



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
BIANCA BRAGA NANDI

**INVESTIGAÇÃO DE VIABILIDADE DE PROJETO DE SISTEMA DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM TECNOLOGIA EFICIENTE E SUSTENTÁVEL**

Tubarão
2019

BIANCA BRAGA NANDI

**INVESTIGAÇÃO DE VIABILIDADE DE PROJETO DE SISTEMA DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM TECNOLOGIA EFICIENTE E SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Esp. Gil Félix Madalena.

Tubarão

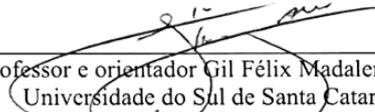
2019

BIANCA BRAGA NANDI

**INVESTIGAÇÃO DE VIABILIDADE DE PROJETO DE SISTEMA DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM TECNOLOGIA EFICIENTE E SUSTENTÁVEL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

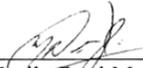
Tubarão, 18 de junho de 2019.



Professor e orientador Gil Félix Madalena, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Rennan da Silva de Medeiros, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Murilo Raul Martins, Esp.
Tubarão Saneamento

Dedico a meu pai, Vilson Modolon Nandi, minha mãe, Rosangela Braga Nandi, e, em especial, à minha psicóloga, Janira S. L. Barbosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me possibilitou estar hoje aqui, por sua luz e por me guiar sempre.

Aos meus pais, Vilson Modolon Nandi e Rosangela Braga Nandi, por todo apoio, compreensão e paciência que tiveram diante deste ciclo, o qual foi repleto de emoções.

Ao meu parceiro e amigo, Natanael de Bitencourt Marcon, por não deixar que eu desistisse e, por inúmeras vezes, ter sido minha fonte de motivação.

Ao meu orientador, Gil Félix Madalena, que esteve sempre disponível para me auxiliar e para me apoiar.

A todos que contribuíram e fizeram parte desta monografia, seja com carinho, atenção e/ou compreensão.

Por último, gostaria de agradecer meu animal de estimação, Meg, pois ela esteve ao meu lado o tempo todo, foi minha melhor companheira e amiga.

“[...] Só podemos atingir a excelência em algo se estivermos dispostos a falhar. Se você se recusa a correr o risco, não está disposto a ser bem-sucedido.” (Mark Manson).

RESUMO

Considerando as atuais e futuras causas do fenômeno aquecimento global, o qual é causado, principalmente, pela alta emissão de combustíveis fósseis na atmosfera, este trabalho busca incentivar a geração de energias limpas, renováveis e com baixa produção de CO₂, priorizando a mais abundante fonte de energia do planeta, a solar. A presente monografia apresenta as principais etapas de um sistema de geração de energia com painéis fotovoltaicos, por meio de um estudo de caso, no município de Tubarão. Direcionando a instalação para utilização em iluminação pública, a finalidade do mesmo é buscar resultados positivos a fim de influenciar os cidadãos da cidade e, se possível, propagar a ideia de aplicação da mesma. A pesquisa possui natureza qualitativa, tipo exploratório e para seu desenvolvimento foram utilizadas pesquisas bibliográficas, análise de dados. Dados como irradiância e temperatura foram obtidos através do *software* RADIASOL2. Foram efetuados cálculos de demanda e consumo que resultaram em dados necessários para a realização do projeto. Por último, foram calculados os tempos de retorno dos projetos e, conseqüentemente, realizado o estudo de viabilidade econômica dos mesmos. O projeto estudado apresentou resultados satisfatórios, viáveis, tornando-o aplicável para o objetivo pretendido.

Palavras-chave: Painéis fotovoltaico. Eficiência energética. Energia solar.

ABSTRACT

Considering the current and future causes of global warming, which is caused predominantly by the high emissions of fossil fuels on the atmosphere, this resume tries to incentive more clean and renewable energy generation, along with low carbon dioxide production prioritizing the most abundant energy source on the planet: solar. The current thesis presents the fundamental steps of a solar energy generation system, based on photovoltaic panels on the municipality of Tubarão. Prioritizing the installation to usage on street lighting, the goal is searching for positive results influencing the city citizens, and if possible to expand the usage of solar power. The search is qualitative and exploratory, using bibliographic searches and data analysis. Data such as irradiance and temperature were obtained by means of RADIASOL2 software. Several demand and consumption calculations resulted in the necessary data to the project realization. By last, monetary return and consequently, economic viability were also calculated. The project study presented satisfactory results, making the current project applicable to the pretended goal.

