma proporcional apenas para o consumo fora de ponta, onde a cada 1 kWh gerado pelo sistema fotovoltaico é possível compensar exatamente 1 kWh de consumo fora do horário de ponta. Porém, no horário de ponta, a compensação não é proporcional. Isso mostra que é necessário produzir mais do que 1 kWh de energia pelo sistema fotovoltaico para compensar a mesma quantidade de consumo durante o horário de ponta.

É fundamental considerar essa diferenciação no modo de compensação entre os horários de ponta e fora de ponta ao dimensionar o sistema fotovoltaico para o grupo A. Essa diferença afeta a decisão de escolher se o projeto será dimensionado para todo o consumo ou apenas para uma parte dele. No estudo da empresa DEL REY, optou-se por analisar o projeto para o horário fora de ponta, que corresponde a 91,24% do consumo total, conforme pode-se observar através da Figura 23, o período HFP descreve o perfil de consumo da DEL REY, esse gráfico foi obtido através do histórico de consumo apresentado na Tabela 3. Essa abordagem permitirá dimensionar o sistema fotovoltaico na compensação da maior parte do consumo de energia, considerando o período fora de ponta.

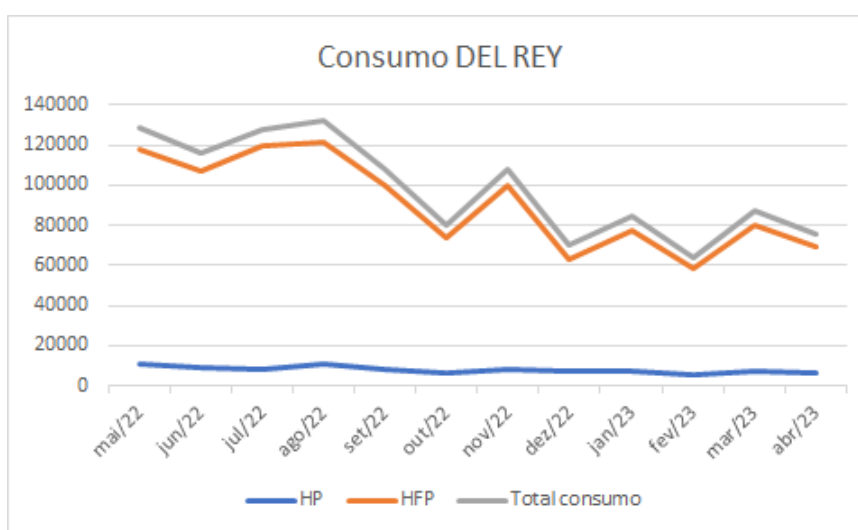


Figura 23 – Consumo HP, HFP e total da empresa DEL REY Minerals (Autoria própria).

Na empresa DELREY, a demanda contratada é de 800kW para fora ponta e não existe demanda contratada na ponta, pois a empresa pertence a modalidade tarifária verde. A demanda contratada é comparada com a demanda consumida na Figura 24. Pode-se observar que, em nenhum momento, a demanda consumida ultrapassa a demanda contratada, que é um ponto positivo, já que a demanda de ultrapassagem, é geralmente tarifada, com o dobro do valor normal. Vale ressaltar que a demanda da DEL REY foi alterada no mês de março, sendo alterada de 30kW para 800KW. Sendo assim, a demanda contratada é suficiente e, para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, deve-se garantir que a potência do sistema projetado não ultrapasse a potência contratada.

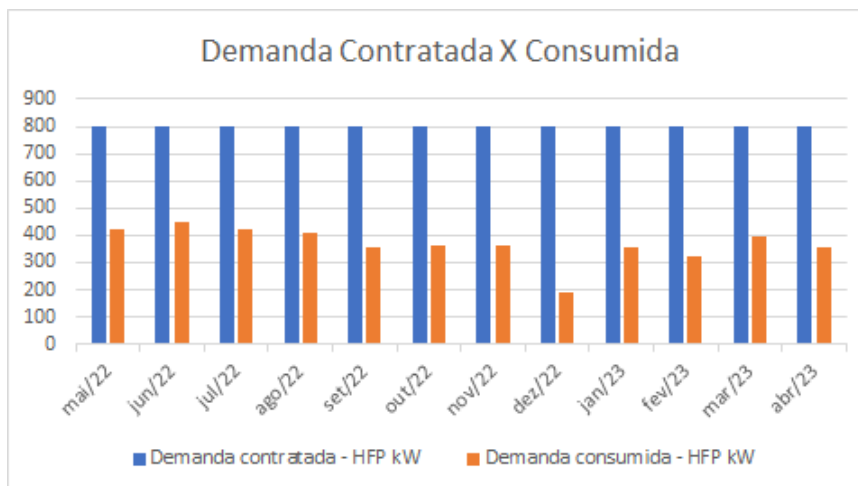


Figura 24 – Comparativo entre a demanda contratada e a demanda consumida da empresa DEL REY Minerals (Autoria própria).

Em pesquisa ao *Google Maps*, foram obtidas as coordenadas  $-20.256327^{\circ}$  S e  $-43.8198007, 14^{\circ}$  O de latitude e longitude, respectivamente. Acessando a ferramenta Potencial Solar - SunData v 3.0, é possível obter a Irradiação solar diária média em kWh/m<sup>2</sup>. Pode-se observar através da Tabela 4, que a inclinação de  $20^{\circ}$  N ou  $21^{\circ}$  N é que se tem a melhor média de irradiação solar e por isto, será adotada. Assim, a irradiação solar é dada por 5,06 kWh/m<sup>2</sup> dia (CEPEL, 2023).

Tabela 4 – Dados de irradiação média Itabirito-MG

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	$0^{\circ}$ N	5,43	5,66	4,83	4,49	4,01	3,89	4,13	5,01	5,18	5,19	4,88	5,28	4,83
Ângulo igual a latitude	$20^{\circ}$ N	4,96	5,41	4,92	4,97	4,79	4,89	5,10	5,82	5,47	5,07	4,53	4,78	5,06
Maior média anual	$21^{\circ}$ N	4,93	5,39	4,91	4,98	4,82	4,92	5,14	5,84	5,47	5,05	4,51	4,74	5,06
Maior número mensal	$15^{\circ}$ N	5,11	5,52	4,93	4,89	4,63	4,68	4,90	5,66	5,44	5,14	4,65	4,93	5,04

Com base nas informações de irradiação solar e dados de consumo médio, é possível realizar o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos para o projeto. Antes dessa etapa, foi conduzida uma pesquisa de mercado para selecionar o melhor painel solar disponível. A Tabela 5 apresenta os dados técnico para o modelo do painel solar escolhido, destacando que o painel possui 575W, sendo o de melhor custo-benefício e maior eficiência entre as opções avaliadas. Diante disso, o modelo 5N575-144MBT, foi escolhido como o mais adequado para o projeto fotovoltaico da DEL REY.

Após a realização dos cálculos necessários, os resultados para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos estão apresentados na Tabela 6. Constatou-se que o sistema será capaz de gerar 2,9979 MWh por dia, atendendo satisfatoriamente à expectativa de geração diária de energia, a qual foi estimada em 2,996 MWh e, para alcançar essa capacidade de geração, será necessário utilizar 1.288 painéis solares, calculado através da Equação (3.4). A potência resultante do sistema de 740,11 KWp é suportada pelo sistema de potência atual da empresa DEL REY, que possui uma capacidade de 800 kW.

