

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Vinícius Machado Porto

**PANORAMA ENERGÉTICO: ESTUDO DE CASO SOBRE SISTEMA
DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SANTA MARIA A PARTIR DA
PROPOSTA DE REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482/2012**

Santa Maria, RS
2019

Vinícius Machado Porto

**PANORAMA ENERGÉTICO: ESTUDO DE CASO SOBRE SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SANTA MARIA A PARTIR DA PROPOSTA DE
REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482/2012**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Dr. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS
2019

Vinícius Machado Porto

**PANORAMA ENERGÉTICO: ESTUDO DE CASO SOBRE SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SANTA MARIA A PARTIR DA PROPOSTA DE
REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482/2012**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Aprovado em 16 de julho de 2019.

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Almir Barros da Silva Santos Neto, Dr. (UFSM)

Alexandre Vargas, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

No meio da dificuldade, encontra-se a
oportunidade.
(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

PANORAMA ENERGÉTICO: ESTUDO DE CASO SOBRE SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SANTA MARIA A PARTIR DA PROPOSTA DE REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482/2012

AUTOR: Vinícius Machado Porto
ORIENTADOR: Dr. Gihad Mohamad

Este trabalho tem como tema a geração de energia através do Sistema Fotovoltaico em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Tem, como objetivo geral, demonstrar a viabilidade financeira de instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede em três situações: unifamiliar com aplicação da situação 0 (zero); unifamiliar com aplicação da situação 01 (um); multifamiliar com aplicação da situação 01 (um). Realiza um estudo de caso relativamente à instalação desse sistema ligado à rede, considerando a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e as decisões acerca da revisão da referida Norma. No desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, são abordados os seguintes aspectos teóricos: fontes de energia renováveis e não renováveis; cenários energéticos mundial, nacional rio-grandense; energia solar fotovoltaica: fundamentos científicos precursores; sistemas fotovoltaicos conectados à rede: caracterização, funcionamento, etapas de instalação; regulamentação da ANEEL para instalação da Energia Fotovoltaica distribuída. A seguir, é apresentada a proposta de instalação de Sistema Fotovoltaico. A conclusão destaca a viabilidade de instalação do Sistema Fotovoltaico, assim como seus aspectos limitadores e estimuladores. São apresentadas, finalmente, sugestões para continuidade de ações relativas ao tema.

Palavras-chave: Fontes Energéticas. Sistema Solar. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Regulamentações da ANEEL.

ABSTRACT

ENERGY PANORAM: CASE STUDY ABOUT DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM AT SANTA MARIA THROUGH THE REVIEW PROPOSAL OF RESOLUÇÃO 482/2012

AUTHOR: Vinícius Machado Porto
ADVISOR: Dr. Gihad Mohamad

The present research is about energy generation through photovoltaic system at Santa Maria, Rio Grande do Sul. Has, as main objective, show the economic viability of the on grid photovoltaic panels installation, considering three situations: single family in situation 0 (zero); single family in situation 1 (one); multifamily in situation 1 (one). Performs a case study related to this installation, considering the Resolução Normativa nº 482/2012 of the Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL and the review proposals above this normative resolution. At the development of this work, are pointed some theoretical aspects: renewable and not renewable energy sources; world, national and local energetic situation; photovoltaic solar energy: previous scientific foundations; On-grid photovoltaic systems: characterization, functioning, installation steps; ANEEL regulation to install solar energy. Then, was shown an installation proposal. The conclusion emphasizes the economic viability as well as their limitations and potentialities. Finally, has been made suggestions to the continuity of actions related to the topic.

Keywords: Energetic Sources. Solar System. Photovoltaic System. On-Grid. ANEEL regulations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Plataforma de Extração de Petróleo.....	18
Figura 2- Principais Produtores Mundiais de Petróleo e Gás Natural	18
Figura 3- Áreas Produtoras de Petróleo e Gás Natural no Brasil	19
Figura 4- Mina de Carvão Mineral	20
Figura 5- Fontes de Energia Renováveis	21
Figura 6- Usina de Itaipu/Foz do Iguaçu/PR.....	22
Figura 7- Estação de Produção de Energia Eólica	23
Figura 8- Biomassa como Fonte de Eletricidade e de Biocombustível	24
Figura 9- Usina de Energia Geotérmica	24
Figura 10- Energia de Ondas e Marés	25
Figura 11- Estação de captação de energia solar	26
Figura 12- Matriz Energética Mundial: Fontes Não Renováveis	27
Figura 13- Gráfico da Evolução do Crescimento da População Mundial	27
Figura 14- Matriz Elétrica Mundial:.....	28
Figura 15- Agência Nacional de Energia Elétrica	29
Figura 16- Mapa de irradiação	30
Figura 17- Matriz Energética Brasileira: 2017.....	31
Figura 18- Localização de Santa Maria no Rio Grande do Sul	34
Figura 19- Efeito Fotoelétrico	36
Figura 20- Célula Fotovoltaica de Silício	37
Figura 21- Composição do Painel Fotovoltaico	38
Figura 22- Desprendimento do elétron	39
Figura 23- Silício P e Silício N.....	40
Figura 24- Geração de corrente contínua.....	40
Figura 25- Funcionamento do Sistema Solar Fotovoltaica	41
Figura 26- Etapas para Instalação e Conexão do Sistema Fotovoltaico à Rede.....	43
Figura 27- Problemas com Estrutura.....	44
Figura 28- Gráfico da projeção do investimento	59
Figura 29- Gráfico da projeção do investimento	61
Figura 30- Gráfico da projeção do investimento	65
Figura 31- Gráfico da projeção do investimento	67
Figura 32- Gráfico da projeção do investimento	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais Produtores de Energia Nuclear	20
Tabela 2- Crescimento de Fontes Renováveis no Brasil	29
Tabela 3- Geração de Energia no Rio Grande do Sul	32
Tabela 4- Proposta de mudança no Sistema de compensação energética.	49
Tabela 5- Cálculo do gasto mensal médio em energia elétrica	52
Tabela 6- Cálculo da influência média dos impostos sobre a tabela supracitada	53
Tabela 7- Gasto mensal médio de 2016-2017	53
Tabela 8- Gasto mensal médio 2017-2018	54
Tabela 9- Taxa de inflação sobre o preço da energia elétrica no município de Santa Maria.....	54
Tabela 10- Cálculo do gasto mensal médio em energia elétrica, após implementação do sistema proposto, levando em consideração as atuais regras que regem o sistema de compensação de energia elétrica (situação 0)	55
Tabela 11- Cálculo da influência média dos impostos sobre a tabela supracitada ...	55
Tabela 12- Economia anual	56
Tabela 13- Projeção de economia nos 25 anos de vida útil do sistema	57
Tabela 14- Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback Descontado	58
Tabela 15- Projeção do investimento via financiamento.....	60
Tabela 16- Cálculo do gasto mensal médio com energia elétrica, levando em consideração a proposta de mudança no sistema de compensação de energia elétrica (situação 1 – 72% de retorno do excedente produzido)	61
Tabela 17- Cálculo da influência dos impostos sobre o valor pago mensalmente	62
Tabela 18- Economia anual	62
Tabela 19- Economia ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema	63
Tabela 20- Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback descontado	64
Tabela 21- Projeção do investimento via financiamento.....	66
Tabela 22- Cálculo do gasto mensal médio com energia elétrica, levando em consideração a proposta de mudança no sistema de compensação de energia elétrica para condomínios (situação 1 – 72% de retorno do total produzido).....	68
Tabela 23- Cálculo da influência dos impostos sobre o valor pago mensalmente	68
Tabela 24- Economia anual	69
Tabela 25- Economia ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema	70
Tabela 26- Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback desconta	71
Tabela 27- Projeção do investimento via financiamento.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Geral	13
2.2	Específicos.....	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	METODOLOGIA	15
5	REFERENCIAL TEÓRICO	17
5.1	FONTES DE ENERGIA.....	17
5.1.1	Fontes de Energia não Renováveis:.....	17
5.1.2	Fontes de Energia Renováveis	21
5.2	CENÁRIOS ENERGÉTICOS.....	26
5.2.1	Panorama Mundial	26
5.2.2	Panorama Brasileiro.....	28
5.2.3	Panorama Rio-Grandense.....	31
5.2.3.1	Santa Maria.....	34
5.4	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	35
5.4.1	Fundamentos Científicos Precursores.....	35
5.4.2	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede	36
5.4.3	Resoluções Normativas para Instalação da Energia Fotovoltaica distribuída	45
5.4.3.1	Resolução Normativa nº 482/2012 – ANEEL.....	45
5.4.3.2	Resolução Normativa nº 687/2015 – ANEEL.....	47
5.4.3.3	Revisão das Resoluções Normativas da ANEEL.....	49
6	PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO	52
6.1	SITUAÇÃO 0.....	55
6.2	Situação 1	61
6.2.1	Projeção de Situação 1 para Condomínios	67
7	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da Idade Contemporânea, a utilização da energia elétrica se constitui em uma necessidade básica para a humanidade, tornando-se um indicador de crescimento econômico e de qualidade de vida. Desde então, o mundo tem trabalhado com a perspectiva de contínuo crescimento do consumo de energia.

Os cenários energéticos mundial e brasileiro, no que tange às fontes energéticas não renováveis, vivencia profundas dificuldades, provocadas, principalmente, pela constante elevação do preço do petróleo; pela crise do gás natural na Bolívia, sendo este país o maior fornecedor para o Brasil; pelos impactos negativos causados ao ambiente natural. Além disso, verifica-se um significativo aumento da demanda energética, originado pelo crescimento da população mundial e pelo desenvolvimento nas áreas da tecnologia e da indústria. Dados divulgados pela Organização das Nações Unidas – ONU – revelam que a população mundial, atualmente, é de, aproximadamente, 07 (sete) bilhões de habitantes, com uma projeção de 09 (nove) bilhões até 2050. O esgotamento de fontes de energia não renováveis, principalmente o petróleo, vem exigindo a ampliação de pesquisas na área das energias renováveis, provocando movimentos no sentido de que sejam utilizadas novas tecnologias, criando um novo ciclo energético.

Desse modo, o aumento de demanda por energia requer a elevação da capacidade de produção, o que indica a necessidade de construção de novas unidades geradoras. O modelo de geração de energia, até então utilizado, vem sendo questionado frente ao surgimento de novas tecnologias, indicando que a expansão do setor elétrico mundial poderá ser realizada através da exploração de fontes renováveis, dentre as quais se encontra a energia solar fotovoltaica que possibilita a geração de energia distribuída, eliminando extensas linhas de transmissão e distribuição. A utilização da energia solar fotovoltaica tem sido incentivada em países da União Europeia, por meio de programas governamentais. O Brasil, de modo semelhante, trabalha com o propósito de ampliar as instalações, permitindo, assim, a competitividade entre a indústria fotovoltaica e o uso de fontes de energia convencionais. Os avanços nesse sentido foram obtidos a partir da Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, agência reguladora, vinculada ao Ministério de Minas e Energias. A referida Resolução constitui-se no marco regulatório que permite realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, criando regras

e o sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede. Em 2015, entrou em vigor a Resolução Normativa 687, trazendo novas regras relativas à Resolução anterior. Atualmente, ocorrem Audiências Públicas com o propósito de rever as normas vigentes.

É incontestável que o desenvolvimento econômico e a melhoria das condições de vida da população estão associados à disponibilidade de recursos energéticos, cuja geração, se localizada próximo ao ponto de consumo, contribui para a redução de perdas que se verificam nas linhas de transmissão e distribuição de sistemas elétricos integrados e extensos. A principal fonte de geração de eletricidade no Brasil é a hidráulica, classificada como fonte renovável. Todavia, a disponibilidade de bacias hidrográficas, situadas próximas aos grandes centros populacionais, é reduzida e insuficiente para atender à demanda da população. O Brasil ocupa posição privilegiada relativamente à radiação solar, a qual é superior aos índices registrados em outros países como, por exemplo, a Alemanha, cujos níveis de irradiação anual variam entre 900 – 1.250 kWh/m². No Brasil, em qualquer região do território nacional, esses níveis variam entre 1.500 – 2.500 kWh/m². A partir desses dados, entende-se que as condições brasileiras são mais favoráveis ao aproveitamento da energia solar, justificando-se, portanto, a inserção dessa fonte na matriz elétrica do Brasil. Acredita-se, portanto, no potencial da geração elétrica descentralizada em diferentes regiões do País. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, a energia solar é o recurso disponível mais abundante e sustentável. Assim, o tema deste trabalho encontra-se no âmbito da produção de energia solar, procurando responder à questão: como ocorre o retorno financeiro sobre a implementação da energia solar por meio de módulos fotovoltaicos?

Esse questionamento serviu de motivação para a escolha do tema deste trabalho, ou seja, estudo de caso relativo à instalação de sistema fotovoltaico no Município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, a partir das regulamentações em vigor e da revisão das regulamentações previstas pela ANEEL. O presente trabalho está dividido em quatro seções, as quais constituem o Referencial Teórico: 1) Fontes de Energia – caracteriza os tipos de energia elétrica em fontes não renováveis e renováveis; 2) Cenários Energéticos (Mundo, Brasil, Rio Grande do Sul); 3) Energia Solar Fotovoltaica – caracterização, instalação, condições e regulamentações; 4) Proposta de Instalação de Sistema Fotovoltaico em edifício vertical residencial de acordo com a regulamentação vigente e a proposta de revisão feita pela ANEEL. A

Conclusão do trabalho retoma os aspectos significativos do Referencial Teórico, ressaltando aspectos favorecedores e restritivos da geração de eletricidade produzida a partir de painéis solares fotovoltaicos.

Assim, destaca-se que, frente ao estudo realizado, se torna viável, cada vez mais, a ampliação do sistema elétrico por meio de módulos fotovoltaicos instalados próximos aos centros urbanos como demonstrado na proposta detalhada neste trabalho, considerando-se o estudo de caso realizado. O projeto apresenta a estimativa de gastos com eletricidade, o valor necessário para implantação e implementação do sistema e o tempo de retorno do investimento (Payback) para 3 (três) situações da proposta de revisão da resolução 482: situação 0 (zero) e 01 (um) para unidade unifamiliar; situação 01 (um) para unidade multifamiliar. Por fim, são apresentadas sugestões para futuros trabalhos que contribuam para aprofundar e ampliar o tema.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Demonstrar a viabilidade técnico-financeira de instalação de painéis fotovoltaicos em edifício residencial através da avaliação de sistema conectado à rede pública, considerando-se a legislação vigente e a proposta de revisão da Resolução Normativa da ANEEL.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar fontes de energia renováveis e não renováveis.
- Configurar os cenários energéticos no mundo, no Brasil e no Rio Grande do Sul.
- Analisar os fundamentos acerca de energia solar fotovoltaica e as respectivas Resoluções Normativas da ANEEL.
- Identificar aspectos favorecedores e restritivos da instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede pública.

3 JUSTIFICATIVA

Mostra-se, de forma irrefutável, que o desenvolvimento da sociedade humana esteve atrelado à obtenção de energia, gerada por longo tempo a partir de fontes não renováveis. No entanto, nas últimas décadas, incontáveis manifestações, oriundas de diferentes segmentos da sociedade, denunciam o esgotamento dessas fontes, além de desastrosos impactos ao meio ambiente, o que indica a insustentabilidade dos modos prevalentes de obter energia.

Todavia, neste contexto, emergem novas possibilidades para a geração de energia, utilizando fontes renováveis, percebidas como fontes de energia primárias, como a energia hidrelétrica, a biomassa, a energia eólica, a energia solar. A inserção de fontes renováveis de energia na matriz energética mundial é indiscutível, capitaneada pelo contínuo aumento da demanda da energia e pela busca de iniciativas que preservem o meio ambiente. Dentre essas diligências, encontra-se o aproveitamento da energia solar por meio da instalação de Sistema Fotovoltaico conectado à rede. Esta é uma tendência mundial à qual do Brasil está associado, procurando manter o caráter renovável de sua matriz elétrica.

4 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), como exploratória (levantamento bibliográfico sobre o tema) e explicativa (esclarecimento sobre o porquê de um fato; propõe uma experiência prática). Quanto à natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, pois é dirigida à solução de um problema específico. Em relação ao procedimento técnico, é caracterizada como de modelagem e projeção, uma vez que apresenta uma proposta de instalação de sistema solar fotovoltaico em uma realidade específica. Em relação à abordagem, é classificada como quali-quantitativa, porque utiliza informações conceituais e evidências, tanto como a mensuração de dados financeiros.

Foram utilizadas as estratégias de pesquisa bibliográfica e de estudo de caso. A busca bibliográfica teve início por meio de palavras-chave e relação de fontes conceituais, a fim de construir o Referencial Teórico, que reuniu informações sobre os objetivos selecionados para o trabalho. O problema de pesquisa apresentou-se como fundamental na orientação dada à pesquisa, quando se procurou abordar aspectos relacionados aos objetivos estabelecidos.

O estudo de caso é definido como uma pesquisa empírica que “[...] investiga um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes” (YIN, 2010, p. 32). Envolve a coleta sistemática de informações relativamente a determinado foco de interesse, visando auxiliar na tomada de decisões, justificar intervenções ou “[...] esclarecer por que elas foram tomadas ou implementadas e quais os resultados” (CHIZZOTTI, Antonio, 2010, p. 135).

O plano de pesquisa seguiu as seguintes fases:

- preparatória: análise da literatura disponível sobre o tema/caso;
- escolha do cenário/local para realização do estudo de caso;
- coleta sistemática de informações junto a órgãos técnicos e bibliografia especializada;
- organização dos registros;
- elaboração da proposta de instalação de sistema solar fotovoltaico em um edifício residencial no Município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, utilizando as regulamentações adotadas e a proposta de revisão dessas regulamentações pela ANEEL;

- redação do Trabalho de Conclusão de Curso com a possibilidade de construção de uma proposta de instalação de sistema solar fotovoltaico em um edifício residencial.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 FONTES DE ENERGIA

A energia, atualmente utilizada, é obtida a partir da transformação de diferentes recursos de múltiplas fontes, conforme informações da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2019). Essas fontes são classificadas em não renováveis e renováveis.

5.1.1 Fontes de Energia não Renováveis:

Também conhecidas como fontes de energia convencionais, são finitas ou esgotáveis, sendo a reposição na natureza muito lenta, “[...] pois resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão” (EPE, 2019, p. 1). O petróleo, o carvão mineral, o gás natural e nuclear são alguns exemplos de fontes de energia não renováveis. Algumas condições são indispensáveis para que seja mantido o estoque atualmente existente dessas fontes: explorando racionalmente os recursos existentes e investindo em ciência e tecnologia para o desenvolvimento de fontes renováveis, substituindo as fontes não renováveis. Atualmente, grande parte de energia consumida no mundo tem origem em fontes não renováveis, porque “[...] possuem um rendimento energético elevado (poucas perdas de energia no processo de transformação), preços atrativos, geram empregos e possuem infraestrutura construída para geração e distribuição (usinas, dutos, ferrovias e rodovias)” (EPE, 2019, p. 1). As fontes de energia não renováveis são usadas, principalmente, na geração de eletricidade, como combustível nos transportes e no aquecimento de residências (EPE, 2019). Ressalta-se que algumas fontes não renováveis de energia

[...] como o petróleo e o carvão mineral, são responsáveis por grande parte da emissão (liberação) de gases de efeito estufa na atmosfera, visto que estas fontes são **combustíveis** (precisam ser queimadas para gerar energia) e liberarem gases poluentes, que impactam a saúde e o meio ambiente (EPE, 2019, p. 1).

Figura 1 - Plataforma de Extração de Petróleo



Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019.

A exploração e a produção de **petróleo e gás natural** são atividades centrais no Brasil. A maior parte dessas reservas estão em campos marítimos, o que leva à elevação das atividades de perfuração. Até o ano de 2023, há previsão de 5% de crescimento da produção e um investimento de US\$ 68,8 bilhões em exploração e produção de petróleo (PETROBRÁS, 2019).

