



Universidade Federal  
de Campina Grande

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ÁLVARO BATISTA LIMA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE CUSTO DE UMA USINA  
SOLAR FOTOVOLTAICA

Campina Grande, Paraíba.  
Março de 2022



ANÁLISE DA VIABILIDADE DE CUSTO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a obtenção  
do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da  
Engenharia Elétrica.*

Trabalho aprovado em: 31 / 03 / 2022

---

Prof<sup>o</sup> Eng<sup>o</sup> Célio Anésio da Silva, D.Sc.  
Orientador

---

Prof<sup>o</sup> Eng<sup>o</sup> Jalberth Fernandes de Araújo, D.Sc.  
Convidado

Campina Grande, Paraíba.  
Março de 2022

*Dedico este trabalho aos meus pais e meu irmão.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por ter me dado coragem e resiliência para enfrentar os problemas da vida sem desistir. E aos meus pais, por me incentivarem e apoiarem em todos os momentos desta trajetória, me apoiando tanto nas derrotas quanto nas vitórias, muitas vezes abrindo mão dos seus próprios sonhos e aspirações para me oferecer o seu suporte incondicional.

Também gostaria de agradecer a todos meus colegas que me acompanharam nessa jornada, acrescentando conhecimento e experiências. E aos professores e funcionários da UFCG, peças fundamentais na solidificação do meu conhecimento e desenvolvimento como pessoa e engenheiro.

*“Ideias e somente ideias podem iluminar a escuridão.”*

*Ludwig von Mises*

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um método de análise de investimento na instalação de usinas de energia solar fotovoltaica para redução da fatura de energia em consumidores da classe tarifária horo-sazonal verde. O método consiste na análise do potencial de geração do sistema bem como sua viabilidade financeira, através de indicadores financeiros que analisam o impacto do dinheiro no tempo, tal como fluxo de caixa descontado, *payback* descontado, taxa interna de retorno e valor presente líquido. Por fim, o impacto causado da geração no valor da fatura de energia. Dessa forma, através desse estudo foi possível confirmar a viabilidade da implantação de usinas de energia solar para redução do custo de faturas e otimização energética. Impactando positivamente, financeiramente e ambientalmente os consumidores.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, análise financeira.

## ABSTRACT

This work presents an investment analysis methodology in the installation of photovoltaic solar energy plants to reduce the energy bill of consumers in the green hourly-seasonal tariff class. The methodology consists of analyzing the system's generation potential as well as its financial viability, through financial indicators that analyze the impact of money over time, such as discounted cash flow, discounted payback, internal rate of return and net present value. Finally, the impact caused by generation on the value of the energy bill. Thus, through this study it was possible to confirm the feasibility of implementing solar energy plants to reduce the cost of invoices and energy optimization. Positively impacting, financially and environmentally consumers.

Keywords: Solar energy, financial analysis.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanco Energético Nacional
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
UC	Unidade Consumidora
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
FC	Fluxo de Caixa
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
a.a.	Ao ano
GW	Gigawatts
MWp	Megawatts pico
MW	Megawatts
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
EUA	Estados Unidos da América
kWp	Quilowatt pico
kW	Quilowatt
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Hsp	Hora solar pleno
PB	Paraíba
IEA	International Energy Agency

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - SISTEMA ISOLADO (CARGAS EM CC OU cA).....	18
Figura 2 - SISTEMA HÍBRIDO.....	18
Figura 3 - SISTEMA CONECTADO À REDE.....	19
Figura 4 - Nova regra de compensação aprovada na lei n. 14.300 de 2022.....	20
Figura 5 - Projeções para geração distribuída segundo pde 2031.....	21
Figura 6 - Síntese dos níveis de irradiação solar por região.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeção da geração de uma usina de 982,5 kwp.....	31
Tabela 2 - Componentes kit 982,8 kWp geração.....	32
Tabela 3 - Tarifas com tributos Energisa PB.....	34
Tabela 4 - Retorno financeiro da geração e custos de manutenção.....	34
Tabela 5 - Fluxo de Caixa e <i>Payback</i> Projetados.....	35
Tabela 6 - Fluxo de caixa descontado e <i>payback</i> descontado projetados.....	36
Tabela 7 - Economia de energia na fatura.....	37

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fluxo de Caixa Descontado .....	22
Equação 2 - Valor presente líquido .....	22
Equação 3 - Taxa interna de retorno .....	23
Equação 4 - Estimativa de geração da usina .....	25
Equação 5 - Retorno financeiro da usina .....	26
Equação 6 - Custo de manutenção da usina .....	26
Equação 7 - Estimativa da fatura de energia .....	28

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	14
1.1	Motivação.....	15
1.2	Contribuições do trabalho .....	16
1.3	Objetivos .....	16
2	Fundamentação Teórica .....	17
2.1	Energia Solar .....	17
2.2	Projeções da Energia Solar no Brasil .....	19
2.3	Indicadores Financeiros.....	21
2.3.1	<i>Payback</i> .....	21
2.3.2	Valor Presente Líquido (VPL) .....	22
2.3.3	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	22
3	Metodologia .....	24
3.1	Custo de Instalação da Usina.....	24
3.2	Estimativa Anual de Geração da usina .....	25
3.3	Retorno Financeiro da Usina e Custos de Manutenção .....	25
3.4	Calculo de Indicadores Financeiros.....	27
3.5	Simulação da Fatura de Energia .....	28
3.6	Impacto da geração de Energia na Fatura.....	29
4	Análise de Resultados .....	30
4.1	Estimativa de Geração da Usina.....	30
4.2	Custo de Implantação da Usina .....	32
4.3	Retorno Financeiro da Usina .....	33
4.4	Impacto Financeiro da Compensação Na Conta de Energia.....	37
5	Conclusão .....	39
5.1	Trabalhos Futuros.....	39
	Referências .....	41

# 1 INTRODUÇÃO

Usina Solar Fotovoltaica é um complexo produtor de energia elétrica a partir da luz do sol. A energia elétrica é gerada por meio de placas fotovoltaicas, podendo ser usada tanto localmente quanto transmitida para uso em outras localidades.

A matriz energética do Brasil é composta predominantemente pela geração renovável de energia. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2020, ou BEN 2020, a contribuição de fontes eólica, biomassa e solar vêm aumentando substancialmente nos últimos anos, sendo responsável por 8,6%, 8,4% e 1% da oferta interna de energia, respectivamente.

Com a crescente estiagem de chuvas dos últimos anos impactando o custo do kWh, há uma procura crescente por alternativas na geração de energia elétrica que sejam mais confiáveis, barata e ainda renovável. Dessa forma, a busca pela geração eólica e solar tem crescido fortemente nos últimos anos, tanto na geração distribuída quanto na centralizada.

O Brasil possui uma localização privilegiada quando se trata da produção de energia eólica e solar (PEREIRA; MARTINS; GONÇALVES; COSTA; LIMA; RÜTHER; ABREU; TIEPOLO; PEREIRA; SOUZA, 2017), principalmente quando se fala da região Nordeste, com grande potencial em ventos e irradiação solar praticamente todos os meses do ano. Tal cenário torna a região economicamente atrativa para os mais diversos projetos voltados a energia renovável.

Com o estabelecimento de normas específicas para a geração solar e eólica (ANEEL, 2015), o governo pretende estimular o desenvolvimento e implantação da geração distribuída bem como da geração centralizada, por estas fontes, diminuindo assim a dependência da geração hídrica.