Tabela 5 – Dados técnicos do módulo fotovoltaico

	Dados
Painel Solar	SN575-144MBT
Potência Nominal	575 W
Células	monocristalinas
Tensão de circuito aberto (Voc)	50,88V
Eficiência do módulo (%)	22,25%
Preço Unitário	R\$ 994,17
Site pesquisa	Minha Casa Solar

Tabela 6 – Resultados do dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Variável	Descrição	Resultado	Equação
Ecd	Energia Comp. Diária	2,996 MWh/dia	(3.1)
$\eta$	Rendimento	0,8	(3.2)
Wp	Potência de energia	740,11858 kWp	(3.3)
Nps	Número de painéis	1.288	(3.4)
Wp	Potência de energia	740,6 kWp	(3.5)
Eg	Energia geração	2,9979 MWh/dia	(3.6)

No dimensionamento dos inversores, é necessário calcular a tensão total em série dos painéis solares, corrigir essa tensão considerando o efeito da temperatura para variação indicada no datasheet do painel solar e calcular a corrente máxima de entrada (IFv). Com esses parâmetros, garante-se a escolha adequada do inversor. Os dados técnicos para os inversores são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados técnicos dos inversores

	Dados
Inversor Solar	CSI-50K-T400GL03
Potência	50 kW
Tensão	380V
Corrente	32A
Preço Unitário	R\$14.995,99
Site pesquisa	Eletrotrafo

Considerando os requisitos de tensão e potência para o inversor e, levando em conta a necessidade de conexão trifásica da empresa, optou-se por selecionar um inversor com potência de 50.000W, devido ao seu custo-benefício.

De posse da potência do inversor, torna-se possível calcular a quantidade de inversores necessários para atender ao projeto de forma eficiente. As equações e resultados obtidos podem ser analisados através da Tabela 8. Para o dimensionamento do sistema da DEL REY, devem ser adquiridos um total de 15 inversores. .

Além disso, devemos levar em conta o dimensionamento dos condutores, a estrutura metálica, a mão de obra e os quadros elétricos, os quais corresponderão a 30% do total combinado

Tabela 8 – Resultados do dimensionamento dos inversores

Variável	Descrição	Resultado	Equação
Vts	Tensão entrada	65533,44V	(3.7)
V $\Delta t$	Tensão corrigida entrada	58449,275V	(3.8)
Ifv	Corrente máxima entrada	12,670816A	(3.9)
Ni	Número de inversores	15	(3.10)

de painéis e inversores, conforme abordado na seção 3.1.3. Dessa forma, pode-se apresentar o resumo total do investimento na Tabela 9. Conforme os cálculos, o investimento total será de R\$1.942.435,48, que prevê a compensação de 2,996 MW/dia.

Tabela 9 – Compilação dos custos para geração fotovoltaica da empresa DEL REY

Item	Quantidade	Valor	Valor total
Painel Solar 5N575-144MBT	1288	R\$994,17	R\$1.280.490,96
Inversor Solar CSI-50K-T400GL03	15	R\$14.995,99	R\$213.690,00
Condutores e estrutura	30%	Nps + Ni	R\$448.254,288
Total			R\$1.942.435,48

Após calcular o investimento total necessário, foi feita a análise de viabilidade econômica para avaliar a atratividade do valor total obtido.

#### 4.1.1 Análise do investimento da geração fotovoltaica

Para realizar a análise de viabilidade econômica, é fundamental conhecer as tarifas aplicadas atualmente pela CEMIG, a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica para a região da DEL REY. As tarifas podem ser consultadas através dos processos tarifários no site da ANEEL e podem ser visualizados através da Tabela 10.

Tabela 10 – Tarifas aplicáveis para modalidade A4 Verde - CEMIG (ANEEL, 2023b).

Subgrupo	modalidade	Posto	Unidade	Total TUSD	Total TE	Encargo TFSEE	TUSD	
							TUSD-FioA	TUSD-FioB
A4	Verde	Ponta	MWh	1.534,39	467,46	0,47	262,70	1228,21
A4	Verde	Demanda contratada	kW	19,19	0,00	0,00	6,12	14,20
A4	Verde	Fora ponta	MWh	115,30	115,30	0,47	0,00	0,00

O projeto fotovoltaico não incluiu o dimensionamento para o horário ponta, considerando que esta contabilização continuará sendo feita pela CEMIG. O valor médio mensal para o consumo fora ponta é R\$19.977,00.

O custo para o consumo fora do horário de ponta e a demanda contratada segue a divisão das componentes: TE, TUSD e TFSEE, sendo a TUSD dividida entre fio A e fio B. A parcela de energia da fatura TE poderá ser abatida de acordo com a geração da usina fotovoltaica. Porém, a parcela correspondente a TUSD será faturada normalmente, de acordo com percentuais da lei 14.300 e tarifas aplicáveis A4 na Tabela 10. Observa-se que, para o horário fora de ponta, a

TUSD (Fio A + Fio B) é isenta. Assim, será realizado o cálculo para a demanda contratada. Na demanda contratada, é calculado o custo da TUSD para o fio A e para o fio B, uma vez que o fio A será tarifado em 40% e o fio B em 100%.

Para o fio B, a demanda contratada é R\$14,20 a cada kW, assim somando os tributos e considerando demanda contratada, tem-se que a média mensal a ser paga pela TUSD fio B é de R\$13.969,64. Já para o fio A, o valor da tarifa por consumo é R\$6,12 a cada kW, considerando 40% desse valor, somando os tributos, tem-se a média mensal a ser paga pela TUSD fio A é de R\$2.408,63. Os encargos, a taxa é de R\$0,47 a cada MWh, sendo que a mesma é aplicada tanto para horário ponta como horário fora de ponta. Considerando a média de consumo, o valor médio para o consumo fora ponta R\$52,29. Somando os valores, demanda contratada e consumo fora ponta tem-se uma média de R\$16.430,57 que ainda deverão ser pagos a CEMIG todos os meses, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores para TUSD Fio A e Fio B

	Encargo	TUSD_FioA	TUSD_FioB	Total
Ponta	R\$4,58	R\$1.017,75	R\$11.895,77	R\$12.918,10
Demanda	R\$ -	R\$2.408,64	R\$13.969,64	R\$16.378,28
Fora Ponta	R\$52,29	R\$-	R\$-	R\$52,29

Na avaliação da TMA é utilizado a taxa Selic, que é a taxa básica de juros da economia brasileira. Atualmente, a taxa corresponde a 13,75%, porém, possui expectativa do mercado de redução da mesma para cerca de 12,25% (GUIMARAES, 2023). Considerando a média histórica de 2008 a 2019, tem-se 9,88% (DANTAS, 2019). No estudo de caso em questão, foi escolhida uma taxa conservadora de 8% ao ano devido às significativas variações da taxa de juros básica no Brasil. O investimento, para se tornar viável, deve ter no mínimo essa taxa de atratividade.

