



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**WESLEY DE OLIVEIRA COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO IMPACTO FINANCEIRO ENTRE A MIGRAÇÃO  
PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA E A INSTALAÇÃO DE USINA  
FOTOVOLTAICA.**

**FORTALEZA**

**2026**

WESLEY DE OLIVEIRA COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DO IMPACTO FINANCEIRO ENTRE A MIGRAÇÃO PARA O  
MERCADO LIVRE DE ENERGIA E A INSTALAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias Renováveis.

Orientadora: Prof. Dr. Amanda Pereira Monteiro

FORTALEZA

2026

WESLEY DE OLIVEIRA COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DO IMPACTO FINANCEIRO ENTRE A MIGRAÇÃO PARA O  
MERCADO LIVRE DE ENERGIA E A INSTALAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias Renováveis.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Amanda Pereira Monteiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Andrei Carvalho Ribeiro  
Universidade Federal do Piauí - UFPI

---

Prof. Dr. Nayara Ingrid Lisboa Santos  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

À minha mãe, sem o apoio dela nada disso teria sido possível.

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe, pelo carinho, pelo apoio e por todos esses anos investindo em mim. Sem seu apoio diário e toda a sua dedicação, nada disso teria sido possível.

Ao meu pai por ter me mostrado a importância dos estudos e da formação profissional para construção de um futuro e uma vida tranquila.

A minha namorada, Iara Bandeira, pelo auxílio e conselhos que me mantiveram de pé, firme para seguir em frente e tentar novamente em momentos difíceis.

Ao meu amigo e mestre Jackson Martins do curso de Engenharia Elétrica por toda a sua orientação, ensinamentos e conhecimentos que foram essenciais para construção desse trabalho.

Ao meu tio Gonçalves, pelos seus conselhos valiosos que me guiaram e moldaram meu caráter.

A Prof. Dr. Amanda Pereira Monteiro por sua orientação e ideias valiosas.

A todos os profissionais das diferentes empresas que passei que contribuíram para o profissional que sou hoje.

Aos meus amigos por tornarem toda essa trajetória mais leve e harmoniosa.

Ao meu irmão pelas palavras de incentivo e por me inspirar a ser melhor.

Ao meu amigo Vitor, por sempre ter acreditado em mim.

E, por fim, agradeço a empresa que forneceu seu histórico energético para a realização desse estudo.

“Se você não correr riscos, não poderá criar um futuro.”

(Eiichiro Oda)

## RESUMO

O setor elétrico brasileiro, nas últimas décadas, tem proporcionado cada vez mais liberdade ao consumidor por meio da gradual abertura do mercado livre de energia e da regulamentação da geração distribuída. Tais fatores impulsionaram a expansão das fontes de energias renováveis e permitiram que o consumidor produzisse sua própria energia ou comprasse energia da fonte de seu interesse. Dessa forma, o presente trabalho utiliza como metodologia a realização de um estudo de caso de uma empresa de varejo de alimentos, com uma demanda contratada de 100 kW e, a partir da análise do histórico de consumo de energia da unidade consumidora, será realizada uma comparação financeira entre a geração distribuída com a instalação de uma usina fotovoltaica e a migração para o Mercado Livre de Energia, sendo o ambiente cativo o critério de comparação. Para avaliar a economia proporcionada pelo investimento em um sistema de geração fotovoltaica, serão consideradas as tarifas de energia elétrica praticadas pela concessionária Enel CE no ano de 2025, comparando-se os valores da fatura de energia elétrica nas situações com e sem geração distribuída. Já para o cenário de migração para o mercado livre, após a verificação do enquadramento da empresa e a escolha da fonte de energia que a atenderá, serão utilizados os valores médios da energia do ambiente livre do ano de 2025 divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), bem como na aplicação dos descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) devido aos incentivos governamentais às usinas de fontes renováveis, de modo a estimar a economia obtida com a migração. Diante de tais resultados, será observado qual investimento se demonstra mais atrativo financeiramente a partir de métricas como o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e o Payback.

**Palavras-chave:** Geração distribuída. Mercado Livre de Energia. Comparativo energia solar.

## ABSTRACT

The Brazilian electricity sector, in recent decades, has provided increasing freedom to consumers through the gradual opening of the free energy market and the regulation of distributed generation. Such factors have driven the expansion of renewable energy sources and have allowed consumers to produce their own energy or purchase energy from the source of their interest. In this way, the present study will use, as its methodology, the development of a case study of a food retail company with a contracted demand of 100 kW, and, based on the analysis of the energy consumption history of the consumer unit, a financial comparison will be carried out between distributed generation with the installation of a photovoltaic power plant and migration to the Free Energy Market, with the regulated market serving as the comparison criterion. To verify the savings that the investment in a solar power plant will bring to the establishment, the energy tariff values of the utility Enel CE in the year 2025 will be used to compare the amounts paid on the energy bill with and without distributed generation. As for the scenario of migration to the free market, after verifying the company's eligibility and choosing the energy source that will supply it, the average energy prices of the free market in recent years, published by the CCEE, and the tariff discounts due to incentives for renewable energy power plants will be used in order to estimate the savings obtained from the migration. In view of these results, it will be assessed which investment proves to be more financially attractive based on metrics such as Net Present Value, Internal Rate of Return, and Payback.

**Keywords:** Distributed generation. Free market. Comparison. Solar Power Plant

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Expansão das fontes renováveis no mundo. . . . .	14
Figura 2 – Crescimento das fontes renováveis na matriz energética brasileira. . . . .	15
Figura 3 – Diferenças entre o ACL e o ACR. . . . .	23
Figura 4 – Todos os agentes da CCEE por classe. . . . .	24
Figura 5 – Processo de adesão. . . . .	27
Figura 6 – Modelagem da usina no Pvsyst. . . . .	32
Figura 7 – Resultados da simulação - geração solar média da usina. . . . .	33
Figura 8 – Situação do medidor atual da empresa. . . . .	37
Figura 9 – Gráfico comparativo do VPL em 25 anos - GD vs ACL. . . . .	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tarifas de aplicação A4 (2,3 a 25 kV) verde. . . . .	19
Tabela 2 – Características dos possíveis enquadramentos como consumidor no ACL. . .	29
Tabela 3 – Consumo de energia dos últimos 12 meses (kWh). . . . .	30
Tabela 4 – Dados tarifários da ANEEL – sem impostos. . . . .	31
Tabela 5 – Dados tarifários da ANEEL (com impostos). . . . .	32
Tabela 6 – Comparação de valores: ambiente livre vs ambiente cativo. . . . .	38
Tabela 7 – Descritivo fatura sem GD no primeiro ano. . . . .	40
Tabela 8 – Descritivo fatura com GD no primeiro ano. . . . .	40
Tabela 9 – Análise financeira da geração distribuída. . . . .	41
Tabela 10 – Fatura ambiente cativo. . . . .	42
Tabela 11 – Faturas ambiente livre – 50% de desconto na TUSD. . . . .	42
Tabela 12 – Análise da economia e do VPL proporcionado pelo ACL. . . . .	43
Tabela 13 – Comparação dos indicadores financeiros entre a GD e o ACL. . . . .	43
Tabela 14 – Tabela resumo dos resultados - Pontos positivos e negativos dos cenários. . .	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEAL	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCER	Contrato de Comercialização de Energia Regulada
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CUSD	Contrato de Uso do Sistema de Distribuição
GD	Geração distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MLE	Mercado Livre de Energia
OEM	Operação e Manutenção
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PB	Payback
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIS/CONFINS	Programa de Integração Social e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SMF	Sistema de Medição para Faturamento
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UC	Unidade consumidora
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$F_c$	Fatura da concessionária
$F_{el}$	Fatura de energia da comercializadora ou geradora
$F_e$	Fatura de energia
$F_{GD}$	Fatura com geração distribuída
$C_p$	Consumo na ponta
$C_{pa}$	Consumo ponta ajustado
$F_a$	Fator de ajuste
$TUSD_p$	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição na ponta
$TE_p$	Tarifa de energia na ponta
$C_{fp}$	Consumo fora de ponta
$TUSD_{fp}$	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição fora de ponta
$TE_{fp}$	Tarifa de energia fora de ponta
$D_c$	Demanda contratada
$T_d$	Tarifa de demanda
$D_e$	Demanda excedente
$I_p$	Iluminação pública
$TE$	Tarifa de energia no ambiente livre
$EI_{fp}$	Energia injetada pelo sistema de geração no posto fora de ponta
$EI_p$	Energia injetada pelo sistema de geração no posto ponta
$D_g$	Demanda de geração
$T_{dg}$	Tarifa de demanda de geração

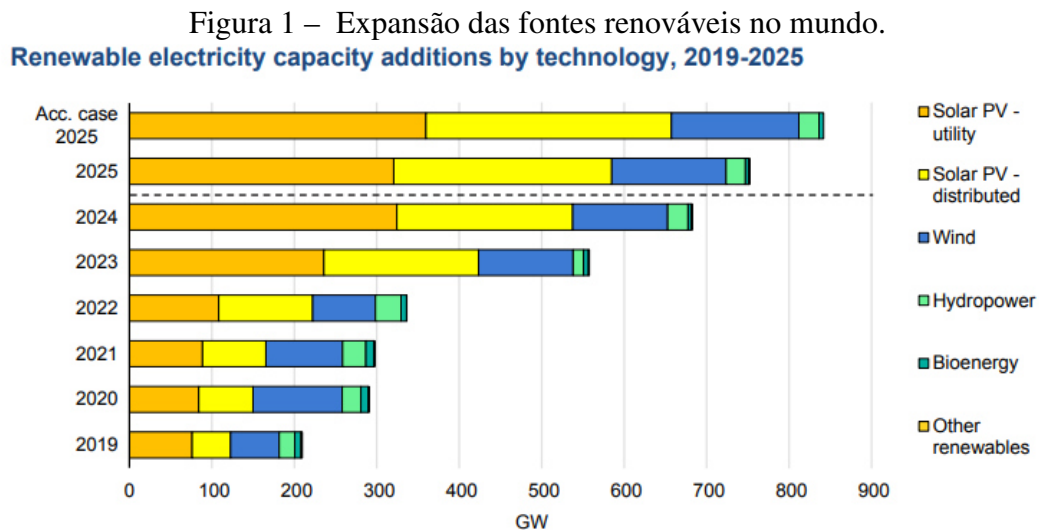
## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Localização do Tema</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos Gerais</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1</b>	<i>Objetivos Específicos</i>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Contribuições do Trabalho</b>	<b>17</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Setor Elétrico Brasileiro</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Mercado Cativo</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Geração distribuída</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Lei 14.300/2022</i>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Mercado livre de energia</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Processo de migração</i>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise financeira do investimento em energia solar</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Comparativo da fatura de energia com e sem energia solar</i>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Mercado livre de energia.</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Consumidor cativo x Geração distribuída</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Consumidor Cativo x Consumidor Livre</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Geração distribuída X Mercado livre de energia</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>

# 1 INTRODUÇÃO

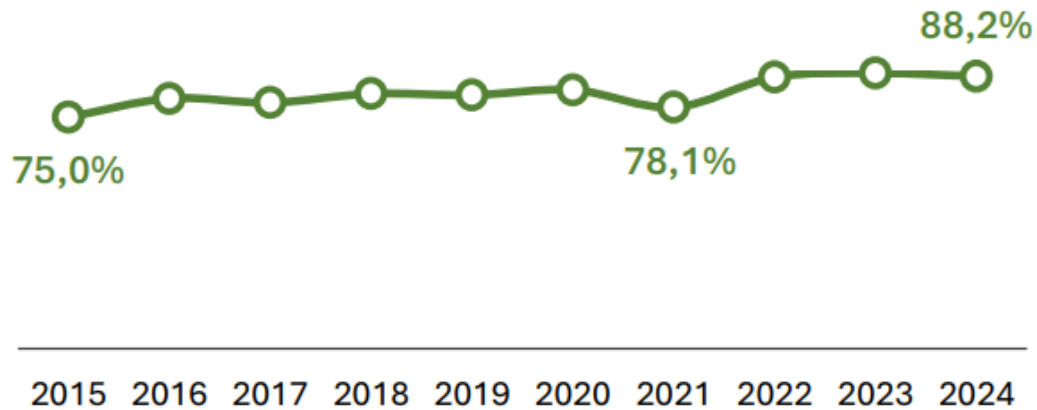
## 1.1 Localização do Tema

A matriz energética mundial é majoritariamente composta por combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e gás natural. Nesse sentido, um grande desafio para a humanidade é reduzir a dependência dessas fontes por meio da adoção de opções renováveis e limpas (BARCELLOS, 2022). Com o agravamento da crise climática, diversas nações traçaram objetivos e estratégias para reduzir a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) mediante a implementação em escala de fontes de energias renováveis, como a solar fotovoltaica, a eólica e a biomassa. A Figura 1, a seguir, evidencia o crescimento significativo dessas fontes no mundo, em especial da solar fotovoltaica.