O petróleo e o gás natural são encontrados em bacias sedimentares que constituem, segundo informações do EPE (2019, p. 2), “[...] áreas sob a superfície terrestre que, por terem sido mais baixas e planas que o terreno em volta, permitiram o depósito de matéria orgânica, além de sedimento (fragmento de rocha)”. Atualmente, como podemos ver na Figura 2, os maiores produtores de petróleo e gás natural são: Rússia, Arábia Saudita, Estados Unidos e Iraque.

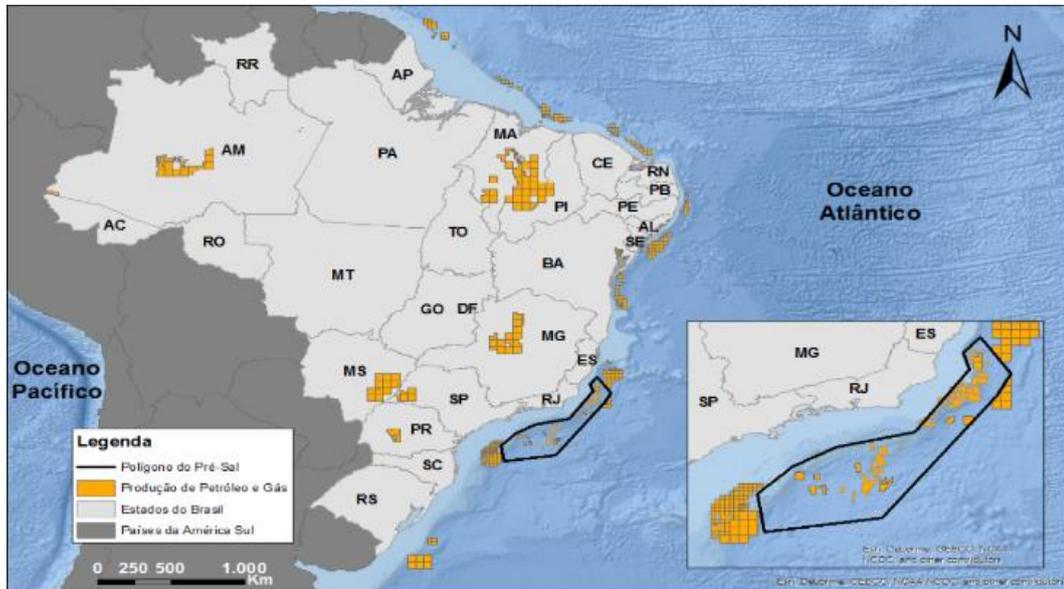
Figura 2 - Principais Produtores Mundiais de Petróleo e Gás Natural



Fonte: EPE, 2019.

No Brasil, como mostra a Figura 3, o petróleo têm sido produzido, principalmente, no litoral da Região Sudeste. O pré-sal “[...] encontra-se a grandes profundidades e abaixo de camadas de sal encontradas no subsolo marinho” (EPE, 2019, p. 2).

Figura 3– Áreas Produtoras de Petróleo e Gás Natural no Brasil



Fonte: EPE, 2019.

O **carvão mineral**, Figura 4, “[...] é formado por troncos, galhos e folhas de árvores gigantes que cresceram há 250 milhões de anos em pântanos rasos” (EPE, 2019, p. 3), que, após morrerem, ficam depositadas no fundo lodoso e, sob a pressão da terra, transformaram-se em uma massa negra homogênea – as jazidas de carvão (EPE, 2019). O carvão mineral “[...] é encontrado em jazidas localizadas no subsolo terrestre e extraído pelo sistema de mineração” (SUA PESQUISA, 2019).

O carvão mineral é composto por: carbono (grande parte), oxigênio, hidrogênio, enxofre e cinzas. Começou a ser utilizado em larga escala, como fonte de energia, na época da Revolução Industrial (século XVIII). Nesta época, era usado para gerar energia para as máquinas e locomotivas (SUA PESQUISA, 2019, p. 1).

Na atualidade, o uso da combustão direta do carvão encontra-se na “[...] geração de eletricidade, por meio de usinas termoelétricas” (EPE, 2019, p. 3), que, apesar de economicamente competitivas, causam grandes impactos ambientais, tanto pelo descarte de resíduos sólidos como pela poluição térmica. O carvão mineral é a principal fonte de geração de eletricidade no mundo, sendo que, aproximadamente,

40% de toda eletricidade do mundo é dependente do carvão (SUA PESQUISA, 2019, p. 2).

Figura 4.– Mina de Carvão Mineral



Fonte: SUA PESQUISA, 2019, p. 2.

A **energia nuclear** ou atômica “[...] é proveniente de reações que ocorrem no núcleo de certos átomos chamados de radioativos. Essas reações, em geral, dividem um átomo de um elemento químico em dois átomos diferentes, liberando grande quantidade de energia” (EPE, 2019, p. 3). Desse modo, ocorre a fissão nuclear. De acordo com Bezerra (2019, p. 1), o princípio de funcionamento de uma usina nuclear “[...] é a utilização do calor (termo) para gerar eletricidade. O calor é proveniente da fissão dos átomos de urânio”. Nas usinas nucleares, acontece o aproveitamento do calor gerado na fissão nuclear, fonte esgotável e não renovável. No mundo, as usinas nucleares respondem por 16% da energia elétrica produzida (BEZERRA, 2019).

Tabela 1– Principais Produtores de Energia Nuclear

Principais produtores de energia nuclear		
Países	Bilhões de kWh	Fatia na produção energética dentro do país %
E.U.A	798.7	20,2%
França	391.7	75%
Japão	263.1	27,5%
Rússia	152.8	18%
Coréia do sul	141	34,8%

Fonte: Bezerra, Juliana, 2019, p. 2.

5.1.2 Fontes de Energia Renováveis

Fazem uso de recursos não esgotáveis, que se renovam constantemente ao serem usadas, tais como: hídrica (energia da água dos rios), solar (energia do sol), eólica (energia do vento), biomassa (energia de matéria orgânica), geotérmica (energia do interior da Terra), oceânica (energia das marés e de ondas) e hidrogênio (energia química da molécula de hidrogênio). As fontes de energia renováveis são consideradas limpas, porque emitem menos gases de efeito estufa, conseguindo, assim, boa inserção no mercado brasileiro e mundial (EPE, 2019). Na Figura 5, podemos destacar as fontes 100% limpas, que apresentam emissão zero de gases estufa.

Figura 5– Fontes de Energia Limpas e Renováveis



Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019a.

A **energia hídrica ou hidroelétrica** aproveita a água dos rios e, por isso, é variável ao longo do tempo, estando dependente de quanto chove nas cabeceiras dos rios. A água dos rios, desse modo, move as turbinas das usinas hidrelétricas. Para manter as usinas funcionando ao longo do ano, são construídos reservatórios de acumulação. Cerqueira (2019, p. 1), esclarece: “A grande parte da energia elétrica produzida no Brasil é gerada por usinas hidrelétricas, isso porque o país é rico em rios com grandes extensões, caudalosos, e correndo sobre planaltos e depressões”. Exige obras de grande porte, o que requer investimentos bastante caros. O Brasil tem elevado potencial para a construção de novas usinas hidrelétricas, sendo reconhecido como “[...] o terceiro maior do mundo, ficando atrás apenas da Rússia e da China”

(CERQUEIRA, 2019, p.2). A maior hidrelétrica do Brasil é a de Itaipu, Figura 6, sendo a segunda maior usina hidrelétrica do mundo com uma produção de 14.00 MW. A maior geradora de energia hídrica do mundo é a Usina de Três Gargantas, localizada na China, tendo uma produção de 18.200 MW (EPE, 2019).

A energia hídrica é considerada como uma forma eficiente de geração de eletricidade, por ser menos poluente do que aquelas movidas por combustíveis (PENA, 2019). É indispensável considerar que a “[...] conservação da vegetação natural no entorno das nascentes e nas margens dos rios da bacia é importante para manter o fluxo de água e impedir a erosão das margens e o acúmulo de sedimentos do rio” (EPE, 2019, p. 19).

Figura 6– Usina de Itaipu/Foz do Iguaçu/PR



Fonte: EPE, 2019, p.5

A energia **eólica**, Figura 7, resulta do aproveitamento do vento, quando ocorre o movimento das massas de ar. Conforme informações da EPE (2019, p. 6), com o propósito de transformar a energia dos ventos em energia elétrica, “[...] são usados aerogeradores, que possuem imensas hélices que se movimentam de acordo com a quantidade de vento no local”. Os aerogeradores eólicos convertem a energia cinética dos ventos em energia elétrica (SOUSA, 2019). A usina eólica não polui a atmosfera quando de sua operação. Esta fonte é aproveitada somente nos momentos em que o vento promove o movimento das hélices. No sul e no nordeste do Brasil, é abundante a presença de ventos, o que favorece a instalação de parques eólicos. A energia eólica pode ser produzida a um custo bastante acessível. O vento como gerador de energia iniciou-se no século XIX. O Brasil ainda não se destaca na utilização de energia eólica,

mas vem efetivando alguns avanços, principalmente nas Regiões Nordeste e Sul (SOUSA, 2019). Todavia, o desenvolvimento tecnológico,

[...] nas últimas duas décadas, tem melhorado o desempenho dessa fonte e a confiabilidade dos equipamentos, fazendo com que o custo de instalação venha caindo consideravelmente, já sendo competitivo com relação a fontes convencionais em locais onde as condições de vento são favoráveis” (FREIRE, 2015, p. 15).

Figura 7– Estação de Produção de Energia Eólica



Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019b, p. 2.

A energia da **biomassa**, Figura 8, refere-se a toda matéria orgânica não fóssil. De acordo com Pena (2019, p. 6), sua importância “[...] está no aproveitamento de materiais que, em tese, seriam descartáveis, como restos agrícola (principalmente o bagaço da cana-de-açúcar)”. Existem três tipos de biomassa que podem ser utilizados como fonte de energia, conforme esclarece Pena (2019b): a) combustíveis sólidos (madeira, carvão vegetal e restos orgânicos vegetais e animais); b) combustíveis líquidos (etanol, biodiesel e qualquer outro líquido obtido pela transformação do material orgânico por processos químicos ou biológicos); combustíveis gasosos (aqueles obtidos pela transformação industrial ou até natural de restos orgânicos, como o biogás e o gás metano coletado em áreas de aterros sanitários).

Figura 8– Biomassa como Fonte de Eletricidade e de Biocombustível



Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019, p. 3.

A energia **geotérmica** ou geotermal, Figura 9, é aquela “[...] obtida do calor presente no interior da Terra. Circundando o núcleo, existe uma camada chamada manto que é formada por magma (semelhante à lava dos vulcões) e rocha, e a última camada, mais externa é a crosta terrestre, onde habitamos” (EPE, 2019, p.7). Conforme Pena (2019, p. 4), basicamente,

[...] as usinas geotérmicas injetam água no subsolo por meio de dutos especificamente elaborados para esse fim. Essa água evapora e é conduzida pelos mesmos tubos até as turbinas, que se movimentam e acionam o gerador de eletricidade. Para o reaproveitamento da água, o vapor é novamente transportado para áreas em que retorna à sua forma líquida, reiniciando o processo.

Figura 9– Usina de Energia Geotérmica



Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019b, p.5.

As usinas geotérmicas são construídas, geralmente, em locais que possuem vulcões, visto que, nesses locais,

[...] o vapor e a água quente encontram-se em profundidades menores e afloram na superfície. O calor é aproveitado para a produção de vapor, que move as turbinas das usinas. Por fim, os geradores transformam a energia cinética em energia elétrica. O uso dessa fonte de energia só é possível em razão da capacidade que a Terra tem de reter calor em seu interior (SOUSA, 2019, p. 5).

Para a produção de eletricidade, é possível utilizar a água do mar, tanto pelo aproveitamento das **ondas** quanto pela utilização da **energia das marés**, como visto na Figura 10. A esse respeito, Pena (2019, p. 4) esclarece que, no primeiro caso,

[...] utiliza-se a movimentação das ondas em ambientes onde elas são mais intensas para a geração de energia. Já no segundo caso, o funcionamento lembra o de uma hidrelétrica, pois cria-se uma barragem que capta a água das marés durante as suas cheias, e essa água é liberada quando as marés diminuem. Durante essa liberação, a água gira as turbinas que ativam os geradores.

De acordo com Sousa (2019, p. 5), o aproveitamento “[...] desse tipo de matriz energética pode ser feito por meio da energia das ondas, da energia das marés, da energia das correntes marítimas ou da energia térmica dos oceanos”.

Figura 10– Energia de Ondas e Marés



Fonte: <<https://www.assimquefaz.com/energia-das-ondas-e-das-mares>>.

A **energia solar**, Figura 11, “[...] consiste no aproveitamento da radiação solar emitida sobre a Terra. Trata-se, portanto, de uma fonte de energia que, além de inesgotável, é altamente potente, pois uma grande quantidade de radiação é emitida sobre o planeta todos os dias” (PENA, 2019b, p. 2). Existem duas formas de utilização da energia solar: a) fotovoltaica – quando as placas fotovoltaicas convertem a radiação solar em energia elétrica; b) térmica – que aquece a água e o ambiente,

convertendo a água em vapor, sendo este responsável por movimentar as turbinas que acionam os geradores (PENA, 2019b).

De acordo com Freire (2015, p. 15)), a energia solar é a mais abundante fonte de energia no planeta, podendo ser aproveitada por meio de dois tipos diferentes de usinas: fotovoltaica e heliotérmicas. Dessas duas, “[...] a tecnologia que tem se mostrado mais competitiva é a fotovoltaica”.

Figura 11– Estação de captação de energia solar



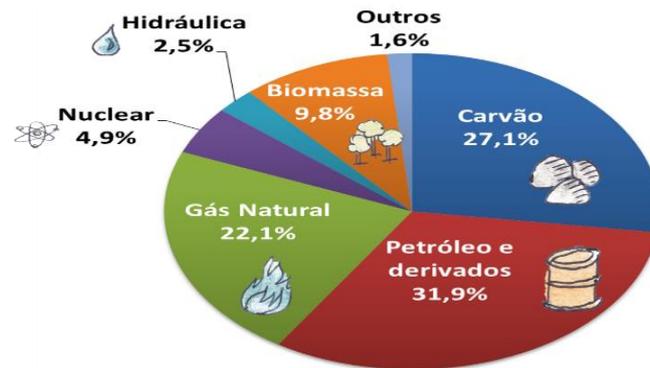
Fonte: PENA, Rodolfo F. Alves, 2019b, p.5.

5. 2 CENÁRIOS ENERGÉTICOS

5.2.1 Panorama Mundial

As fontes não renováveis de energia são, ainda hoje, a base da oferta de energia primária no mundo, sendo o consumo de fontes renováveis de apenas 10%, conforme dados publicados pelo Balanço Energético Nacional – BEN (2011). Assim, a matriz energética mundial, Figura 12, “[...] é composta por várias fontes primárias, dentre as quais se destacam petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, energia solar, energia eólica, além de energia proveniente da biomassa” (TORRES, 2012, p. 27). Nesse contexto, prevalece o consumo de energias não renováveis, assim como o aumento da demanda energética em razão do crescimento da população e do desenvolvimento tecnológico e industrial (TORRES, 2012).

Figura 12– Matriz Energética Mundial: Fontes Não Renováveis



Fonte: EPE, 2019, p. 1.

A população mundial, Figura 13, desde a mudança do nomadismo para a vida urbana, cresceu de forma incessante, resultado, principalmente, do renascimento das cidades, das descobertas do continente americano, do fortalecimento do comércio ultramarino, do advento da energia elétrica, dos avanços da medicina pós-guerra e do desenvolvimento de antibióticos, povoando o globo com incríveis 7 (sete) bilhões e meio de pessoas, de acordo com Tabela a seguir (FONTANAILLES, 2013).

Figura 13- Gráfico da Evolução do Crescimento da População Mundial



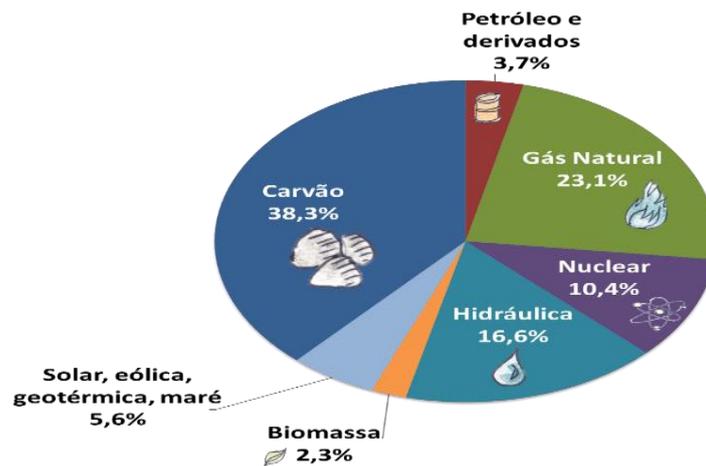
Fonte: FONTANAILLES, 2013

A prática da agricultura foi primordial para o surgimento de vilas e cidades, trazendo, no entanto, o consumo de grandes áreas que ficaram inutilizadas, provocando o aumento crescente do desmatamento. De modo semelhante, a pecuária

também contribuiu para inutilizar grandes porções de terra e, assim como a agricultura, tende a crescer cada vez mais. Nesse contexto, a instalação de usinas solares surge como uma excelente maneira de se aproveitar essas áreas desmatadas.

O crescimento da população mundial vem firmando a necessidade de aproveitamento de diversas fontes de energia. A Figura 14 representa a matriz elétrica mundial, conforme dados de 2016 da Empresa de Pesquisa Energética.

Figura 14– Matriz Elétrica Mundial:



Fonte: EPE, 2019, p.2

5.2.2 Panorama Brasileiro

Na década de 1950, iniciou-se, no Brasil, o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos no Instituto Nacional de Tecnologia – INT – e no Centro Tecnológico de Aeronáutica – CTA, atualmente Centro Técnico Aeroespacial. A partir de então, muitas experiências foram realizadas no sentido de desenvolver a geração de Energia Fotovoltaica (PINTO; GALDINO, 2014).

O Brasil, a partir da década de 1960, registrou intenso crescimento populacional, ocupando, atualmente, a quinta posição dos países mais populosos do planeta, ficando atrás apenas da China, Índia, Estados Unidos e Indonésia. De acordo com o Censo Demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população total do Brasil é de 190.755.799 habitantes. O Sudeste é a região mais populosa do País; a Região Sul ocupa o segundo lugar (FREITAS, 2019).

De acordo com Ucha (2015, p. 1),

[...] a geração de eletricidade, no Brasil, é uma das mais limpas do planeta. Do total da capacidade instalada, de 135 mil *megawatts*, apenas 26 mil correspondem à energia produzida por usinas de termoeletricidade. Isto corresponde, portanto, a menos de 20% do total (...). A hidreletricidade, energia limpa e renovável, corresponde a 66% da matriz elétrica brasileira.

Outras fontes limpas estão em franco crescimento como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2– Crescimento de Fontes Renováveis no Brasil

Fonte	2008	2015
Eólica	247 MW	5.833MW
Biomassa	4.193 MW	12.415 MW
Geração Solar	-	15MW

Fonte: elaboração do autor

A geração solar começa a aparecer, ainda que de forma lenta, no sistema elétrico brasileiro, sinalizando uma grande possibilidade para o futuro. O Ministério de Minas e Energias contratou, entre 2015 a 2018, mais de 31.500 MW de potência, dos quais, aproximadamente, 85% correspondem à geração de energias renováveis (UCHA, 2019). A Resolução nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, autarquia sob regime especial, ou seja, Agência Reguladora, Figura 15, é vinculada ao Ministério de Minas e Energia, “[...] permitiu aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, criando as regras e o sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede” (MME/RESOLUÇÃO 482/2012, p. 1).