Com um ambiente fiscal atraindo investimentos, muitas empresas de geração elétrica, tais como Neoenergia, Engie, EDP Brasil, Eletrobrás, entre outras, estão investindo fortemente na implantação e expansão de parques eólicos e solares por todo o Nordeste (EPE; MME, 2021). Tal movimento mostra uma preocupação com o meio ambiente e causas sustentáveis, por parte das empresas de geração de energia, principalmente na sustentabilidade da geração de energia elétrica, produto indispensável no desenvolvimento do país e na vida de seus cidadãos.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Com as frequentes crises energéticas ocasionadas por cada vez menos ciclos chuvosos no país, a busca por fontes alternativas de energia que reduzam a dependência da geração hídrica no Brasil não é de hoje. Dentre as fontes renováveis de energia conhecidas, e a posição privilegiada do Brasil, duas destas fontes se destacam das outras tanto em questão de escalabilidade quanto menor ciclicidade, são elas a solar e eólica.

Com a constante modernização das tecnologias, a geração de energia solar e eólica vem crescendo nos últimos anos em todo o mundo, e principalmente no Brasil. A estiagem prolongada e os menores níveis dos reservatórios fazem com que o preço do kWh no país aumente drasticamente, encarecendo ainda mais as contas de energias de todos os consumidores, sejam eles comerciais, residenciais ou industriais.

Diante desta dificuldade, o governo vem estimulando a adoção de energia solar e eólica visando amenizar uma possível queda da oferta interna de energia, prejudicada pelo baixo nível de geração impactada pelo baixo nível dos reservatórios (Portal Solar, 2021).

Com tais estímulos fiscais e subsídios, a busca pela implantação de energia solar e eólica disparou nos últimos anos, tendo registrado um aumento de 53% de janeiro de 2021 até outubro de 2021, correspondente a um aumento de 4,7 GW para 7,3 GW de potência instalada, segundo mapeamento da Portal Solar Franquias. Ainda de acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a adesão à geração distribuída cresceu substancialmente mesmo com os desafios impostos pelo Covid no Brasil, tendo como principal motivo a inflação energética que acumula uma alta de 21,21% em 2021 no Brasil, segundo dados do IBGE (Portal Solar, 2021).

Mesmo com todos os estímulos e a constante evolução tecnológica tornando cada vez mais acessível e barata a geração própria de energia, é crucial a análise do projeto de um ponto de vista financeiro, estimando-se assim qual a média de geração, gastos com o sistema, tempo para retorno do investimento, entre outros fatores que indicarão o qual financeiramente rentável será a implantação de um sistema de geração, seja ele mini ou micro geração.

Diante de tais considerações, torna-se imprescindível a análise tanto dos dados técnicos, ligados a geração e sua manutenção, em conjunto com o financeiro e seus

dispêndios ao longo do tempo, para que assim a tese de investimento seja testada e confirmada.

## 1.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

A partir das informações apresentadas até aqui, tem-se como principais contribuições desta pesquisa:

- Análise da viabilidade financeira para usinas de mini geração de energia (até 10 MW de potência instalada) no Nordeste, seja para uso industrial ou comercial;
- Apresentação de uma metodologia para análise financeira de usinas até 10 MW de potência para auto geração.

## 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal analisar financeiramente o custo de implantação de usinas fotovoltaicas em consumidores da modalidade tarifária verde, através da análise de indicadores financeiros, tais como valor presente líquido, *payback* descontado e taxa interna de retorno.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção estão apresentados os fundamentos e conceitos necessários para entendimento da problemática energia solar. Dessa forma, este capítulo abordará temas como: energia solar, placas solares, inversores, geração distribuída, indicadores financeiros.

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O sol constantemente emite energia em forma de radiação luminosa, a luz. O efeito fotovoltaico, observado pela primeira vez por Alexandre Edmond Becquerel em 1839, consiste na criação de uma tensão ou corrente elétrica em um material semicondutor após sua exposição à luz (Vallêra; Brito, 2006).

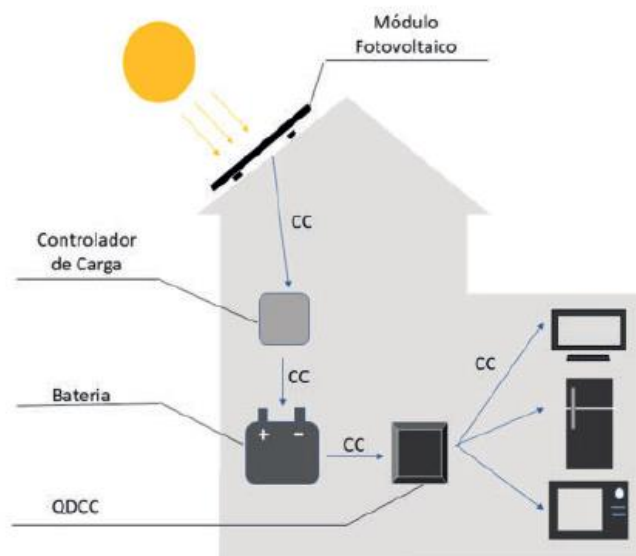
Segundo Sauer (2006), o primeiro dispositivo capaz de converter radiação solar em eletricidade foi desenvolvido em 1876, a base de selênio, entretanto, sua eficiência era de apenas 2%. A primeira célula fotovoltaica eficientemente viável foi desenvolvida apenas em 1954, pelos Laboratórios Bell nos Estados Unidos, como forma de implementação de sistemas de alimentação de satélites.

Ao longo dos anos, com a crescente preocupação com mudanças climáticas e o impacto das ações humanas no planeta, a busca por fontes alternativas e renováveis de geração de energia fez com que as tecnologias se desenvolvessem cada vez mais, aumentando assim a eficiência dos dispositivos de geração (Vallêra; Brito, 2006).

Ayrão (2019) define um sistema fotovoltaico como sendo um conjunto de equipamentos que converte a energia luminosa do sol em energia elétrica. Ainda segundo o autor, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos:

- Sistema fotovoltaico isolado à rede (*Off Grid*), este tipo de sistema não possui ligação com a rede de distribuição de energia, onde a energia gerada alimenta diretamente os aparelhos a ela conectada, podendo o excedente ser armazenado em baterias. Na figura 1 é mostrado um exemplo de sistema fotovoltaico isolado à rede.

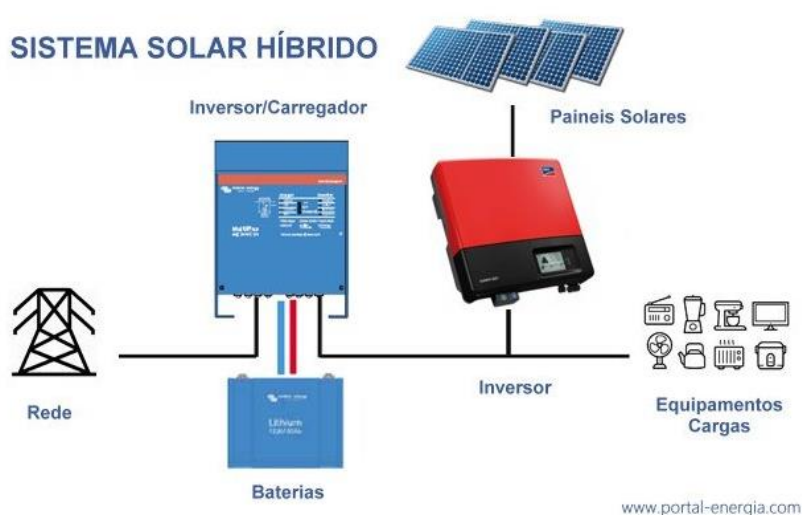
FIGURA 1 - SISTEMA ISOLADO (CARGAS EM CC OU CA).



FONTE: VINICIUS AYRÃO (2019), P.18.

- Sistema fotovoltaico com bateria conectado à rede, mais conhecido como híbrido de *off grid* e *on grid*, onde há ligação com a rede de distribuição de energia ao mesmo tempo que baterias para armazenar o excedente da produção de energia. Na figura 2 é mostrado um exemplo de sistema híbrido, onde a alimentação das cargas provém tanto da rede de distribuição como de baterias do sistema fotovoltaico.