Em 2024, as fontes de energias renováveis passaram a representar 40% da geração de energia elétrica mundial, esse recorde se deve ao protagonismo do crescimento da energia solar e eólica, que registraram um crescimento significativamente maior que outras fontes renováveis (ALTIERI, 2025). Sobre esse aspecto, o cenário brasileiro sempre apresentou um panorama positivo graças à geração hidrelétrica, apesar disso, as fontes de energias renováveis crescem continuamente. Assim, observa-se que, na Figura 2, no ano de 2024, a matriz energética brasileira atingiu a marca de 88,2% proveniente de fontes renováveis, registrando uma expansão de 13,2% nos últimos 9 anos (ENERGÉTICA, 2025).

Figura 2 – Crescimento das fontes renováveis na matriz energética brasileira.



Fonte: ENERGETICA (2025).

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB), nas últimas décadas, vem se transformando e se tornando cada vez mais democrático, proporcionando mais liberdade ao consumidor. Um marco importante nesse processo ocorreu em 2012, com a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que regulamentou a Geração distribuída (GD) no Brasil, permitindo assim que os consumidores instalassem energia solar nas suas residências, comércios e, dessa forma, aproveitassem os benefícios ambientais e financeiros que essa fonte pode proporcionar (ANEEL, 2025b). Essa economia atraiu a população brasileira, resultando em aproximadamente 3 milhões e 700 mil sistemas de GD instalados no Brasil no ano de 2025 (ABSOLAR, 2025).

Outro avanço significativo ocorreu com a sanção, em 2004, da Lei nº 10.848, por meio da qual os consumidores passaram a ter direito de escolha entre dois ambientes para a compra de energia, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Antes dessa lei, todo e qualquer consumidor estava restrito ao ambiente regulado, no qual não tinham liberdade para escolher de quem comprar sua própria energia, podendo ser atendido apenas pela concessionária local. Desde então, com a criação do ACL, tais consumidores passaram a fazer a gestão de sua energia, escolhendo o fornecedor, a fonte de energia e o preço mais vantajoso, alavancando seus negócios graças a incentivos monetários, descontos e tarifas mais baratas. Além disso, nesse ambiente existe a possibilidade de o consumidor gerar sua própria energia através da autoprodução, o que possibilita, inclusive, comercializar essa energia.

O ACL consegue, de muitas formas, contribuir para o crescimento das fontes renováveis e para a descarbonização. Por exemplo, um costume muito presente em empresas e indústrias, do mercado cativo, é utilizar geradores a diesel para economizar nos horários de ponta, quando o preço da energia é consideravelmente mais caro. Contudo, no ambiente livre, além do

valor da energia ser muito mais acessível, tais organizações podem descartar o uso dos geradores, pois não há diferença no preço da energia no horário de ponta e fora de ponta, diminuindo, assim, as emissões de carbono por parte dessas empresas. Outrossim, consumidores que migram para o Mercado Livre de Energia e escolhem ser atendidos por usinas geradoras de energias renováveis incentivadas recebem descontos nas tarifas.

A Lei nº 9.427/1996 definiu que apenas consumidores com demanda contratada mínima de 500 kW estavam aptos a migrar para o Mercado Livre de Energia (MLE). Entretanto, uma mudança crucial ocorreu em 2022 devido à Portaria 50/2022, com a qual se iniciou a chamada abertura do MLE, o qual estabeleceu que qualquer consumidor conectado à alta tensão está apto a migrar, desde que atenda aos requisitos mínimos que serão descritos posteriormente neste trabalho. Essa abertura resultou em um aumento significativo do número de consumidores que migraram para MLE, atingindo a marca de aproximadamente 80 mil unidades consumidoras no Mercado Livre de Energia (ABRACEEL, 2025).

## **1.2 Objetivos Gerais**

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso de uma empresa com demanda contratada de 100 kW para identificar a melhor modalidade de investimento entre instalar energia solar ou migrar para o Mercado Livre de Energia como consumidor varejista.

### ***1.2.1 Objetivos Específicos***

- Dimensionar um sistema de energia solar fotovoltaico que atenda a necessidade da empresa por meio de simulações georreferenciadas no software PVsyst;
- Obter, analisar e comparar os indicadores financeiros individuais de cada modalidade;
- Analisar a viabilidade econômica de ambos investimentos, em um horizonte de 25 anos, considerando as tarifas de energia elétrica, os encargos e o investimento inicial requerido; e
- Demonstrar, de forma clara e objetiva, as vantagens financeiras e ambientais de investir em energia solar ou migrar para o ambiente livre.

### **1.3 Contribuições do Trabalho**

Este estudo fornecerá uma base de conhecimento sólida sobre o setor de eletricidade do Brasil e, especificamente, sobre as condições e os valores vigentes da energia no Estado do Ceará. Além disso, identificará qual cenário, entre a instalação de uma usina fotovoltaica e a migração para o Mercado Livre de Energia, se demonstra ser o melhor investimento para o caso analisado. Dessa forma, empresas e consumidores que se enquadrarem nas características do estudo, ou até mesmo em condições similares, poderão utilizar este trabalho como base para a tomada de decisões ou para nortear as análises de viabilidade antes de realizar qualquer investimento.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O Capítulo 1 apresenta a localização do tema, contextualizando a GD, o Ambiente livre e os objetivos da pesquisa.

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, situando o setor elétrico, a GD e o MLE em todos os aspectos necessários para o entendimento do estudo.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para a análise dos investimentos, assim como todos os critérios, valores e observações utilizados na análise.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e compara o retorno financeiro de cada investimento a partir de diferentes métricas.

O Capítulo 5, por fim, aborda as conclusões com base nos resultados, as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Setor Elétrico Brasileiro**

Em dezembro de 1996, foi promulgada a Lei 9.427/96, que criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com a função de regular e de fiscalizar as quatro divisões do setor elétrico brasileiro: transmissão, geração, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal (SILVA, 2011).

A geração é a responsável por converter fontes primárias de energia, que podem ser renováveis ou não renováveis, em energia elétrica. Já a transmissão é referente ao segmento responsável pelo transporte dessa energia por longas distâncias, até regiões próximas aos centros consumidores. Nessa etapa, surge a distribuição, pois a energia precisa ser levada para as residências, os comércios e as empresas, ou seja, a distribuição é responsável por entregar essa energia para todos os consumidores. E, por fim, a comercialização de energia é referente à etapa de compra e venda nos dois ambientes existentes no país. Tais ambientes são: o ACR, do qual participam agentes de geração e distribuição de energia elétrica e o ACL, do qual participam agentes de geração, comercialização, consumidores livres, importadores e exportadores de energia (SILVA, 2022).

### **2.2 Mercado Cativo**

No mercado cativo, os agentes de geração vendem energia através de leilões para as concessionárias por meio do Contrato de Comercialização de Energia Regulada (CCER) e essas, por sua vez, comercializam energia para o consumidor através do Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD) e do CCER. Com base no valor da energia dos leilões, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por divulgar anualmente, em resolução homologatória, como mostra a Tabela 1, o valor da Tarifa de Energia (TE) e da TUSD, nos horários de ponta e fora ponta, que as concessionárias irão aplicar no montante de energia utilizada pelos consumidores para constituir o valor da fatura de energia dos mesmos. A TE corresponde à energia consumida e aos custos relacionados a ela. Já a TUSD está atrelada à disponibilização, à manutenção e à operação da infraestrutura do setor elétrico. A linha NA é destinada ao valor da demanda contratada (ANEEL, 2018).

Tabela 1 – Tarifas de aplicação A4 (2,3 a 25 kV) verde.

POSTO	TUSD	TUSD	TE
	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
NA	22,10	0	0
PONTA	0,00	1.162,90	372,47
FORA PONTA	0,00	88,46	232,5

Fonte: ANEEL (2025a).

Os valores presentes na Tabela 1 em R\$/MWh e em R\$/kW são sem impostos, mas na fatura de energia do consumidor incidirá impostos como o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Programa de Integração Social e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/CONFINS) e a Contribuição de Iluminação Pública (CIP). Vale ressaltar que as alíquotas de cada imposto variam de acordo com a concessionária e o Estado.

Além disso existem as bandeiras tarifárias, que indicam se a energia está custando mais ou menos a depender das condições atuais de geração de energia no país (ANEEL, 2022b).

- 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\$ 0,01885 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04463 para cada quilowatt-hora kWh consumido; e
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,07877 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Atualmente os consumidores cativos são divididos em grupos tarifários a depender do nível de tensão em que são atendidos, sendo o grupo A composto de unidades consumidoras conectadas em alta tensão, maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV. Esse grupo é subdividido nos seguintes subgrupos (ANEEL, 2022a).

- a) subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- b) subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- c) subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- d) subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a

44 kV;

- e) subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV; e
- f) subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B é composto de unidades consumidoras conectadas em baixa tensão, menor que 2,3 kV e é subdividido nos seguintes subgrupos (ANEEL, 2022a):

- a) subgrupo B1: residencial;
- b) subgrupo B2: rural;
- c) subgrupo B3: demais classes; e
- d) subgrupo B4: Iluminação Pública;

No grupo A, para aplicação dos valores da TE e TUSD, existem dois horários (postos) tarifários distintos, diferindo do grupo B, onde não há diferenciação horária dos valores de energia (ANEEL, 2022b):

- Horário de ponta: Período de 3 horas consecutivas do dia em que o preço da energia é mais elevado, devido ao pico de consumo no sistema, com exceção dos sábados, domingos e feriados nacionais; e
- Horário fora de ponta: período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta.

Além disso, existem duas classes diferentes de consumidores grupo A, a verde e a azul. Na verde, não há diferenciação de postos tarifários na demanda contratada em R\$/kW, como pode-se observar na Tabela 1. Ou seja, o consumidor contrata apenas uma única demanda. Já a classe azul, há o horário de ponta e fora de ponta para a demanda contratada, logo são contratadas duas demandas, uma para cada posto.