O segundo parâmetro de investimento é o VPL, para isso, faz-se necessário calcular o fluxo de caixa, onde são considerados os custos (saída do valor monetário) e as receitas (entrada do valor monetário) de acordo com a geração da usina fotovoltaica. As especificações consideradas para o cálculo e o fluxo de caixa são apresentados através da Tabela 12 e 13, respectivamente. No presente ano, o valor da manutenção não está incluído no montante total, uma vez que não há despesas de manutenção para este período. A inclusão desse valor ocorrerá somente no ano seguinte, quando será corrigido de acordo com o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) e estimado em 6% ao ano.

Tabela 12 – Especificações fluxo de caixa - geração fotovoltaica

TMA	8%
Tarifa de Energia	0,413
Acrescimo na Tarifa de Energia	5,86%
Economia [kWh]	89880
Depreciação	0,992
IPCA	6%

Tabela 13 – Fluxo de caixa geração fotovoltaica da empresa DEL REY

Ano	Saida Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 1.942.435,25		-R\$ 1.942.435,25	-R\$ 1.942.435,25	-R\$ 1.942.435,25
1	-R\$ 58.960,80	R\$ 445.445,28	R\$ 386.484,48	R\$ 357.856,00	-R\$ 1.584.579,25
2	-R\$ 88.441,20	R\$ 466.627,09	R\$ 378.185,89	R\$ 324.233,45	-R\$ 1.260.345,80
3	-R\$ 117.921,60	R\$ 492.758,21	R\$ 374.836,61	R\$ 297.557,39	-R\$ 962.788,41
4	-R\$ 147.402,00	R\$ 520.352,67	R\$ 372.950,67	R\$ 274.129,88	-R\$ 688.658,54
5	-R\$ 176.882,40	R\$ 549.492,42	R\$ 372.610,02	R\$ 253.592,12	-R\$ 435.066,42
6	-R\$ 176.882,40	R\$ 580.264,00	R\$ 403.381,60	R\$ 254.198,83	-R\$ 180.867,59
7	-R\$ 176.882,40	R\$ 612.758,78	R\$ 435.876,38	R\$ 254.329,68	R\$ 73.462,09
8	-R\$ 176.882,40	R\$ 647.073,27	R\$ 470.190,87	R\$ 254.029,50	R\$ 327.491,59
9	-R\$ 176.882,40	R\$ 683.309,37	R\$ 506.426,97	R\$ 253.339,57	R\$ 580.831,16
10	-R\$ 176.882,40	R\$ 721.574,70	R\$ 544.692,30	R\$ 252.297,93	R\$ 833.129,09
11	-R\$ 176.882,40	R\$ 761.982,88	R\$ 585.100,48	R\$ 250.939,57	R\$ 1.084.068,66
12	-R\$ 176.882,40	R\$ 804.653,92	R\$ 627.771,52	R\$ 249.296,71	R\$ 1.333.365,37
13	-R\$ 176.882,40	R\$ 849.714,54	R\$ 672.832,14	R\$ 247.398,98	R\$ 1.580.764,35
14	-R\$ 176.882,40	R\$ 897.298,56	R\$ 720.416,16	R\$ 245.273,64	R\$ 1.826.037,99
15	-R\$ 176.882,40	R\$ 947.547,28	R\$ 770.664,88	R\$ 242.945,71	R\$ 2.068.983,70
16	-R\$ 176.882,40	R\$ 1.000.609,93	R\$ 823.727,53	R\$ 240.438,21	R\$ 2.309.421,91
17	-R\$ 176.882,40	R\$ 1.056.644,08	R\$ 879.761,68	R\$ 237.772,27	R\$ 2.547.194,18
18	-R\$ 176.882,40	R\$ 1.115.816,15	R\$ 938.933,75	R\$ 234.967,26	R\$ 2.782.161,44
19	-R\$ 176.882,40	R\$ 1.178.301,85	R\$ 1.001.419,45	R\$ 232.040,97	R\$ 3.014.202,40
20	-R\$ 176.882,40	R\$ 1.244.286,76	R\$ 1.067.404,36	R\$ 229.009,69	R\$ 3.243.212,10

Os resultados mostram que o investimento em energia fotovoltaica é altamente vantajoso do ponto de vista econômico. O valor presente líquido positivo de R\$3.243.212,10 e a taxa interna de retorno de 22% indicam que o projeto é rentável e que o retorno financeiro será superior ao custo de oportunidade do capital investido. Considerando que o investimento inicial seja recuperado após 7 anos. A partir desse ponto, os valores economizados com a conta de energia podem ser reinvestidos, gerando um fluxo contínuo de recursos disponíveis para novos investimentos.

Reinvestindo os valores de R\$19.304,83 mensais (que deixam de ser pagos na conta de energia), na própria taxa Selic por 14 anos (tempo restante do investimento de 20 anos) com taxa de 8% ao ano e, um aporte inicial único de R\$1.942.435,25 (retorno do investimento), é possível acumular um total de R\$10.567.904,06 (MOBILLS, 2023a). A acumulação financeira é uma demonstração clara do potencial de crescimento financeiro ao aproveitar as economias geradas pelo sistema fotovoltaico.

Portanto, o investimento em energia fotovoltaica é uma escolha positiva tanto do ponto de vista financeiro quanto ambiental, trazendo benefícios econômicos a longo prazo e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

## 4.2 Análise de investimento do Mercado Livre

No estudo de caso do Mercado Livre de energia, é fundamental obter o histórico de consumo com as diferenças tarifárias, que são as mesmas já abordadas no processo de dimensionamento da geração fotovoltaica. O mercado livre não requer investimento na própria geração, onde a energia é comprada. Sendo assim, os resultados iniciam com o estudo de viabilidade econômica.

No mercado livre, é calculado o custo da conta destinado à tarifa de energia e o custo destinado à tarifa de uso do sistema de distribuição. Assim, utiliza o método do ponto de equilíbrio para verificar se o valor negociado para compra da energia é mais vantajoso ao que se dispõe atualmente no mercado regulado.

No estudo não serão considerados juros e multas referentes a atrasos de pagamento da fatura. A taxa de iluminação pública não será contabilizada, uma vez que ela não influencia o valor da TE. Para a conta em análise, a bandeira tarifária do mês de abril de 2023 foi a verde, e será considerada para todo o estudo. Assim, a tratativa ocorrerá com a melhor hipótese dentro do mercado cativo. Com base nos dados, inicia-se a análise utilizando o método ponto de equilíbrio. Através das equações (3.13) a (3.18), é calculado, o valor da conta para o mercado cativo, separando-a entre TE e TUSD. Os resultados são apresentados através da Tabela 14.