Figura 15– Agência Nacional de Energia Elétrica



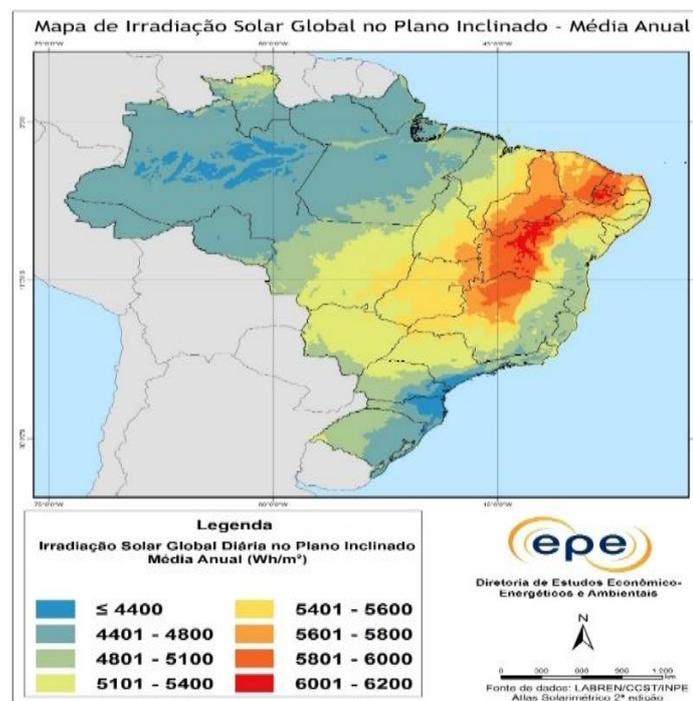
Fonte: Resolução ANEEL482/2012

Atualmente, o Brasil é considerado um dos países

[...] com maior potencial para geração de energia fotovoltaica. A maior parte do seu território encontra-se na região intertropical, permitindo que os índices alcançados sejam superiores àquele existentes na maioria dos outros países. A irradiação média anual, no Brasil, varia entre 1.200 a 2.400 KWh/m²/ano, valores significativamente superiores aos da maioria dos países europeus (INVESTRS, 2019, p. 1).

No Brasil, a maior incidência de radiação solar está localizada na Região Nordeste, conforme evidenciado na Figura 16.

Figura 16- Mapa de irradiação



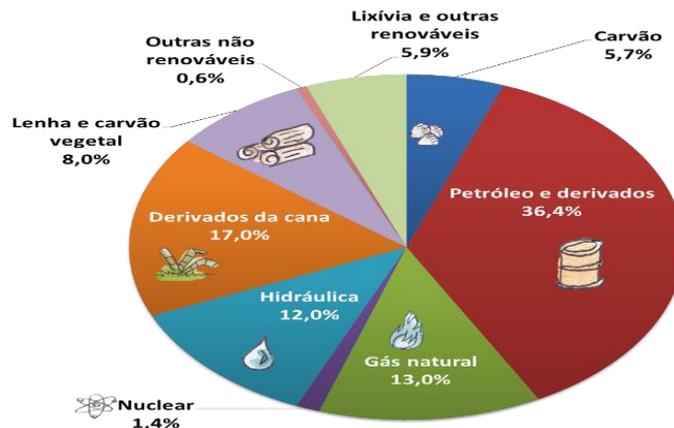
Fonte: SOUSA, Rafaela, 2019.

O Brasil, até 2030, projeta a adesão de 2,7 milhões de unidades consumidoras, abrangendo 100 bilhões de reais. Para tanto, o Brasil

[...] constituiu políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento da energia solar com a disponibilização de financiamento, incentivo à cadeia produtiva, a realização de leilões para compra de energia dessa fonte e o fomento à autoprodução de energia, através da modalidade denominada Geração Distribuída (INVESTRS, 2019, p. 2).

O Brasil “[...] possui diversos recursos energéticos em seu território, sendo que os renováveis se destacam em disponibilidade” (FREIRE, 2015, p. 31).

Figura 17– Matriz Energética Brasileira: 2017



Fonte: EPE 2019, p. 3

5.2.3 Panorama Rio-Grandense

O Estado do Rio Grande do Sul não produz petróleo. O que chega ao Estado é refinado na Refinaria de Petróleo Alberto Pasqualini, em Canoas, e na Refinaria de Petróleo Riograndense, em Rio Grande. Segundo o Balanço Energético do Rio Grande do Sul/2015, o Estado teve a capacidade de refino de petróleo em um total 9,91% da capacidade geral do País.

De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2019, p. 1), a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Estado “[...] cresceu consideravelmente nos últimos anos, passando de 1.893,8 MW em 1998 para 9.565,8 MW em 2016”. Essa ampliação permitiu, conseqüentemente, o aumento dos níveis de consumo, tanto no Rio Grande do Sul quanto no País, uma vez que o parque gerador opera através do Sistema Interligado Nacional de Geração e Transmissão – SIN. Essa capacidade instalada no Estado representa cerca de 6% da capacidade total instalada no Brasil (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2019).

A Tabela 3 demonstra a matriz de geração de energia elétrica no Estado, conforme o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2019).

Tabela 3– Geração de Energia no Rio Grande do Sul

TIPOS DE USINAS	CAPACIDADE GERADA
Hidrelétricas	57,3%
Termelétricas	20,0%
Eólica	18,5%
Solar	0,0005%

Fonte: elaboração do autor

Esses dados evidenciam o avanço da diversificação com a utilização de fontes alternativas de energia. Essa diversificação “[...] teve início com a ampliação da utilização de gás natural e de biomassa como fontes de energia e está baseada, mais recentemente, na expansão da energia eólica e na instalação de novos projetos de aproveitamento de energia solar” (ATLAS SOCIOECONÔMICOS DO RIO GRANDE DO SUL, 2019, p. 1).

A Rede Básica de Transmissão de Energia Elétrica permite o transporte e o suprimento da energia gerada às empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas de transmissão localizadas no Rio Grande do Sul: a Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE, a Rio Grande Energia – RGE e Rio Grande Energia Sul. O sistema de transmissão elétrica encontra-se também conectado ao Sistema Argentino, através das estações conversoras de Garabi e Uruguaiana, e ao Sistema Uruguaio, através das estações de Rivera-Santana do Livramento e de Candiota III-Melo.

O Estado do Rio Grande do Sul tem apresentado grande exponencial, a cada ano, na geração de energia solar, ocupando o segundo lugar no Brasil em potência instalada. Normalmente, pode-se supor que a geração de energia no Rio Grande do Sul é menor devido às baixas temperaturas que imperam no inverno. No entanto, isso não ocorre, porque

[...] as placas solares são produzidas para possuir um melhor rendimento em temperaturas de 25% Celsius no RS, essa é a temperatura média, mantendo uma excelente eficiência dos painéis solares. Outro fator importante: a radiação global média no nordeste é de 5,9Kwh/m² e na região sul é de 5,2Kwh/m², uma diferença apenas de 0,7Kwh/m² entre as duas regiões (NETTELIN, 2019, p. 1).

De acordo com informações do Investrs (2019, p. 2), o Estado do Rio Grande do Sul insere-se em um cenário com “[...] a constituição de políticas públicas para o desenvolvimento da fonte fotovoltaica e como um dos Estados com melhores condições para a constituição de sua cadeia produtiva”. O Estado conta com parque

industrial diversificado e universidades de alta competência, o que favorece o estabelecimento de “[...] parcerias para a montagem de painéis solares e prestação de serviços para geração distribuída” (INVESTRS, 2019, p. 2).

Destaca-se, ainda, que

[...] interessante projeto da Ala 3 da Força Aérea Brasileira – FAB, estabelecida na cidade de Canoas, vem se tornando modelo para futuras iniciativas. A Ala 3 cederá, durante 25 anos, uma área de 20 hectares para a construção de uma usina fotovoltaica, na qual parte da energia será utilizada pela própria Base Aérea e o restante poderá ser vendido no mercado livre pela empresa administradora do empreendimento. A partir desse projeto, outras bases aéreas do Estado, como a de Santa Maria, estão estudando modelo semelhante (INVESTRS, 2019, p. 2)..

O nível de incidência solar, no Rio Grande do Sul, é potencialmente elevado, o que, conseqüentemente, garante abastecimento para geração de energia durante todo o ano, especialmente nos meses de verão. Segundo o *site* TSENERGY (2017, p. 2), a maior incidência solar

[...] está no interior, a oeste do estado, passando pelas cidades de Uruguaiana, São Borja, Alegrete e Santiago, seguido pela parte mais central, incluindo a região das cidades de Santa Maria, São Gabriel, Cachoeira do Sul, Passo Fundo e Erechim, a capital Porto Alegre e seus arredores, a região turística de Gramado e Canela até Pelotas e quase toda a extensão litoral do estado.

De acordo com informação da Nettelin (2019, p. 1), no ano de 2018, o Rio Grande do Sul possuía “[...] cerca de 4 mil sistemas de energia solar instalados no estado, gerando um total de 46 mil kW”. A posição assumida pelo Rio Grande do Sul quanto à geração distribuída de energia solar resulta de alguns fatores favorecedores, como: a) valores cobrados pelas concessionárias de energia, ou seja, “[...] quanto maior a tarifa de energia, mais compensa investir na geração própria de energia a partir de um sistema fotovoltaico” (INCENTIVESOLAR, 2018, p. 2); b) isenção do ICMS sobre a geração distribuída conforme sugerida pelo Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ (NETTELIN, 2019, p. 2).

Em dezembro de 2016, foi inaugurada a primeira usina solar do Rio Grande do Sul, localizada no Noroeste do estado, na cidade de Boa Vista das Missões, local escolhido pela elevação do terreno e por ter menor incidência de cerração. A usina de energia solar “[...] conta com cerca de mil placas solares distribuídas em 25 painéis, que garantem a geração de 257 kW de energia” (INVESTRS, 2019, p.3). A lei de

isenção de ICMS mostrou-se como um fator impulsionador para a instalação dessa usina de fonte renovável.

5.2.3.1 Santa Maria

O Município de Santa Maria, conhecido por Santa Maria da Boca do Monte, possuía, em 2018, uma população estimada em 280.505 pessoas, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018). É considerada uma cidade de porte médio, situada na Região Central do Rio Grande do Sul, sendo conhecida como município “Coração do Rio Grande”, Figura 18. Foi fundada oficialmente em 06 de abril de 1876. É considerada cidade universitária por abrigar diversas instituições de Ensino Superior, dentre as quais se destaca a Universidade Federal de Santa Maria. No aspecto urbano do Rio Grande do Sul, Santa Maria é a 5ª maior cidade do Estado em população, depois de Porto Alegre, Caxias do Sul, Pelotas e Canoas (IBGE, 2018).

Em relação à energia, Santa Maria possui linhas de transmissão da Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE, sendo a distribuição feita pela Rio Grande Energia – RGE/Sul.

Figura 18– Localização de Santa Maria no Rio Grande do Sul



Fonte: Agência de Desenvolvimento de Santa Maria, 2019, p. 2.

5.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Dentre as fontes de energia renováveis, encontra-se a energia solar, que pode ser aproveitada na forma de calor ou na forma de luz.

5.4.1 Fundamentos Científicos Precursores

O efeito fotovoltaico “[...] que gera eletricidade a partir da luz do sol, foi observado, pela primeira vez, em 1839 por Becquerel. Consiste, essencialmente, em converter em eletricidade a energia luminosa que incide sobre células solares, que são materiais semicondutores convenientemente tratados” (ZILLES, 2012, p. 117).

Max Karl Ernst Ludwig Planck, cientista alemão, nasceu em 1858 e recebeu seu doutorado em 1879. Seus primeiros trabalhos foram sobre termodinâmica, tendo realizado, também, estudos sobre entropia, termoeletricidade e soluções diluídas. Os problemas sobre radiação chamaram sua atenção. Em 1900, anunciou a relação entre energia e frequência de radiação – $E=h.f$, sendo E a energia, f a frequência e h a constante universal. Explicou que esta constante “[...] foi baseada na ideia revolucionária de que a energia emitida por um corpo negro só poderia assumir valores discretos conhecidos como quanta (palavra vinda do latim). Um quantum seria um pacote de energia emitido e quanta é plural de quantum” (VIANNA, 2006, p. 2). Sua descoberta foi determinante para a física atômica, abrindo caminho para a teoria de Einstein, a qual explica o **efeito fotoelétrico**.

Cinco anos após os trabalhos de Planck, Albert Einstein, físico alemão,

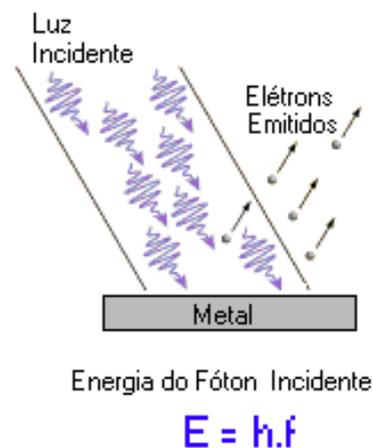
[...] propôs uma nova hipótese, estendendo a ideia de quantificação agora para um novo domínio. É que, no final do século XIX, uma série de experiências revelaram que elétrons são emitidos de uma superfície de metal, quando a mesma é atingida por luz de frequência suficientemente alta (por exemplo, luz ultravioleta). Esse fenômeno passou a ser conhecido como efeito fotoelétrico (IF/UFRGS, 2019, p. 1).

A teoria do efeito fotoelétrico discordava da teoria clássica (eletromagnetismo), que, na época,

[...] dava um tratamento ondulatório aos fenômenos luminosos. É importante lembrar aqui que, embora Planck anos antes, tivesse pressuposto que a energia irradiada por um objeto aquecido emerge de maneira descontínua, Planck não duvidava que ela se propagava no espaço de maneira contínua, na forma de ondas eletromagnéticas (IF/UFRGS, 2019, p. 1).

Para resolver os problemas observados, relativamente ao efeito fotoelétrico, Figura 19, Einstein recorreu à organização, propondo que a “[...] luz não só é emitida como um quantum num determinado instante, mas também se propaga como quanta individuais. De posse desta hipótese, foi possível, de imediato, explicar o efeito fotoelétrico” (IF/UFRGS, 2019, p. 1). Em 1921, Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física pelo experimento que comprovou o efeito fotoelétrico, ou seja, a experiência “[...] consistia em emitir certas frequências de luz sobre uma chapa metálica e observar o posterior desprendimento de elétrons da mesma” (VIANNA, 2019, p. 2).

Figura 19– Efeito Fotoelétrico



Fonte: IF/UFRGS, 2019

Neste caso, “[...] a energia de cada fóton incidente seria dada por $E=h.f$, onde “h” é a constante de Planck e “f”, a frequência da luz incidente” (IF/UFRGS, 2019, p. 1). A importância dessa teoria formulada por Einstein reside no fato de que ele estava propondo que “[...] fenômenos luminosos como reflexão, refração. Difração e interferência que, na época, eram perfeitamente explicados como fenômenos ondulatórios, poderiam ser considerados como pequenas partículas, ou grãos de energia eletromagnética” (IF/UFRGS, 2019, P. 1). Ressalta-se que Einstein, nessa proposta, retoma as ideias de Isaac Newton (1700) que, no início do século XX, eram consideradas obsoletas.

5.4.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

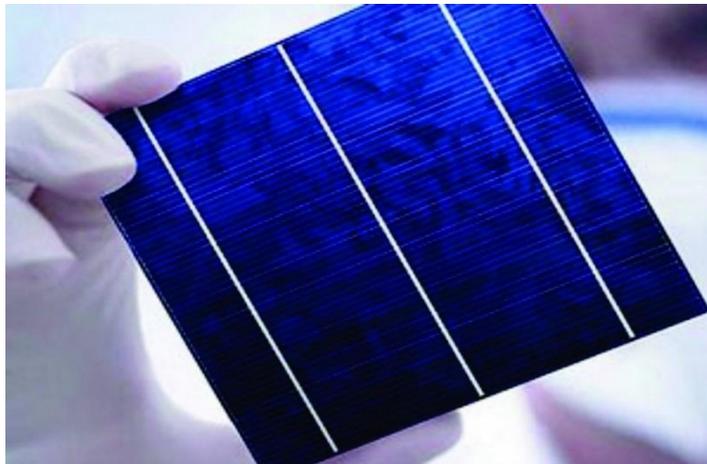
A energia solar pode ser aproveitada sob duas formas: na forma de calor e na forma de luz. Na forma de calor, “[...] os raios do sol atingem a superfície dos painéis

coletores térmicos, que aquecem a água no seu interior” (EPE, 2019, p. 5). A água pode ser aproveitada em chuveiros, piscinas, torneiras, máquina de lavar, entre outros processos residenciais. A eletricidade também pode ser gerada diretamente a partir da luz, nos painéis fotovoltaicos, ou através do aproveitamento do calor, nas usinas heliotérmicas (EPE, 2019).

A energia elétrica por meio da luz solar “[...] pode ser obtida de duas formas: direta, por meio de painéis de células fotovoltaicas ou por meio de coletores instalados no telhado das residências; indireta, por meio de usinas, construídas em áreas em que a insolação é abundante, onde são instalados inúmeros coletores solares” (SOUSA, 2019, p. 6).

A célula fotovoltaica, Figura 20, é a unidade básica do sistema fotovoltaico. O tipo de célula fotovoltaica mais utilizado é a de silício cristalizado (I3E, 2019).

Figura 20– Célula Fotovoltaica de Silício



Fonte: I3e, O que é e como funciona uma célula fotovoltaica – 2019c

As **células fotovoltaicas de silício** (Si) constituem a parte mais importante do painel solar fotovoltaico. As placas fotovoltaicas utilizam dois tipos de silício. No intento de criar carga negativa, combina-se o silício com Fósforo; para criar carga positiva, o silício é combinado com o Boro. Assim, a

[...] camada n orientada para o sol está dopada negativamente com elementos do V grupo da tabela periódica, como por exemplo o fósforo, e a camada p inferior, está dopada positivamente com elementos do III grupo da tabela periódica como por exemplo o boro, nas suas partes frontal e posterior são impressos contatos metálicos (TIMANE, 2010, p. 9)

Pinho e Godinho (2014, p. 50) esclarecem que a “[...] energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito

Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão”. Os mesmos autores (2014, pp. 50-51) explicam, ainda, que as principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos se classificam em três gerações.

A primeira geração “[...] é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir melhor eficiência comercialmente disponível”.

A segunda geração, “[...] comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira, tendo modesta participação no mercado.

A terceira geração é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV).

A placa solar ou painel solar, Figura 21, é

[...] composto por células fotovoltaicas que são fabricadas de materiais semicondutores como o silício. A geração de corrente elétrica ocorre quando os fótons (partículas de luz solar) colidem com os átomos do material do painel solar, provocando, assim, o deslocamento dos elétrons e, por consequência, a corrente elétrica que carrega uma bateria (PORTAL SOLAR, 2019c, p. 3).

Figura 21– Composição do Painel Fotovoltaico



Na **construção do Painel Solar Fotovoltaico**, cada célula fotovoltaica é colocada, de forma plana, em série, uma após a outra.