### **2.3 Geração distribuída**

Para tratar de geração distribuída no Brasil, é necessário iniciar pela Resolução Normativa Nº 482/2012 da ANEEL, que estabeleceu as regras e condições gerais para a conexão desse tipo de geração ao sistema de distribuição de energia elétrica no país, definidas como micro ou minigeração distribuída. Tal resolução permitiu que os consumidores instalassem sistemas de geração de energias renováveis, como a solar e a eólica, em suas residências, comércios e estabelecimentos.

Para a GD foi estabelecido o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), o qual permitiu que o excedente de energia gerado, não consumido instantaneamente pela unidade consumidora, pudesse ser injetado na rede de distribuição, sendo essa energia contabilizada por um medidor bidirecional e, posteriormente, utilizado como crédito de energia na mesma Unidade consumidora (UC) ou em outras unidades.

Essa compensação é feita preferencialmente no mesmo posto tarifário em que a energia foi gerada. Nesse caso, por exemplo, 1 kWh de energia gerada no posto horário fora de ponta corresponde a 1 kWh de energia compensada no mesmo posto horário. Já se o crédito for gerado em um posto e utilizado em outro posto, torna-se necessário fazer uma equivalência que será demonstrada posteriormente, por exemplo, 1 kWh gerado no posto horário fora de ponta não tem o mesmo valor monetário de 1 kWh na ponta.

No decorrer dos anos, o setor de GD foi sendo moldado e melhorado de muitas formas e por diversas resoluções. Por exemplo, da REN 482/2012 à Lei 14.300/2022, o marco legal da geração distribuída no país, teve-se a REN 687/2015, que alterou os limites de potência instalada da GD, aumentou o prazo de validade dos créditos de energia, que antes eram válidos por 36 meses e passaram a valer por 60 meses e implementou à GD os conceitos de Geração Local, Autoconsumo Remoto e Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (EMUCs) ANEEL (2022a). Outra atualização significativa ocorreu por meio da Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023, que promoveu adequações dos regulamentos da ANEEL às disposições da Lei nº 14.300, além de consolidar as disposições referentes à MMGD e ao SCEE (ANEEL, 2022a).

### **2.3.1 Lei 14.300/2022**

Considere as definições atuais da Microgeração e da Minigeração Distribuída de Energia Elétrica MMGD estabelecidas pela Lei 14.300/2022 ANEEL (2023):

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as

fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras.

Anteriormente à Lei 14.300/2022, os consumidores com geração distribuída que utilizavam o SCEE não eram cobrados pela utilização do sistema de distribuição de energia elétrica, ou seja, ao injetar na rede, utilizavam essa energia posteriormente de forma integral. Contudo, com o Marco Legal da Geração Distribuída, essa função passou a ser cobrada por meio do chamado FIO B, que é uma componente do valor total da TUSD referente à distribuição. Essa cobrança foi formulada para ocorrer de forma gradual ao longo dos anos, para usinas protocoladas após o dia 07/01/2023, iniciando com 15% no primeiro ano (2023) e com um acréscimo de 15% a cada ano até chegar aos 90%. Dessa forma, usinas já existentes ou que protocolaram até o dia 07/01/2023 não sofrem cobrança pelo uso da rede, logo, toda a energia exportada por elas poderá ser compensada de forma integral (DACHERY, 2023).

Outra importante mudança com a Lei 14.300/2022 foi a implementação da demanda de geração para consumidores GD do grupo A, que até então precisavam contratar uma demanda consumo maior ou igual à potência instalada de geração, mas agora podem contratar uma demanda de geração equivalente à potência de seu sistema gerador e continuar com a demanda consumo antiga. Sendo que, caso a demanda de geração faturada for menor que a demanda consumo o consumidor pagará apenas a de consumo, porém, se a demanda de geração for maior, o valor dessa diferença será pago com base na tarifa da demanda de geração, muito mais acessível que a de consumo. Assim, a maior vantagem ocasionada por essa transformação está na instalação de usinas com caráter puramente gerador, sem consumo, que precisarão contratar apenas a demanda de geração.

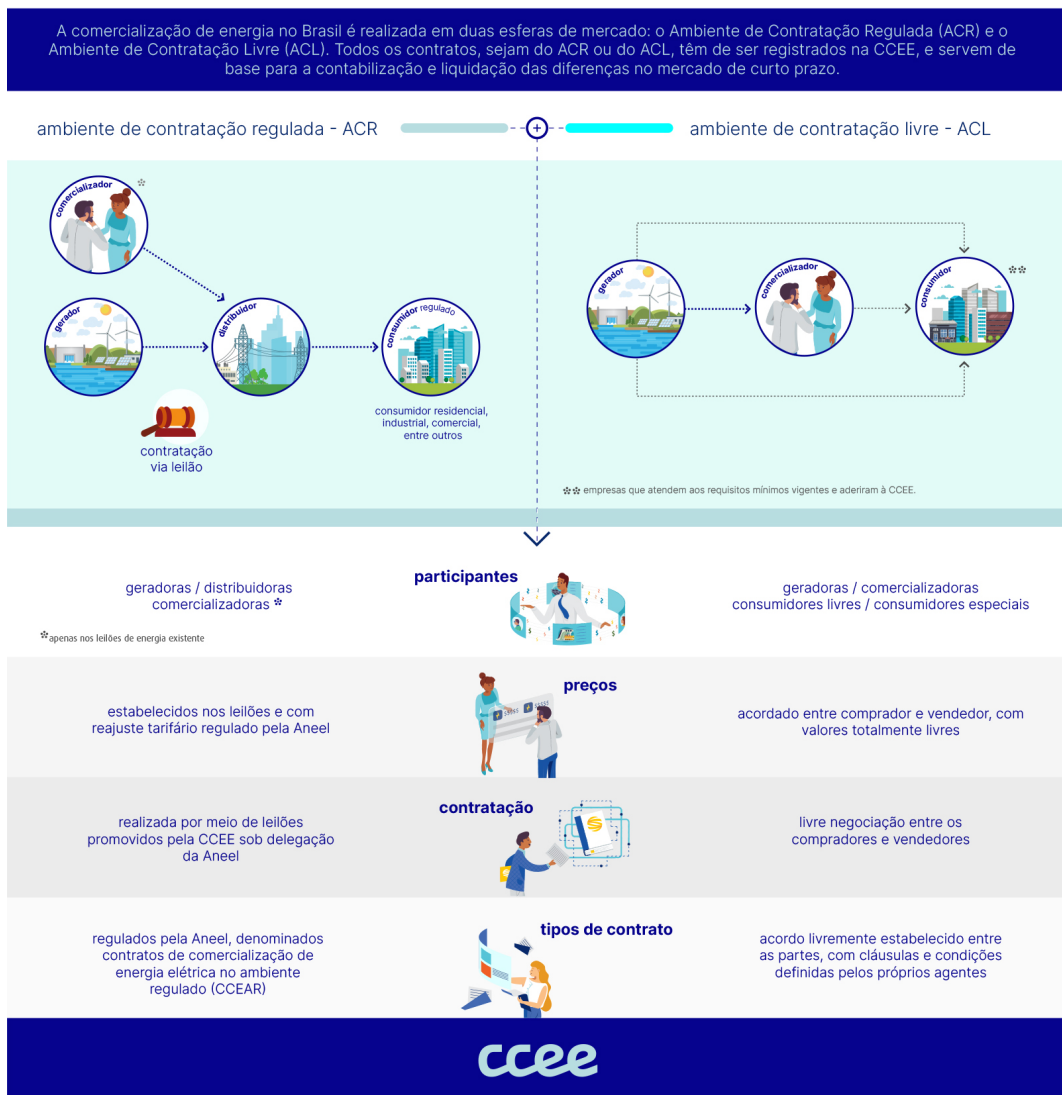
## **2.4 Mercado livre de energia**

No MLE, os agentes comercializadores compram energia de usinas geradoras, negociam e entregam essa energia para os consumidores por meio da estrutura já existente de rede elétrica. Nesse sentido, o consumidor firmará o CUSD com a concessionária e o Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) com a comercializadora ou diretamente com a usina geradora. Quando o contrato é feito diretamente com a geradora, o custo da energia diminui, já que não há a presença contratual de um terceiro (comercializadora). Contudo, a gestão da energia e o acompanhamento do seu preço no mercado de curto prazo ficam

prejudicados, já que são funções complexas pelas quais a comercializadora se responsabilizaria. Ademais, dificilmente um gerador de energia se interessaria por firmar diversos contratos com diferentes consumidores, pois é mais prático firmar apenas um com uma comercializadora.

Portanto, o consumidor do ACL deixará de pagar a TE para a concessionária por conta do encerramento do CCER, entretanto continuará pagando a TUSD, pois, como citado anteriormente, mantêm-se o CUSD. Em alguns casos, se o consumidor optar por comprar energia de uma fonte incentivada, como solar, eólica ou biomassa, além de economizar na TE, graças ao preço muito inferior ao da concessionária, ele terá um desconto que pode chegar até 100% na TUSD em relação ao consumo e à demanda contratada, dependendo da classe do consumidor, azul ou verde. Na Figura 3, observa-se um resumo das principais diferenças entre o ACL e o ACR.

Figura 3 – Diferenças entre o ACL e o ACR.

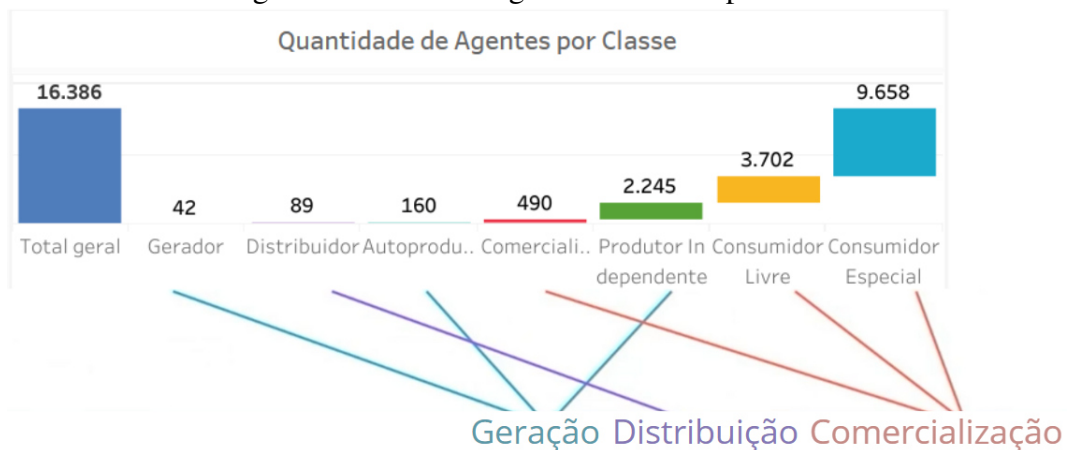


Fonte: (CCEE, 2025a).

Assim, o consumidor do ACL pagará três faturas: uma para a concessionária, relativa à demanda contratada (TUSD), que é referente a contratação da estrutura física da rede elétrica necessária para que esse consumidor utilize seus equipamentos, maquinários e eletrodomésticos sem ocasionar problemas na rede, como por exemplo, incêndios por sobrecarga dos condutores. Outra fatura alusiva à TE, pertencente à energia, para a comercializadora ou geradora e, por fim, uma fatura referente às cobranças da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é o órgão responsável por fornecer estrutura operacional e tecnológica para viabilizar as operações de compra e venda de energia de todos os agentes do mercado.

Na Figura 4, observa-se todos os agentes associados ao CCEE e, vale ressaltar, cada agente se encaixa em uma categoria: geração, distribuição ou comercialização.