Tabela 14 – Conta ACR da empresa DEL REY

MÊS	TE	TUSD	TE + TUSD - S/impostos	TE + TUSD - C/impostos
abr-23	R\$ 23.638,05	R\$ 32.635,81	R\$ 56.273,86	R\$ 69.211,23
mar-23	R\$ 27.470,04	R\$ 36.201,35	R\$ 63.671,40	R\$ 78.309,45
fev-23	R\$ 20.034,42	R\$ 30.485,20	R\$ 50.519,61	R\$ 62.134,07
jan-23	R\$ 26.592,80	R\$ 35.862,37	R\$ 62.455,18	R\$ 76.813,62
dez-22	R\$ 22.367,44	R\$ 34.513,90	R\$ 56.881,34	R\$ 69.958,36
nov-22	R\$ 33.725,58	R\$ 40.040,06	R\$ 73.765,64	R\$ 90.724,36
out-22	R\$ 25.036,75	R\$ 33.839,64	R\$ 58.876,40	R\$ 72.412,08
set-22	R\$ 33.788,24	R\$ 40.064,27	R\$ 73.852,51	R\$ 90.831,20
ago-22	R\$ 41.447,35	R\$ 46.151,08	R\$ 87.598,43	R\$ 107.737,30
jul-22	R\$ 39.383,76	R\$ 41.373,63	R\$ 80.757,39	R\$ 99.323,51
jun-22	R\$ 36.115,00	R\$ 41.531,96	R\$ 77.646,96	R\$ 95.498,00
mai-22	R\$ 40.453,14	R\$ 46.335,48	R\$ 86.788,62	R\$ 106.741,32
Média	R\$ 30.597,81	R\$ 38.120,71	R\$ 68.718,52	R\$ 84.516,90

Os valores médios foram calculados e podem ser observados através da Tabela 15. Nota-se que a parcela referente a TUSD é maior do que a TE, representando 53,66% do custo médio final ACR.

Tabela 15 – Valores médios para conta ACR da empresa DEL REY

Variável	Descrição	Resultado	Equação
$VT E_{ACR_{medio}}$	Custo médio TE ACR	R\$ 384,14	(3.19)
$VT USD_{ACR_{medio}}$	Custo médio TUSD ACR	R\$ 478,59	(3.20)
$V_{ACRF_{medio}}$	Custo médio Final ACR	R\$ 862,73	(3.21)

Após encontrar os valores para o ACR, realiza-se o cálculo para a conta no mercado livre de energia. Conforme foi apresentado na Equação (3.22), para o ACL, além do valor da TE e TUSD tem-se o valor dos encargos pagos à câmara comercializadora de energia elétrica. O  $V_{CCEE}$  para o estudo será de R\$7,00 MWh para os encargos e, para a contribuição associativa, uma parte fixa de R\$100,00 e uma parte variável de acordo com o consumo de R\$0,10 MWh (MENDONCA, 2022).

Como, o valor da TUSD pode ou não ter desconto a depender da outorga do empreendimento, não foi considerado o desconto nesta análise, de forma a tornar os cálculos ainda mais assertivos. Assim, o valor TUSD ACL é igual ao valor TUSD ACR. Os resultados são apresentados através da Tabela 16. O valor máximo que poderá ser pago na tarifa de energia para o mercado livre é de R\$377,04. Ou ainda, esse valor é o ponto de equilíbrio entre o mercado cativo e o livre. Se, o valor ofertado no mercado livre for menor que o apresentado, é mais vantajoso a migração. Caso contrário, se o valor for maior, o consumidor deve continuar no mercado cativo.

Tabela 16 – Valores máximos para conta ACR da empresa DEL REY

Variável	Descrição	Resultado	Equação
$VT USD_{ACL}$	Custo energia TUSD	R\$ 478,59	(3.24)
$VT E_{ACL_{max}}$	Custo energia TE	R\$ 377,04	(3.25)

As referências de valores para compra de energia no mercado livre podem ser observados através da Tabela 17.

Tabela 17 – Valores MWh referente a TE no mercado livre

Ano	Valor	Referência
2017	R\$ 121,00	(RIZKALLA, 2018)
2018	R\$ 158,22	(RIZKALLA, 2018)
2022	R\$ 160,00	(VALVERDE, 2023)
2022	R\$ 170,00	(VALVERDE, 2023)
2023	R\$110,00	(VALVERDE, 2023)
Média	R\$143,80	

Considerando as referências obtidas é evidenciado que o preço para a TE no ACL está bem abaixo do valor praticado para o ACR, sendo o valor da tarifa de energia do mercado livre 61,86% menor do que o do mercado cativo, as diferenças para a tarifa de energia são ilustradas através da Figura 25, assim, conclui-se que é vantajoso para o cliente realizar a migração para o mercado livre de energia.

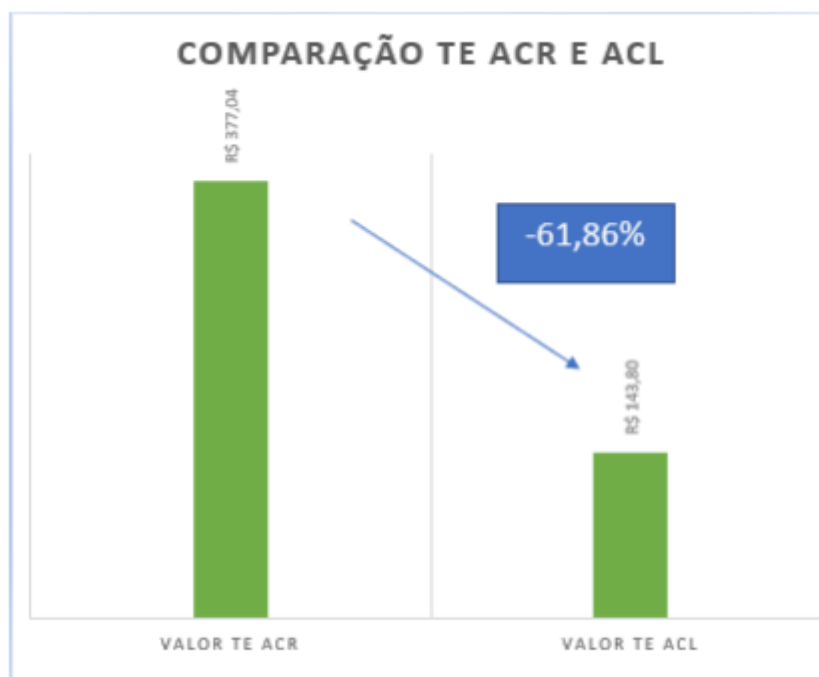


Figura 25 – Comparação TE entre ACR e ACL

Na Tabela 18 são apresentados os resultados para a conta no ACL, que é obtido através da Equação (3.22). Observa-se que o valor da TUSD representa um maior percentual na conta do que a TE, caso o consumidor tenha acesso a empreendimentos de fontes incentivadas, pode ainda ter desconto na parcela TUSD e conseqüentemente maior redução no valor final da conta ACL. No total geral, tem-se uma redução estimada da conta em 27%. O comparativo, pode ser observado através da Figura 26 apresentando uma perspectiva favorável em relação aos benefícios do mercado livre para os consumidores de energia proporcionando oportunidades de economia e incentivos para a utilização de fontes incentivadas, o que é benéfico tanto para os consumidores quanto para a promoção de uma matriz energética mais sustentável.