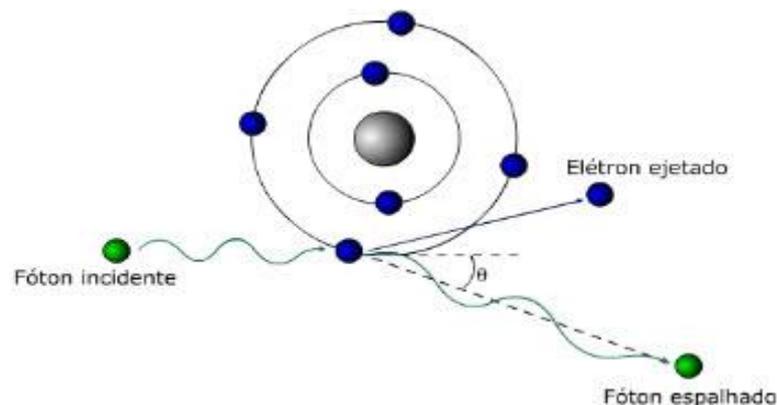
As células fotovoltaicas individuais “[...] são conectadas usando uma faixa condutora extremamente fina. Esta tira é tecida de cima para baixo de cada célula, de modo que todas as células fotovoltaicas do painel solar fotovoltaico estejam ligadas, assim criando um circuito” (PAINEL FOTOVOLTAICO, 2019c, p. 3). A série de células fotovoltaicas recebe a cobertura de uma lâmina de vidro temperado, tratado com uma substância antiaderente e antirreflexo, emoldurado usando um quadro de alumínio. Na parte de trás do painel fotovoltaico solar

[...] há dois condutores provenientes de uma pequena caixa preta (caixa de junção). Esses cabos são usados para ligar os painéis solares fotovoltaicos (placas fotovoltaicas) em conjunto, formando uma série de painéis fotovoltaicos. Esse conjunto de painéis fotovoltaicos é então conectado através de cabos de corrente contínua ao inversor solar (PORTAL SOLAR, 2019c, p. 3).

Fótons são as partículas de luz que viajam do Sol à Terra, em um tempo de percurso de cerca de 8 minutos e 20 segundos. Segundo o Portal Solar (2019c, pp. 4-5), o processo que gera eletricidade ocorre da seguinte maneira:

a) Quando os fótons atingem as células fotovoltaicas, eles fazem com que alguns dos elétrons se desprendam, Figura 22.

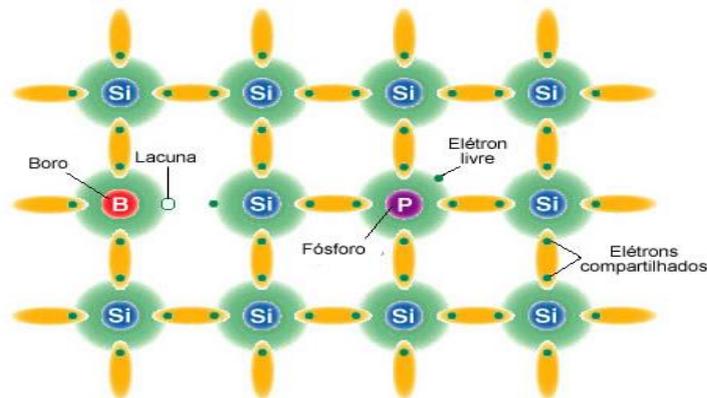
Figura 22– Desprendimento do elétron



Fonte: Toda Matéria, Efeito Fotoelétrico, 2019.

b) Estes elétrons livres vão migrar, através da corrente elétrica, para a parte da célula de silício que está com ausência de elétrons, Figura 23.

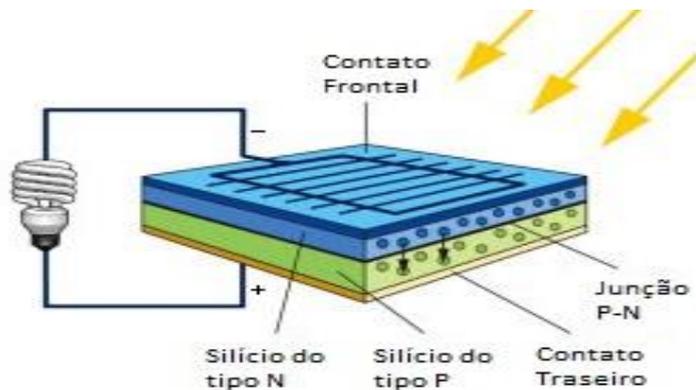
Figura 23– Silício P e Silício N



Fonte: InfoEscola, Dopagem eletrônica, 2019.

c) Durante o dia todo, os elétrons irão fluir em uma direção constantemente, deixando átomos e preenchendo lacunas em átomos diferentes. Este fluxo de elétrons cria uma corrente elétrica ou o que se chama Corrente Contínua, Figura 24.

Figura 24– Geração de corrente contínua



Fonte: Super Renova Energia, Como Funciona a Captação da Energia Solar e sua Transformação para Energia Elétrica, 2019

Os Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede, Figura 25, são classificados, de acordo com Lisita Júnior (2005), como de grande porte (centrais fotovoltaicas) e de pequeno porte (descentralizada e instalada em edificações urbanas). As grandes centrais foi a forma primeira de construir os Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede, sendo a energia entregue em alta tensão e transmitida até os centros consumidores de modo semelhante aos sistemas convencionais, seguindo o padrão das usinas hidrelétricas, ou seja, “[...] quanto maior a capacidade de produção de uma usina, menor é o preço da energia produzida” (LISITA JÚNIOR, 2005, p. 13). Isso, no entanto, não se concretizou: as grandes construções não fizeram o preço da energia

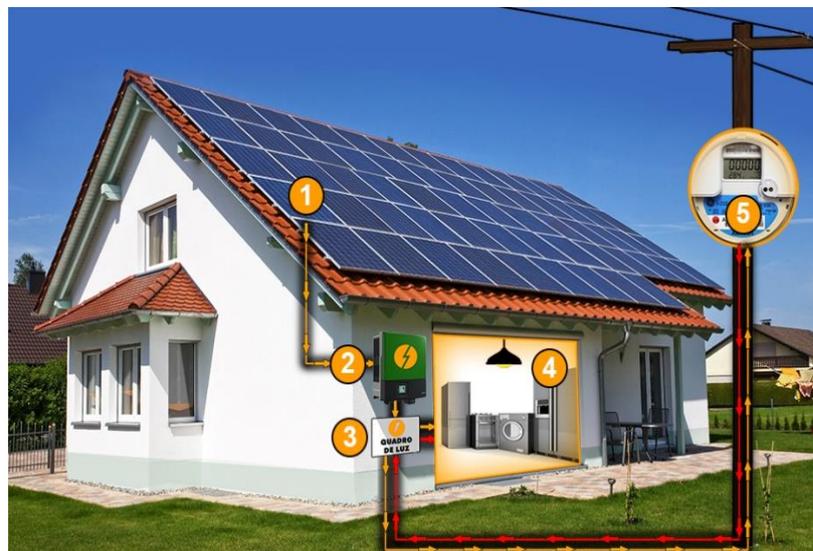
fotovoltaica diminuir. Lisita Júnior (2005, p. 14) explica que essa situação ocorre porque

[...] o rendimento dos módulos não está relacionado com o tamanho da instalação e sim com o desenvolvimento tecnológico da produção das células e com a economia de escala dessa fabricação. A quantidade de energia elétrica produzida depende da quantidade de módulos instalados e o preço destes não varia de forma significativa para uma grande instalação, não afetando o valor da energia produzida.

A produção de energia conectada à rede elétrica de baixa tensão é constituída pelos módulos fotovoltaicos montados diretamente nas edificações, coberturas de estacionamentos, áreas livres, dentre outras. Conforme esclarece Lisita (2005, p. 18), essas edificações “[...] serão alimentadas pela energia elétrica produzida por esses módulos, através de um inversor cc/ca, concomitantemente com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão na qual estão interligadas”. A instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede é a forma que mais tem se desenvolvido no mundo, porque, conforme afirma Freire (2015, p. 7),

[...] o avanço das fontes renováveis de energia, mais do que inevitável, é desejável, dados os inúmeros benefícios agregados que podem ser sintetizados no desenvolvimento sustentável, onde se obtém o equilíbrio do crescimento socioeconômico com a preservação do meio ambiente para as gerações atual e futura.

Figura 25– Funcionamento do Sistema Solar Fotovoltaica



Fonte: Portal Solar, Sistema Fotovoltaico: como Funciona a Energia Solar, 2019^a.

A Figura 25 apresenta os passos de funcionamento do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica, conforme definido no Portal Solar (2019a, pp. 2-3):

1 – O Painel Solar gera a energia solar fotovoltaica. O Painel Solar reage com a luz do sol e produz energia elétrica (energia fotovoltaica). Os painéis solares são instalados sobre o telhado do prédio (voltados para o Norte), são conectados uns aos outros e, em seguida, conectados ao Inversor Solar.

2 – O Inversor Solar converte a energia solar para a residência ou empresa. Converte a energia solar dos painéis fotovoltaicos (Corrente Contínua - CC) em energia elétrica (Corrente Alternada - CA) que pode ser usada para a TV, computador, máquinas e qualquer equipamento elétrico.

3 – A Energia Solar convertida pelo inversor vai para o “quadro de luz” e é consumida pela residência/empresa ou injetada na rede de distribuição.

4 – A Energia Solar é usada por utensílios e equipamentos elétricos. A Energia Solar pode ser usada para TVs, aparelhos de som, computadores, lâmpadas, motores elétricos e tudo aquilo que usa energia elétrica e estiver conectado à tomada.

5 – O excesso de energia gera créditos. O excesso de eletricidade volta para a rede elétrica através do relógio de luz bidirecional, que mede a energia da rua que é consumida quando não tem sol e, a energia solar gerada em excesso e injetada na rede da distribuidora. A energia solar que vai para a rede vira “créditos de energias” para serem utilizados à noite ou nos meses subsequentes. Os “créditos de energias” são medidos em kWh. Para cada 01 kWh gerado em excesso, é atribuído um crédito de 01 kWh.

Esses créditos são regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, cujas regras variam de acordo com a localização e a classe de consumo (residencial, comercial, industrial). As Resoluções Normativas números 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceram as condições gerais para a conexão à rede da microgeração (potência instalada menor ou igual a 75 kWp) e minigeração (potência instalada entre 75 kWp e 5 MWp) distribuída no Brasil e criaram o Sistema de Compensação de Energia.

Na Figura 26, podemos identificar as etapas de instalação de um Sistema Fotovoltaico conectado rede.

Figura 26– Etapas para Instalação e Conexão do Sistema Fotovoltaico à Rede

COMO CONECTAR O SEU SISTEMA À REDE DISTRIBUIDORA
passo-a-passo junto à distribuidora para instalar e conectar o seu sistema fotovoltaico à rede

- 1** **SOLICITAÇÃO DE ACESSO**
é feita por meio de formulário próprio, a ser encaminhado para a sua distribuidora.
- 2** **EMISSÃO DE PARECER DE ACESSO**
a distribuidora deve emitir o parecer em até 15 dias* para microgeração, ou 30 dias* para minigeração.
- 3** **INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO**
após o parecer, prossiga com a instalação dos equipamentos conforme apresentado na solicitação.
- 4** **SOLICITAÇÃO DA VISTORIA DA INSTALAÇÃO**
em até 120 dias da emissão do parecer, solicite à distribuidora a vistoria para conferir a conformidade da instalação.
- 5** **VISITA DE VISTORIA**
no prazo de 7 dias um profissional da distribuidora irá até a sua propriedade fazer a vistoria da instalação.
- 6** **RELATÓRIO**
a distribuidora tem mais 5 dias para fazer um relatório caso sejam detectadas pendências na sua instalação.
- 7** **REGULARIZAÇÃO DAS PENDÊNCIAS**
havendo pendências na instalação, regularize a situação e peça nova vistoria à distribuidora.
- 8** **APROVAÇÃO**
após a vistoria que verifique que a instalação está adequada, a distribuidora tem 7 dias para aprovar o ponto, trocar a medição e iniciar o sistema!

* o prazo dobra se houver necessidade de obras na rede elétrica.

PRAZOS MÁXIMOS DA DISTRIBUIDORA SEM OBRAS:
Microgeração Distribuída (até 75kW) : 34 dias
Minigeração Distribuída (de 75kW até 5MW) : 49 dias

Fonte: ANEEL. Essencial para a energia. Essencial para o Brasil.

www.portalsolar.com.br



Fonte: Portal Solar – A Regulamentação dos Créditos de Energia Solar, 2019b.

Sistema fotovoltaico *on grid* significa conectado à rede, quer dizer que o Gerador Solar Fotovoltaico está conectado à rede da concessionária de energia elétrica local (HALUCHE, 2019, pp. 2-5). A instalação e manutenção desse sistema precisa atentar “[...] as condições que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens” (ABNT/NBR 5.410, 2008, p. 1). Essa Norma foi complementada pela ABNT, NBR 16.690/2018. Dentre essas condições, destacam-se, de acordo com Haluche (2019):

- realização de conexões e cabos elétricos utilizando terminais apropriados, ferramentas corretas e que sejam conferidas mais de uma vez; caso houver alguma folga ou contato inadequado, “[...] ocorre um ponto quente no sistema, causando perdas, danificando componente e até causando a formação de arcos elétricos, resultando em choques e incêndios” (p. 2). A utilização de cabos exclusivos para energia solar é imprescindível, sendo obrigatória a dupla isolação nos condutores. Há diversos fatores que diferenciam os cabos solares dos demais: “[...] o cabo tem proteção aos raios UV, suporta uma sobrecarga que o leve à temperatura de 120°C por 20000 horas, é de cobre estanhado para melhorar a condutividade e também a corrosão, e, por fim, passa por ensaios diferentes dos cabos comuns (p. 2);

- escolha apropriada dos equipamentos, considerando-se que cada instalação é única, requerendo a análise de caso a caso e o atendimento às normas técnicas;

- consideração pela escolha correta da estrutura de fixação, de acordo com a NR 35, analisando, por exemplo, o tipo de telha e o tipo de fixação requerida, assim como a inspeção da estrutura do telhado, a fim de comprovar que a mesma suporta o peso do sistema, Figura 27;

Figura 27– Problemas com Estrutura



Fonte: HALUCHE, João, 2019, p. 3.

- aterramento correto e dentro das especificações da NBR 5.410 e NBR 5.419, tendo em vista que

[...] alguns inversores precisam ter a referência do terra para funcionar e, em caso de surtos de tensão, por exemplo, para que o DPS (dispositivo de proteção contra surtos) atue de maneira correta, ele deve estar conectado a um sistema de aterramento confiável (p. 4);

- conhecimento das normas do setor elétrico pelos profissionais da área: NBR 5.410 (instalações elétricas em baixa tensão); NBR 5.419 (proteção contra descargas atmosféricas); NBR 16.690 (em elaboração, baseada na IEC 62.548 *Photovoltaic – PV arrays – Design requirements*);

- uso de ferramentas adequadas e específicas é uma condição fundamental na instalação do sistema fotovoltaico, considerando-se que

[...] as conexões são pontos críticos em sistemas fotovoltaicos e para a correta realização dessas conexões é imprescindível que sejam feitas com as ferramentas corretas, pois só assim se garante que não haja fugas de correntes, pontos quentes, arcos elétricos, choques elétricos e incêndios (p. 4).

- realização de uma série de testes e ensaios com o propósito de confirmar que a instalação foi feita de modo adequado. Um eficiente comissionamento “[...] é capaz de sinalizar diversos defeitos em uma instalação, logo, se realizado completamente,

minimiza, em grande parte, os riscos dessas instalações e, se forem encontradas anomalias, estas devem ser reparadas antes da homologação do sistema” (p. 5). Os procedimentos para a realização do comissionamento dos sistemas de energia fotovoltaicos encontram-se elencadas na NBR 16.274.

Lisita (2005, pp. 25-26) relaciona outros cuidados que deverão ser observados, quando da instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede:

- escolha de local que possua incidência de radiação solar na maior parte do dia, evitando sombras provenientes de árvores, de tubulação de ventilação e de estruturas existentes;
- montagem da estrutura de suporte dos módulos fotovoltaicos que favoreça tanto a instalação quanto à manutenção;
- atenção para não ferir a estética, mantendo a harmonia arquitetônica da edificação onde deverão ser montados os painéis;
- instalação dos módulos voltados para o Norte para melhor ângulo de incidência solar. O mais próximo possível do ponto de conexão, diminuindo o comprimento dos cabos elétricos que conduzirão a energia produzida em corrente contínua até o inversor;
- utilização de estruturas que atendam às seguintes exigências: suportar ventos de até 150 km/h; posicionar os módulos a uma altura de, no mínimo, de 1 (um) metro do solo; utilizar materiais não corrosivos, como o ferro galvanizado e o alumínio.

Lisita (2005) ainda aponta que, para a condução da corrente contínua, deverão ser utilizados cabos que limitem ao máximo a queda de tensão. Para maior segurança das instalações, algumas medidas precisam ser adotadas: ser unipolares; possuir duplo isolamento; estar separados por polos (positivo e negativo) e em eletrodutos distintos; possuir caixas de passagem e de conexão, com boa vedação e isolamento, e também separados por polos; possuir isolamento que suporte temperaturas elevadas.

5.4.3 Resoluções Normativas para Instalação da Energia Fotovoltaica distribuída

5.4.3.1 Resolução Normativa nº 482/2012 – ANEEL

A Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – tem, como principal finalidade, fiscalizar e regular a produção,

comercialização e transmissão de energia elétrica de acordo com as políticas públicas federais. A Resolução Normativa 482 foi promulgada em 17 de abril de 2012, tendo, como objetivo, regulamentar acerca do acesso à mini e microgeração distribuída, definindo como o consumidor brasileiro pode produzir sua própria energia. Inicialmente, todo consumidor

[...] ativamente cadastrado no Ministério da Fazenda, por um CPF ou um CNPJ, tem concessão para conectar um sistema gerador de energia elétrica próprio, oriundo de **fontes renováveis** (hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada), paralelamente às redes de distribuição das concessionárias (SANTANA, 2016, p. 2).

Entende-se por minigeração o sistema gerador de energia elétrica com potência instalada superior a 100 (cem) kW e menor ou igual a 01 (um) MW, que utilize fontes renováveis. A microgeração é o sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada inferior ou igual a 100 (cem) kW e que, também, utilize fontes renováveis. Estes limites foram posteriormente modificados pela Resolução Normativa nº 687.

O sistema de compensação de energia elétrica é aquele no qual “[...] a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa” (ANEEL/RESOLUÇÃO 482, Artigo 2º, 2012).

A Resolução 482/2012 regulamenta, ainda, como o excedente de energia produzido poderá ser armazenado, criando, assim, créditos para o consumidor, ou seja, o sistema de compensação de energia elétrica. Santana (2016, p.3) explica que nesse sistema

[...] toda a energia ativa, em Watts, injetada na rede pelo sistema gerador de uma unidade consumidora, é emprestada gratuitamente à distribuidora local e, posteriormente, compensada sobre o consumo de energia elétrica ativa, também em Watts, dessa mesma unidade consumidora ou de outra.

Essas unidades consumidoras devem pertencer ao mesmo titular – CPF ou CNPJ, sendo que a unidade geradora deve, necessariamente, ser a primeira a ter seu consumo compensado. A energia gerada e não utilizada será registrada pelo medidor e enviada para a rede pública de energia elétrica. Os créditos energéticos não consumidos permanecem válidos pelo prazo de até 36 (trinta e seis) meses. Havendo necessidade de instalar sistema gerador com potência superior à definida para o grupo A (com tensão igual ou superior a 2,3 kW) e para o grupo B (tensão inferior a

2,3 kW), “[...] o consumidor tem a possibilidade de solicitar aumento da demanda contratada” (SANTANA, 2016, p. 3).

Para a cobrança da taxa mínima para cada grupo de consumidores, ficou definido: grupo A deve ser cobrado, no mínimo, o valor referente à demanda contratada, pois pode ocorrer que a geração supra totalmente o consumo ativo de energia elétrica; nos demais casos, “[...] o faturamento se dá pelo consumo de energia (ativo e reativo) nos horários de ponta e fora de ponta, já subtraídos os créditos energéticos do sistema de compensação no mesmo horário em que foi gerado” (SANTANA, 2016, p. 4). Para o grupo B, é prevista a cobrança, no mínimo, do valor referente ao custo de disponibilidade de acesso à rede, sempre que não houver consumo ativo faturado. Custo de Disponibilidade é o valor cobrado de todos os consumidores desse grupo, a fim de que a concessionária possa manter seus serviços operacionais (ANEEL/RESOLUÇÃO 482, artigo 7º, 2012).