Figura 4 – Todos os agentes da CCEE por classe.



Fonte: CCEE (2025d).

Agentes que se enquadram na categoria de geração:

- Gerador: Usinas de grande porte que receberam concessão do poder público, como a usina hidrelétrica de Belo Monte;
- Autoprodutor: Agente que tem perfil de geração, contudo, destina parte dessa energia para consumo próprio; e
- Produtor Independente: Usina de energia que possui apenas perfil de geração e vende essa energia excedente no mercado livre.

Agentes que se enquadram na categoria de distribuidor:

- Distribuidor: Concessionárias responsáveis por entregar energia elétrica na porta dos estabelecimentos, comércios, empresas e residências.

Agentes que se enquadram na categoria de comercialização:

- Comercializadora: De acordo com a CCEE, é um tipo de agente que ficará responsável por representar, em seu nome e conta, consumidores livres, consumidores especiais, produtores independentes ou autoprodutores junto à CCEE. Com isso, o representado não necessita se tornar agente da CCEE, uma vez que fica a cargo do comercializador o cumprimento de todas as suas obrigações, bem como a representação, e de seus ativos junto à Câmara de Comercialização;
- Consumidor livre: É referente ao consumidor que possui o mínimo de 500 kW de demanda contratada na concessionária, estando apto a escolher de que fonte deseja ser atendido; e
- Consumidor especial: É referente ao consumidor que não possui 500 kW de demanda contratada, mas que deseja migrar para o mercado livre por meio de comunhão de fato ou de direito que, basicamente, é união das demandas contratadas de outras unidades consumidoras, podendo ser essas, em áreas vizinhas, que se encaixa em comunhão de fato, ou em locais distintos com a mesma raiz de CNPJ, que se encaixa em comunhão de direito.

Um detalhe importante é que não existe uma categoria para consumidor, pois estes estão incluídos na categoria de comercialização, já que estão aptos a realizar as mesmas atividades de uma comercializadora, como comprar e vender energia. Além disso, não são agentes da CCEE as transmissoras, os consumidores cativos e, em especial, os consumidores varejistas, pois estes, apesar de estarem no ACL por serem do grupo A e terem demanda contratada menor que 500 kW, não são agentes e devem obrigatoriamente ser representados por uma comercializadora varejista.

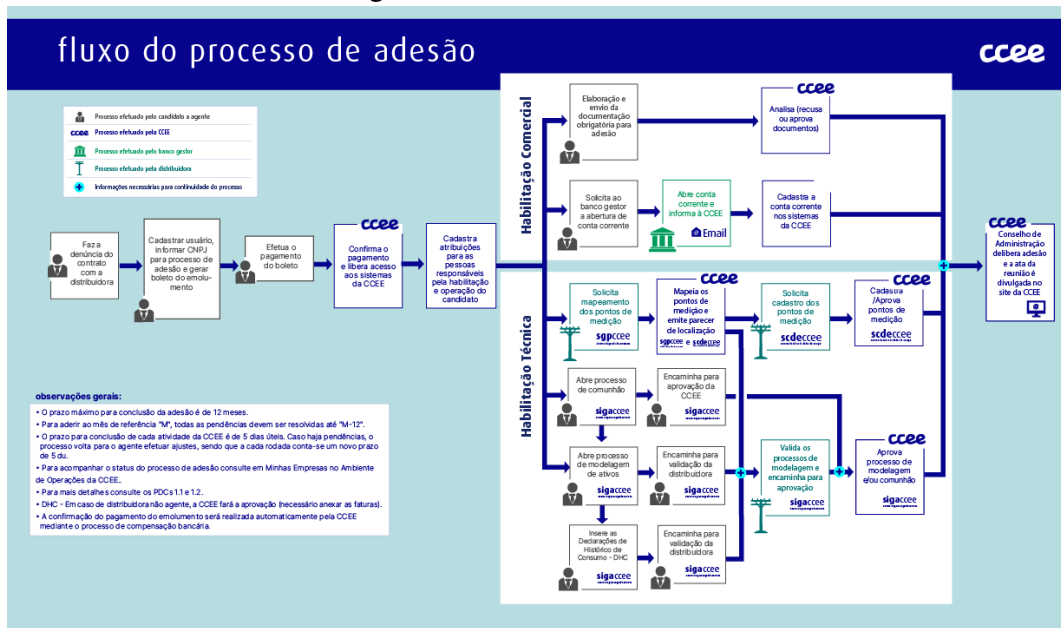
As fontes de energia no ACL são subdivididas em fontes convencionais e incentivadas. As convencionais são provenientes de fontes energia já consolidadas, como grandes hidrelétricas e termelétricas. Já as incentivadas, que têm como principal característica o desconto na TUSD de 50% até 100%, provêm de fontes renováveis como a solar, eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Essa divisão foi estabelecida pelo governo com a finalidade de estimular a expansão dessas fontes no país. Dessa forma, o desconto é dado ao gerador de energia, porém, esse benefício é repassado para os consumidores que forem atendidos por esse gerador. Além disso, algumas mudanças referentes a esse desconto foram trazidas com a publicação da Lei 14.120/2021, que alterou a aplicação desses descontos para centrais geradoras novas, concedendo a manutenção do benefício apenas aos empreendimentos que solicitassem a

outorga para a ANEEL até o dia 2 de março de 2022, logo, os empreendimentos que solicitaram depois dessa data não teriam direito a essa vantagem. Para chegar a essa mudança considerou-se que as fontes renováveis já estavam estabelecidas e não precisavam mais desse incentivo, contudo, a lei não abrangeu o caso de geradoras de energia com capacidade menor que 5 MW de potência instalada, que não precisam de outorga, apenas do registro na ANEEL. Devido a isso o benefício do desconto se mantém para esses empreendimentos.

#### ***2.4.1 Processo de migração***

Para migrar para o ACL, inicialmente, o consumidor deve realizar um estudo de viabilidade para verificar os possíveis ganhos financeiros com a migração, comparando as condições atuais do ACL com o seu histórico de faturas de energia. Após constatada a viabilidade financeira, o primeiro passo é informar à concessionária, através de uma carta denúncia, que o CCER será rescindido, ou seja, o consumidor não contratará mais energia no ambiente regulado, entretanto, contratará a utilização da estrutura física da rede, por meio do CUSD, para o recebimento da energia proveniente do ACL. Vale ressaltar que o consumidor deve se atentar às cláusulas contratuais estabelecidas com a concessionária para garantir que informará no tempo mínimo de antecedência, pois, a rescisão antecipada do contrato pode gerar multas. O próximo passo é a adesão junto ao CCEE que consiste em três etapas: o cadastro do agente e pagamento do boleto de emolumento, a Habilitação Comercial e a Habilitação Técnica. Na Figura 5 observam-se todas essas etapas em detalhes (CCEE, 2025c).

Figura 5 – Processo de adesão.



Fonte: CCEE (2025b).

Na Habilitação comercial, o candidato deve informar a conta corrente ou o grupo de liquidação em que participará, sendo a conta corrente destinada às operações na CCEE. Além disso, o mesmo pode cadastrar representantes legais, contatos e, de forma opcional, indicar uma empresa representante junto à CCEE. Mediante a isso, o candidato pode gerenciar quais informações e sistemas estes representantes e contatos terão acesso. Posteriormente, o perfil do agente será identificado de forma automática como Consumidor Livre ou Especial, não sendo necessário nenhum cadastro adicional, restando apenas o envio da documentação necessária de acordo com a sua classe e categoria (CCEE, 2025c).

Na Habilitação Técnica o candidato deverá realizar o cadastro e a adequação do Sistema de Medição para Faturamento (SMF), que é o conjunto de equipamentos e instalações que possibilitarão à CCEE realizar o acompanhamento do consumo e da geração da unidade. Além disso, o agente deverá enviar o Diagrama Unifilar da unidade consumidora, que demonstra a configuração elétrica simplificada do empreendimento, distribuição de cargas e conexão com a rede de distribuição ou transmissão. Ademais, também deve enviar o Parecer de Acesso, que é o documento que evidencia as condições para a conexão da unidade consumidora ao sistema de distribuição ou transmissão, emitido pela Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) ou pela concessionária. Simultaneamente, o consumidor deverá firmar o CCEAL, em conformidade com sua categoria, para o suprimento de energia, com uma comercializadora ou diretamente com uma geradora (CCEE, 2025c).

O processo de migração do consumidor varejista deve incluir as mesmas etapas que as outras categorias, contudo, todo esse processo é conduzido pela comercializadora varejista, que representa aquele consumidor, o que confere mais praticidade a essa categoria.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados todos os cálculos, valores e considerações para a realização da análise entre a instalação de uma usina de energia solar ou a migração para o MLE. Isso só será possível após a realização do levantamento dos dados de enquadramento da empresa e do consumo energético, obtidos a partir das faturas de energia fornecidas. Com isso, torna-se possível realizar o dimensionamento do sistema de energia solar necessário para suprir a necessidade de energia da empresa e verificar o montante economizado anualmente a partir da usina solar ou da migração para o MLE.

O estabelecimento estudado é do setor de varejo de alimentos e reside em Fortaleza, no Estado do Ceará. Devido à necessidade da empresa de refrigeração dos alimentos e bebidas, uso de ares-condicionados para conforto térmico do local e o uso de maquinários, a necessidade de energia é elevada, tornando necessário o atendimento em tensão de 13,8 kV. Portanto, a unidade consumidora é do grupo A4 verde, ou seja, caracterizado pela contratação de uma única demanda, no valor de 100 kW. Com isso, para a realização da análise do cenário de energia solar, as tarifas que serão utilizadas para a realização dos cálculos serão apenas as aplicáveis a esse enquadramento. Já para o cenário de migração para o MLE, tendo em vista sua demanda de 100 kW, a empresa analisada se enquadra como consumidor varejista. Sintetiza-se, na Tabela 2, as principais características de cada enquadramento.

Tabela 2 – Características dos possíveis enquadramentos como consumidor no ACL.

Tipo	Características principais
Consumidor livre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda mínima: 500 kW;</li> <li>• Escolha livre da fonte de energia; e</li> <li>• Atua diretamente no mercado livre.</li> </ul>
Consumidor especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda: &lt; 500 kW;</li> <li>• Migra via comunhão de fato (áreas vizinhas); ou</li> <li>• comunhão de direito (mesmo CNPJ).</li> </ul>
Consumidor varejista	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo A (tensão 2,3 kV);</li> <li>• Demanda: &lt; 500 kW;</li> <li>• Não é agente da CCEE; e</li> <li>• Obrigatoriamente representado por comercializadora.</li> </ul>

Fonte: Elaboração própria.

### 3.1 Análise financeira do investimento em energia solar

A empresa objeto de estudo deste trabalho não possui área de telhado suficiente para a instalação da quantidade de módulos necessários para abater todo o seu consumo de energia, que, de acordo com seu histórico, somando o fora ponta e o ponta ajustado, resulta em uma média de geração necessária de 58.039,92 kWh por mês, conforme evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de energia dos últimos 12 meses (kWh).