Tabela 18 – Conta ACL da empresa DEL REY

MÊS	Total consumo (kWh)	TUSD	Encargos ACL	TE	Valor final ACL
abr-23	75.810	R\$ 40.138,79	R\$ 536,57	R\$ 10.901,48	R\$ 51.576,83
mar-23	87.780	R\$ 44.524,05	R\$ 514,32	R\$ 12.622,76	R\$ 57.661,13
fev-23	64.050	R\$ 37.493,74	R\$ 592,48	R\$ 9.210,39	R\$ 47.296,62
jan-23	84.840	R\$ 44.107,13	R\$ 526,99	R\$ 12.199,99	R\$ 56.834,00
dez-22	70.560	R\$ 42.448,64	R\$ 608,70	R\$ 10.146,53	R\$ 53.20,00
nov-22	108.150	R\$ 49.245,27	R\$ 462,44	R\$ 15.551,97	R\$ 65.259,00
out-22	80.220	R\$ 41.619,38	R\$ 525,92	R\$ 11.535,64	R\$ 53.680,00
set-22	108.360	R\$ 49.275,05	R\$ 461,83	R\$ 15.582,17	R\$ 65.319,00
ago-22	132.720	R\$ 56.761,21	R\$ 434,78	R\$ 19.085,14	R\$ 76.281,00
jul-22	127.470	R\$ 50.885,43	R\$ 406,30	R\$ 18.330,19	R\$ 69.621,91
jun-22	115.920	R\$ 51.080,16	R\$ 447,75	R\$ 16.669,30	R\$ 68.197,20
mai-22	129.150	R\$ 56.988,00	R\$ 448,35	R\$ 18.571,77	R\$ 76.008,00
Média	97.965	R\$ 46.884,66	R\$ 485,69	R\$ 14.087,37	R\$ 61.457,71

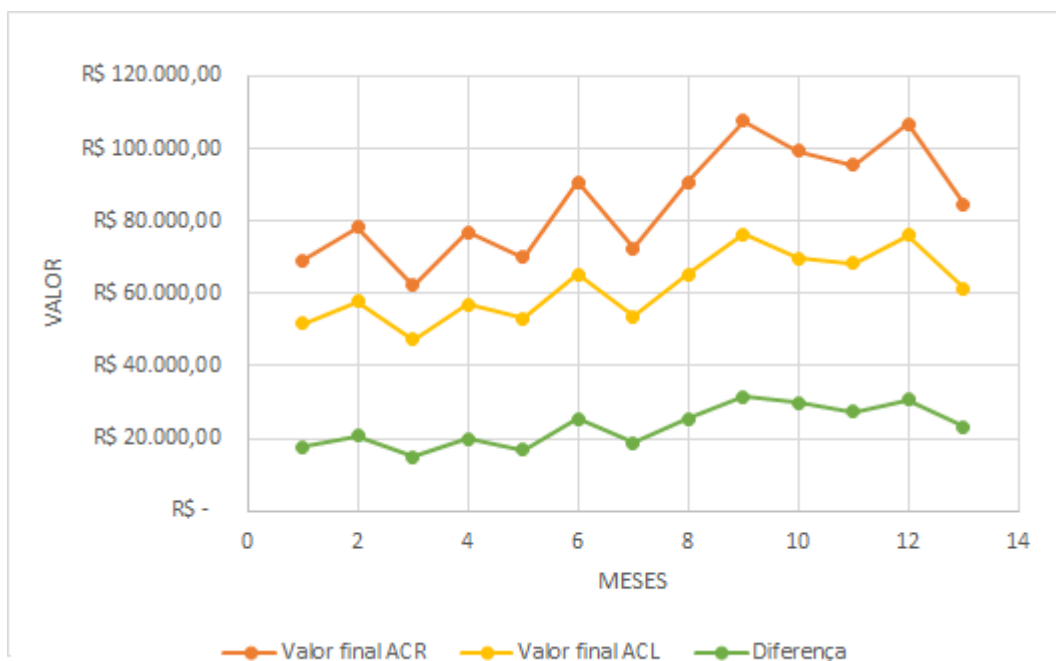


Figura 26 – Diferença do custo da conta de energia entre os mercados cativo e livre para a DEL REY (Autoria própria).

#### 4.2.1 Análise do investimento no mercado livre

Na avaliação da viabilidade econômica, são contabilizados os custos de adequação do sistema de medição para faturamento obrigatório. Para análise do investimento no primeiro mês, o fluxo de caixa será o investimento inicial (adequação SMF) somado à diferença da conta de energia no mercado cativo e livre. Nos meses subsequentes, será simplesmente a diferença entre as contas de energia. Como a demanda contratada da DEL REY não é muito alta, será considerado o valor médio de R\$20.000,00 no primeiro mês para adequação do sistema.

Para avaliar a TMA, será utilizada a taxa Selic, conforme também utilizada para cálculo da viabilidade da geração fotovoltaica de 8%. Os resultados se encontram na Tabela 19.

Tabela 19 – Fluxo de caixa mercado livre de energia da empresa DEL REY

Ano	Saida Valor Monetario (A)	Entrada Valor Monetario (B)	Fluxo de Caixa (A+B)	Fluxo de Caixa Descontado	Total Corrente
0	-R\$ 20.000,00		-R\$ 20.000,00	-R\$ 20.000,00	
1		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 238.105,54
2		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 496.211,07
3		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 754.316,61
4		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 1.012.422,15
5		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 1.270.527,69
6		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 1.528.633,22
7		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 1.786.738,76
8		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 2.044.844,30
9		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 2.302.949,83
10		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 2.561.055,37
11		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 2.819.160,91
12		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 3.077.266,44
13		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 3.335.371,98
14		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 3.593.477,52
15		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 3.851.583,06
16		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 4.109.688,59
17		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 4.367.794,13
18		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 4.625.899,67
19		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 4.884.005,20
20		R\$ 278.753,98	R\$ 278.753,98	R\$ 258.105,54	R\$ 5.142.110,74

O retorno do investimento acontece logo no primeiro ano. Isso é mostrado pelo fluxo de caixa acumulado positivo e pela TIR resultante de 1294%. Após um ano da migração para a ACL, a DEL REY tem uma economia de R\$278.753,98 ao ano, representando uma economia de 27% na conta de energia elétrica, comprovando a viabilidade econômica na migração para o mercado livre para a unidade consumidora de estudo. O VPL para o mercado livre para projeção de 20 anos é de R\$ 5.142.110,74.

A economia prevista mensal é de R\$21.508,79, aplicando esse valor mensalmente com uma taxa de rendimento de 8% ao ano, e considerando o aporte inicial de R\$ 1.942.435,25 (valor que seria destinado ao investimento em fotovoltaica), tem-se o acumulado final de R\$ 19.163.546,81 (MOBILLS, 2023b).

Ao analisar os dados da Tabela 20, torna-se explicado que para a empresa DELREY adquirir energia por meio do mercado livre é a opção mais viável do que se comparada a geração fotovoltaica. Os números revelam que o mercado livre é 81% mais rentável do que se comparado a geração fotovoltaica, conforme pode-se observar através da Figura 27.