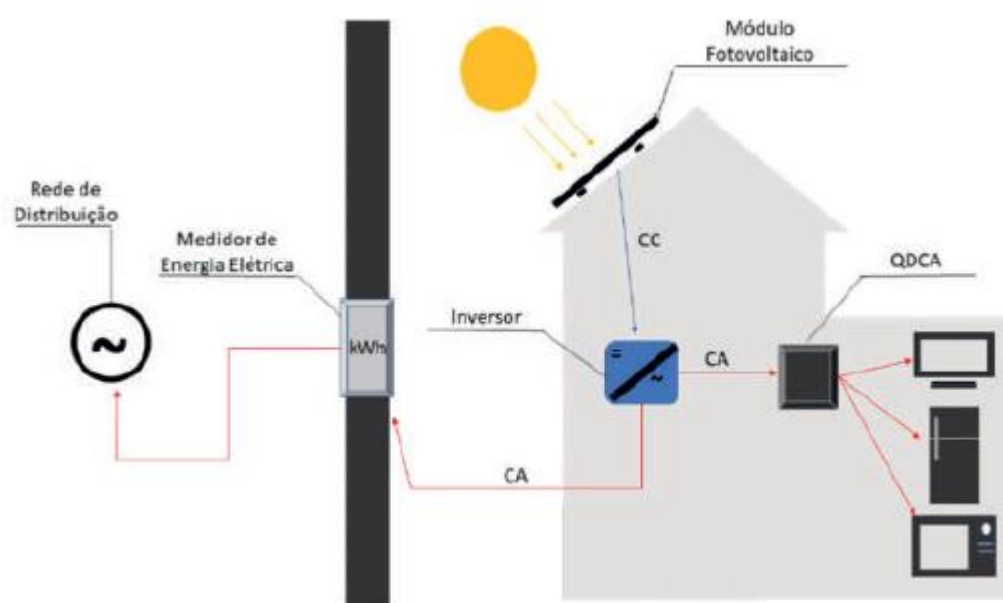
FIGURA 2 - SISTEMA HÍBRIDO.



FONTE: PORTAL ENERGIA (2018).

- Sistema fotovoltaico conectado à rede (*On Grid*) é a modalidade mais propagada e difundida no Brasil, nesta modalidade quando o consumo de energia é inferior a energia gerada, há transferência de energia do sistema para a rede de distribuição. E quando o consumo é superior a geração, há uma devolução da energia transferida à rede de distribuição. Na figura 3 é apresentado um modelo de sistema conectado à rede de distribuição.

FIGURA 3 - SISTEMA CONECTADO À REDE.



FONTE: VINICIUS AYRÃO (2019), P.19.

## 2.2 PROJEÇÕES DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A preocupação com energia é algo global, o constante atrito geopolítico em torno de fontes de energia como petróleo, urânio e etc., faz com que a busca por opções energéticas seja prioridade na maioria dos países. Entretanto, com as preocupações com mudanças climáticas e sustentabilidade cada vez mais sendo discutidas, a busca por opções de energia renováveis vem crescendo exponencialmente nas últimas décadas (International Energy Agency, 2021).

De acordo com dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), o Brasil já ocupa a 14ª posição no *ranking* de maiores geradores mundiais de energia solar em 2020, com uma capacidade instalada de 10 GW. Ainda segundo dados mais recentes da Absolar, em janeiro de 2022 o Brasil ultrapassou a marca de 13 GW (IstoÉ Dinheiro,

2022) de capacidade instalada, apenas 1 ano após superar a marca emblemática de 10 GW, chegando assim ao quinto lugar na matriz elétrica brasileira.

Tais dados demonstram a forte expansão do setor fotovoltaico no Brasil, aliados a um ambiente regulatório propenso ao desenvolvimento da energia solar, como mostra dados da Portal Solar, onde o Governo e o Congresso sinalizam para a não taxação da energia solar, bem como para a regulamentação do setor através do Novo Marco da Geração Distribuída (Lei n. 14.300 de 06/01/2022), que irá trazer benefícios para a micro e mini geração de energia, modernizando as leis compensatórias atualmente vigentes, tal como a resolução normativa 482/2012 e a resolução normativa 687/2015, ao passo que torna mínimo o impacto sobre o retorno com a instalação de um sistema fotovoltaico no consumidor final.

Segundo dados divulgados na Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, as alterações compensatórias propostas no Novo Marco da Geração Distribuída visa colocar o Brasil em um patamar de destaque no cenário de energia renovável mundial, o Brasil encontra-se com propostas melhores e mais atraentes do que países como EUA, Austrália e Holanda, referências no setor de energia renováveis. Ainda no contexto do Novo Marco da Geração Distribuída, a nova regra de compensação de energia valerá apenas para a parcela injetada na rede, não sendo aplicada à parcela gerada e consumida na própria UC (EPE; MME, 2021). Na Figura 4 encontra-se a nova proposta de tarifação aprovada na Lei n. 14.300 de 06/01/2022.

FIGURA 4 - NOVA REGRA DE COMPENSAÇÃO APROVADA NA LEI N. 14.300 DE 2022.

	2023 a 2028 <sup>1</sup>		A partir de 2029	
	Regra Geral	Mini GD > 500 kW <sup>2</sup>	Regra Geral	Mini GD > 500 kW <sup>2</sup>
TUSD Dist.	Cobrança gradual de 15% a 90%		Cobrança de 100% desses custos, descontados os benefícios da GD. Os benefícios serão calculados pela ANEEL em até 18 meses a partir da publicação da Lei, seguindo diretrizes do CNPE e contribuições da sociedade.	
TUSD Transmissão	-	40%		
Encargos P&D, PEE e TFSEE	-	100%		
Demais Encargos	-	-		
TUSD Perdas	-	-		
TE Outros	-	-		
TE Energia	-	-	-	-
Tipo Cobrança Demanda Grupo A <sup>3</sup>	TUSDg	TUSDg	TUSDg	TUSDg

FONTE: PDE 2031.

De acordo com projeções da PDE 2031, mesmo com a incidência de 100% dos custos (correspondente a 0% de compensação na Figura 5), ainda seria projetado uma expansão para 27 GW da capacidade instalada, correspondendo a um aumento de quase 3 vezes em relação a geração atual. Tomando-se os valores de referência projetados, tem-

se um crescimento para 37,2 GW de capacidade instalada, quase 4 vezes a atual, bem como uma adoção estimada por 4,2 milhões de UC, dados que são mostrados na figura 5.

FIGURA 5 - PROJEÇÕES PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SEGUNDO PDE 2031

<b>Cenários</b>	<b>Adotantes (2031) Milhões</b>	<b>Potência (2031) GW</b>	<b>Geração (2031) GWméd</b>	<b>Investimentos (2022 a 2031) R\$ bilhões</b>
TE + 100% C	5,0	47,0	10,6	168
TE + 60% C	4,3	39,0	8,2	129
Referência	4,2	37,2	7,2	122
TE + 40% C	4,0	34,7	6,9	109
TE + 20% C	3,6	30,5	5,6	88
TE + 10% C	3,4	28,7	5,2	80
TE + 0% C	3,2	27	4,8	73

FONTE: PDE 2031.

## 2.3 INDICADORES FINANCEIROS

Segundo Neto (2014), a análise de um investimento pode ser dividida em dois grupos: os que consideram a variação do dinheiro no tempo e os que não consideram. Para a análise completa de um investimento e o seu retorno real, deve-se sempre ser considerada a variação do dinheiro no tempo para que o resultado não seja distorcido por fatores como inflação, taxa de juros, etc.