MÊS	Consumo Fora Ponta	Consumo Ponta	Consumo Ponta Ajustado	Total necessária
Out. 2024	46315,00	5743,00	9200,41	55515,41
Nov. 2024	46689,00	5552,00	8894,42	55583,42
Dez. 2024	47915,00	5857,00	9383,04	57298,04
Jan. 2025	49177,00	5171,00	8284,05	57461,05
Fev. 2025	49219,00	5682,00	9102,69	58321,69
Mar. 2025	43758,00	5947,00	9527,22	53285,22
Abr. 2025	49966,00	5255,00	8418,62	58384,62
Mai. 2025	49255,00	5529,00	8857,58	58112,58
Jun. 2025	50630,00	5309,00	8505,13	59135,13
Jul. 2025	49472,00	5694,00	9121,91	58593,91
Ago. 2025	51392,00	5761,00	9229,25	60621,25
Set. 2025	53571,00	6614,00	10595,77	64166,77
Média	48946,58	5675,17	9093,34	58039,92

Fonte: Elaboração própria.

O consumo ponta ajustado é o consumo na ponta multiplicado pelo fator de ajuste, que é a razão entre o valor da energia no horário de ponta e no horário fora de ponta, conforme observa-se na equação 3.1. O fator de ajuste serve para dimensionar quantos kWh gerados no horário fora ponta, que é o posto em que a fonte solar gera energia, são necessários para abater 1 kWh no horário de ponta. Por exemplo, na Tabela 3, no mês de outubro de 2024 seria necessário gerar 9200,41 kWh fora ponta para abater 5743 kWh na ponta. Logo, apesar da fonte solar não gerar no posto de ponta, os créditos excedentes gerados no fora ponta podem ser utilizados na ponta. Por exemplo, se o sistema injetar 9200,41 kWh como crédito no posto fora de ponta, e todo o consumo nesse mesmo posto já tenha sido integralmente compensado, esse valor poderá ser convertido para compensação no posto de ponta, correspondendo a aproximadamente 5.743,00 kWh nesse período.

$$C_{pa} = C_p \cdot F_a = C_p \cdot \frac{TE_p}{TE_{fp}} \quad (3.1)$$

Sendo,

$C_{pa}$ : Consumo ponta ajustado;

$C_p$ : Consumo ponta;  
 $F_a$ : Fator de ajuste;  
 $TE_p$ : Tarifa de energia na ponta; e  
 $TE_{fp}$ : Tarifa de energia fora ponta.

Os valores atuais das tarifas da concessionária ENEL-CE, divulgados pela ANEEL em resolução homologatória, que serão utilizados para analisar o retorno financeiro do investimento, estão evidenciados na Tabela 4. A linha NA é relacionada aos valores de demanda contratada.

Tabela 4 – Dados tarifários da ANEEL – sem impostos.

-	Fora Ponta (R\$/kWh)	Ponta(R\$/kWh)	Demanda C (R\$/kW)	Demanda G (R\$/kW)
TE	0,2325	0,37247	-	-
TUSD	0,0885	1,1629	-	-
TE + TUSD	0,3210	1,5354	-	-
NA	-	-	22,1	16,37
FIO B	0	0,8520	-	-

Fonte: ANEEL (2025a).

Para obter os valores com impostos das tarifas na Tabela 4, utiliza-se a equação 3.2, a qual pode ser aplicada tanto para a TE quanto para a TUSD e, também, para os valores de demanda.

$$Ti = \frac{T}{(1 - ICMS) \cdot (1 - (PISPASEP + CONFINS))} \quad (3.2)$$

Para a realização das análises, as alíquotas de ICMS, PIS e CONFINS serão consideradas 20%, 1% e 4%, respectivamente, que são os valores médios aplicados na concessionária ENEL-CE. Além disso, na Tabela 5, pode-se observar o valor cheio das tarifas após aplicação da equação 3.2. Vale ressaltar que, na tabela, o valor do Fio B se apresenta menor que a tarifa apresentada anteriormente, mesmo com a incidência dos impostos, isso ocorre devido ao fato de que a cobrança dessa componente, no ano de 2026, ainda é 60%.

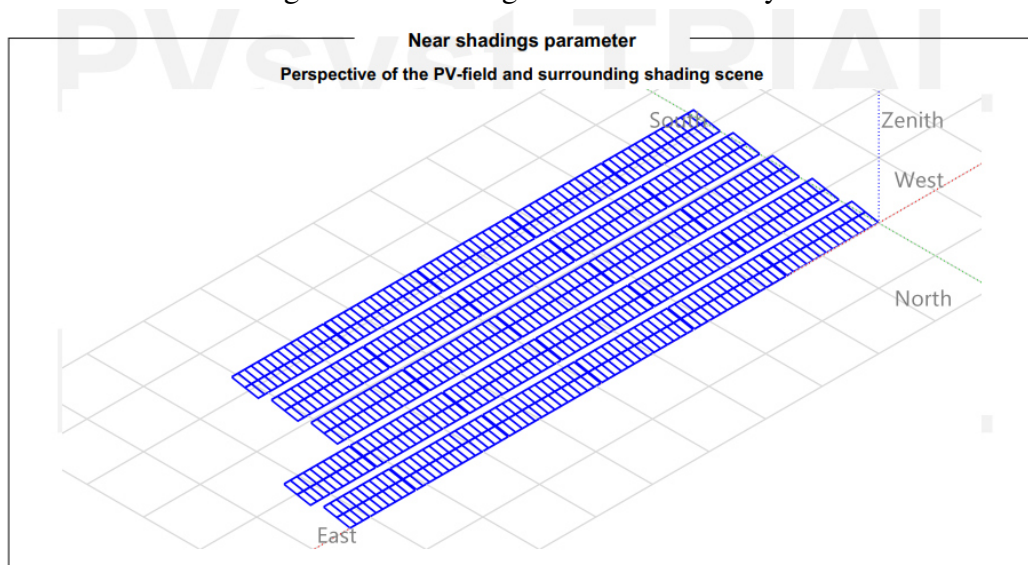
Tabela 5 – Dados tarifários da ANEEL (com impostos).

-	FORA PONTA (R\$/kWh)	PONTA (R\$/kWh)
TE	0,30502	0,48865
TUSD	0,11605	1,52563
FIO B	0	0,6706

Fonte: ANEEL (2025a).

Com o intuito de verificar se o sistema dimensionado suprirá ou não a energia necessária para a empresa, será realizada uma simulação no software Pvsyst, conforme observado na Figura 6, para obter os dados de geração. A escolha do Pvsyst foi tomada pelo fato de o software ser amplamente utilizado no mercado solar, o mesmo utiliza dados climatológicos do local, modelos matemáticos para calcular perdas do sistema e estimar, com tecnologia tridimensional, a geração de energia que o sistema solar simulado produziria (BARROS, 2022). Mediante isso, será considerado o investimento em uma usina de minigeração fotovoltaica com 740 módulos de 610 Wp, resultando em um total de 451,4 kWp, e 3 inversores de 100 kW, somando-se 300 kW de inversor, em um terreno no município de Pentecoste, no Ceará, que enviará créditos de energia para a empresa. O valor de mercado de uma usina de investimento desse porte, em julho de 2025, era de aproximadamente 2.420,00 R\$/kWp, ou seja, a usina custaria aproximadamente 1,1 milhão de reais, já inclusos os projetos, a instalação, o kit fotovoltaico, a subestação e as tratativas junto a concessionária para a homologação do sistema. Logo, considerando que o terreno é de propriedade da empresa, o investimento inicial total GD é de 1 milhão e 100 mil reais (GREENER, 2025).

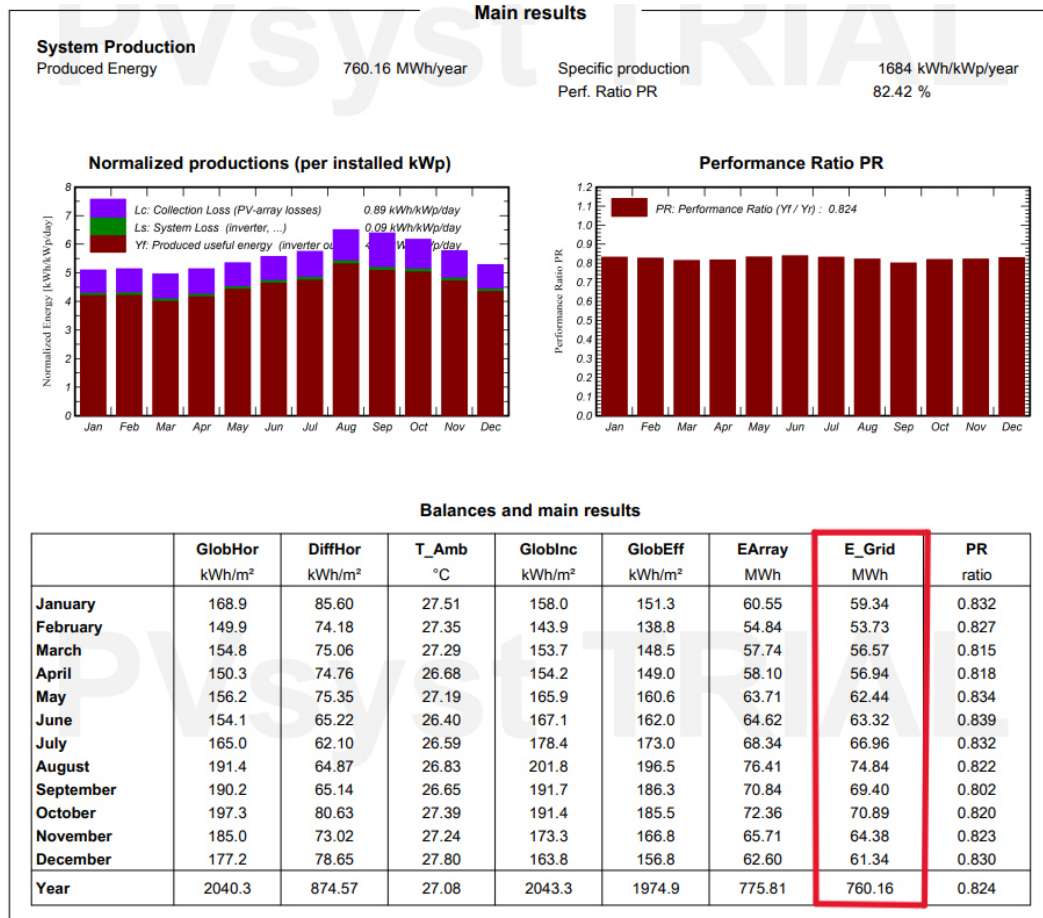
Figura 6 – Modelagem da usina no Pvsyst.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme se observa na Figura 7, os resultados da simulação demonstram que a geração será, em média, de 63.346,66 kWh por mês, convertendo MWh/ano para kWh/mês. Logo, será considerado que, em toda a vida útil do investimento, a conta de energia será abatida por completo, visto que a média de energia total necessária é de 58.039,92 kWh por mês. Sobrando ainda um excedente de geração mensal que trará segurança caso em algum mês a usina deixe de operar.

Figura 7 – Resultados da simulação - geração solar média da usina.



Fonte: Elaboração própria.

Serão utilizadas as seguintes métricas para análise financeira, em ambos os cenários, GD e migração para o ACL (FANTI LEONARDO DONIZETE; DIAS, 2015):

- Valor Presente Líquido (VPL): Um dos critérios mais recomendados pelos especialistas em finanças para determinar se um investimento é viável ou não. O VPL, demonstrado na equação 3.3, é o somatório do Valor Presente (VP) de cada ano, que considera o valor temporal do dinheiro, pois o recurso disponível hoje valerá mais que amanhã, já que pode ser investido e gerar juros;

- Taxa Interna de Retorno (TIR): Trata-se de uma taxa de retorno que a empresa obterá ao investir em um determinado projeto, considerando as entradas de caixa prevista. Essa métrica evidencia se o investimento é viável para o investidor; e
- Payback (PB): Corresponde ao período de tempo necessário para que as entradas de caixa provenientes do investimento se igualem ao valor a ser investido, ou seja, é o prazo de recuperação de um investimento.