Tabela 20 – Acumulado final mercado livre e a geração fotovoltaica (8% rendimento)

	Mercado Livre	Geração fotovoltaica
Acumulado financeiro	R\$ 19.163.546,8	R\$10.567.904,06
TIR	1294%	22%
VPL	R\$ 5.142.110,74	R\$ 3.243.212,10
PB	1 ano (2meses)	7 anos

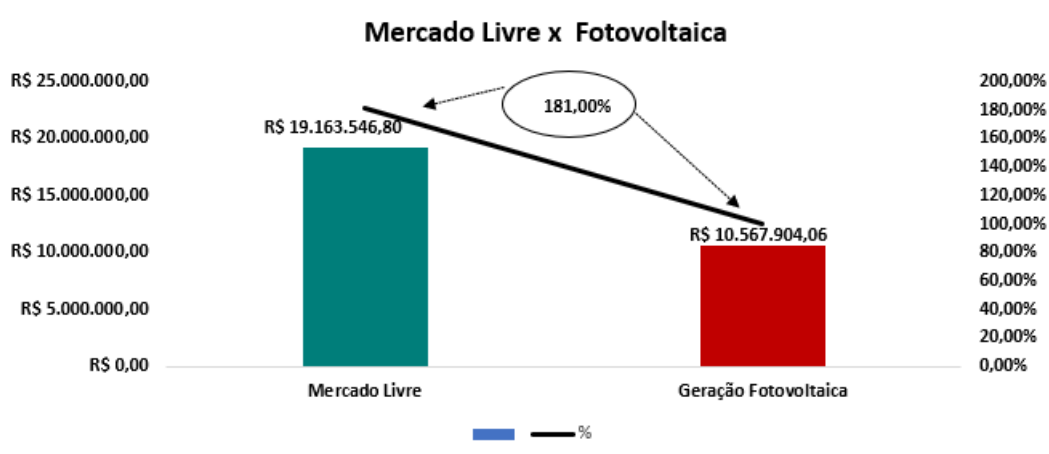


Figura 27 – Diferença do acumulado financeiro entre mercado livre e geração fotovoltaica (TMA = 8%) (Autoria própria).

Para aumentar a segurança da simulação, foram realizadas projeções para a energia fotovoltaica e o mercado livre considerando a taxa de investimento de 5%, obtendo-se os seguintes resultados, conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Acumulado final mercado livre e a geração fotovoltaica (5% rendimento)

	Mercado Livre	Geração fotovoltaica
Acumulado financeiro	R\$ 13.099.669,87	R\$ 10.411.157,29
TIR	1294%	22%
VPL	R\$ 5.289.599,62	R\$ 5.014.083,54
PB	1 ano (2meses)	7 anos

Conclui-se que a TIR não sofre variação uma vez que é projetada pelo valor fluxo de caixa, considerando a entrada do valor monetário e a saída do valor monetário que permanece constante para ambas as taxas dimensionadas 5% e 8%.

Com a diminuição da taxa de rendimento, o valor presente líquido acarreta em um aumento do retorno financeiro esperado com a geração fotovoltaica. Esse parâmetro tem um papel fundamental no cálculo do fluxo de caixa descontado. Projetando-se que, caso a taxa seja ainda menor, o VPL da geração fotovoltaica poderá superar o retorno do mercado livre de energia, sem considerar nenhum outro investimento.

Os dados apresentados mostram o acumulado financeiro em duas situações diferentes. No cenário com taxa de 8%, o mercado livre acumula um valor significativamente maior, sendo R\$ 19.163.546,8, em comparação com a geração fotovoltaica, que acumula R\$ 10.567.904,06. Já no cenário com taxa de 5%, o mercado livre acumula R\$ 13.099.669,87, enquanto a geração fotovoltaica acumula R\$ 10.411.157,29, uma vantagem para o mercado livre de 25%, Figura 28.

A diferença entre o acumulado financeiro do mercado livre e da geração fotovoltaica é maior com a taxa de juros de 8%. Isso ocorre porque, no mercado livre, o tempo de investimento

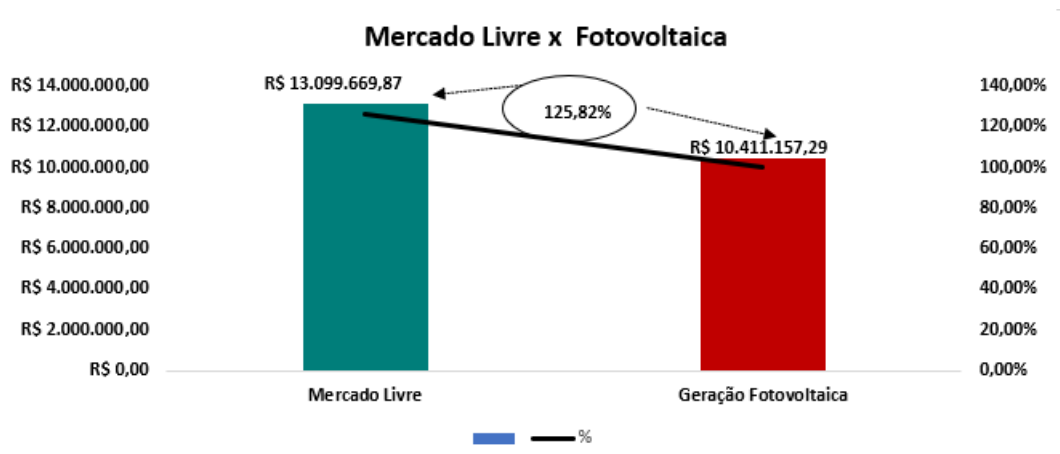


Figura 28 – Diferença do acumulado financeiro entre mercado livre e geração fotovoltaica (TMA = 5%) (Autoria própria).

é maior, e os juros compostos atuam de forma mais vantajosa para o crescimento do valor final. Por outro lado, a geração fotovoltaica tem um retorno mais modesto nessa taxa de juros, refletindo um crescimento mais lento. Entretanto, à medida que a taxa de juros é reduzida para 5%, a vantagem do mercado livre diminui consideravelmente. A taxa menor faz com que o efeito dos juros compostos seja menos significativo, e a geração fotovoltaica se torna mais atrativa em relação à taxa de retorno de 8%.

Contudo, a análise mostra que a taxa de juros desempenha um papel crucial na comparação entre o acumulado financeiro da geração fotovoltaica e do mercado livre, e que a geração fotovoltaica tende a se tornar mais vantajosa à medida que a taxa de juros diminui.

No projeto de geração fotovoltaica, a usina solar não foi considerada um ativo tangível da DEL REY devido à falta de propriedade ou controle sobre a infraestrutura onde a usina seria construída. Atualmente, a empresa paga aluguel pela área industrial, que é de propriedade da prefeitura de Itabirito. Para ser classificado como um ativo, a empresa normalmente precisa ter a propriedade ou controle sobre o recurso que possui valor econômico.

## 5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foram abordadas duas análises: o mercado livre de energia e a geração fotovoltaica. O estudo comparativo de viabilidade econômica foi realizado para a empresa DEL REY MINERALS, uma indústria do setor de mineração, situada em Itabirito, Minas Gerais. Com base na taxa de juros, os resultados apontam que o mercado livre se mostra financeiramente mais vantajoso em comparação com a geração fotovoltaica,

A primeira análise abordou o mercado livre de energia, destacando as vantagens que esse ambiente proporciona às empresas. Foram analisadas questões relacionadas à oportunidade de escolha de fornecedores, negociação de preços, contratos mais flexíveis e a possibilidade de adquirir energia de fontes renováveis. Já a segunda análise concentrou-se na viabilidade econômica da geração fotovoltaica para a empresa. Como a DEL REY MINERALS não possui propriedade sobre a área industrial em que está localizada, a usina fotovoltaica não foi considerada um ativo tangível da empresa. No entanto, isso não impossibilitou a avaliação do projeto como um investimento ou despesa de capital.

Os resultados mostram que o mercado livre é financeiramente mais vantajoso, com um investimento inicial consideravelmente baixo. Nesse aspecto, deve-se observar a taxa de juros, pois há uma tendência em ser mais elevada. O mercado livre possui uma vantagem sobre a geração fotovoltaica devido ao efeito dos juros compostos. À medida que a taxa de juros é reduzida, a geração fotovoltaica torna-se mais competitiva e alcança resultados mais próximos ao do mercado livre, evidenciando sua atratividade como investimento.