5.4.3.2 Resolução Normativa nº 687/2015 – ANEEL

A Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015 trouxe atualizações à Resolução nº 482/2012, impactando o mercado de energia elétrica para micro e minigeradores distribuídos. Em primeiro lugar, a nova Resolução diminuiu “[...] o processo burocrático para a inserção de centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica, beneficiando, também, de forma direta, a mão-de-obra capacitada, com o surgimento de novos postos de trabalho” (SANTANA, 2016, p. 5).

Dentre outras alterações na Resolução nº 482, destacam-se:

- aumento no prazo para a utilização dos créditos energéticos, que passou de 36 (trinta e seis) para 60 (sessenta) meses;
- mudança no período para aprovação do Sistema Fotovoltaico junto à concessionária que reduziu de 82 (oitenta e dois) para 34 (trinta e quatro) dias;
- alteração na potência permitida para a microgeração de até 100 kW para 75 kW e, na minigeração, a potência permitida era de 100 kW a 1 MW e passa a valer dos 75 kW aos 5 MW.

Para os condomínios verticais e/ou horizontais, a utilização de energia elétrica é utilizada de forma independente, sendo que

[...] cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do

proprietário do empreendimento, microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contígua, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL/RESOLUÇÃO 687, artigo 2º, VI).

As Resoluções Normativas números 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceram as condições gerais para a conexão à rede da microgeração (potência instalada menor ou igual a 75 Wp) e minigeração (potência instalada entre 75 Wp e 5 Wp) distribuída no Brasil e criaram o Sistema de Compensação de Energia. Dentre as condições gerais para a conexão dos sistemas de energia solar fotovoltaica na rede de energia elétrica, são destacados, conforme as Resoluções Normativas supracitadas:

- a fim de aderir ao Sistema de Compensação, o requerente deve ser um “consumidor cativo”, ou seja, todos aqueles que compram sua energia diretamente da distribuidora;

- a potência máxima a ser instalada é de 5.000 kWp, aproximadamente 35.000 m² de painéis solares;

- a tributação desse tipo de energia foi regulamentada em 2015 pelo Conselho Nacional da Política Fazendária/Ministério da Fazenda, sendo que alguns Estados Brasileiros ainda não isentaram a energia solar do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, conforme dados vigentes em 2018: Amazonas, Paraná, Santa Catarina. O Governo Federal, através da Lei 13.169, isentou o Programa de Integração Social – PIS e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS para a energia solar injetada na rede;

- o Sistema de Energia Solar Fotovoltaica não pode ter uma potência maior que a demanda contratada;

- a energia gerada em excesso, que é injetada na rede da distribuidora, será “emprestada” para a distribuidora, ocorrendo, assim, um “crédito” de energia para o consumidor. O crédito tem validade por 60 (sessenta) meses;

- o excesso de energia produzida, que não for compensado no local que produziu, poderá ser utilizado para compensar o consumo de outros locais, desde que cadastrados para esse fim e atendidos pela mesma distribuidora de energia cujo titular seja o mesmo, tanto para pessoas físicas como para empresas. Em caso de consumidores diferentes (cooperativas, consórcios ou empresas) deverá ser assinado

um contrato entre os interessados e destes com a distribuidora, desde que os beneficiados estejam dentro da mesma área de cobertura da distribuidora de energia;

- o custo pela aquisição do relógio bi-direcional é de responsabilidade do consumidor;

- a energia solar pode ser utilizada em condomínios, sendo repartilhada entre os condôminos, utilizando-a tanto nas áreas comuns como pode ser compartilhada entre todas as contas de luz dos condôminos (ANEEL/RESOLUÇÃO 687, 2019).

5.4.3.3 Revisão das Resoluções Normativas da ANEEL

A ANEEL realiza, atualmente, a revisão da Norma que trata da mini e microgeração distribuída. Para tanto, a ANEEL estabeleceu, como mostra a Tabela 4, 06 (seis) cenários:

Tabela 4: Proposta de mudança no Sistema de compensação energética.

Cenário	Cobrança	Efetividade
0	0	100%
1	28%	72%
2	34%	66%
3	41%	59%
4	49%	51%
5	63%	37%

Fonte: elaborada pelo autor

- Situação 0: injeção de energia elétrica na rede que poderá ser utilizada de volta na mesma medida, sem custo; Situação vigente no momento.

- Situação 1: injeção de energia elétrica na rede e, quando for utilizada de volta, acontecerá a cobrança de 28% sobre o valor injetado (kWh); Representando um retorno de 72% da energia injetada na rede.

- Situação 2: injeção de energia elétrica na rede e, quando for utilizada de volta, acontecerá a cobrança de 34% sobre o valor injetado (kWh); Representando um retorno de 66% da energia injetada na rede.

- Situação 3: injeção de energia elétrica na rede e, quando for utilizada de volta, acontecerá a cobrança de 41% sobre o valor injetado (kWh); Representando um retorno de 59% da energia injetada na rede.

- Situação 4: injeção de energia elétrica na rede e, quando for utilizada de volta, aconteceria a cobrança de 49% sobre o valor injetado (kWh); Representando um retorno de 51% da energia injetada na rede.

- Situação 5: injeção de energia elétrica na rede e, quando for utilizada de volta, aconteceria a cobrança de 63% sobre o valor injetado (kWh); Representando um retorno de 37% da energia injetada na rede. (ANEEL, 2019).

Essas propostas de alterações ainda estão em estudo. Assim, há de se considerar dois princípios apresentados pela ANEEL em relação à proposta:

- eventuais alterações acontecerão de **forma gradual e previsível**. Mesmo que a nova resolução ocorra em 2019, “[...] as alterações ao **mecanismo de compensação não aconteceriam de forma imediata** – seriam ativadas quando gatilhos específicos, medidos em potência acumulada, fossem atingidos” (BROENERGY, 2019, p. 2);

- **haverá uma regra de transição para estas alterações**: até a promulgação da nova regulamentação, os sistemas de mini e microgeração distribuída

[...] continuarão tendo seus créditos de energia elétrica compensados conforme o modelo atual, **por um período de 25 anos**, estando, posteriormente, sujeitos à nova regra. Já aqueles conectados entre a publicação da regra atualizada e o acionamento do primeiro gatilho, compensariam créditos pelo modelo atual por um período de 10 anos (BROENERGY, 2019, p. 3).

O processo de revisão das Regulamentações da ANEEL tem, como objetivos principais, conforme aponta Teixeira (2015, p. 1): “[...] reduzir as barreiras ainda existentes à conexão dos micro e minigeradores às redes das distribuidoras; compatibilizar as regras do sistema de compensação de energia elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento; aumentar o público alvo e realizar aperfeiçoamento na regra”. Há previsão de que a alteração da Resolução Normativa nº 482/2012 entre em vigor no segundo setor de 2019, somente para novas conexões, ficando preservados os direitos adquiridos

São pontos relevantes destacados, até então, na revisão da Norma 482/2012 que regula a geração distribuída de energia no Brasil, conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (2019):

- garantia regulatória de 25 (vinte e cinco) anos para quem instalar o Sistema Fotovoltaico ainda em 2019;

- a energia injetada na rede receberá valor inferior à energia consumida, a fim de renumerar custos das distribuidoras com a própria rede, procurando manter a viabilidade econômica da geração distribuída;

- a revisão da Norma teve início em 2018 com a busca de parâmetros para o cálculo dos efeitos da Regulamentação para diferentes segmentos: concessionárias, população em geral, consumidores com ou sem sistemas solares, resultando em uma planilha, de modo a quantificar os diversos efeitos, intentando equilibrar os benefícios e divulgar a planilha através da Análise de Impacto Regulatório 0001/2019.

- realização de Audiências Públicas em Brasília (21/02/2019), São Paulo (14/03/2019), Fortaleza (11/04/2019) com a finalidade de proceder à revisão da Regulamentação nº 482/2012 da ANEEL.

6 PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nesta seção, será apresentada a análise financeira da instalação de um Sistema Fotovoltaico no município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul.

Todas as tabelas se referem à residência com consumo mensal médio de 1233,1 kWh. Abastecida pela distribuidora RGE Sul, que ocupa a quadragésima posição no ranking nacional da ANEEL de tarifas mais onerosas ao consumidor. E a décima primeira no que se refere apenas à região Sul.

As tabelas têm por objetivo demonstrar os impactos da instalação de sistema fotovoltaico tanto na atual situação regulamentada pela resolução 482/2012, como em duas situações da proposta de revisão da resolução feita pela ANEEL em janeiro de 2019. Foram coletados dados de consumo de uma unidade familiar e reproduzidas 3 situações de aplicação do sistema:

- Unifamiliar com aplicação da situação 0 (atual).
- Unifamiliar com aplicação da situação 1 (72% sobre o excedente produzido).
- Multifamiliar (condomínios) com aplicação da situação 1 (72% sobre a energia gerada).

Na Tabela 5 foram coletados dados de consumo dos últimos 12 meses (abril/2018 a março/2019), bem como as respectivas tarifas e bandeiras cobradas. Assim, é possível aferir o valor médio gasto com energia elétrica.

Tabela 5: Cálculo do gasto mensal médio em energia elétrica

TABELA REFERENTE AOS GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA DOS ÚLTIMOS 12 MESES									
Parcela Número	Mês	kWh	Uso Sistema - TUSD	Bandeira Verde - TE	Total Distribuidora	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	Iluminação Pública	TOTAL A PAGAR
1	abr	802	0,32412719	0,40846634	587,54	-	-	13,04	600,58
2	mai	977	0,36629478	0,44105425	788,78	4,57	-	13,04	806,39
3	jun	1080	0,38320371	0,45404630	904,23	12,1	22,01	16,3	954,64
4	jul	1379	0,38068891	0,45109500	1147,03	-	104,8	16,3	1268,13
5	ago	1201	0,38825146	0,46003331	1018,79	-	93,07	16,3	1128,16
6	set	1171	0,39035867	0,46254484	998,75	-	91,24	16,3	1106,29
7	out	925	0,38278919	0,45355676	773,62	-	70,67	13,04	857,33
8	nov	996	0,38196788	0,45260041	831,23	4,04	55,7	13,04	904,01
9	dez	1226	0,38514682	0,45636216	1031,69	14,3	-	16,3	1062,29
10	jan	1699	0,38561507	0,45692172	1431,47	-	-	16,3	1447,77
11	fev	1862	0,38723416	0,45882922	1575,37	-	-	16,3	1591,67
12	mar	1479	0,38555781	0,45684247	1245,91	-	-	16,3	1262,21
	MÉDIAS	1233,1	0,378436304	0,45102940	1027,87			MÉDIA = 1082,46	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 6: Cálculo da influência média dos impostos sobre a tabela supracitada

IMPOSTOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA									
Mês		ICMS		PIS		COFINS		TOTAL	%
abr	30%	176,26	1,49%	8,75	6,81%	40,01	225,03	37,47%	
mai	30%	238,01	1,02%	8,09	4,73%	37,53	283,62	35,17%	
jun	30%	281,50	0,82%	7,69	3,81%	35,75	324,95	34,04%	
jul	30%	375,55	0,75%	9,39	3,45%	43,19	428,13	33,76%	
ago	30%	333,56	0,98%	10,90	4,50%	50,03	394,49	34,97%	
set	30%	327,00	1,03%	11,23	4,80%	52,32	390,54	35,30%	
out	30%	253,29	0,81%	6,84	3,75%	31,66	291,79	34,03%	
nov	30%	267,29	0,89%	7,93	3,53%	31,45	306,67	33,92%	
dez	30%	313,80	0,89%	9,31	4,07%	42,57	365,68	34,42%	
jan	30%	429,44	0,89%	12,74	4,15%	59,41	501,59	34,65%	
fev	30%	472,61	0,93%	14,65	4,38%	69,00	556,26	34,95%	
mar	30%	373,77	0,89%	11,09	4,14%	51,58	436,44	34,58%	
							MÉDIA = 375,43	34,77%	

Fonte: elaborada pelo autor

A RGE Sul assumiu como distribuidora da região em questão, em dezembro de 2016 e, nos meses de abril de 2017 e 2018, mudou o processo de cobrança de energia elétrica.

A Tabela 7 mostra o método utilizado pela distribuidora anterior (AES Sul) e mantido pela RGE Sul até abril de 2017. A Tabela 8 mostra o método de cobrança utilizado até abril de 2018. Ambas foram elaboradas com o mesmo padrão de consumo da Tabela 5. Assim, foi possível observar o impacto causado apenas pela mudança tarifária.

Tabela 7: Gasto mensal médio de 2016-2017

Mês	Consumo	Tarifa (sem ICMS)	Valor parcial	Iluminação Pública	PIS e COFINS	Base de cálculo		ICMS		Bandeiras		TOTAL
						%	Valor	%	Valor	Amarela	Vermelha	
abr/16	802	0,540405	433,40	13,04	43,39	100,00%	619,15	30,00%	185,74	10,84		632,19
mai/16	977	0,534500	522,21	16,3	59,46	100,00%	746,01	30,00%	223,80			762,31
jun/16	1080	0,529286	571,63	13,04	50,06	100,00%	816,61	30,00%	244,98			829,65
jul/16	1379	0,532948	734,94	16,3	55,41	100,00%	1049,91	30,00%	314,97			1066,21
ago/16	1201	0,534051	641,40	16,3	55,33	100,00%	916,28	30,00%	274,88			932,58
set/16	1171	0,529443	619,98	13,04	44,19	100,00%	885,68	30,00%	265,70			898,72
out/16	925	0,537391	497,09	13,04	45,91	100,00%	710,12	30,00%	213,04			723,16
nov/16	996	0,533873	531,74	13,04	43,95	100,00%	759,63	30,00%	227,89	2,79		772,67
dez/16	1226	0,530681	650,61	16,3	44,23	100,00%	929,45	30,00%	278,83	13,17		945,75
jan/17	1699	0,517539	879,30	16,3	58,08	100,00%	1256,14	30,00%	376,84			1272,44
fev/17	1862	0,539840	1005,18	16,3	81,4	100,00%	1435,97	30,00%	430,79			1452,27
mar/17	1479	0,531055	785,43	16,3	85,65	100,00%	1122,04	30,00%	336,61	7,22		1138,34
											MÉDIA = 952,19	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 8: Gasto mensal médio 2017-2018

Mês	Consumo	Tarifa (sem ICMS)	Valor parcial	Iluminação Pública	Pis/Pasep	Cofins	ICMS	Base de cálculo		Pis/Pasep	Cofins	ICMS	Bandeiras		TOTAL
								%	Valor				Amarela	Vermelha	
abr/17	802	0,519865	416,93	13,04	5%		30%	100%	595,62	32,01	178,69	15,58	6,09	608,66	
mai/17	977	0,442675	432,49	13,04	0,930%	4,240%	30%	100%	667,12	6,20421	28,286	28,92	-	680,16	
jun/17	1080	0,475020	513,02	16,30	0,420%	1,990%	30%	100%	759,02	3,187884	15,104	-	23,64	775,32	
jul/17	1379	0,456686	629,77	16,30	0,180%	0,840%	30%	100%	912,97	1,643355	7,669	6,41	-	929,27	
ago/17	1201	0,474520	569,90	13,04	0,680%	3,100%	30%	100%	860,61	5,852174	26,679	14,67	7,34	873,65	
set/17	1171	0,479439	561,42	13,04	0,660%	3,010%	30%	100%	846,41	5,586299	25,477	5	21,59	859,45	
out/17	925	0,475344	439,69	13,04	0,380%	1,790%	30%	100%	648,23	2,463267	11,603	13,64	8,77	661,27	
nov/17	996	0,491020	489,06	13,04	0,780%	3,580%	30%	100%	745,06	5,811451	26,673	-	33,15	758,10	
dez/17	1226	0,497192	609,56	16,30	0,330%	1,550%	30%	100%	894,83	2,952935	13,87	-	52,04	911,13	
jan/18	1699	0,473838	805,05	13,04	1,100%	5,110%	30%	100%	1262,03	13,88236	64,49	-	21,77	1275,07	
fev/18	1862	0,452020	841,66	16,30	1,425%	6,560%	30%	100%	1357,19	19,33995	89,032	-	-	1373,49	
mar/18	1479	0,452020	668,54	16,30	1,510%	6,960%	30%	100%	1086,52	16,4065	75,622	-	-	1102,82	
													MÉDIA =		900,70

Fonte: elaborada pelo autor

Com base nas tabelas 7 e 8 pode-se aferir na Tabela 9 uma taxa de inflação sobre o valor médio gasto com energia elétrica no município de Santa Maria.

Tabela 9: Taxa de inflação sobre o preço da energia elétrica no município de Santa Maria

Ano	Média	Variação	
16-17	952,19	-	-
17-18	900,70	-51,49	-5%
18-19	1082,46	181,76	20%

Fonte: elaborada pelo autor

Em relação à situação com Sistema Fotovoltaico, foi feito orçamento pela Empresa Sonnen Energia, composto por:

- 28 painéis de 330W – Policristalinos;
- 1 inversor de 11kW com monitoramento WiFi;
- estrutura de fixação SolarFix para telhado em fibrocimento.

Potência de 9,24 kWp. Geração anual média de 14.226 kWh, 10 (dez) anos de garantia para os painéis e 5 (cinco) para o inversor; vida útil estimada de 25 (vinte e cinco) anos.

Valor total do sistema = R\$41.400,00 (quarenta e um mil e quatrocentos reais).

6.1 SITUAÇÃO 0

Na Tabela 10 foram utilizadas as mesmas tarifas e consumo da Tabela 5, porém foi projetada em situação 0 com a utilização do sistema fotovoltaico proposto.

De posse dos valores de consumo e do valor médio de geração mensal do sistema, foi possível aferir a quantidade de créditos gerados ou consumidos e calcular o gasto médio mensal com a adoção do sistema.

Tabela 10: Cálculo do gasto mensal médio em energia elétrica, após implementação do sistema proposto, levando em consideração as atuais regras que regem o sistema de compensação de energia elétrica (situação 0)

Geração média mensal=		1185,5 kWh		CENÁRIO APÓS APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO						
Parcela Númer	Mês	Créditos de kWh		Uso Sistema - TUSD	Bandeira Verde - TE	Total Distribuidora	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	Iluminação Pública	TOTAL A PAGAR
		mês	Total							
1	abr	383,5	383,5	0,32412719	0,40846634	73,26	-	-	13,04	86,30
2	mai	208,5	592	0,36629478	0,44105425	80,73	4,57	-	13,04	98,34
3	jun	105,5	697,5	0,38320371	0,45404630	83,73	12,10	22,01	16,30	134,14
4	jul	-193,5	504	0,38068891	0,45109500	83,18	-	104,80	16,30	204,28
5	ago	-15,5	488,5	0,38825146	0,46003331	84,83	-	93,07	16,30	194,20
6	set	14,5	503	0,39035867	0,46254484	85,29	-	91,24	16,30	192,83
7	out	260,5	763,5	0,38278919	0,45355676	83,63	-	70,67	13,04	167,34
8	nov	189,5	953	0,38196788	0,45260041	83,46	4,04	55,70	13,04	156,24
9	dez	-40,5	912,5	0,38514682	0,45636216	84,15	14,30	-	16,30	114,75
10	jan	-513,5	399	0,38561507	0,45692172	96,47	-	-	16,30	112,77
11	fev	-676,5	0	0,38723416	0,45882922	572,36	-	-	16,30	588,66
12	mar	-293,5	0	0,38555781	0,45684247	247,24	-	-	16,30	263,54
		MÉDIAS=		0,37843630	0,45102940	138,19			MÉDIA = 192,78	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 11: Cálculo da influência média dos impostos sobre a tabela supracitada

IMPOSTOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA									
Mês		ICMS		PIS		COFINS		TOTAL	%
abr	30%	21,98	1,49%	1,09	6,81%	4,99	28,06	32,51%	
mai	30%	25,59	1,02%	0,87	4,73%	4,03	30,50	31,01%	
jun	30%	35,35	0,82%	0,97	3,81%	4,49	40,81	30,42%	
jul	30%	56,39	0,75%	1,41	3,45%	6,49	64,29	31,47%	
ago	30%	53,37	0,98%	1,74	4,50%	8,01	63,12	32,50%	
set	30%	52,96	1,03%	1,82	4,80%	8,47	63,25	32,80%	
out	30%	46,29	0,81%	1,25	3,75%	5,79	53,33	31,87%	
nov	30%	42,96	0,89%	1,27	3,53%	5,05	49,29	31,55%	
dez	30%	29,54	0,89%	0,88	4,07%	4,01	34,42	29,99%	
jan	30%	28,94	0,89%	0,86	4,15%	4,00	33,80	29,98%	
fev	30%	171,71	0,93%	5,32	4,38%	25,07	202,10	34,33%	
mar	30%	74,17	0,89%	2,20	4,14%	10,24	86,61	32,86%	
							MÉDIA = 62,46	31,77%	

Fonte: elaborada pelo autor

Com base nas médias calculadas nas tabelas 5 e 10, é possível projetar a economia gerada ao longo de um ano com adoção de sistema proposto:

$$1082,46 - 192,78 = \text{R\$ } 889,67$$

$$889,67 \times 12 = \text{R\$ } 10.676,07$$

Tabela 12: Economia anual

Investimento	
-41400	
Mês	Economia
1	889,67
2	889,67
3	889,67
4	889,67
5	889,67
6	889,67
7	889,67
8	889,67
9	889,67
10	889,67
11	889,67
12	889,67
Anual=	10676,07

Fonte: elaborada pelo autor

Verifica-se, na Tabela 9, que a primeira mudança feita pela RGE Sul em abril de 2017, resultou numa queda de 5% do valor mensal da energia elétrica. Esse novo método de cobrança perdurou apenas um ano, pois em abril de 2018 a distribuidora alterou novamente o processo tarifário.