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^j} - I_0 \quad (3.3)$$

sendo,

VPL: Valor Presente Líquido;

n: período total;

j: referência temporal considerada na análise;

$FC_t$ : fluxo de caixa dentro do intervalo de tempo considerado;

i: Taxa de desconto: Taxa que descontará os fluxos de caixa futuros do investimento para o valor presente, visto que o recurso disponível hoje valerá mais que amanhã; e

$I_0$ : investimento inicial.

Para realizar o cálculo das métricas financeiras, utilizaremos uma taxa de desconto de 10%, que é um valor próximo à média do últimos dez anos do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), o qual corresponde a uma taxa básica de juros da economia do país. Será considerado, também, um custo de Operação e Manutenção (OEM) da energia solar equivalente a 1% do retorno financeiro. Além disso, será adicionado um aumento no preço da energia de 6% ao ano e, também, 6% de aumento no preço nas tarifas de demanda de geração, demanda de consumo e FIO B. Outra consideração importante é em relação à lei 14.300, que estabeleceu o valor do FIO B até o ano de 2028, porém deixou em aberto qual será a regra para os anos seguintes e, até o presente momento, não há nada definido em relação a isso. Portanto, para possibilitar a realização do estudo, será considerado que a incidência do FIO B, a partir de 2028, será de 100% até o fim da vida útil do investimento, que é por volta de 25 anos.

### 3.1.1 Comparativo da fatura de energia com e sem energia solar

Para realizar a comparação e calcular o retorno financeiro, na equação 3.4 estão apresentadas todas as componentes, com impostos, da conta de energia da empresa em um cenário sem energia solar. Já para a conta de energia com os créditos de energia solar, existe um detalhe muito importante, que é o fato de que, no horário de ponta, não há a possibilidade de compensação do ICMS e do FIO B, ou seja, existe um valor máximo compensável, evidenciado na equação 3.5, na qual subtrai-se o ICMS da TUSD e o FIO B do valor da energia compensada na ponta. Logo, a fatura com energia solar é igual a fatura sem GD, subtraída do valor referente ao abatimento do consumo devido à presença dos créditos de energia solar, com o acréscimo do valor da demanda de geração.

Não será levada em consideração na análise a presença das bandeiras tarifárias, visto que a aplicação dessa componente é incerta e varia ano a ano. Entretanto, caso a compensação da energia solar aconteça em período de bandeira vermelha, espera-se uma maior economia, pois, como a energia estará mais cara, o abatimento dela por meio da geração solar proporcionará um retorno maior.

$$F_e = C_p \cdot (TE_p + TUSD_p) + C_{fp} \cdot (TE_{fp} + TUSD_{fp}) + D_c \cdot T_d + D_e \cdot 2T_d + I_p, \quad (3.4)$$

$$F_{GD} = F_e - EI_{fp} \cdot (TE_{fp} + TUSD_{fp}) - EI_p \cdot [TE_p + TUSD_p - (TUSD_p \cdot ICMS) - FIOB] + D_G \cdot T_{dg}. \quad (3.5)$$

sendo,

$F_e$ : Fatura de energia;

$F_{GD}$ : Fatura com geração distribuída;

$C_p$ : Consumo ponta;

$TE_p$ : Tarifa de energia na ponta;

$TUSD_p$ : Tarifa de uso do Sistema de Distribuição na ponta;

$C_{fp}$ : Consumo fora ponta;

$TE_{fp}$ : Tarifa de energia fora ponta;

$TUSD_{fp}$ : Tarifa de uso do Sistema de Distribuição fora ponta;

$D_c$ : Demanda contratada;

$D_e$ : Demanda excedente;

$T_d$ : Tarifa de demanda;

$I_p$ : Iluminação pública;

$EI_{fp}$ : Energia injetada pelo sistema de energia solar no posto fora ponta;

$EI_p$ : Energia injetada pelo sistema de energia solar no posto ponta;

$D_G$ : Demanda de geração; e

$T_{dg}$ : Tarifa demanda de geração.

Nesse caso, apesar do valor da soma da TE e da TUSD, com impostos, resultar em 2,0143 R\$/kWh, devido ao ICMS e ao FIO B, o valor máximo compensável é de 1,03854 R\$/kWh.

### 3.2 Mercado livre de energia.

Para realizar a análise de viabilidade de migração para o mercado livre de energia, é necessário verificar o enquadramento da empresa objeto de estudo, que, no caso, é a categoria consumidor varejista, visto que não possui 500 kW de demanda contratada e, apesar de possuir outras unidades consumidoras comerciais de grande porte, não realizará comunhão de cargas para se encaixar como consumidor especial. Portanto, além dos custos padrões referentes ao ACL, a empresa também terá um custo relacionado à sua representação por uma comercializadora junto a CCEE, que será considerado como um custo fixo mensal de R\$ 3.000,00. Os outros custos iniciais são, o valor do boleto de emolumento necessário para a adesão à CCEE, que atualmente custa R\$ 9.153,00 e o custo para adequação do sistema de medição e faturamento, que custa por volta de R\$ 30.000,00 (CCEE, 2025a). Todavia, conforme visto na Figura 8, a subestação local apresenta inconformidades, como cabos expostos e eletrodutos irregulares. Devido a isso, será acrescentado um valor de R\$ 5.000,00 para ajuste e manutenção da subestação, com o objetivo de evitar problemas futuros. Além disso, será utilizado como base o valor do kWh médio no ano de 2025, que é, sem impostos, de 0,17697 R\$/kWh e um acréscimo de 0,035 R\$/kWh referentes aos encargos cobrados pela CCEE para operação do sistema.

Figura 8 – Situação do medidor atual da empresa.



Fonte: Elaboração própria.

Assim como na GD, será realizado um comparativo entre o valor real da conta de energia no mercado cativo e a soma das faturas referentes ao uso do sistema de transmissão e distribuição da concessionária e ao valor da energia junto à comercializadora.

Na Tabela 6, pode-se observar o comparativo dos valores das tarifas entre o ACL e o ACR, com impostos e sem impostos, que serão aplicados no montante de energia médio consumido pela empresa para calcular o valor das faturas de energia. Será considerado, devido à compra de energia incentivada, o pagamento de 50% da TUSD no horário de ponta e de 50% da demanda contratada, vale ressaltar que no fora ponta não há a aplicação do desconto na TUSD.

Além disso, será utilizado o valor da TE de 0,17697 R\$/kWh, definido anteriormente, tanto no horário de ponta como no horário fora ponta.

Tabela 6 – Comparação de valores: ambiente livre vs ambiente cativo.

	Ambiente Livre		Cativo
	Sem impostos	Com impostos	Com impostos
TE HP (R\$/kWh)	0,17697	R\$ 0,23217	R\$ 0,48865
TE HFP (R\$/kWh)	0,17697	R\$ 0,23217	R\$ 0,30502
TUSD HP (R\$/kWh)	R\$ 0,58145	R\$ 0,76282	R\$ 1,52563
TUSD HFP (R\$/kWh)	R\$ 0,0885	R\$ 0,11605	R\$ 0,11605
DEMANDA C. (R\$/kW)	11,05	14,49674643	28,99

Fonte: Elaboração própria.

Para calcular o custo mensal total no ambiente livre, além do custo devido à gestão da comercializadora, deve-se considerar as duas faturas, uma da concessionária referente ao uso do sistema de distribuição e transmissão, equação 3.6, e outra da geradora ou da comercializadora, relativa ao valor da energia, conforme evidenciado na equação 3.7.

$$F_c = C_p \cdot TUSD_p + C_{fp} \cdot (TUSD_{fp}) + \frac{D_c \cdot T_d}{2} + D_e \cdot 2T_d + I_p, \quad (3.6)$$

$$F_{el} = TE_l \cdot (C_p + C_{fp}). \quad (3.7)$$

Sendo,

$F_c$ : Fatura da Concessionária;

$F_{el}$ : Fatura de energia da comercializadora ou geradora;

$C_p$ : Consumo Ponta;

$TUSD_p$ : Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição na ponta;

$C_{fp}$ : Consumo Fora ponta;

$TUSD_{fp}$ : Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição no fora ponta;

$D_c$ : Demanda Contratada;

$T_d$ : Tarifa de demanda;

$D_e$ : Demanda Excedente;

$I_p$ : Iluminação pública; e

$TE_l$ : Tarifa de Energia no ambiente livre.

Para calcular as métricas financeiras da migração para o ACL, será utilizada a mesma taxa de desconto de 10% citada anteriormente e um crescimento anual de 6% no valor da energia, na demanda contratada e no valor da gestão cobrado pela comercializadora.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Consumidor cativo x Geração distribuída

Na Tabela 7, pode-se observar os valores totais pagos na conta de energia, mensalmente, sem geração solar, referentes à TE e à TUSD no horário de ponta e fora ponta. E, na Tabela 8, pode-se observar as mesmas componentes, mas com os valores compensados referentes à geração solar que iniciam com sinal negativo. Logo, a energia proveniente da geração solar subtrairá o total da energia consumida na fatura da concessionária. Portanto, além de todas as vantagens, como o fortalecimento das fontes de energias renováveis na matriz energética brasileira, a redução da emissão de gases do efeito estufa e, até a valorização do imóvel devido à instalação das placas solares, a energia solar demonstra ser um investimento com um bom retorno financeiro.

No primeiro ano em que a empresa receberia créditos de energia da usina, foi observada uma redução de R\$ 20.062 por mês na fatura, representando 55,36% de economia.

Tabela 7 – Descritivo fatura sem GD no primeiro ano.

Item	Quantidade	Tarifa com tributos	Valor
Consumo FP	48.946,58 kWh	0,42107 R\$/kWh	R\$ 20.610,00
Consumo P	5.676,17 kWh	2,01429 R\$/kWh	R\$ 11.433,43
Demanda Consumo	110,2825 kW	28,99349 R\$/kW	R\$ 3.197,47
Demanda Consumo excedente	10,2825 kW	57,98699 R\$/kW	R\$ 596,25
Iluminação pública	–	–	R\$ 401,20
Total	–	–	R\$ 36.239,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 – Descritivo fatura com GD no primeiro ano.

Item	Quantidade	Tarifa com tributos	Valor
Consumo HFP	48.946,58 kWh	0,42107 R\$/kWh	R\$ 20.610,17
Consumo HP	5.676,17 kWh	2,01429 R\$/kWh	R\$ 11.433,43
Compensado HFP	-48.946,58 kWh	0,42107 R\$/kWh	-R\$ 20.610,17
Compensado HP	-5.676,17 kWh	1,03854 R\$/kWh	-R\$ 5.894,95
Demanda Consumo	110,2825 kW	28,99 R\$/kW	R\$ 3.197,47
Demanda Consumo excedente	10,2825 kW	57,9870 R\$/kW	R\$ 596,25
Demanda de geração	300 kW	21,48 R\$/kW	R\$ 6.442,85
Iluminação pública	–	–	R\$ 401,20
Total	–	–	R\$ 16.176,26

Fonte: Elaboração própria.

Já durante toda a vida útil da usina, 25 anos, a economia média resultou em 52,89%.

Além disso, conforme visto na Tabela 9, o VPL alcançou R\$ 2.358.364 demonstrando que o retorno que o projeto trará no futuro valerá mais do que no presente. Já o TIR culminou em 26,44%, reforçando que o investimento é viável e que seu retorno é consideravelmente maior do que o retorno da Selic média dos últimos 10 anos, com o índice de 10%.