Para a simulação realizada com juros de 8%, o mercado livre apresenta um acumulado financeiro de R\$ 19.163.546,80, enquanto a geração fotovoltaica acumula R\$ 10.567.904,06, representando uma rentabilidade de 81% a mais para o mercado livre. Já com a taxa de juros a 5%, o mercado livre apresenta um acumulado financeiro de R\$ 13.099.669,87, enquanto a geração fotovoltaica acumula R\$ 10.411.157,29, uma vantagem de 25,82% em rentabilidade para o mercado livre. Em ambos os cenários, o mercado livre é mais viável, sendo recomendado como adesão, mas sempre observando o mercado financeiro.

Além dos aspectos financeiros, as vantagens ambientais, como a redução das emissões de carbono e a imagem positiva da empresa em relação à sustentabilidade, são importantes para a tomada de decisão. Como os dois ambientes complementam fontes renováveis, a análise foi positiva para contribuir com a redução do impacto ambiental, seguindo a pauta ESG.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um aplicativo que permita aos consumidores inserirem seus dados da conta de energia. O aplicativo forneceria resultados personalizados, mostrando a viabilidade da geração fotovoltaica e a possibilidade de adesão ao mercado livre. Essa ferramenta ajudaria os usuários a tomarem decisões mais precisas.

# Referências

- Abraceel. *Mercado livre de energia já responde por 38 consumida no país*. 2022. Blog Abraceel. Acesso em: 14 de abril de 2022. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/blog/2022/09/mercado-livre-de-energia-ja-responde-por-38-da-energia-consumida-no-pais/#:~:text=Mensalmente%2C%20a%20Abraceel%20disponibiliza%20o,da%20eletricidade%20consumida%20no%20pa%C3%ADs.>> Citado 2 vezes nas páginas 10 e 22.
- ABRACEEL. *Mercado livre de energia ganha 5 mil unidades consumidoras e cresce 18 em 12 meses*. 2023. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/press-releases/2023/06/mercado-livre-de-energia-ganha-5-mil-unidades-consumidoras-e-cresce-18-em-12-meses/>>. Citado na página 20.
- ABSOLAR. *Brasil supera 29 GW de potência instalada em energia solar, informa ABSOLAR*. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/brasil-supera-29-gw-de-potencia-instalada-em-energia-solar-informa-absolar/>>. Citado 3 vezes nas páginas viii, 3 e 11.
- ALMEIDA, A. Abordagem sobre o comercializador varejista no mercado brasileiro de energia elétrica. 2018. Citado 2 vezes nas páginas viii e 19.
- ANEEL. *Resolução Normativa ANEEL nº 1.000*. 2021. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). P. All pages. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 20, 27 e 28.
- ANEEL. Matriz elétrica brasileira. In: . 2023. Disponível em: <<https://rb.gy/7o4a1>>. Citado 2 vezes nas páginas viii e 6.
- ANEEL. Processos tarifários. In: . 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/calendario-de-atividades/processos-tarifarios>>. Citado 2 vezes nas páginas x e 48.
- BEZERRA, F. D. Energia eólica gera riquezas no nordeste. In: . [s.n.], 2018. Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1025/1/2018\\_CDS\\_40.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1025/1/2018_CDS_40.pdf)>. Citado 2 vezes nas páginas viii e 1.
- CAMARGO, R. F. d. Entenda sobre a taxa mínima de atratividade: o que é, quando usar e por que pensar em tma na hora de investir. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-tma/>>. Citado na página 37.
- CAMARGO, R. F. d. Taxa interna de retorno: como a tir é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto? In: . [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Citado na página 37.
- CAPETTA, D. *Sistemas de Medição para Faturamento e o Mercado de Energia Elétrica: Uma Visão Crítica do Referencial Regulatório*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-03072009-144925/publico/Dalmir\\_Capetta\\_Dissertacao\\_Mestrado\\_RevFin.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-03072009-144925/publico/Dalmir_Capetta_Dissertacao_Mestrado_RevFin.pdf)>. Citado na página 42.
- CCEE. Regras de comercialização - contratos. In: . [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 23.

CCEE. *InfoPLD*. 2023. Atualizado semanalmente. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/dados-e-analises/dados-pld>>. Citado na página 19.

CCEE e ANEEL. *Regras de Comercialização*. 2019. Disponível em: <[https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideDocumento=30467&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseReuniao=fase&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=30467&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp)>. Citado 3 vezes nas páginas viii, 23 e 24.

CEMIG. Aneel define nova tarifa da cemig distribuiÇÃo. junho 2022. Publicado em: 21/06/2022. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/noticia/aneel-define-nova-tarifa-da-cemig-distribuicao/>>. Citado 4 vezes nas páginas viii, 25, 26 e 27.

CEPEL, C. e. *Ferramenta Potencial Solar - SunData v 3.0*. 2023. <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Título: Irradiação Solar no Plano Horizontal para Itabirito. Citado na página 46.

CHAVES, A. S. Tecnologias de eletricidade limpa podem resolver a crise climática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, n. 1, p. 1–7, 2021. Citado na página 6.

COSTA, J. d. S. Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. 1–12, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. *Setor elétrico brasileiro*. 2011. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/>>. Citado na página 9.

DADALTO, E. A. Utilização da energia solar para aquecimento de água pela população de baixa renda domiciliar em habitações populares. In: . Vitória: [s.n.], 2008. p. 117. Curso de Pós-Graduação em Construção Civil. Citado na página 14.

DANTAS, B. *CONJUNTURA ECONÔMICA - Produto Interno Bruto*. 2019. Tribunal de Contas da União. Disponível em: <<https://sites.tcu.gov.br/contas-do-governo-2019/conjuntura-economica-pib.htm>>. Citado na página 49.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. In: . [s.n.], 2018. Acesso em 18/04/2023. Disponível em: <[https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2388.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf)>. Citado na página 12.

EPE. *Fontes de Energia*. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>. Acesso em: 17/04/2023. Citado na página 6.

FLESCHE, C. H. et al. Análise financeira da energia fotovoltaica no mercado livre de energia. In: *Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–10. Citado na página 1.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no brasil de 1880 a 2002. *RAP - Revista de Administração Pública*, v. 43, n. 2, p. 295–321, 2012. Citado na página 6.

GUERRINI, I. M. *Fontes alternativas de energia*. 2001. Disponível em: <[http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes\\_eletrica.html](http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes_eletrica.html)>. Acesso em: 22 fev 2023. Citado na página 8.

GUIMARAES, L. Selic vai cair? vale voltar aos ativos de risco? onde investir com copom mais otimista, mas ainda cauteloso. *InfoMoney*, junho 2023. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/onde-investir/como-investir-com-a-espera-de-queda-da-selic/>>. Citado na página 49.

GUSMAN, L. S. et al. Análise dos efeitos da utilização de um sistema fotovoltaico no fator de potência de uma empresa agroindustrial. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*. Gramado: [s.n.], 2018. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas viii e 32.

HOROWITZ, J. Demanda global crescente por energia elétrica gera alerta para danos climáticos. *CNN Business*, 2022. Citado na página 16.

ITAIPU. *GERAÇÃO*. 2023. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Citado na página 9.