### 2.3.1 PAYBACK

*Payback* é definido como sendo o período para que a empresa recupere o investimento inicial de um investimento, calculado a partir dos fluxos de caixa (Gitman, 2010). Este fluxo de caixa pode ser simples, onde não há influência da variação do dinheiro sobre os fluxos de caixa. Ou pode ser descontado, onde há uma influência da variação do dinheiro no tempo, proveniente de fatores como de taxas de juros, inflação, etc.

O *payback* descontado fornece uma melhor visão do tempo de retorno real do investimento, pois os fluxos de caixas são descontados com base em uma taxa de juros que representa o custo do capital do projeto (Gitman, 2010). O *payback* descontado pode ser representado pela Equação 1:

## EQUAÇÃO 1 - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO

$$FCD = \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (1)$$

sendo:

$FCD$  = Fluxo de Caixa Descontado

$FC$  = Fluxo de Caixa

$i$  = Taxa de juros (atratividade)

$n$  = Período

## 2.3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O valor presente líquido, ou VPL, é definido por Samanez (2002) como sendo um método de medir o impacto, em termo de valores presentes, dos fluxos de caixa futuros associados a um investimento. Dessa forma, o VPL é um instrumento capaz de trazer para a data zero os fluxos de caixa de um investimento, descontando-os a uma taxa mínima de atratividade definida pelo investidor, chamada de TMA. Caso o VPL seja positivo, acima de 0, significa que o investimento irá oferecer uma rentabilidade maior que a mínima aceitável. Caso o VPL seja negativo, o investimento não oferece uma rentabilidade maior do que a mínima aceitável.

O VPL pode ser expresso matematicamente de acordo com a Equação 2:

## EQUAÇÃO 2 - VALOR PRESENTE LÍQUIDO

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (2)$$

sendo:

$FC_t$  = Fluxo de Caixa do t-ésimo período

$I$  = Investimento inicial

$K$  = Taxa mínima de atratividade

$n$  = Período

## 2.3.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A taxa interna de retorno é definida por Neto (2014) como sendo a taxa interna que iguala, em determinado momento, as entradas com as saídas previstas de caixa. Ainda segundo Gitman (2010), a TIR consiste na taxa de desconto que iguala o VPL a zero.

Sendo assim é a taxa de retorno anual que será obtido em um investimento de acordo com todo os fluxos de caixa previstos. A TIR pode ser calculada através da expressão do VPL, igualando o mesmo a zero, dessa forma, pode ser expressa pela Equação 3.

EQUAÇÃO 3 - TAXA INTERNA DE RETORNO

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t}$$

sendo a TIR é dada pelo valor de K.

### 3 METODOLOGIA

O método usado neste trabalho de conclusão de curso visa analisar a viabilidade financeira da implantação de uma usina solar fotovoltaica para compensação de energia. A metodologia é baseada em simulações, utilizando Microsoft Excel (2019), do comportamento da usina, visando estimar: custo de instalação da usina (investimento inicial); estimativa anual de geração da usina, em MWh; retorno financeiro da usina e custos de manutenção; cálculo de indicadores financeiros (fluxo de caixa descontado, payback descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno); simulação da fatura de energia para um consumidor da modalidade tarifária verde, com base na geração do sistema; impacto da geração na fatura de energia do consumidor.

Tais procedimentos levam em conta estimativas empíricas feitas exclusivamente para este estudo de caso, com base em suposições de consumo de um consumidor enquadrado na modalidade tarifária horo-sazonal verde, bem como estimativas do funcionamento da usina.

#### 3.1 CUSTO DE INSTALAÇÃO DA USINA

O dimensionamento do sistema foi feito com base em estimativas de consumo de empresas enquadradas na tarifação horo-sazonal verde, estimando suas necessidades e consumos. Dessa forma, foi escolhida uma usina de 1 MWp para se analisar o impacto da geração em um consumidor enquadrado na modalidade tarifária horo-sazonal verde, com consumo próximo da estimativa de geração da usina.

Para analisar o preço de um sistema de geração de 1 MWp, foi utilizado o site da Aldo ([www.aldo.com.br](http://www.aldo.com.br)) para se comparar os valores dos kits de geração com potência pico de 1 MWp e escolher o mais apropriado para análise. Dessa forma, o sistema escolhido foi mostrado e discutido na seção 4.2 de Análise e Resultados.

Além do valor do kit de geração, também deve ser levado em consideração dispêndios iniciais com o projeto de instalação, tais como: comissionamento, projetos elétricos necessários, adaptações necessárias, mão de obra, empréstimos, etc.



### 3.2 ESTIMATIVA ANUAL DE GERAÇÃO DA USINA

A estimativa de geração é feita utilizando Microsoft Excel (2019), segundo a Equação 4:

EQUAÇÃO 4 - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DA USINA

$$E = \frac{P * (1 - p) * (1 - (D * t)) * (Hsp * 365)}{1000}$$

sendo:

$E$  = Geração estimada em Wh;

$P$  = Potência de geração do sistema, em Wp;

$p$  = perdas estimadas do sistema;

$D$  = degradação dos painéis;

$t$  = tempo em anos;

$Hsp$  = irradiação solar média no plano inclinado.

Onde há estimativa da perda de energia do sistema (eficiência), bem como informações de degradação dos painéis ao longo dos anos, disponível no datasheet das placas utilizadas. Utiliza-se também informações da irradiação solar na região Nordeste, local que será implantado o sistema, dessa forma é possível estimar a geração por ano do sistema, a partir do ano 0.

Os resultados aqui obtidos bem como as estimativas feitas serão discutidos na seção 4.1 de Análise e Resultados.

### 3.3 RETORNO FINANCEIRO DA USINA E CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A estimativa de retorno financeiro da usina instalada é feita utilizando o Microsoft Excel (2019), as estimativas de geração de energia da usina, as tarifas da concessionária no qual o sistema for instalado e as regras de tarifação da modalidade horo sazonal-verde.

As informações de tarifação da concessionária Energisa Paraíba, com impostos inclusos, são de domínio público, divulgadas pelo Departamento de Minas e Energia e de fácil acesso na internet. Tais dados são referentes a cada quadrimestre do ano. Entretanto, na compensação dos créditos gerados não há incidência de alguns impostos, dessa forma,

o preço do kWh injetado na rede é em torno de 25% mais barato que o preço do kWh com todos os impostos inclusos.

O cálculo do retorno financeiro da usina instalada foi feito com base na estimativa de que 18% da energia gerada seria utilizada em horário de ponta e 82% em horário fora de ponta, bem como uma demanda contratada de 750kW. Dessa forma, a Equação 5 mostra a fórmula para cálculo do retorno financeiro, anual, de um consumidor enquadrado na tarifação horo-sazonal verde.

#### EQUAÇÃO 5 - RETORNO FINANCEIRO DA USINA

$$R = \left( (0,18 * G_a * T_p) + (0,82 * G_a * T_{fp}) + (D_c * T_{dc} * 12) \right) * 0,75 \quad (5)$$

Sendo:

$R$  = Retorno financeiro da usina (R\$);

$G_a$  = Geração anual estimada;

$T_p$  = Preço da tarifa em horário de ponta;

$T_{fp}$  = Preço da tarifa em horário fora de ponta;

$D_c$  = Demanda contratada;

$T_{dc}$  = Tarifa de demanda contratada em horário.

Não foi estimado uma ultrapassagem de demanda contratada, assim, toda demanda utilizada estava dentro da demanda contratada. Para o cálculo do retorno financeiros nos anos subsequentes, basta atualizar o valor das tarifas utilizadas com base na inflação energética projetada para o ano, bem como a geração anual estimada para aquele ano.

A Equação 5 foi obtida analisando-se uma fatura de energia da concessionária Energisa Paraíba, de um consumidor enquadrado na modalidade tarifária verde, não levando-se em conta tarifas como: iluminação pública e bandeira tarifária.