Ainda na Tabela 9, é possível verificar que essa segunda mudança, imposta pela RGE Sul, impactou um aumento de 20% sobre o valor mensal, totalizando uma diferença de 13,7% ao longo de dois anos. Adotou-se, portanto, uma taxa de inflação mínima de 5% ao ano para projetar na Tabela 13 a economia ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema.

Tabela 13: Projeção de economia nos 25 anos de vida útil do sistema

Taxa de aumento tarifário anual médio =		5,00%		
Ano	Média mensal		Economia do mês	Economia do ano
	sem solar	com solar		
1	1082,46	192,78	889,67	10676,07
2	1136,58	202,42	934,16	11209,88
3	1193,41	212,54	980,86	11770,37
4	1253,08	223,17	1029,91	12358,89
5	1315,73	234,33	1081,40	12976,84
6	1381,52	246,05	1135,47	13625,68
7	1450,59	258,35	1192,25	14306,96
8	1523,12	271,26	1251,86	15022,31
9	1599,28	284,83	1314,45	15773,42
10	1679,24	299,07	1380,17	16562,10
11	1763,21	314,02	1449,18	17390,20
12	1851,37	329,72	1521,64	18259,71
13	1943,94	346,21	1597,72	19172,70
14	2041,13	363,52	1677,61	20131,33
15	2143,19	381,70	1761,49	21137,90
16	2250,35	400,78	1849,57	22194,79
17	2362,87	420,82	1942,04	23304,53
18	2481,01	441,86	2039,15	24469,76
19	2605,06	463,96	2141,10	25693,25
20	2735,31	487,15	2248,16	26977,91
21	2872,08	511,51	2360,57	28326,80
22	3015,68	537,09	2478,60	29743,14
23	3166,47	563,94	2602,53	31230,30
24	3324,79	592,14	2732,65	32791,82
25	3491,03	621,74	2869,28	34431,41

Fonte: elaborada pelo autor

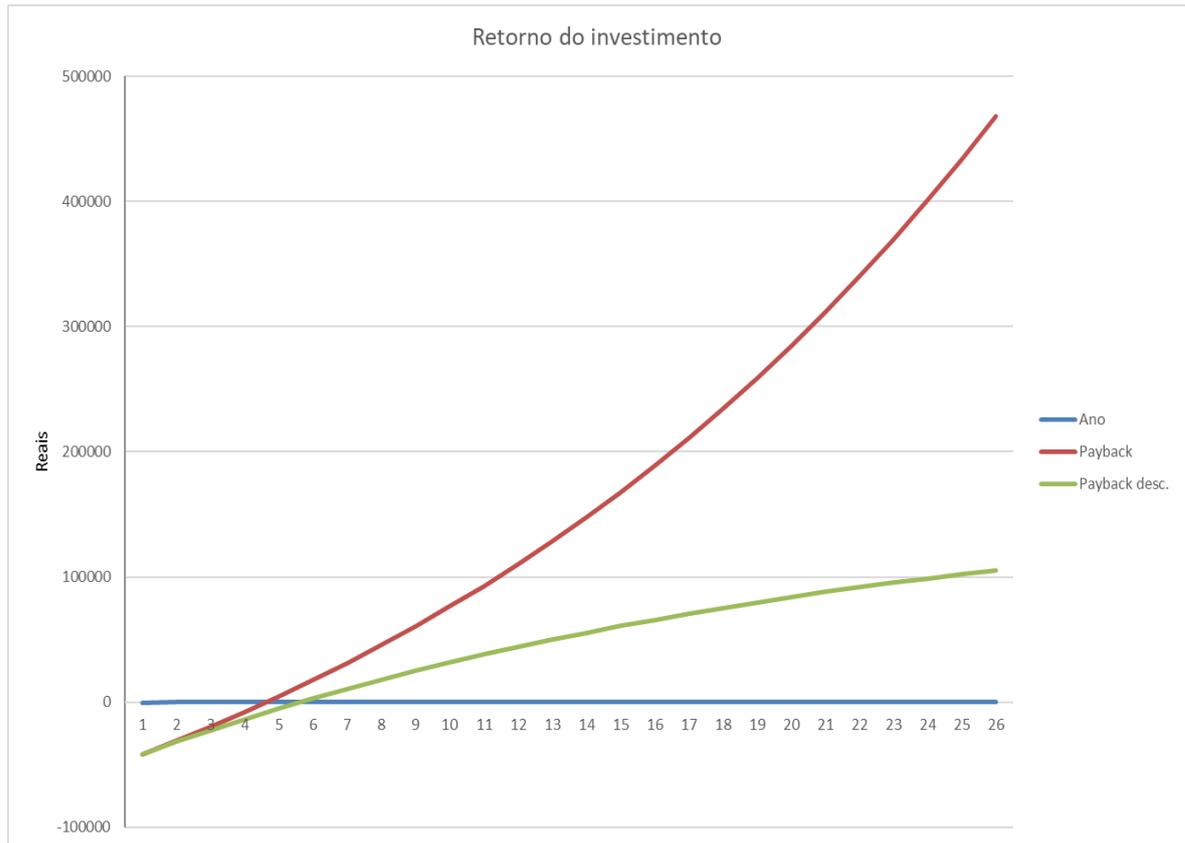
De posse dos valores anuais de economia gerados pela instalação do sistema, na Tabela 14 é possível montar o Fluxo de Caixa e calcular: o Payback, o Payback descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) desse tipo de investimento.

Tabela 14: Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback Descontado

Taxa mínima de atratividade =		10%		
Ano	Fluxo	VP	Payback	Payback desc.
0	-41400,00	-41400,00	-41400,00	-41400,00
1	10676,07	9705,52	-30723,93	-31694,48
2	11209,88	9264,36	-19514,05	-22430,12
3	11770,37	8843,25	-7743,68	-13586,86
4	12358,89	8441,29	4615,22	-5145,57
5	12976,84	8057,59	17592,05	2912,02
6	13625,68	7691,34	31217,73	10603,36
7	14306,96	7341,73	45524,69	17945,09
8	15022,31	7008,02	60547,00	24953,11
9	15773,42	6689,47	76320,42	31642,58
10	16562,10	6385,40	92882,52	38027,99
11	17390,20	6095,16	110272,72	44123,15
12	18259,71	5818,11	128532,43	49941,25
13	19172,70	5553,65	147705,12	55494,90
14	20131,33	5301,21	167836,46	60796,11
15	21137,90	5060,24	188974,35	65856,35
16	22194,79	4830,23	211169,14	70686,59
17	23304,53	4610,68	234473,68	75297,27
18	24469,76	4401,10	258943,43	79698,37
19	25693,25	4201,05	284636,68	83899,42
20	26977,91	4010,09	311614,59	87909,51
21	28326,80	3827,82	339941,39	91737,33
22	29743,14	3653,83	369684,54	95391,15
23	31230,30	3487,74	400914,84	98878,90
24	32791,82	3329,21	433706,66	102208,11
25	34431,41	3177,88	468138,06	105385,99
VPL = R\$ 21.273,32			Payback =	3,63 anos
TIR = 19%			Payback desc. =	4,29 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 28- Gráfico da projeção do investimento



Fonte: elaborada pelo autor

Também é possível implantar o sistema sem capital próprio. A Sonnen Energia, em parceria com as cooperativas Sicredi/Unicred, oferta possibilidade de 100% de financiamento do sistema proposto.

O valor total é de R\$ 55.890,00 (cinquenta e cinco mil, oitocentos e noventa reais) parcelado em 60 (sessenta) vezes de R\$ 931,50 (novecentos e trinta e um reais e cinquenta centavos).

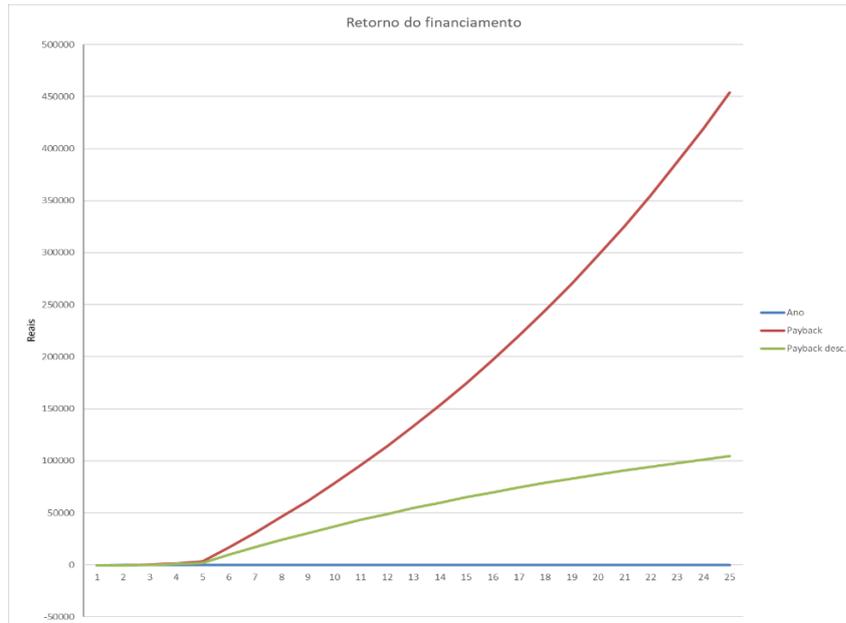
A Tabela 15 indica a projeção do investimento quando feito via financiamento.

Tabela 15: Projeção do investimento via financiamento

FINANCIAMENTO					Taxa mínima de	10,00% aa	
60 parcelas de 931,50			1 ano = 11178,00		atratividade =	0,83% am	
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	1	889,67	-931,50	-41,83	-R\$41,83	-R\$41,48	-R\$41,48
	2	889,67	-931,50	-41,83	-R\$83,65	-R\$41,14	-R\$82,62
	3	889,67	-931,50	-41,83	-R\$125,48	-R\$40,80	-R\$123,43
	4	889,67	-931,50	-41,83	-R\$167,31	-R\$40,47	-R\$163,89
	5	889,67	-931,50	-41,83	-R\$209,14	-R\$40,13	-R\$204,03
	6	889,67	-931,50	-41,83	-R\$250,96	-R\$39,80	-R\$243,83
	7	889,67	-931,50	-41,83	-R\$292,79	-R\$39,48	-R\$283,31
	8	889,67	-931,50	-41,83	-R\$334,62	-R\$39,15	-R\$322,46
	9	889,67	-931,50	-41,83	-R\$376,44	-R\$38,83	-R\$361,29
	10	889,67	-931,50	-41,83	-R\$418,27	-R\$38,51	-R\$399,79
	11	889,67	-931,50	-41,83	-R\$460,10	-R\$38,19	-R\$437,99
	12	889,67	-931,50	-41,83	-R\$501,93	-R\$37,88	-R\$475,86
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	12	10676,07	-11178,00	-501,93	-R\$501,93	-R\$456,30	-R\$475,86
2	24	11209,88	-11178,00	31,88	-R\$470,05	R\$26,35	-R\$449,52
3	36	11770,37	-11178,00	592,37	R\$122,32	R\$445,06	-R\$4,46
4	48	12358,89	-11178,00	1180,89	R\$1.303,22	R\$806,56	R\$802,10
5	60	12976,84	-11178,00	1798,84	R\$3.102,05	R\$1.116,94	R\$1.919,04
6	72	13625,68	0,00	13625,68	R\$16.727,73	R\$7.691,34	R\$9.610,38
7	84	14306,96	0,00	14306,96	R\$31.034,69	R\$7.341,73	R\$16.952,11
8	96	15022,31	0,00	15022,31	R\$46.057,00	R\$7.008,02	R\$23.960,13
9	108	15773,42	0,00	15773,42	R\$61.830,42	R\$6.689,47	R\$30.649,60
10	120	16562,10	0,00	16562,10	R\$78.392,52	R\$6.385,40	R\$37.035,01
11	132	17390,20	0,00	17390,20	R\$95.782,72	R\$6.095,16	R\$43.130,17
12	144	18259,71	0,00	18259,71	R\$114.042,43	R\$5.818,11	R\$48.948,27
13	156	19172,70	0,00	19172,70	R\$133.215,12	R\$5.553,65	R\$54.501,92
14	168	20131,33	0,00	20131,33	R\$153.346,46	R\$5.301,21	R\$59.803,13
15	180	21137,90	0,00	21137,90	R\$174.484,35	R\$5.060,24	R\$64.863,37
16	192	22194,79	0,00	22194,79	R\$196.679,14	R\$4.830,23	R\$69.693,61
17	204	23304,53	0,00	23304,53	R\$219.983,68	R\$4.610,68	R\$74.304,28
18	216	24469,76	0,00	24469,76	R\$244.453,43	R\$4.401,10	R\$78.705,38
19	228	25693,25	0,00	25693,25	R\$270.146,68	R\$4.201,05	R\$82.906,44
20	240	26977,91	0,00	26977,91	R\$297.124,59	R\$4.010,09	R\$86.916,53
21	252	28326,80	0,00	28326,80	R\$325.451,39	R\$3.827,82	R\$90.744,35
22	264	29743,14	0,00	29743,14	R\$355.194,54	R\$3.653,83	R\$94.398,17
23	276	31230,30	0,00	31230,30	R\$386.424,84	R\$3.487,74	R\$97.885,91
24	288	32791,82	0,00	32791,82	R\$419.216,66	R\$3.329,21	R\$101.215,12
25	300	34431,41	0,00	34431,41	R\$453.648,06	R\$3.177,88	R\$104.393,00
					2,79 anos		3,01 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 29- Gráfico da projeção do investimento



Fonte: elaborada pelo autor

6.2 SITUAÇÃO 1

Na Tabela 16 foram utilizadas as mesmas tarifas e consumo da Tabela 5, porém foi projetada em situação 1 com 72% de retorno sobre o excedente produzido.

Tabela 16: Cálculo do gasto mensal médio com energia elétrica, levando em consideração a proposta de mudança no sistema de compensação de energia elétrica (situação 1 – 72% de retorno do excedente produzido)

Geração média mensal=		1185,5 kWh		CENÁRIO APÓS REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482						
Parcela Númer	Mês	Créditos de kWh		Uso Sistema - TUSD	Bandeira Verde - TE	Total Distribuidora	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	Iluminação Pública	TOTAL A PAGAR
		mês	Total							
1	abr	276,12	276,12	0,32412719	0,40846634	73,26	-	-	13,04	86,30
2	mai	150,12	426,24	0,36629478	0,44105425	80,73	4,57	-	13,04	98,34
3	jun	75,96	502,2	0,38320371	0,45404630	83,73	12,10	22,01	16,30	134,14
4	jul	-193,5	308,7	0,38068891	0,45109500	83,18	-	104,80	16,30	204,28
5	ago	-15,5	293,2	0,38825146	0,46003331	84,83	-	93,07	16,30	194,20
6	set	10,44	303,64	0,39035867	0,46254484	85,29	-	91,24	16,30	192,83
7	out	187,56	491,2	0,38278919	0,45355676	83,63	-	70,67	13,04	167,34
8	nov	136,44	627,64	0,38196788	0,45260041	83,46	4,04	55,70	13,04	156,24
9	dez	-40,5	587,14	0,38514682	0,45636216	84,15	14,30	-	16,30	114,75
10	jan	-513,5	73,64	0,38561507	0,45692172	370,60	-	-	16,30	386,90
11	fev	-676,5	0	0,38723416	0,45882922	572,36	-	-	16,30	588,66
12	mar	-293,5	0	0,38555781	0,45684247	247,24	-	-	16,30	263,54
			MÉDIAS=	0,37843630	0,45102940	161,04			MÉDIA = 215,63	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 17: Cálculo da influência dos impostos sobre o valor pago mensalmente

IMPOSTOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA							
ICMS		PIS		COFINS		TOTAL	%
30%	21,98	1,49%	1,09	6,81%	4,99	28,06	32,51%
30%	25,59	1,02%	0,87	4,73%	4,03	30,50	31,01%
30%	35,35	0,82%	0,97	3,81%	4,49	40,81	30,42%
30%	56,39	0,75%	1,41	3,45%	6,49	64,29	31,47%
30%	53,37	0,98%	1,74	4,50%	8,01	63,12	32,50%
30%	52,96	1,03%	1,82	4,80%	8,47	63,25	32,80%
30%	46,29	0,81%	1,25	3,75%	5,79	53,33	31,87%
30%	42,96	0,89%	1,27	3,53%	5,05	49,29	31,55%
30%	29,54	0,89%	0,88	4,07%	4,01	34,42	29,99%
30%	111,18	0,89%	3,30	4,15%	15,38	129,86	33,56%
30%	171,71	0,93%	5,32	4,38%	25,07	202,10	34,33%
30%	74,17	0,89%	2,20	4,14%	10,24	86,61	32,86%
					MÉDIA = 70,47	32,07%	

Fonte: elaborada pelo autor

Com base nas médias calculadas nas tabelas 5 e 16, é possível projetar, na Tabela 18, a economia gerada ao longo de um ano com adoção de sistema fotovoltaico em situação 1.

$$1082,46 - 215,63 = 866,83$$

$$866,83 \times 12 = 10.401,95$$

Tabela 18: Economia anual

Investimento	
-41400	
Mês	Economia
1	866,83
2	866,83
3	866,83
4	866,83
5	866,83
6	866,83
7	866,83
8	866,83
9	866,83
10	866,83
11	866,83
12	866,83
Anual=	10401,95

Fonte: elaborada pelo autor

Adota-se então, na Tabela 19, uma taxa de inflação anual da tarifa energética de 5% para projetar a economia ao longo dos 25 (vinte e cinco) anos de vida útil do sistema.