Tabela 9 – Análise financeira da geração distribuída.

Ano	Faturas sem GD (R\$/ano)	Fatura com GD ANO	Economia (%)	VPL (R\$)
0	–	–	–%	-1.100.000
1	434.862,28	194.115,07	55,36%	-881.139
2	460.954,01	216.619,72	53,01%	-679.210
3	488.611,25	240.894,74	50,70%	-493.097
4	517.927,93	262.862,49	49,25%	-318.884
5	549.003,61	268.302,85	51,13%	-144.590
6	581.943,82	282.847,82	51,40%	24.241
7	616.860,45	298.265,49	51,65%	187.731
8	653.872,08	314.608,22	51,89%	346.000
9	693.104,40	331.931,51	52,11%	499.173
10	734.690,67	350.294,20	52,32%	647.374
11	778.772,11	369.758,65	52,52%	790.731
12	825.498,43	390.390,97	52,71%	929.370
13	875.028,34	412.261,23	52,89%	1.063.417
14	927.530,04	435.443,70	53,05%	1.192.998
15	983.181,84	460.017,12	53,21%	1.318.240
16	1.042.172,75	486.064,94	53,36%	1.439.265
17	1.104.703,12	513.675,64	53,50%	1.556.197
18	1.170.985,31	542.942,98	53,63%	1.669.156
19	1.241.244,42	573.966,35	53,76%	1.778.261
20	1.315.719,09	606.851,14	53,88%	1.883.630
21	1.394.662,23	641.709,00	53,99%	1.985.377
22	1.478.341,97	678.658,34	54,09%	2.083.615
23	1.567.042,49	717.824,64	54,19%	2.178.454
24	1.661.065,04	759.340,92	54,29%	2.270.002
25	1.760.728,94	803.348,17	54,37%	2.358.364

Fonte: Elaboração própria.

## 4.2 Consumidor Cativo x Consumidor Livre

Na Tabela 10, pode-se observar os valores das componentes da fatura de energia no ambiente cativo e, na Tabela 11, as mesmas componentes, porém com os valores do ambiente livre, com o acréscimo do custo cobrado pela comercializadora de energia. Logo, a economia no primeiro ano após a migração para o ACL implicou em R\$ 6.038,46 por mês, representando 16,66% de economia.

Tabela 10 – Fatura ambiente cativo.

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Tarifas com impostos</b>	<b>Valor</b>
Demanda fora ponta	110,2825 kW	28,99 R\$/kW	R\$ 3.197,47
Demanda consumo exc	10,2825 kW	57,9870 R\$/kW	R\$ 596,25
TUSD ponta	5.676,17 kWh	1,52563 R\$/kWh	R\$ 8.659,76
TUSD fora ponta	48.946,58 kWh	0,11605 R\$/kWh	R\$ 5.680,38
TE ponta	5.676,17 kWh	0,48865 R\$/kWh	R\$ 2.773,67
TE fora ponta	48.946,58 kWh	0,30502 R\$/kWh	R\$ 14.929,79
Iluminação pública	–	–	R\$ 401,20
<b>Total</b>	–	–	<b>R\$ 36.239,00</b>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 – Faturas ambiente livre – 50% de desconto na TUSD.

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Tarifa com impostos</b>	<b>Valor</b>
Demanda fora ponta	110,2825 kW	14,4967 R\$/kW	R\$ 1.598,74
Demanda consumo exc	10,2825 kW	57,9870 R\$/kW	R\$ 596,25
TUSD ponta	5.676,17 kWh	0,76282 R\$/kWh	R\$ 4.329,88
TUSD fora ponta	48.946,58 kWh	0,11605 R\$/kWh	R\$ 5.680,38
TE ponta	5.676,17 kWh	0,23217 R\$/kWh	R\$ 1.317,84
TE fora ponta	48.946,58 kWh	0,23217 R\$/kWh	R\$ 11.363,98
Encargos CCEE	54622,75 kWh	0,035 R\$/kWh	R\$ 1911,80
Iluminação pública	–	–	R\$ 401,20
Comercializadora	–	–	R\$ 3.000,00
<b>Total</b>	–	–	<b>R\$ 30.200,06</b>

Fonte: Elaboração própria.

Quando observados os resultados da migração para o ACL, na Tabela 12, verificam-se diversas vantagens, como o custo inicial baixo de R\$ 44.135,00 e o payback alcançado por volta de 7 meses. Se for considerado, para o ACL, os mesmos 25 anos do ciclo de vida da energia solar, o retorno médio resulta em 19,87%. Já o VPL gerou R\$ 1.249.257,60, ou seja, após 25 anos, o retorno acumulado é positivo. Além disso, o TIR suscitou em 172,38%.

Tabela 12 – Análise da economia e do VPL proporcionado pelo ACL.

Ano	Faturas cativo (R\$/ano)	Fatura Livre (R\$/ano)	Economia (%)	VPL(R\$)
0	–	–	–%	-44.153
1	434.862,28	362.400,76	16,66%	21.721,11
2	460.954,01	382.479,45	17,02%	86.576,12
3	488.611,25	403.762,86	17,37%	150.323,97
4	517.927,93	426.323,27	17,69%	212.891,19
5	549.003,61	448.355,04	18,33%	275.386,03
6	581.943,82	473.590,99	18,62%	336.548,38
7	616.860,45	500.341,09	18,89%	396.341,24
8	653.872,08	528.696,19	19,14%	454.736,71
9	693.104,40	558.752,61	19,38%	511.714,99
10	734.690,67	590.612,41	19,61%	567.263,39
11	778.772,11	624.383,80	19,82%	621.375,55
12	825.498,43	660.181,47	20,03%	674.050,63
13	875.028,34	698.127,00	20,22%	725.292,65
14	927.530,04	738.349,26	20,40%	775.109,86
15	983.181,84	780.984,86	20,57%	823.514,21
16	1.042.172,75	826.178,59	20,73%	870.520,84
17	1.104.703,12	874.083,95	20,88%	916.147,61
18	1.170.985,31	924.863,63	21,02%	960.414,76
19	1.241.244,42	978.690,09	21,15%	1.003.344,49
20	1.315.719,09	1.035.746,14	21,28%	1.044.960,68
21	1.394.662,23	1.096.225,55	21,40%	1.085.288,60
22	1.478.341,97	1.160.333,73	21,51%	1.124.354,63
23	1.567.042,49	1.228.288,39	21,62%	1.162.186,07
24	1.661.065,04	1.300.320,34	21,72%	1.198.810,89
25	1.760.728,94	1.376.674,20	21,81%	1.234.257,60

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 Geração distribuída X Mercado livre de energia

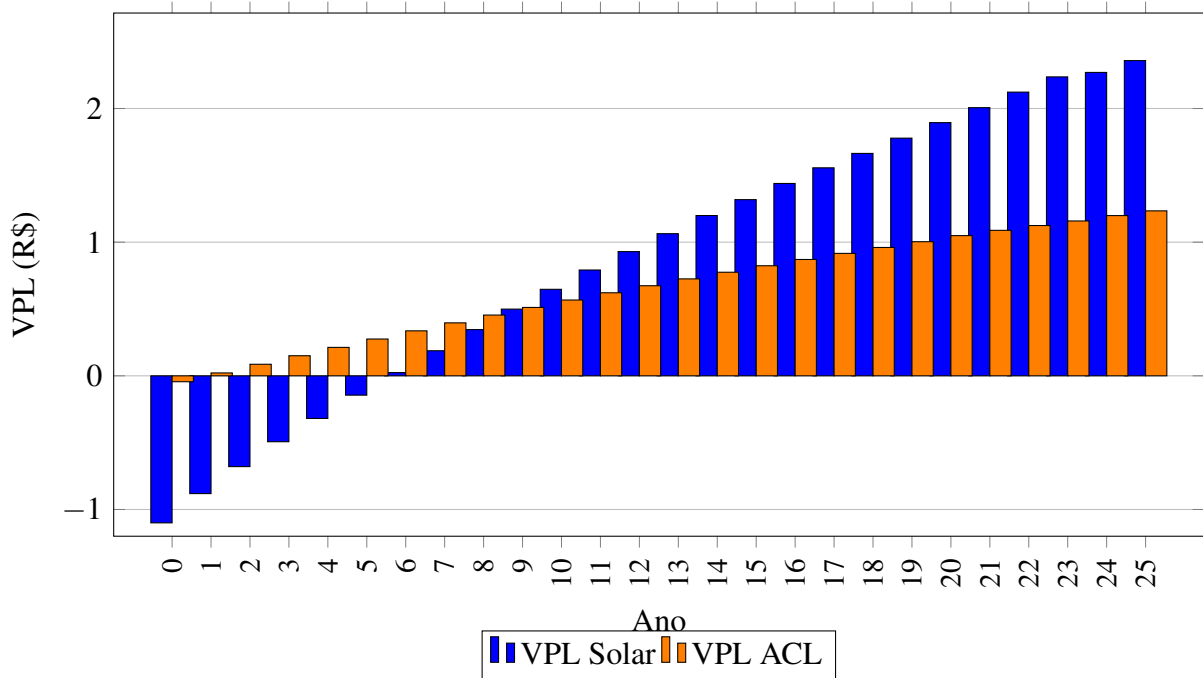
Na Tabela 13, pode-se observar o resumo dos dois investimentos e suas principais diferenças, como o investimento inicial, o Valor Presente Líquido ao final dos 25 anos e entre outras métricas. Em seguida, na Figura 9, observa-se a diferença do VPL entre os dois investimentos e, vale ressaltar que esse indicador já considera o desconto do investimento inicial.

Tabela 13 – Comparação dos indicadores financeiros entre a GD e o ACL.

Indicador	Solar	ACL
VPL (R\$)	R\$ 2.358.364,21	R\$ 1.249.257,60
TIR	26,44%	172,38%
Economia mensal média	52,89%	19,87%
Payback (anos)	5,85	0,67
Investimento inicial (R\$)	1.100.000	44.135

Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 – Gráfico comparativo do VPL em 25 anos - GD vs ACL.  
·10<sup>6</sup>



Fonte: Elaboração própria.

A partir do exposto do caso estudado, a migração para o ACL se demonstra um investimento mais eficiente, apresentando viabilidade financeira superior à da geração distribuída em relação ao custo benefício. Nesse sentido, enquanto a GD necessita de um investimento inicial de 1.1 milhões de reais, o custo inicial do ACL chega a ser 25 vezes menor, contudo, apesar disso, consegue entregar muito valor, apresentando um TIR de 172,38% graças ao baixíssimo custo inicial e, também, com uma economia mensal média de aproximadamente 20% que, apesar de menor que a economia do cenário GD, apresenta um excelente custo benefício, tornando-se uma opção muito atraente. Apesar disso, a energia solar se mostra como um investimento robusto, entregando uma economia mensal média alta de 52,89% e um valor de VPL de R\$ 1.109.106,61 a mais em relação ao ACL, já considerando o investimento inicial, sendo mais que o dobro no horizonte de 25 anos. Vale destacar também que, ao passo que a energia solar retorna o investimento inicial em quase 6 anos, em oito meses o investimento para migração ao ambiente livre se paga.