Para estimar o custo de manutenção do sistema por ano, utiliza-se a Equação 6:

#### EQUAÇÃO 6 - CUSTO DE MANUTENÇÃO DA USINA

$$C_m = C_{ma} * (C_t * ((1 + I_{ep})^t)) \quad (6)$$

Onde:

$C_m$  = Custo de manutenção do sistema (R\$);

$C_{ma}$  = Custo de manutenção (em torno de 0,5%);

$C_t$  = Custo total de implantação do sistema;

$I_{ep}$  = Inflação energética anual projetada (%);

$t$  = Ano índice;

Utiliza-se um valor de  $C_{ma}$  e  $I_{ep}$  com base em estimativas empíricas feitas pelo autor, os quais foram utilizados 0,5% de custo de manutenção ao ano e uma inflação energética projetada de 10% ao ano.

Ainda há troca de inversores nos anos 10º e 20º, adicionando um custo de R\$ 259.000,00 em cada um desses anos, além do custo de manutenção respectivos. Dessa forma, é feita uma estimativa dos dispêndios com manutenção da usina que será implantada. As estimativas e discussões de resultados podem ser encontrados na seção 4.3 de Análise e Resultados.

### 3.4 CALCULO DE INDICADORES FINANCEIROS

Uma vez que os dados de geração, retorno financeiro e custos de manutenção foram calculados, do ano 0 até o 25º, pode-se calcular os indicadores financeiros diretamente pelo Microsoft Excel (2019).

Para calcular o fluxo de caixa do investimento, basta somar o retorno financeiro da usina com o custo de manutenção, para cada respectivo ano. No caso do ano 0, o custo de manutenção será apenas o valor total do investimento, ou seja, o valor total que foi gasto na implantação da usina.

Para o cálculo do *payback*, utiliza-se o fluxo de caixa gerado ao longo dos anos. No ano 0, de implantação do sistema, o *payback* é dado pelo valor do fluxo de caixa no ano 0. A partir do ano 1, o *payback* é dado pelo fluxo de caixa do ano 1 somado ao *payback* do ano 0. Para o ano 2, o *payback* é dado pelo fluxo de caixa do ano 2 somado ao *payback* do ano 1. E assim subsequentemente em todos os outros anos até o 25º. Dessa forma, basta observar o momento que o *payback* torna-se positivo para identificar o ano de *payback* do investimento.

O cálculo do fluxo de caixa descontado é similar ao fluxo de caixa simples, já descrito anteriormente, entretanto, divide-se o fluxo de caixa por uma taxa de atratividade, representando a variação do dinheiro no tempo. Dessa forma, a Equação 1 representa o cálculo do fluxo de caixa descontado.

$$FCD = \frac{FC}{(1 + i)^n}$$

Para o cálculo do *payback* descontado, o procedimento é o mesmo que o *payback* simples, entretanto, agora utiliza-se os fluxos de caixa descontados, e não mais os simples.

O próprio Microsoft Excel (2019) fornece comandos para o cálculo do valor presente líquido e da taxa interna de retorno, utilizando informações do fluxo de caixa descontado de todos os anos de existência do investimento, calculados anteriormente.

Os resultados obtidos segundo as estimativas e cálculos aqui mostrados são discutidos na seção 4.3 de Análise e Resultados.

### 3.5 SIMULAÇÃO DA FATURA DE ENERGIA

Para simular a fatura de energia de um consumidor enquadrado na modalidade tarifária verde, foi observado a fatura de energia de um consumidor dessa classe da concessionária Energisa Paraíba. Tomando algumas aproximações e estimativas empíricas, pois o cálculo da fatura de energia elétrica é exclusivo de concessionária para concessionária, chegou-se à Equação 7, que representa a totalidade do cálculo da fatura de energia elétrica de um consumidor da modalidade tarifária verde.

EQUAÇÃO 7 - ESTIMATIVA DA FATURA DE ENERGIA

$$\begin{aligned}
 Fatura = & \left( (0,18 * G_a * T_p) + (0,82 * G_a * T_{fp}) + (D_c * T_{dc} * 12) \right) \\
 & + \left( 0,82 * G_a * \left( B_t * \left( (1 + I_{ep})^t \right) \right) \right) \\
 & + \left( \left( (0,18 * G_a * T_p) + (0,82 * G_a * T_{fp}) + (D_c * T_{dc}) \right) * 0,06 \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

Sendo:

$Fatura$  = Estimativa da Fatura de Energia (R\$);

$B_t$  = Bandeira tarifária;

$G_a$  = Geração anual estimada;

$T_p$  = Preço da tarifa em horário de ponta;

$I_{ep}$  = Inflação energética anual projetada (%);

$T_{fp}$  = Preço da tarifa em horário fora de ponta;

$D_c$  = Demanda contratada;

$T_{dc}$  = Tarifa de demanda contratada em horário.

$t$  = Ano índice;

Considerando agora a totalidade de impostos presente nas tarifas da concessionária, a equação 7 corresponde ao cálculo da fatura incluídos a tarifa de iluminação pública e a parcela de bandeira tarifária.

Para os anos subsequentes ao ano de instalação (ano 0), atualizar o ano índice. Na seção 4.4 de Análise e Resultados são discutidos os resultados obtidos.

### 3.6 IMPACTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA NA FATURA

Após o cálculo da estimativa da fatura de energia, o impacto da geração na fatura é calculado subtraindo-se o retorno da geração diretamente na estimativa da fatura, encontrando-se assim o valor total da fatura após a geração de energia proveniente da usina.

Estes resultados estão detalhados discutidos na seção 4.4 da Análise e Resultados.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos de acordo com a metodologia demonstrada no capítulo anterior. Desde a estimativa de geração e custo, até a análise financeira da usina bem como seus impactos de compensação na conta de um cliente industrial e/ou comercial.

### 4.1 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DA USINA

A irradiação solar no Nordeste é a maior dentre as 5 regiões do Brasil. Segundo dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a região Nordeste possui irradiação média no plano inclinado de 5,52 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Na Figura 6 são mostrados os níveis de irradiação solar diários em todo território brasileiro.

FIGURA 6 - SÍNTESE DOS NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR POR REGIÃO.



FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (2017), P.67.

Para se obter a estimativa de geração de uma usina de 1 MWp, será usado o valor de irradiação média no plano inclinado de 5,52 kWh/m<sup>2</sup>/dia, correspondente à região Nordeste. Dessa forma, pode-se calcular o total gerado por ano através da Equação 4 (Ayrão, 2019).

$$E = \frac{P * (1 - p) * (1 - (D * t)) * (Hsp * 365)}{1000}$$

sendo:

$E$  = Geração estimada em Wh;

$P$  = Potência de geração do sistema, em Wp;

$p$  = perdas estimadas do sistema;

$D$  = degradação dos painéis;

$t$  = tempo em anos;

$Hsp$  = irradiação solar média no plano inclinado.

Dessa forma, para um sistema de 982,8 kWp com perdas estimadas de 20% e degradação dos painéis de 0,8% ao ano, não contanto a partir do ano de instalação do sistema (ano 0), e uma irradiação média no plano inclinado de 5,52 hsp, temos:

$$E = \frac{982,8 * (1 - 0,2) * (1 - (0,008 * 0)) * (5,52 * 365)}{1000}$$

$$E = 1.584,12 \text{ MWh}$$

Este resultado mostra a estimativa de geração de energia, segundo considerações e estimativas feitas anteriormente, do sistema de 982,8 kWp no ano 0 de sua instalação. Simulando a geração para os próximos 25 anos de existência do projeto, tem-se na Tabela 1 a estimativa por ano da geração de energia esperada pelo sistema, incluindo as perdas do sistema.

TABELA 1 - PROJEÇÃO DA GERAÇÃO DE UMA USINA DE 982,5 KWP.