JUNIOR, E. A. d. S. et al. Sistema de compensação de energia elétrica com geração distribuída: propostas para melhorar o modelo de compensação da resolução 482/2012. 2020. Citado 2 vezes nas páginas viii e 13.

JUNIOR, G. P. Principais mudanças da lei 14.300/2022. In: . [s.n.], 2022. Disponível em: <<https://blog.solarinove.com.br/principais-mudancas-da-lei-14-300-2022/>>. Citado na página 29.

JUNIOR, J. V. B.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, SciELO Brasil, v. 5, p. 27–37, 2013. Citado na página 15.

LIMA, R. M. F. Monografia. *Oportunidades de melhoria nos processos de distribuição de energia elétrica*. São Paulo: [s.n.], 2011. Citado na página 1.

MEC, G. d. r. t. e. U. *Faturas de energia elétrica (média / alta tensão)*. 2018. Osasco - SP. Acesso em 05 de maio 2023. Disponível em: <[https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/imagens/Manual\\_analise\\_faturas\\_de\\_energia\\_rev.pdf](https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/imagens/Manual_analise_faturas_de_energia_rev.pdf)>. Citado 2 vezes nas páginas viii e 29.

MENDONCA, H. F. Análise de viabilidade econômica de migração do instituto federal do espírito santo campus guarapari e campus vitória para o mercado livre de energia. In: *Trabalho de Conclusão de Curso*. Guarapari: [s.n.], 2022. Disponível em: <[https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2163/TCC\\_Analise\\_de\\_Viabilidade\\_Economica\\_de\\_Migracao7do\\_Instituto\\_Federal\\_do\\_Espirito\\_Santo\\_Campus\\_Guarapari\\_e\\_Campus\\_Vitoria\\_Para\\_o\\_Mercado\\_Livre\\_de\\_Energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2163/TCC_Analise_de_Viabilidade_Economica_de_Migracao7do_Instituto_Federal_do_Espirito_Santo_Campus_Guarapari_e_Campus_Vitoria_Para_o_Mercado_Livre_de_Energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Citado na página 52.

Mercado Livre de Energia Elétrica. *Quem pode migrar para o Mercado Livre de Energia?* 2023. Mercado Livre de Energia. Acesso em: 30/05/2023. Disponível em: <<https://www.mercadolivreenergia.com.br/>>. Citado 3 vezes nas páginas viii, 21 e 22.

Ministério de Minas e Energia. *Projeto RESEB-COM: Sumário Executivo das Sugestões*. [S.l.]: São Paulo, 2001. 248 p. Citado na página 9.

MME and EPE. Relatório síntese do balanço energético nacional (ben) 2021. In: . [s.n.], 2022. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2022\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf)>. Citado 4 vezes nas páginas viii, 10, 12 e 14.

MOBILLS. *Simulação energia fotovoltaica 8% DEL REY*. 2023. Disponível em: <[https://www.mobills.com.br/calculadoras/simulador-de-investimento/resultado/?tipo\\_investimento=tesouro&fixado=pre&investimento\\_inicial=1942435.25&investimento\\_mensal=19304.83&prazo=14&prazo\\_tipo=anos&rentabilidade=8&rentabilidade\\_tipo=anual](https://www.mobills.com.br/calculadoras/simulador-de-investimento/resultado/?tipo_investimento=tesouro&fixado=pre&investimento_inicial=1942435.25&investimento_mensal=19304.83&prazo=14&prazo_tipo=anos&rentabilidade=8&rentabilidade_tipo=anual)>. Citado na página 50.

MOBILLS. *Simulação mercado livre 8% DEL REY*. 2023. Disponível em: <[https://www.mobills.com.br/calculadoras/simulador-de-investimento/resultado/?tipo\\_investimento=tesouro&fixado=pre&investimento\\_inicial=1942435.25&investimento\\_mensal=21508&prazo=20&prazo\\_tipo=anos&rentabilidade=8&rentabilidade\\_tipo=anual](https://www.mobills.com.br/calculadoras/simulador-de-investimento/resultado/?tipo_investimento=tesouro&fixado=pre&investimento_inicial=1942435.25&investimento_mensal=21508&prazo=20&prazo_tipo=anos&rentabilidade=8&rentabilidade_tipo=anual)>. Citado na página 55.

NETO, C. Definições. In: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. 2009. Disponível em: <<http://pb.utfpr.edu.br/savepi/definicoes.php>>. Citado na página 37.

OLIVEIRA, A. *O papel do Comercializador Varejista na abertura do Mercado Livre de Energia brasileiro*. 2023. Artigo. Colaborador CMU. Disponível em: <<https://cmuenergia.com.br/artigo-o-papel-do-comercializador-varejista-na-abertura-do-mercado-livre-de-energia-brasileiro>>. Citado na página 18.

OLIVEIRA, R. A. d. S. Análise de viabilidade econômica para implantação de um sistema fotovoltaico em uma loja de departamentos. *Nome do Jornal ou Revista*, Curitiba, 2015. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18529/1/CT\\_CEER\\_I\\_2014\\_11.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18529/1/CT_CEER_I_2014_11.pdf)>. Citado na página 36.

REIS, L. *Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: Edusp, 2000. Citado na página 14.

RIBEIRO, R. P. *Estudo de Caso: Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Residencial*. ARAXÁ/MG: [s.n.], 2016. <<https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/Tcc-Raylla-1.pdf>>. Citado na página 32.

RIZKALLA, F. F. *Migração para o Mercado Livre de Energia: Estudo de Caso do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. 2018. Monografia. Março de 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023363.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas viii, 26 e 52.

SAMPAIO, D. d. S. Análise de viabilidade técnica e comparação de custos de sistemas fotovoltaicos para motorhomes. 2022. Citado na página 36.

SCEE E PERS. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. In: . 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm)>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

SELHORST, R. da R.; ALVES, C.; NOBRE, T. H. D. B. Acv no processo de design: análise dos impactos ambientais da fabricação de argamassa na região nordeste do Brasil. *Mix sustentável*, v. 6, n. 1, p. 19–28, 2020. Citado na página 34.

SILVA, J. R. P. d. Instalação de sistema fotovoltaico em unidade de saúde pública: análise de viabilidade econômica. *Nome do Jornal ou Revista*, 2018. Citado na página 14.

SMART, E. *Mercado Livre de Energia*. 2017. Disponível em: <<https://www.energiasmart.com.br/mercado-livre-de-energia/>>. Citado 2 vezes nas páginas viii e 39.

SOUZA, C. M.; AL. et. Gestão de sistemas de energia. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 5, n. 4, p. 135–147, 2019. Citado na página 1.

Sá, S. M. *Simulação e análise da migração de uma companhia metroviária do mercado cativo para o mercado livre de energia elétrica*. Monografia — Unesp, São Paulo, 2022. Citado na página 18.

VALVERDE, M. Preços do mercado livre de energia recuam com chuvas. *Diário do Comércio*, 2023. Publicado em: 15 de fevereiro de 2023. Disponível em: <<https://diariodocomercio.com.br/economia/precos-do-mercado-livre-de-energia-recuam-com-chuvas/#gref>>. Citado na página 52.

VEIGA, S. M.; FONSECA, I. *Cooperativismo: uma revolução pacífica em ação*. Rio de Janeiro: DPA: Fase, 2002. Citado na página 9.