Tabela 19: Economia ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema

Taxa de aumento tarifário anual médio =		5,00%		
Ano	Média mensal		Economia do mês	Economia do ano
	sem solar	com solar		
1	1082,46	215,63	866,83	10401,95
2	1136,58	226,41	910,17	10922,04
3	1193,41	237,73	955,68	11468,15
4	1253,08	249,62	1003,46	12041,55
5	1315,73	262,10	1053,64	12643,63
6	1381,52	275,20	1106,32	13275,81
7	1450,59	288,96	1161,63	13939,60
8	1523,12	303,41	1219,72	14636,58
9	1599,28	318,58	1280,70	15368,41
10	1679,24	334,51	1344,74	16136,83
11	1763,21	351,23	1411,97	16943,68
12	1851,37	368,80	1482,57	17790,86
13	1943,94	387,24	1556,70	18680,40
14	2041,13	406,60	1634,54	19614,42
15	2143,19	426,93	1716,26	20595,14
16	2250,35	448,27	1802,08	21624,90
17	2362,87	470,69	1892,18	22706,15
18	2481,01	494,22	1986,79	23841,45
19	2605,06	518,93	2086,13	25033,53
20	2735,31	544,88	2190,43	26285,20
21	2872,08	572,12	2299,96	27599,46
22	3015,68	600,73	2414,95	28979,43
23	3166,47	630,77	2535,70	30428,41
24	3324,79	662,30	2662,49	31949,83
25	3491,03	695,42	2795,61	33547,32

Fonte: elaborada pelo autor

De posse dos valores anuais de economia gerados pela instalação do sistema, é possível montar, na Tabela 20, o Fluxo de Caixa e calcular o Payback, o Payback

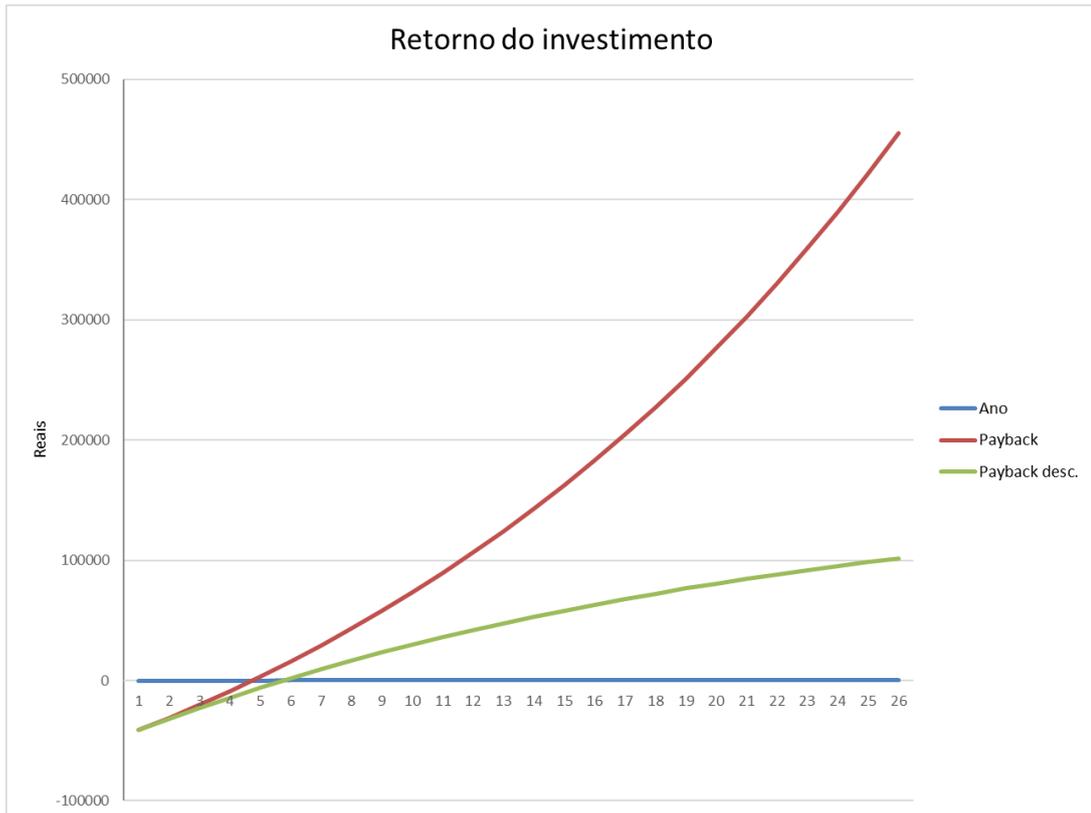
descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno desse tipo de investimento.

Tabela 20: Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback descontado

Taxa mínima de atratividade =		10%		
Ano	Fluxo	VP	Payback	Payback desc.
0	-41400,00	-41400,00	-41400,00	-41400,00
1	10401,95	9456,32	-30998,05	-31943,68
2	10922,04	9026,48	-20076,01	-22917,20
3	11468,15	8616,19	-8607,86	-14301,01
4	12041,55	8224,54	3433,69	-6076,47
5	12643,63	7850,70	16077,32	1774,23
6	13275,81	7493,85	29353,13	9268,08
7	13939,60	7153,22	43292,74	16421,30
8	14636,58	6828,07	57929,32	23249,37
9	15368,41	6517,71	73297,73	29767,08
10	16136,83	6221,45	89434,57	35988,53
11	16943,68	5938,65	106378,24	41927,18
12	17790,86	5668,72	124169,10	47595,90
13	18680,40	5411,05	142849,50	53006,95
14	19614,42	5165,09	162463,93	58172,04
15	20595,14	4930,31	183059,07	63102,35
16	21624,90	4706,21	204683,97	67808,56
17	22706,15	4492,29	227390,11	72300,85
18	23841,45	4288,09	251231,57	76588,94
19	25033,53	4093,18	276265,09	80682,13
20	26285,20	3907,13	302550,29	84589,25
21	27599,46	3729,53	330149,75	88318,78
22	28979,43	3560,01	359129,19	91878,79
23	30428,41	3398,19	389557,60	95276,98
24	31949,83	3243,73	421507,42	98520,70
25	33547,32	3096,28	455054,74	101616,99
VPL = R\$ 19.760,70		Payback =		3,7 anos
TIR = 18%		Payback desc. =		4,38 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 30- Gráfico da projeção do investimento



Fonte: elaborada pelo autor

Também é possível implantar o sistema sem capital próprio. A Sonnen Energia, em parceria com as cooperativas Sicredi/Unicred, oferta possibilidade de 100% de financiamento do sistema proposto.

O valor total é de R\$55.890,00 (cinquenta e cinco mil, oitocentos e noventa reais) parcelado em 60 (sessenta) vezes de R\$931,50 (novecentos e trinta reais e cinquenta centavos).

A Tabela 21 indica a projeção do investimento, quando feito via financiamento.

Tabela 21: Projeção do investimento via financiamento

FINANCIAMENTO					Taxa mínima de	10,00% aa	
60 parcelas de 931,50				1 ano = 11178,00	atratividade =	0,83% am	
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	1	866,83	-931,50	-64,67	-R\$64,67	-R\$64,14	-R\$64,14
	2	866,83	-931,50	-64,67	-R\$129,34	-R\$63,61	-R\$127,75
	3	866,83	-931,50	-64,67	-R\$194,01	-R\$63,09	-R\$190,84
	4	866,83	-931,50	-64,67	-R\$258,68	-R\$62,57	-R\$253,40
	5	866,83	-931,50	-64,67	-R\$323,36	-R\$62,05	-R\$315,46
	6	866,83	-931,50	-64,67	-R\$388,03	-R\$61,54	-R\$377,00
	7	866,83	-931,50	-64,67	-R\$452,70	-R\$61,04	-R\$438,03
	8	866,83	-931,50	-64,67	-R\$517,37	-R\$60,53	-R\$498,57
	9	866,83	-931,50	-64,67	-R\$582,04	-R\$60,03	-R\$558,60
	10	866,83	-931,50	-64,67	-R\$646,71	-R\$59,54	-R\$618,14
	11	866,83	-931,50	-64,67	-R\$711,38	-R\$59,05	-R\$677,19
	12	866,83	-931,50	-64,67	-R\$776,05	-R\$58,56	-R\$735,76
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	12	10401,95	-11178,00	-776,05	-R\$776,05	-R\$705,50	-R\$735,76
2	24	10922,04	-11178,00	-255,96	-R\$1.032,01	-R\$211,53	-R\$947,29
3	36	11468,15	-11178,00	290,15	-R\$741,86	R\$217,99	-R\$729,30
4	48	12041,55	-11178,00	863,55	R\$121,69	R\$589,82	-R\$139,48
5	60	12643,63	-11178,00	1465,63	R\$1.587,32	R\$910,04	R\$770,56
6	72	13275,81	0,00	13275,81	R\$14.863,13	R\$7.493,85	R\$8.264,41
7	84	13939,60	0,00	13939,60	R\$28.802,74	R\$7.153,22	R\$15.417,63
8	96	14636,58	0,00	14636,58	R\$43.439,32	R\$6.828,07	R\$22.245,71
9	108	15368,41	0,00	15368,41	R\$58.807,73	R\$6.517,71	R\$28.763,41
10	120	16136,83	0,00	16136,83	R\$74.944,57	R\$6.221,45	R\$34.984,86
11	132	16943,68	0,00	16943,68	R\$91.888,24	R\$5.938,65	R\$40.923,52
12	144	17790,86	0,00	17790,86	R\$109.679,10	R\$5.668,72	R\$46.592,23
13	156	18680,40	0,00	18680,40	R\$128.359,50	R\$5.411,05	R\$52.003,28
14	168	19614,42	0,00	19614,42	R\$147.973,93	R\$5.165,09	R\$57.168,37
15	180	20595,14	0,00	20595,14	R\$168.569,07	R\$4.930,31	R\$62.098,68
16	192	21624,90	0,00	21624,90	R\$190.193,97	R\$4.706,21	R\$66.804,89
17	204	22706,15	0,00	22706,15	R\$212.900,11	R\$4.492,29	R\$71.297,18
18	216	23841,45	0,00	23841,45	R\$236.741,57	R\$4.288,09	R\$75.585,27
19	228	25033,53	0,00	25033,53	R\$261.775,09	R\$4.093,18	R\$79.678,46
20	240	26285,20	0,00	26285,20	R\$288.060,29	R\$3.907,13	R\$83.585,58
21	252	27599,46	0,00	27599,46	R\$315.659,75	R\$3.729,53	R\$87.315,11
22	264	28979,43	0,00	28979,43	R\$344.639,19	R\$3.560,01	R\$90.875,12
23	276	30428,41	0,00	30428,41	R\$375.067,60	R\$3.398,19	R\$94.273,31
24	288	31949,83	0,00	31949,83	R\$407.017,42	R\$3.243,73	R\$97.517,04
25	300	33547,32	0,00	33547,32	R\$440.564,74	R\$3.096,28	R\$100.613,32
					3,86 anos		4,15 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 31- Gráfico da projeção do investimento



Fonte: elaborada pelo autor

6.2.1 Projeção de Situação 1 para Condomínios

A Resolução Normativa 687 de 2015 regulamentou a geração distribuída compartilhada (condomínios e/ou cooperativas). Dessa maneira é possível estabelecer porcentagens de créditos de acordo com a participação individual no investimento.

Nesse tipo de contrato toda a energia produzida é injetada na rede para posterior conversão em créditos. Sendo assim, toda a energia gerada será taxada em Situação 1.

A Tabela 22 projeta o gasto mensal com energia elétrica, caso fosse taxada toda a energia gerada e não apenas o excedente do consumo.

Tabela 22: Cálculo do gasto mensal médio com energia elétrica, levando em consideração a proposta de mudança no sistema de compensação de energia elétrica para condomínios (situação 1 – 72% de retorno do total produzido)

Geração média mensal=		853,56 kWh		CENÁRIO MULTIFAMILIAR APÓS REVISÃO DA RESOLUÇÃO 482						
Parcela Número	Mês	Créditos de kWh		Uso Sistema - TUSD	Bandeira Verde - TE	Total Distribuidora	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	Iluminação Pública	TOTAL A PAGAR
		mês	Total							
1	abr	51,56	51,56	0,32412719	0,40846634	73,26	-	-	13,04	86,30
2	mai	-123,44	0	0,36629478	0,44105425	99,66	4,57	-	13,04	117,27
3	jun	-226,44	0	0,38320371	0,4540463	189,59	12,1	22,01	16,3	240,00
4	jul	-525,44	0	0,38068891	0,451095	437,05	-	104,8	16,3	558,15
5	ago	-347,44	0	0,38825146	0,46003331	294,73	-	93,07	16,3	404,10
6	set	-317,44	0	0,39035867	0,46254484	270,75	-	91,24	16,3	378,29
7	out	-71,44	0	0,38278919	0,45355676	83,63	-	70,67	13,04	167,34
8	nov	-142,44	0	0,38196788	0,45260041	118,88	4,04	55,7	13,04	191,66
9	dez	-372,44	0	0,38514682	0,4563216	313,41	14,3	-	16,3	344,01
10	jan	-845,44	0	0,38561507	0,45692172	712,31	-	-	16,3	728,61
11	fev	-1008,44	0	0,38723416	0,45882922	853,20	-	-	16,3	869,50
12	mar	-625,44	0	0,38555781	0,45684247	526,87	-	-	16,3	543,17
		MÉDIAS=		0,37843630	0,45102940	331,11				MÉDIA = 385,70

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 23: Cálculo da influência dos impostos sobre o valor pago mensalmente

IMPOSTOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA							
	ICMS	PIS		COFINS	TOTAL	%	
30%	25,89	1,49%	1,29	6,81%	5,88	33,05	38,30%
30%	35,18	1,02%	1,20	4,73%	5,55	41,92	35,75%
30%	72,00	0,82%	1,97	3,81%	9,14	83,11	34,63%
30%	167,45	0,75%	4,19	3,45%	19,26	190,89	34,20%
30%	121,23	0,98%	3,96	4,50%	18,18	143,37	35,48%
30%	113,49	1,03%	3,90	4,80%	18,16	135,54	35,83%
30%	50,20	0,81%	1,36	3,75%	6,28	57,83	34,56%
30%	57,50	0,89%	1,71	3,53%	6,77	65,97	34,42%
30%	103,20	0,89%	3,06	4,07%	14,00	120,27	34,96%
30%	218,58	0,89%	6,48	4,15%	30,24	255,31	35,04%
30%	260,85	0,93%	8,09	4,38%	38,08	307,02	35,31%
30%	162,95	0,89%	4,83	4,14%	22,49	190,27	35,03%
MÉDIA = 135,38						35,29%	

Fonte: elaborada pelo autor

Com base nas médias calculadas nas tabelas 5 e 22, é possível projetar a economia gerada ao longo de um ano com adoção de Sistema Fotovoltaico em situação 0.

$$1082,46 - 385,70 = 696,76$$

$$696,76 \times 12 = 8.361,07$$

Tabela 24: Economia anual

Investimento	
-41400	
Mês	Economia
1	696,76
2	696,76
3	696,76
4	696,76
5	696,76
6	696,76
7	696,76
8	696,76
9	696,76
10	696,76
11	696,76
12	696,76
Anual=	8361,07

Fonte: elaborada pelo autor

Adota-se, então, uma taxa de inflação anual da tarifa energética de 5% para projetar, na Tabela 25, a economia ao longo dos 25 (vinte e cinco) anos de vida útil do sistema.

Tabela 25: Economia ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema

Taxa de aumento tarifário anual médio =		5,00%			
Ano	Média mensal		Economia do mês	Economia do ano	
	sem solar	com solar			
1	1082,46	385,70	696,76	8361,07	
2	1136,58	404,99	731,59	8779,12	
3	1193,41	425,23	768,17	9218,08	
4	1253,08	446,50	806,58	9678,98	
5	1315,73	468,82	846,91	10162,93	
6	1381,52	492,26	889,26	10671,08	
7	1450,59	516,88	933,72	11204,63	
8	1523,12	542,72	980,41	11764,86	
9	1599,28	569,85	1029,43	12353,10	
10	1679,24	598,35	1080,90	12970,76	
11	1763,21	628,27	1134,94	13619,30	
12	1851,37	659,68	1191,69	14300,26	
13	1943,94	692,66	1251,27	15015,28	
14	2041,13	727,30	1313,84	15766,04	
15	2143,19	763,66	1379,53	16554,34	
16	2250,35	801,84	1448,50	17382,06	
17	2362,87	841,94	1520,93	18251,16	
18	2481,01	884,03	1596,98	19163,72	
19	2605,06	928,23	1676,83	20121,90	
20	2735,31	974,65	1760,67	21128,00	
21	2872,08	1023,38	1848,70	22184,40	
22	3015,68	1074,55	1941,13	23293,62	
23	3166,47	1128,27	2038,19	24458,30	
24	3324,79	1184,69	2140,10	25681,22	
25	3491,03	1243,92	2247,11	26965,28	

Fonte: elaborada pelo autor

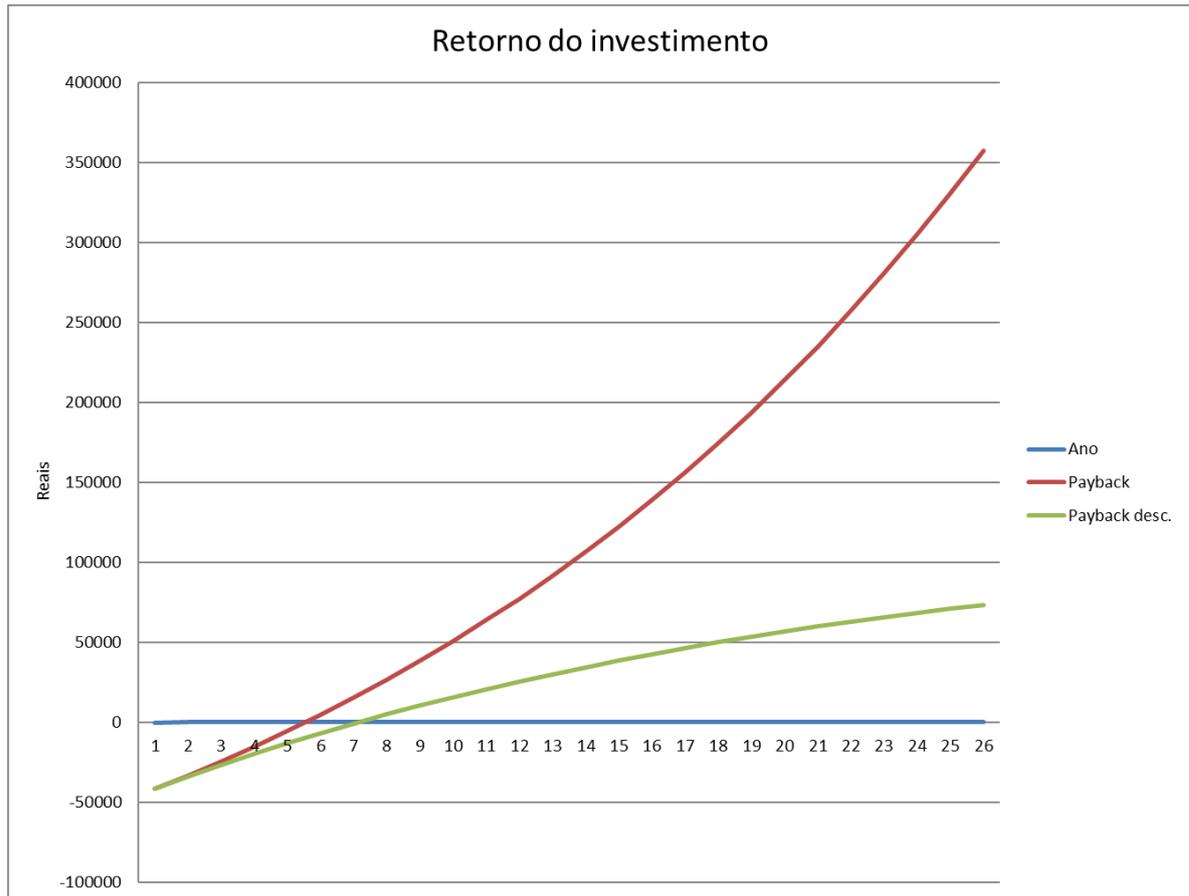
De posse dos valores anuais de economia gerados pela instalação do sistema, é possível montar, na Tabela 26, o Fluxo de Caixa e calcular o Payback, o Payback descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno desse tipo de investimento.