Ano	Geração Anual Estimada (MWh)	Ano	Geração Anual Estimada (MWh)	Ano	Geração Anual Estimada (MWh)
0	1.584,12	9	1.470,06	18	1.356,00
1	1.571,44	10	1.457,39	19	1.343,33
2	1.558,77	11	1.444,71	20	1.330,66
3	1.546,10	12	1.432,04	21	1.317,98
4	1.533,42	13	1.419,37	22	1.305,31
5	1.520,75	14	1.406,70	23	1.292,64
6	1.508,08	15	1.394,02	24	1.279,97
7	1.495,41	16	1.381,35	25	1.267,29

8	1.482,73	17	1.368,68
---	----------	----	----------

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Pode-se perceber uma queda gradual na geração anual até o 25º ano de funcionamento do sistema, devido a degradação dos painéis, informada pelo fabricante. Tal redução impacta diretamente no retorno do sistema, entretanto, financeiramente a queda será compensada ao longo dos anos por fatores financeiros, como será mostrado no subcapítulo 4.3.

## 4.2 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA USINA

Os valores de um kit de energia solar mudam de vendedor para vendedor, bem como os materiais usados no kit, como tipo de placa, inversores, estrutura, etc. Para esta tese foi considerado o valor de um sistema Gerador de Energia Solar Growatt Solo Romagnole Aldo Solar on Grid, disponível no site da Aldo sob o código 158400-5. Este kit possui uma potência de geração de 982,8 kWp, seus componentes estão listados na Tabela 2:

TABELA 2 - COMPONENTES KIT 982,8 KWP GERAÇÃO.

Item	Quantidade
STAUBLI CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	280 (und)
STAUBLI CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	280 (und)
INVERSOR SOLAR GROWATT ON GRID MAX100KTL3-X LV 100KW TRIFASICO 380V 10MPPT 20 ENTRADAS MONITORAMENTO	7 (und)
ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE 412074 RS-232CA 4 PAINEIS SOLO TERRESTRE 4,80M INCLINACAO 5 A 30 GRAUS	455 (und)



CABO SOLAR CABELAUTO 4S16045_2K SOLAR FLEXIVEL SN 120°C 1,8KV C.C. PRETO	7000 (m)
CABO SOLAR CABELAUTO 4S16080_2K SOLAR FLEXIVEL SN 120°C 1,8KV C.C. VERMELHO	7000 (m)
PAINEL SOLAR JINKO JKM540M- 72HL4-V TIGER PRO 540W 144 CEL MONO HALF CELL 20,94% EFIC	1820
ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE 412213 RS-232 ACESSORIOS TERRESTRE 4 PAINES MICRO	455 (und)

FONTES: ALDO.

Este kit é oferecido pela Aldo ao valor de R\$ 3.829.079,00 (três milhões, oitocentos e vinte e nove mil e setenta e nove reais). Entretanto, na implantação de um sistema desse porte há outros custos envolvidos no processo, tal como: instalação, mão de obra, subestação, projeto elétrico, comissionamento, outros. Adicionando-se 25% de custos gerais ao valor do sistema de geração solar, chegamos ao valor de aproximadamente R\$ 4.800.000,00 (quatro milhões e oitocentos mil) de investimento total na aquisição e instalação do sistema solar.

Salientando que o sistema é ligado à rede de distribuição, ou seja, *on grid*. Podem haver custos extras dependendo da forma de pagamento ou financiamento. Nesta tese foi considerado um investimento único, ou seja, à vista.

### 4.3 RETORNO FINANCEIRO DA USINA

Com o sistema implantado e em operação, analisa-se o retorno do sistema de acordo com as tarifas da concessionária onde o sistema foi instalado e, o grupo tarifário ao qual a empresa/indústria/comércio contratou. Para este estudo de caso será considerado a modalidade horo-sazonal verde, subgrupo A4, onde há apenas consumo de demanda em horário fora de ponta. Dessa forma, analisando-se uma conta de energia da concessionária Energisa Paraíba, tem-se na tabela 3 as seguintes tarifas praticadas (com impostos inclusos).

TABELA 3 - TARIFAS COM TRIBUTOS ENERGISA PB.

Tarifa Consumo em kWh (Ponta)	Tarifa Consumo em kWh (Fora Ponta)	Tarifa Demanda Contratada (Fora Ponta)
R\$ 2,3932	R\$ 0,4230	R\$ 36,3183

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Com as tarifas definidas é possível calcular o retorno financeiro com a geração, aplicando uma inflação energética de 10% ao ano a partir do ano 1, bem como os gastos anuais com manutenção do sistema e troca de inversores a cada 10 anos, demonstrados na Tabela 4.

TABELA 4 - RETORNO FINANCEIRO DA GERAÇÃO E CUSTOS DE MANUTENÇÃO.

Ano	Retorno Financeiro Geração	Custos de Manutenção
0	R\$ 1.169.046,76	-R\$ 4.800.000,00
1	R\$ 1.277.821,14	-R\$ 26.400,00
2	R\$ 1.396.659,92	-R\$ 29.040,00
3	R\$ 1.526.488,24	-R\$ 31.944,00
4	R\$ 1.668.315,63	-R\$ 35.138,40
5	R\$ 1.823.243,61	-R\$ 38.652,24
6	R\$ 1.992.474,03	-R\$ 42.517,46
7	R\$ 2.177.318,11	-R\$ 46.769,21
8	R\$ 2.379.206,26	-R\$ 51.446,13
9	R\$ 2.599.698,85	-R\$ 56.590,74
10	R\$ 2.840.497,90	-R\$ 321.249,82
11	R\$ 3.103.459,78	-R\$ 68.474,80
12	R\$ 3.390.609,05	-R\$ 75.322,28
13	R\$ 3.704.153,57	-R\$ 82.854,51
14	R\$ 4.046.500,92	-R\$ 91.139,96
15	R\$ 4.420.276,19	-R\$ 100.253,96
16	R\$ 4.828.341,51	-R\$ 110.279,35
17	R\$ 5.273.817,13	-R\$ 121.307,29
18	R\$ 5.760.104,46	-R\$ 133.438,02
19	R\$ 6.290.911,09	-R\$ 146.781,82
20	R\$ 6.870.277,99	-R\$ 420.460,00
21	R\$ 7.502.609,17	-R\$ 177.606,00
22	R\$ 8.192.703,80	-R\$ 195.366,60
23	R\$ 8.945.791,26	-R\$ 214.903,26
24	R\$ 9.767.569,19	-R\$ 236.393,58
25	R\$ 10.664.244,78	-R\$ 260.032,94

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Percebe-se o aumento do fluxo de caixa oriundo da usina ao longo dos anos, decorrente do aumento do kWh a cada ano, causado pelas estimativas de inflação energética utilizadas. Há um aumento crescente nos custos de manutenção do sistema, principalmente após o vigésimo quinto ano de implantação, bem como um dispêndio de R\$ 259.000,00 nos anos 10º e 20º, com a substituição dos inversores do sistema.

Pode-se analisar a geração do ponto de vista financeiro através do fluxo de caixa e *payback*, explicitados na Tabela 5.

TABELA 5 - FLUXO DE CAIXA E *PAYBACK* PROJETADOS.