Portanto, a migração para o mercado livre de energia é um excelente investimento, com um melhor custo benefício e com uma maior liquidez em comparação ao cenário da GD. Já o investimento em energia solar se mostra extremamente viável e com um retorno alto ao final de sua vida útil, retorno esse que é muito maior que o do ACL e que o rendimento de

investimentos tradicionais, como por exemplo a poupança. Todavia, vale ressaltar que, se fosse viável instalar as placas no telhado da empresa, o cenário solar poderia ser ainda melhor graças ao consumo instantâneo, pois, assim, as placas gerariam energia, o inversor converteria para corrente alternada e a empresa consumiria essa energia instantaneamente, evitando a cobrança do fio B e de encargos como o ICMS, visto que o medidor de energia não contabilizaria essa geração. Ademais, cabe ressaltar que o estudo foi realizado considerando que o fio B, a partir de 2028, se estabilizará em 100%, contudo esse cenário pode ser diferente com a definição das novas regras no futuro. Na tabela 14, encontram-se os pontos positivos e negativos de cada cenário, além de um resumo das premissas e resultados discutidos.

Tabela 14 – Tabela resumo dos resultados - Pontos positivos e negativos dos cenários.

<b>Aspecto</b>	<b>Cenário: Geração Distribuída (GD)</b>	<b>Cenário: Ambiente de Contratação Livre (ACL)</b>
<b>Pontos Positivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economia mensal média alta (52,89%)</li> <li>- Maior VPL no horizonte de 25 anos (R\$ 1.109.106,61 a mais que ACL)</li> <li>- Retorno elevado ao final da vida útil</li> <li>- Proteção às bandeiras tarifárias</li> <li>- Viabilidade comprovada</li> <li>- Proteção contra inflação energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimento inicial 25 vezes menor que GD</li> <li>- TIR elevada (172,38%)</li> <li>- Retorno do investimento em apenas 8 meses</li> <li>- Excelente custo-benefício</li> <li>- Maior liquidez</li> <li>- Ideal para o perfil de investidor com pouco capital</li> <li>- Economia mensal média de aproximadamente 20%</li> </ul>
<b>Pontos Negativos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto investimento inicial (R\$ 1,1 milhão)</li> <li>- Payback mais longo (cerca de 6 anos)</li> <li>- Dependência de espaço físico adequado, como terreno ou telhado.</li> <li>- Sensível às regulações futuras do fio B (a partir de 2028)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economia mensal menor comparada à GD</li> <li>- VPL inferior ao da GD no longo prazo</li> <li>- Menor autonomia energética</li> </ul>
<b>Observações Adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se a instalação das placas fosse no telhado da empresa, o cenário seria diferente devido ao consumo instantâneo (evitaria o pagamento integral fio B e ICMS na TUSD).</li> <li>- O estudo considerou uma estabilização do fio B em 100% a partir de 2028, mas regras futuras podem alterar este cenário.</li> </ul>	

Fonte: Elaboração própria.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar um estudo de caso de uma empresa do setor de varejo de alimentos, a partir de uma análise comparativa do impacto econômico entre duas modalidades de investimento, a geração distribuída, com a instalação de uma usina fotovoltaica, ou a migração para o Mercado Livre de Energia. O mercado cativo foi utilizado como base para ambos os casos, comparando o retorno financeiro de cada modalidade ao cenário inicial, sem investimento algum.

Na fundamentação teórica, explorou-se todo o conhecimento prévio para fornecer embasamento para o aprofundamento do tema com simulações e cálculos. Assim, foram explanados os principais conceitos do Setor Elétrico Brasileiro, a estruturação do mercado cativo e livre, os aspectos normativos que regulam a geração distribuída no país e os mecanismos de formação das tarifas e tributos.

Na metodologia, obteve-se os dados de consumo energético da empresa para avaliar o montante de energia necessário para o dimensionamento da potência do sistema de energia solar e contratação no ACL. Com isso, utilizou-se o software Pvsyst a fim de realizar o dimensionamento e as simulações de geração da usina solar responsável por abater toda a conta de energia da empresa. Já para o ACL, observou-se o enquadramento da empresa com base na sua demanda contratada e a categoria da fonte de energia que atenderia a empresa. Para obtenção do retorno financeiro de cada modalidade, definiu-se as premissas de custos iniciais e fixos de cada cenário, as tarifas e os tributos vigente, os ajustes tarifários futuros e a taxa de desconto, baseada no histórico da SELIC, a ser utilizada para o cálculo das métricas financeiras de cada cenário, como o VPL, TIR e o Payback.

A observação das opções estudadas comprovou que a redução do custo de energia, em relação ao sistema cativo, é comum às duas, entretanto, a migração para o Mercado Livre de Energia se destaca em relação ao custo benefício quando comparada à instalação de uma usina solar fotovoltaica. A GD trouxe benefícios notáveis, como uma economia média maior que 50% na fatura de energia. Contudo, a migração para o MLE, apesar de apresentar uma economia mais singela, de aproximadamente 20% na fatura de energia, ligada à redução da tarifa de energia e descontos na TUSD advindos da contratação de fontes incentivadas, graças ao seu baixo custo inicial, demonstrou-se uma opção mais atraente do ponto de vista de liquidez, entregando aproximadamente metade do resultado da obtido com a instalação da usina solar, com um custo 25 vezes menor, ou seja, resultou em um valor de VPL de aproximadamente 50%

do obtido no cenário GD, um TIR de 172,38% comparado a 26,44% da GD e um Payback de 0,67 anos em relação aos 5,85 anos da usina solar.

Dessa maneira, firma-se que a migração para o Mercado Livre de Energia, para o modelo de consumo abordado e sob condições consideradas para esse estudo, mostra-se mais atraente do ponto de vista de liquidez e baixo custo inicial, apresentando um excelente custo-benefício, com indicadores financeiros extremamente atrativos, além de favorecer a matriz energética por meio da escolha de fontes incentivadas. Todavia, deve-se considerar as individualidades do consumidor, como as condições de instalação da usina e o enquadramento da empresa no momento da decisão entre as modalidades citadas. Já o cenário de energia solar demonstra ser um investimento mais robusto, que apesar de necessitar de um alto investimento, apresenta um bom retorno de R\$ 1.109.106,61 a mais que o ACL no longo prazo e uma alta economia. Portanto, ambos os investimentos são viáveis e a escolha adequada de determinado cenário pode depender do perfil do investidor. Caso a empresa não possua capital disponível para realizar o investimento em uma usina solar ou não queira se comprometer com tal valor, o investimento na migração para o ACL se demonstra mais atraente. Já se os recursos da empresa permitirem um maior aporte sem comprometer sua saúde financeira, o investimento em uma usina de energia solar pode ser uma melhor opção.

Dessa forma, uma empresa ou consumidor com um perfil igual ou, em alguns casos, semelhante ao da empresa abordada, pode utilizar o presente trabalho como base para a escolha de um possível investimento ou para realizar seu estudo de viabilidade técnica e econômica.

Como estudos futuros, recomenda-se a realização da análise considerando a variação dos preços do ACL, o consumo instantâneo da unidade consumidora e, por fim, considerando as regras futuras para o Fio B na geração distribuída. Dessa forma, o estudo terá uma maior confiabilidade e uma comparação mais justa, visto que, no caso analisado, não foi viável aproveitar todos os benefícios que a energia solar pode proporcionar.

## REFERÊNCIAS

- ABRACEEL, A. B. D. C. D. E. E. **Boletim da Energia Livre**. 2025. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2025/09/Boletim-da-energia-livre-SETEMBRO.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2025.
- ABSOLAR, A. B. D. E. S. F. **A força da energia solar no Brasil**. 2025. Dados atualizados em 04/09/2025. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/>>. Acesso em: 12 set. 2025.
- AGENCY, I. E. **Renewables 2025**. 2025. Dados atualizados em 2025. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2025>>. Acesso em: 12 set. 2025.
- ALTIERI, E. G. N. F. e K. **Global Electricity Review 2025**. 2025. Dados atualizados em 2024. Disponível em: <<https://ember-energy.org/app/uploads/2025/04/Report-Global-Electricity-Review-2025.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2025.
- ANEEL, A. N. D. E. E. Modalidades Tarifárias. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>.
- ANEEL, A. N. D. E. E. Postos Tarifários. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/postos-tarifarios>>.
- ANEEL, A. N. de E. E. **VARIAVEIS DE FATURAMENTO DAS COMPONENTES TARIFÁRIAS**. 2018. 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=31756&\\_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=31756&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp)>. Acesso em: 14 out. 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. **Micro e Minigeração Distribuída**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 15 out. 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. **Sobre Bandeiras Tarifárias**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 14 out. 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 15 out. 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. **Aplicações Tarifas**. 2025. Disponível em: <[https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes\\_liferay/tarifa/](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/tarifa/)>. Acesso em: 04 out. 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. **Micro e Minigeração Distribuída**. 2025. Dados publicados na Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 – condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 12 set. 2025.
- BARCELLOS, A. da S. **Fundamentos de energia solar para a disciplina Fundamentos de Sistemas Fotovoltaicos**. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciência) — Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em ensino de Ciências: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2022.

BARROS, R. A. S. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SOFTWARES PVSYST E PVSOL**. Dissertação (Trabalho Final de Graduação) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, Rio Largo, Alagoas, 2022. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/13930>>. Acesso em: 24 jan. 2026.

CCEE. **Adesão - CCEE**. 2025. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/mercado/adesao>>. Acesso em: 01 dez. 2025.

CCEE. **Adesão - CCEE**. 2025. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/documents/80415/919440/Fluxo%20do%20Processo%20de%20Ades%C3%A3o%2020190917.jpg/ca90522f-c9b2-1bbe-3661-47c9df5c6a55>>. Acesso em: 09 jan. 2026.

CCEE. **CCEE Academy**. 2025. Disponível em: <<https://academy.ccee.org.br/home/teams/categories>>. Acesso em: 23 nov. 2025.

CCEE, C. de Comercialização de E. E. **AGENTES**. 2025. Dados atualizados em 10/11/2025. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/en/nossos-associados>>. Acesso em: 10 nov. 2025.

DACHERY, J. M. **Entenda o Novo Formato de Compensação de Energia da Lei 14.300/22**. 2023. Disponível em: <<https://energes.com.br/novo-formato-de-compensacao-de-energia/>>. Acesso em: 16 out. 2025.

ENERGÉTICA, E. D. P. **Relatório Síntese 2025**. 2025. Ano base 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>. Acesso em: 31 Out. 2025.

FANTI LEONARDO DONIZETE; DIAS, T. d. S. L. L. P. d. N. L. B. **O USO DAS TÉCNICAS DE VALOR PRESENTE LÍQUIDO, TAXA DE INTERNA DE RETORNO E PAYBACK DESCONTADO: UM ESTUDO DE VIABILIDADE DE INVESTIMENTOS NO GRUPO BREDA LTDA**. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/deson/article/view/1251/796>>. Acesso em: 30 nov. 2025.

GREENER. **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. 2025. ESTUDO ESTRATÉGICO Referente ao 1º Semestre de 2025. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pt-BR/estudos-guias-e-boletins/estudo-estrategico-2025-geracao-distribuida-semestral>>. Acesso em: 24 jan. 2026.

SILVA, B. G. da. **Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo**. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12032012-091848/>>. Acesso em: 07 nov. 2025.

SILVA, P. C. M. de Ávila e. **Regulação da abertura do mercado livre de energia elétrica: análise da implantação da competição varejista no Brasil**. Dissertação (Dissertação (Mestrado Interdisciplinar Profissional em Direito Econômico e Desenvolvimento)) — Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa, Brasília, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.idp.edu.br/handle/123456789/4037>>. Acesso em: 08 nov. 2025.