Tabela 26: Fluxo de caixa, VPL, TIR, Payback e Payback desconta

Taxa mínima de atratividade =		10%		
Ano	Fluxo	VP	Payback	Payback desc.
0	-41400,00	-41400,00	-41400,00	-41400,00
1	8361,07	7600,97	-33038,93	-33799,03
2	8779,12	7255,47	-24259,81	-26543,56
3	9218,08	6925,68	-15041,74	-19617,88
4	9678,98	6610,87	-5362,76	-13007,01
5	10162,93	6310,38	4800,17	-6696,63
6	10671,08	6023,54	15471,25	-673,08
7	11204,63	5749,75	26675,88	5076,66
8	11764,86	5488,39	38440,74	10565,06
9	12353,10	5238,92	50793,84	15803,98
10	12970,76	5000,79	63764,60	20804,77
11	13619,30	4773,48	77383,90	25578,25
12	14300,26	4556,50	91684,16	30134,75
13	15015,28	4349,39	106699,44	34484,14
14	15766,04	4151,69	122465,48	38635,83
15	16554,34	3962,98	139019,82	42598,81
16	17382,06	3782,84	156401,87	46381,65
17	18251,16	3610,89	174653,04	49992,55
18	19163,72	3446,76	193816,75	53439,31
19	20121,90	3290,09	213938,66	56729,40
20	21128,00	3140,54	235066,66	59869,95
21	22184,40	2997,79	257251,06	62867,74
22	23293,62	2861,53	280544,68	65729,26
23	24458,30	2731,46	305002,98	68460,72
24	25681,22	2607,30	330684,20	71068,02
25	26965,28	2488,79	357649,47	73556,81
VPL = R\$ 8.499,30		Payback =		4,5 anos
TIR = 14%		Payback desc. =		6,12 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 32- Gráfico da projeção do investimento



Fonte: elaborada pelo autor

Também é possível implantar o sistema sem capital próprio. A Sonnen Energia, em parceria com as cooperativas Sicredi/Unicred, oferta possibilidade de 100% de financiamento do sistema proposto.

O valor total é de R\$55.890,00 (cinquenta e cinco mil, oitocentos e noventa reais) parcelado em 60 (sessenta) vezes de R\$931,50 (novecentos e trinta e um reais e cinquenta centavos).

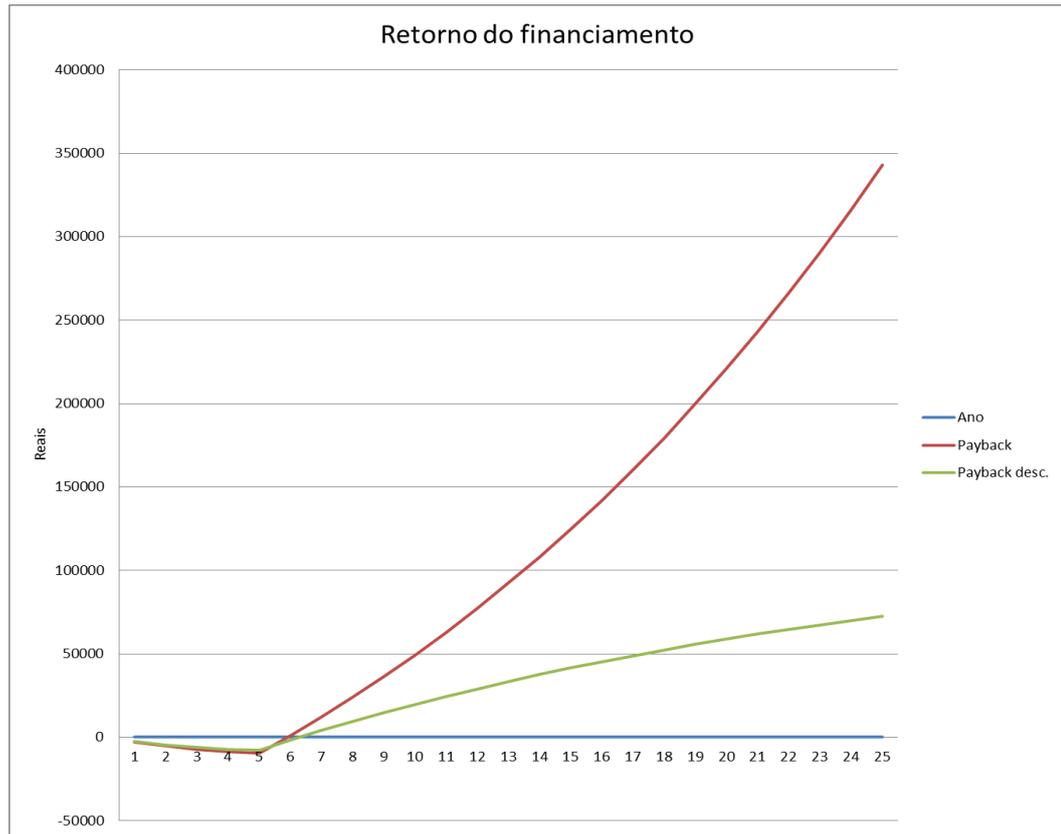
A Tabela 27 indica a projeção do investimento quando feito via financiamento.

Tabela 27: Projeção do investimento via financiamento

FINANCIAMENTO						Taxa mínima de	10,00% aa
60 parcelas de 931,50			1 ano = 11178,00			atratividade =	0,83% am
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	1	696,76	-931,50	-234,74	-R\$234,74	-R\$232,81	-R\$232,81
	2	696,76	-931,50	-234,74	-R\$469,49	-R\$230,90	-R\$463,71
	3	696,76	-931,50	-234,74	-R\$704,23	-R\$228,99	-R\$692,70
	4	696,76	-931,50	-234,74	-R\$938,98	-R\$227,11	-R\$919,81
	5	696,76	-931,50	-234,74	-R\$1.173,72	-R\$225,24	-R\$1.145,05
	6	696,76	-931,50	-234,74	-R\$1.408,47	-R\$223,39	-R\$1.368,44
	7	696,76	-931,50	-234,74	-R\$1.643,21	-R\$221,55	-R\$1.589,99
	8	696,76	-931,50	-234,74	-R\$1.877,96	-R\$219,72	-R\$1.809,71
	9	696,76	-931,50	-234,74	-R\$2.112,70	-R\$217,92	-R\$2.027,63
	10	696,76	-931,50	-234,74	-R\$2.347,44	-R\$216,12	-R\$2.243,75
	11	696,76	-931,50	-234,74	-R\$2.582,19	-R\$214,34	-R\$2.458,09
	12	696,76	-931,50	-234,74	-R\$2.816,93	-R\$212,58	-R\$2.670,67
Ano	Mês	Gerado	Parcelas	Diferença	Payback	VP	Payback desc.
1	12	8361,07	-11178,00	-2816,93	-R\$2.816,93	-R\$2.560,85	-R\$2.670,67
2	24	8779,12	-11178,00	-2398,88	-R\$5.215,81	-R\$1.982,55	-R\$4.653,21
3	36	9218,08	-11178,00	-1959,92	-R\$7.175,74	-R\$1.472,52	-R\$6.125,73
4	48	9678,98	-11178,00	-1499,02	-R\$8.674,76	-R\$1.023,85	-R\$7.149,58
5	60	10162,93	-11178,00	-1015,07	-R\$9.689,83	-R\$630,28	-R\$7.779,86
6	72	10671,08	0,00	10671,08	R\$981,25	R\$6.023,54	-R\$1.756,32
7	84	11204,63	0,00	11204,63	R\$12.185,88	R\$5.749,75	R\$3.993,43
8	96	11764,86	0,00	11764,86	R\$23.950,74	R\$5.488,39	R\$9.481,82
9	108	12353,10	0,00	12353,10	R\$36.303,84	R\$5.238,92	R\$14.720,75
10	120	12970,76	0,00	12970,76	R\$49.274,60	R\$5.000,79	R\$19.721,53
11	132	13619,30	0,00	13619,30	R\$62.893,90	R\$4.773,48	R\$24.495,01
12	144	14300,26	0,00	14300,26	R\$77.194,16	R\$4.556,50	R\$29.051,52
13	156	15015,28	0,00	15015,28	R\$92.209,44	R\$4.349,39	R\$33.400,91
14	168	15766,04	0,00	15766,04	R\$107.975,48	R\$4.151,69	R\$37.552,60
15	180	16554,34	0,00	16554,34	R\$124.529,82	R\$3.962,98	R\$41.515,58
16	192	17382,06	0,00	17382,06	R\$141.911,87	R\$3.782,84	R\$45.298,42
17	204	18251,16	0,00	18251,16	R\$160.163,04	R\$3.610,89	R\$48.909,31
18	216	19163,72	0,00	19163,72	R\$179.326,75	R\$3.446,76	R\$52.356,08
19	228	20121,90	0,00	20121,90	R\$199.448,66	R\$3.290,09	R\$55.646,17
20	240	21128,00	0,00	21128,00	R\$220.576,66	R\$3.140,54	R\$58.786,71
21	252	22184,40	0,00	22184,40	R\$242.761,06	R\$2.997,79	R\$61.784,50
22	264	23293,62	0,00	23293,62	R\$266.054,68	R\$2.861,53	R\$64.646,03
23	276	24458,30	0,00	24458,30	R\$290.512,98	R\$2.731,46	R\$67.377,49
24	288	25681,22	0,00	25681,22	R\$316.194,20	R\$2.607,30	R\$69.984,79
25	300	26965,28	0,00	26965,28	R\$343.159,47	R\$2.488,79	R\$72.473,58
						5,91 anos	6,31 anos

Fonte: elaborada pelo autor

Gráfico 1: Projeção dos valores da tabela acima



Fonte: elaborada pelo autor

7 CONCLUSÃO

O estudo realizado ao longo deste trabalho comprova que, mesmo após a aplicação das novas taxas propostas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ainda é possível obter retorno financeiro a partir de investimento em energia solar. Mesmo considerando-se as diferentes características climáticas existentes no Brasil, observa-se que a média anual de irradiação no País mantém uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo território nacional.

O aproveitamento da energia solar fotovoltaica, apesar dos significativos avanços identificados, ainda apresenta aspectos restritivos, dentre os quais se realçam:

- exigência de alto investimento inicial;
- geração de energia fotovoltaica somente durante o dia, provocando a geração intermitente de energia e a dependência à concessionária e à sua estrutura de distribuição;

A geração de energia fotovoltaica possui inúmeras vantagens, ou seja, apresenta aspectos estimuladores para a instalação do sistema. Dentre esses, se evidenciam:

- é uma matriz energética limpa, renovável, abundante;
- possibilita a diminuição da dependência energética de combustíveis fósseis, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa;
- permite a geração de energia em áreas não abastecidas pela energia elétrica convencional, constituindo-se em alternativa promissora nas perspectivas econômica, ambiental e social;
- constitui-se, no momento, como a principal fonte renovável de uso residencial, não polui, reduz de imediato o preço que o consumidor paga pela eletricidade e tem uma alta taxa de retorno do investimento;
- apresenta vantagem econômica em relação às fontes não renováveis, porque, ao contrário dessas, que são tipicamente mecanizadas e de capital intensivo, utiliza mão-de-obra em maior quantidade, criando mais empregos, com uma previsão de que até 2030 sejam gerados 300 (trezentos) mil novos empregos;
- contribui para maior segurança energética, possibilitando a diversificação das fontes geradoras e permitindo o abastecimento de energia para grande parcela da população;

- geração de energia fotovoltaica totalmente silenciosa, porque utiliza um processo fotoquímico, que ocorre silenciosamente dentro de cada célula que compõe o módulo;

- apresenta exigência baixa de manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, quando bem projetado e instalado o sistema;

- agrega valor ao imóvel que mantém Sistema Fotovoltaico instalado;

O estudo permitiu evidenciar, portanto, a viabilidade técnica e financeira de instalação de Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede, o que poderá favorecer a consolidação dessa fonte renovável na produção da energia elétrica.

Para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, verificou-se o reduzido número de livros publicados sobre energia fotovoltaica. As informações encontram-se disponíveis em *sites*, quase sempre de caráter publicitário, oriundos de empresas particulares que divulgam seus serviços. Este se apresentou como um fator limitador para a construção deste trabalho, o que indica para a urgência de que as editoras em geral e as editoras universitárias acolham produções que abordem a importância do Sistema Fotovoltaico, esclareçam sobre a legislação em vigor e as questões técnicas relacionadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA. **Santa Maria em Dados**. Disponível em: <santamariaemdados.com.br/1-aspectos-gerais/1-2-localização/>. Acesso em: 31 maio. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolucao9620Normativa9620482,9620de902020129620-9620bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/cedo/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição – SRD. **Geração Distribuída – regulamentação atual e processo de revisão**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Geração+Distribuída+-+regulamentação+atual+e+processo+de+revisão.pdf/3def5a2e-baef-bb59-2ce14ff>. Acesso em: 20 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Brasil ultrapassa marca de 1 GW em Geração Distribuída**, 2019. Disponível em: <www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/6568>. Acesso em: 20 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 5.410, 2008**. Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas9620e9620relat96F3rios/NRs/nbr_5410.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 14.724, 2011**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/LazinhaSantos/nbr-14724-nova-norma-da-abnt-para-trabalhos-academicos-11337543>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Geração e Transmissão de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/geracao-e-transmissao-de-energia>>. Acesso em: 28 maio. 2019.

AZTEC ENERGIA. **O Que Significa “On-grid”?** Disponível em: <<https://www.aztecenergia.com.br/post/significado-on-grid>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

BEZERRA, Juliana. **Energia Nuclear**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-nuclear/>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2011: Ano Base**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia**. Disponível em: <epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 16 maio. 2019.

BROENERGY. **Revisão da REN 482/2012 – Revisão Normativa que trata a Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.broenergy.com.br/2019/04/10/revisao-da-ren-482-2012-resolucao-normativa-que-trata-a-energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CARNEIRO et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: breve histórico e aplicações em ambiente hospitalar**. Disponível em: <www.iph.org.br/revista-iph/materia/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede-breve-historico-e-aplicacoes-em-ambiente-hospitalar>. Acesso em: 25 maio. 2019.

CERQUEIRA, Wagner de. **Energia Hidrelétrica**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/energia-hidreletrica.htm>>. Acesso em: 25 maio. 2019.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa Qualitativa em Ciências Humanas e Sociais**. Petrópolis: Editora Vozes, 2010.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 25 maio. 2019.

FONTANAILLES, Gilvan. **Crescimento da População Mundial**. Disponível em: <<https://geografalando.blogspot.com/2013/02/crescimento-da-populacao-mundial.html>>. Acesso em: 19 maio. 2019.

FONTES, Ruy. **Energia Solar cresce 134,97%**. Disponível em: <<https://alphatecnics.com.br/energia-solar-cresce-13497-a-mais-no-priero-trimestre-de-2019-do-que-em-2018>>. Acesso em: 25 maio. 2019.

FREIRE, Luciano. **Energias Renováveis Complementares: Benefícios e Desafios**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2015.

FREITAS, Eduardo. **População Brasileira**. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/brasil/a-populacao-brasileira.htm>>. Acesso em: 25 maio. 2019.

HALUCHE, João. D&M PERÍCIA ELÉTRICA. **7 Cuidados durante a Instalação do Sistema Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.periciaeletrica.com.br/7-dicas-para-uma-instalacao-solar-segura/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

INCENTIVESOLAR. **Energia Solar no Rio Grande do Sul**, 2018. Disponível em: <<https://incentivesolar.com.br/energia-solar-no-rio-grande-do-sul/>>. Acesso em: 31 maio. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa Populacional**. Disponível em:

<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2018/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 31 maio. 2019.

I3e SOLUÇÕES ELÉTRICAS. **O que é e como funciona uma célula fotovoltaica.**

Disponível em: <i3e.com.br/i3e-solucoes-eletricas-em-o-que-e-e-como-funciona-uma-celula-fotovoltaica/>. Acesso em: 32 maio. 2019.

INVESTRS. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://com.br/energia-fotovoltaica>>. Acesso em: 31 maio. 2019.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha et al. Paradigmas da Energia Solar no Brasil e no Mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas. Santa Maria, v. 20, n. 1, jan.-abr., 2016.

LISITA JÚNIOR, Orlando. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede:** estudo de caso- 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP. Disponível em: <www.iee.usp.br/Isf/sites/default/files/Mestrado_Orlando_Lisita.pdf>. Acesso em: 26 maio. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético do Rio Grande do Sul/2015.** Disponível em:

<<https://minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201603/02113848-balanco-energetico-do-rio-grande-do-sul-2015-ano-base-2014-1.pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2019.

NETTELIN. **Rio Grande do Sul e a Energia Solar.** Disponível em: <nettelin.com.br/rio-grande-do-sul-e-a-energia-solar/>. Acesso em: 26 maio. 2019.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Fontes não renováveis de energia.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-nao-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em: 16 maio. 2019a.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Fontes renováveis de energia.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso: 17 maio. 2019b.

PETROBRÁS. **Exploração e Produção de Petróleo e Gás.** Disponível em: <www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas>. Acesso em: 18 maio. 2019.

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

PORTAL SOLAR. **Sistema Fotovoltaico:** como funciona a Energia Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 30 maio. 2019a.

PORTAL SOLAR. **A Regulamentação dos Créditos de Energia Solar.** Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/a_regulamentacao_dos_creditos_de_energia.html>. Acesso em: 30 maio. 2019b.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o Pannel Solar Fotovoltaico – Placas Fotovoltaicas**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 31 maio. 2019c.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora da Universidade FEEVALE, 2013.

SANTANA, Lucas. **Resolução 482 da ANEEL: 3 Principais Pontos Comentados [+ Bônus]**, 2016. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guia-completo/>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

SANTOS, Afonso Henriques Moreira et al. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Educação. **Eficiência Energética: Teoria & Prática**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2007.

SOUSA, Rafaela. **Fontes alternativas de energia**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/gografia/fontes-alternativas-energia.html>>. Acesso em: 30 maio. 2019.

SOUSA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**.

SUA PESQUISA. **Carvão Mineral**. Disponível em: <https://suapsquisa.com/o-que-e-carvao_mineral.htm>. Acesso em: 17 maio. 2019.

SUPER RENOVA ENERGIA. **Como Funciona a Captação da Energia Solar e sua Transformação para Energia Elétrica?** Disponível em: <supernovaenergia.com.br/duvidas/>. Acesso em: 02 jun. 2019.

TEIXEIRA, Flávio E. N. **Revisão da Resolução 482 – ANEEL**. Disponível em: <<https://energiaolaredesenvolvimento.blogspot.com/2015/09/revisao-sa-resolucao-482-aneel.html/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

TIMANE, Hermenegildo Augusto. **Princípio de Funcionamento do Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede Pública**. Moçambique: Maputo2010. Disponível em <<https://docplayer.com.br/7472060-Faculdade-de-ciencias-principio-de-funcionamento-do-sistema-fotovoltaico-ligado-a-rede-publica.html>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Térmica de Flúidos). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

TSENERGY. **Afinal, vale a pena investir em energia solar no Rio Grande do Sul?**, 2017. Disponível em: <www.tsenergy.com.br/energia-solar-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 30 maio. 2019.

UCHA, Danilo. **O Cenário da Energia Elétrica no Brasil**. Disponível em: <<https://alfonsin.com.br/danilo-ucha-o-cenario-da-energia-eletrica-no-brasil/>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Sistema de Bibliotecas da UFSM. **Manual de Dissertações e Teses da UFSM: estrutura e apresentação**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **1904 – O Efeito Fotoelétrico: Albert Einstein**. Disponível em: <www.ifufrgs.br/tex/fis0143/20221/Alexandre/einstein/fotoeletrico.html>. Acesso em: 17 maio. 2019.

VIANNA, Luiz Bruno. **Max Planck**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/biografias/max-planck/>>. Acesso em: 18 maio. 2019.

Yin, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Tradução: Daniel Grassi. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.