<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b><i>Payback</i></b>
<b>0</b>	<b>-R\$ 3.630.953,24</b>	<b>-R\$ 3.630.953,24</b>
<b>1</b>	R\$ 1.251.421,14	<b>-R\$ 2.379.532,10</b>
<b>2</b>	R\$ 1.367.619,92	<b>-R\$ 1.011.912,18</b>
<b>3</b>	R\$ 1.494.544,24	R\$ 482.632,05
<b>4</b>	R\$ 1.633.177,23	R\$ 2.115.809,28
<b>5</b>	R\$ 1.784.591,37	R\$ 3.900.400,65
<b>6</b>	R\$ 1.949.956,57	R\$ 5.850.357,22
<b>7</b>	R\$ 2.130.548,90	R\$ 7.980.906,12
<b>8</b>	R\$ 2.327.760,12	R\$ 10.308.666,24
<b>9</b>	R\$ 2.543.108,11	R\$ 12.851.774,35
<b>10</b>	R\$ 2.519.248,08	R\$ 15.371.022,44
<b>11</b>	R\$ 3.034.984,98	R\$ 18.406.007,41
<b>12</b>	R\$ 3.315.286,77	R\$ 21.721.294,18
<b>13</b>	R\$ 3.621.299,07	R\$ 25.342.593,25
<b>14</b>	R\$ 3.955.360,96	R\$ 29.297.954,20
<b>15</b>	R\$ 4.320.022,23	R\$ 33.617.976,43
<b>16</b>	R\$ 4.718.062,16	R\$ 38.336.038,59
<b>17</b>	R\$ 5.152.509,84	R\$ 43.488.548,44
<b>18</b>	R\$ 5.626.666,45	R\$ 49.115.214,88
<b>19</b>	R\$ 6.144.129,27	R\$ 55.259.344,15
<b>20</b>	R\$ 6.449.817,99	R\$ 61.709.162,14
<b>21</b>	R\$ 7.325.003,17	R\$ 69.034.165,31
<b>22</b>	R\$ 7.997.337,20	R\$ 77.031.502,51
<b>23</b>	R\$ 8.730.888,01	R\$ 85.762.390,52
<b>24</b>	R\$ 9.531.175,60	R\$ 95.293.566,12
<b>25</b>	R\$ 10.404.211,84	R\$ 105.697.777,96

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Percebe-se um *payback* simples no ano 3, bem como um aumento gritante do mesmo ao longo dos anos devido ao alto fluxo de caixa proveniente da geração. Tais resultados geram distorções na análise de indicadores financeiros, pois não se considera a variação do dinheiro no tempo que ocorre durante a vida útil do investimento (período de operação do investimento).

Segundo análises de fluxo de caixa e *payback* simples, o retorno do investimento se dá no ano 3, entretanto, esta análise não leva em conta a variação do dinheiro no tempo,

dessa forma sendo preciso analisar o fluxo de caixa descontado e payback descontado, conforme Tabela 6, considerando uma taxa mínima de atratividade de 12% a.a.

TABELA 6 - FLUXO DE CAIXA DESCONTADO E PAYBACK DESCONTADO PROJETADOS.

Ano	Fluxo de Caixa Descontado	Payback Descontado
0	-R\$ 3.630.953,24	-R\$ 3.630.953,24
1	R\$ 1.117.340,30	-R\$ 2.513.612,94
2	R\$ 1.090.258,22	-R\$ 1.423.354,71
3	R\$ 1.063.787,07	-R\$ 359.567,64
4	R\$ 1.037.913,65	R\$ 678.346,01
5	R\$ 1.012.625,07	R\$ 1.690.971,08
6	R\$ 987.908,68	R\$ 2.678.879,76
7	R\$ 963.752,12	R\$ 3.642.631,89
8	R\$ 940.143,27	R\$ 4.582.775,16
9	R\$ 917.070,28	R\$ 5.499.845,44
10	R\$ 811.130,46	R\$ 6.310.975,90
11	R\$ 872.485,66	R\$ 7.183.461,55
12	R\$ 850.951,54	R\$ 8.034.413,09
13	R\$ 829.908,28	R\$ 8.864.321,37
14	R\$ 809.345,22	R\$ 9.673.666,59
15	R\$ 789.251,91	R\$ 10.462.918,50
16	R\$ 769.618,14	R\$ 11.232.536,64
17	R\$ 750.433,90	R\$ 11.982.970,54
18	R\$ 731.689,40	R\$ 12.714.659,94
19	R\$ 713.375,05	R\$ 13.428.034,99
20	R\$ 668.631,77	R\$ 14.096.666,75
21	R\$ 677.999,45	R\$ 14.774.666,20
22	R\$ 660.920,02	R\$ 15.435.586,22
23	R\$ 644.234,38	R\$ 16.079.820,60
24	R\$ 627.933,90	R\$ 16.707.754,50
25	R\$ 612.010,14	R\$ 17.319.764,64

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Percebe-se que agora o payback ocorre no ano 4, onde ocorre o retorno total do investimento inicial. Há agora uma queda do fluxo de caixa ao longo dos anos, mostrando o real impacto da inflação no retorno do investimento, bem como um *payback* menor do que se comparado com o *payback* simples. Entretanto, analisando-se o fluxo de caixa descontado e considerando uma TMA de 12% a.a., chegamos a um VPL de R\$

3.828.881,42 (três milhões, oitocentos e vinte e oito mil, oitocentos e oitenta e um reais e quarenta e dois centavos), bem como uma taxa interna de retorno, TIR, de 28,24%.

Tais resultados comprovam a atratividade financeira do projeto, sob as considerações aqui fixadas.

#### 4.4 IMPACTO FINANCEIRO DA COMPENSAÇÃO NA CONTA DE ENERGIA

Para analisar a compensação que a geração irá impactar na fatura de energia, é necessário comparar a geração com a fatura de energia, analisando uma fatura onde o gasto em kWh seja correspondente à geração em kWh.

Tomando a geração de energia da usina como base para cálculo da fatura de energia, segundo as mesmas suposições (18% da energia consumida em horário de ponta e 82% em horário fora e ponta, não ultrapassagem de demanda contratada, etc.), tem-se a estimativa de fatura de energia, bem como a compensação causada pela geração, tem-se a comparação explicitada na tabela 7.

TABELA 7 - ECONOMIA DE ENERGIA NA FATURA.

Ano	Fatura Energia	Fatura após a Compensação	Economia de Energia (%)
0	R\$1.959.980,03	R\$ 790.933,27	59,65%
1	R\$2.141.779,21	R\$ 890.358,07	58,43%
2	R\$2.340.338,42	R\$ 972.718,50	58,44%
3	R\$2.557.191,67	R\$ 1.062.647,43	58,44%
4	R\$2.794.012,20	R\$ 1.160.834,97	58,45%
5	R\$3.052.624,91	R\$ 1.268.033,54	58,46%
6	R\$3.335.020,04	R\$ 1.385.063,47	58,47%
7	R\$3.643.367,95	R\$ 1.512.819,05	58,48%
8	R\$3.980.035,24	R\$ 1.652.275,12	58,49%
9	R\$4.347.602,31	R\$ 1.804.494,21	58,49%
10	R\$4.748.882,44	R\$ 2.229.634,36	53,05%
11	R\$5.186.942,58	R\$ 2.151.957,60	58,51%
12	R\$5.665.125,92	R\$ 2.349.839,15	58,52%
13	R\$6.187.076,50	R\$ 2.565.777,43	58,53%

<b>14</b>	R\$6.756.765,93	R\$ 2.801.404,98	58,54%
<b>15</b>	R\$7.378.522,49	R\$ 3.058.500,26	58,55%
<b>16</b>	R\$8.057.062,70	R\$ 3.339.000,55	58,56%
<b>17</b>	R\$8.797.525,73	R\$ 3.645.015,89	58,57%
<b>18</b>	R\$9.605.510,74	R\$ 3.978.844,29	58,58%
<b>19</b>	R\$10.487.117,49	R\$ 4.342.988,22	58,59%
<b>20</b>	R\$11.448.990,48	R\$ 4.999.172,49	56,34%
<b>21</b>	R\$12.498.366,90	R\$ 5.173.363,73	58,61%
<b>22</b>	R\$13.643.128,70	R\$ 5.645.791,49	58,62%
<b>23</b>	R\$14.891.859,18	R\$ 6.160.971,18	58,63%
<b>24</b>	R\$16.253.904,48	R\$ 6.722.728,88	58,64%
<b>25</b>	R\$17.739.440,24	R\$ 7.335.228,41	58,65%

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Observa-se uma redução média de 58,28% ao longo de 25 anos, na fatura de energia, após a instalação do sistema fotovoltaico. Comprova-se assim a eficiência da instalação do sistema fotovoltaico, propiciando uma economia significativa ao cliente durante todo período analisado neste trabalho de conclusão de curso.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo analisar do ponto de vista financeiro a viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico de 1 MWp para redução da fatura de energia de consumidores da modalidade tarifaria verde. A partir do método utilizado pôde-se simular a geração estimada, bem como os impactos financeiros, calculando assim o desconto financeiro que ocorreria na fatura de energia com a instalação do sistema de 1 MWp.

Por meio de indicadores financeiros como fluxo de caixa descontado, payback descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno, onde ainda foram considerados fatores inflacionários que levam em conta o valor do dinheiro no tempo, foi comprovado a rentabilidade do investimento no período de tempo analisado e segundo as considerações feitas.

Disciplinas tais como Engenharia Econômica, Sistemas Elétricos, Instalações Elétricas, Expressão Gráfica, Distribuição de Energia Elétrica, e entre outras, bem como seus respectivos laboratórios foram de cruciais para o entendimento do tema e desenvolvimento deste trabalho.

Pode-se concluir, com certa ênfase, a viabilidade financeira do investimento, reduzindo a fatura de energia em quase 58,28% ao longo da vida útil (25 anos) do projeto e gerando uma economia significativa ao consumidor.

### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Vários estudos podem se seguir a partir do trabalho apresentado principalmente com a aprovação do Novo Marco da Geração Distribuída (Lei n. 14.300 de 06/01/2022), onde há mudanças no modelo de compensação e cobrança de taxas extras pelo uso da rede de distribuição, impactando diretamente o retorno do investimento de sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Dentre as possibilidades de estudo, podem ser citas:

- Uso da metodologia apresentada considerando as novas leis de compensação e custos segundo o Novo Marco da Geração Distribuída.

- Uso da metodologia apresentada para análise da compensação de sistemas em clientes de outras classes tarifárias.
- Uso da metodologia apresentada para análise financeira de sistemas de geração acima de 1 MWp.
- Uso da metodologia apresentada para análise financeira de sistemas onde ocorre a venda da geração de energia no mercado livre de energia.



## REFERÊNCIAS

Geração Distribuída da ANEEL Avança com Energia Solar. BlueSol Energia Solar, São Paulo. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/geracao-distribuida-da-aneel/>>. Acesso em: 15/02/2022.

CASARIN, Ricardo. Aumento na conta de luz eleva em 53% o uso de energia solar no País. Portal Solar, São Paulo, 12/11/2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/aumento-na-conta-de-luz-eleva-em-53-o-uso-de-energia-solar-no-pais>>. Acesso em: 15/02/2022.

Energia Solar atinge marca histórica em capacidade instalada no Brasil. G1, São Paulo, 24/08/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/24/energia-solar-atinge-marca-historia-em-capacidade-instalada-no-brasil.ghtml>>. Acesso em: 14/02/2022.

Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2031. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>. Acesso em: 10/02/2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Nacional Energético (BEN) 2021. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em: 02/02/2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética; MME - Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-609/Relatorio\\_PDE2031\\_ConsultaPublica.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-609/Relatorio_PDE2031_ConsultaPublica.pdf)>. Acesso em: 03/02/2022.

Lei institui marco legal da micro e minigeração de energia. Câmara dos Deputados, Brasília, 10/01/2022. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/>>. Acesso em: 05/02/2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 17/02/2022.

Absolar: Brasil ultrapassa marca histórica de 13GW de energia solar. IstoÉ Dinheiro, 04/01/2022. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/absolar-brasil-ultrapassara-marca-historica-de-13-gw-de-energia-solar/>>. Acesso em: 09/02/2022.

NASSA, Thiago; NETO, S.M.; MEYER, Rodolfo; CASARIN, Ricardo; GIOVANNA, Rafaela; Portal Solar; MEYER, Fred; PINHEIRO, Cristiane; VIALLI, Andrea; DORANTE, Adriana. Bolsonaro reforça posição contrária à taxaço da energia solar. Portal Solar, São Paulo, 08/01/2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/bolsonaro-reforca-posicao-contraria-a-taxacao-da-energia-solar.html>>. Acesso em: 05/02/2022.

CASARIN, Ricardo. Absolar: Marco legal da GD tornará energia solar mais atrativa para consumidor brasileiro. Portal Solar, São Paulo, 07/01/2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/absolar-marco-legal-da-gd-tornara-energia-solar-mais-atrativa-para-consumidor-brasileiro>>. Acesso em: 01/02/2022.

CASARIN, Ricardo. Geração solar centralizada ultrapassa carvão mineral na matriz elétrica. Portal Solar, São Paulo, 15/09/2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/operacao-e-expansao/oem/geracao-solar-centralizada-ultrapassa-carvao-mineral-na-matriz-eletrica>>. Acesso em: 04/02/2022.

Energia Solar atinge marca histórica em capacidade instalada no Brasil. G1, São Paulo, 24/08/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/24/energia-solar-atinge-marca-historia-em-capacidade-instalada-no-brasil.ghtml>>. Acesso em: 06/02/2022.

Renewable electricity growth is accelerating faster than ever worldwide, supporting the emergence of the new global energy economy. International Energy Agency, Paris, 01/12/2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/news/renewable-electricity-growth-is-accelerating-faster-than-ever-worldwide-supporting-the-emergence-of-the-new-global-energy-economy>>. Acesso em: 07/02/2022.

MME - Ministério de Minas e Energia. Informativo Gestão Setor Elétrico- 2º Quadrimestre 2021. Governo do Brasil, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/informativo-gestao-setor-eletrico/documentos/2o-quadrimestre-2021-informativo-gestao-setor-eletrico-21-09.pdf>>. Acesso em: 08/02/2022.

Gerador de Energia Solar Growatt Solo Romagnole Aldo Solar on Grid (158400-5). Aldo Solar, Maringá. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/produto/158400-5/gerador-de-energia-solar-growatt-solo-romagnole-aldo-solar-on-grid-gf-9828kwp-jinko-tiger-pro-mono-540w-max-x-100kw-10mppt-trif-380v>>. Acesso em: 10/01/2022.

Usina Solar: Como Funciona e os Principais Projetos no Brasil. BluSol Energia Solar, São Paulo. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/usina-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 08/02/2022.

Geração Distribuída da ANEEL Avança com Energia Solar Fotovoltaica. BluSol Energia Solar, São Paulo. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/geracao-distribuida-da-aneel/>>. Acesso em: 08/02/2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 25/01/2022.

REIS, Pedro. Vantagens e desvantagens dos sistemas solares híbridos. Portal Energia, Portugal, 11/06/2018. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-sistemas-solares-hibridos/>>. Acesso em: 10/02/2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Instalações Elétricas e de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto, ABNT NBR 16690. São Paulo, julho de 2019. Disponível em: < <https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>>. Acesso em: 16/01/2022.

SAMANEZ, Carlos Patricio. Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos. 3.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira. 12.ed. São Paulo: Perason Prentice Hall, 2010.

NETO, Alexandre Assaf. Finanças Corporativas e Valor. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2014.

AYRÃO, Vinicius. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Conceitos, Aplicações e Estudos de Caso. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Estudos-Fotovoltaicos-Vinicius-Ayrao.pdf>>. Acesso em: 28/01/2022.

SAUER, I. L.; QUEIROZ, M. S.; MIRAGAYA, J. C. G.; MASCARENHAS, R. C.; JÚNIOR, A. R. Q. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobrás. Bahia Análise & Dados, v.16, n. 1, p. 9-22, 2006.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta da física**, v. 29, 2006.