Keywords: Photovoltaic panel. Energy efficiency. Solar energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplos de fontes renováveis.....	21
Figura 2 - Exemplos de fontes não renováveis.....	21
Figura 3 - Exemplos de formas indiretas de manifestação de energia solar.....	27
Figura 4 - Parque Solar da Represa de Longyangxia em 2013	30
Figura 5 - Parque Solar da Represa de Longyangxia em 2017	31
Figura 6 - Localização da Usina Parque Solar Nova Olinda.....	33
Figura 7 - Usina Parque Solar Nova Olinda	33
Figura 8 - Distribuição energética na Alemanha em 2015	34
Figura 9 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino	37
Figura 10 - Célula fotovoltaica de silício policristalino	37
Figura 11 - Fabricação de um painel fotovoltaico	38
Figura 12 - Painel fotovoltaico de silício monocristalino.....	39
Figura 13 - Painel fotovoltaico de silício policristalino	39
Figura 14 - Painel fotovoltaico de silício amorfo	40
Figura 15 - Representação do sistema fotovoltaico isolado	41
Figura 16 - Representação do sistema fotovoltaico híbrido	41
Figura 17 - Representação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	42
Figura 18 - Ilustração do funcionamento de uma usina heliotérmica.....	43
Figura 19 - Geometria Sol - Terra	49
Figura 20 - Componentes da irradiação solar	50
Figura 21 - Mapa de irradiação global no plano inclinado.....	51
Figura 22 - Importância da iluminação pública.....	53
Figura 23 - Localização da Avenida Patrício Lima	57
Figura 24 - Modelo de luminária 1	62
Figura 25 - Modelo de luminária 2.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Capacidade de geração do Brasil	32
Gráfico 2 - Fluxo de caixa para o caso 1	64
Gráfico 3 - Fluxo de caixa para o caso 2	65
Gráfico 4 - Fluxo de caixa para o caso 3	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média mensal e anual dos índices de irradiação para a cidade de Tubarão	58
Tabela 2 - Temperatura máxima, média e mínima para a cidade de Tubarão.....	59
Tabela 3 - Método <i>Pay-back</i> Simples.....	76
Tabela 4 - Método <i>Pay-back</i> Descontado.....	77
Tabela 5 - Método <i>Pay-back</i> Simples.....	78
Tabela 6 - Método <i>Pay-back</i> Simples.....	79
Tabela 7 - Método <i>Pay-back</i> Simples.....	80
Tabela 8 - Método <i>Pay-Back</i> Descontado	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

COSIP - Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

IRENA - *International Renewable Energy Agency*

LABSOL - Laboratório de Energia Solar

LED - *Light emitting diodes*

MME - Ministério de Minas e Energia

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PNE - Programa Nacional de Energia

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

TIP - Taxa de Iluminação Pública

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica

VPL - Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Amper

CO₂ - Dióxido de carbono

% - Porcentagem

cm² - Centímetro quadrado

GW - Giga Watt

GWh - Giga Watt hora

°C - Graus Celsius

km² - Quilômetro quadrado

kW - Kilo Watt

kWh - Kilo Watt hora

kWh/m² - Kilo Watt hora por metro quadrado

m - Metro

MW - Mega Watt

MWh - Mega Watt hora

R\$ - Reais

tWh - Tera Watt hora

V - Volt

W - Watt

W/m² - Watt por metro quadrado

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Valor Presente Líquido	54
Equação 2 - Taxa Interna de Retorno	55
Equação 3 - Cálculo da demana atual.....	59
Equação 4 - Cálculo do consumo atual mensal	59
Equação 5 - Tarifa de Iluminação Pública.....	60
Equação 6 - TIP atual	60
Equação 7 - Cálculo da demana em LED - Caso 1	60
Equação 8 - Cálculo provável do consumo em LED mensal - Caso 1	60
Equação 9 - TIP em LED - Caso 1	60
Equação 10 - Economia gerada em 12 meses.....	60
Equação 11 - Cálculo da demana em LED - Caso 2	61
Equação 12 - Cálculo provável do consumo em LED mensal - Caso 2.....	61
Equação 13 - TIP em LED - Caso 2	61
Equação 14 - Economia gerada em 12 meses.....	61
Equação 15 - Custo do Fornecedor A.....	61
Equação 16 - Custo do Fornecedor B.....	62
Equação 17 - Cálculo do Valor Presente	63
Equação 18 - Cálculo da demana em LED - Caso 3	65
Equação 19 - Cálculo provável do consumo em LED mensal - Caso 3.....	65
Equação 20 - TIP em LED - Caso 3	65
Equação 21 - Economia gerada em 12 meses.....	66
Equação 22 - Investimento para o Caso 3	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	18
1.2 OBJETIVO	19
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	21
2.1.1 Energia hidráulica.....	22
2.1.1.1 Hidrelétrica no Brasil	23
2.1.2 Energia da biomassa	23
2.1.2.1 Breve histórico.....	24
2.1.2.2 Aspectos operacionais	25
2.1.3 Energia oceânica.....	26
2.1.3.1 Energia das marés.....	26
2.1.3.1.1 <i>Breve histórico.....</i>	26
2.1.3.2 Energia das ondas	26
2.1.3.2.1 <i>Breve histórico.....</i>	27
2.1.4 Energia Solar	27
2.1.4.1 Energia solar no mundo.....	28
2.1.4.1.1 <i>Usina Parque Solar da Represa Longyangxia</i>	29
2.1.4.2 Energia solar no Brasil	31
2.1.4.2.1 <i>Usina Parque Solar Nova Olinda.....</i>	32
2.1.4.3 Energia solar fotovoltaica.....	34
2.1.4.3.1 <i>Breve histórico.....</i>	35
2.1.4.3.2 <i>Aspectos operacionais</i>	35
2.1.4.3.3 <i>Células fotovoltaicas</i>	36
2.1.4.3.4 <i>Tipos de células fotovoltaicas.....</i>	36
2.1.4.3.5 <i>Painel fotovoltaico.....</i>	38
2.1.4.3.6 <i>Sistemas fotovoltaicos.....</i>	40
2.1.4.4 Energia solar heliotérmica	42
2.1.5 Energia hidráulica.....	43
2.1.5.1 Hidrelétrica no Brasil	44

2.1.6 Energia da biomassa	44
2.1.6.1 Breve histórico.....	45
2.1.6.2 Aspectos operacionais	45
2.1.7 Energia oceânica	46
2.1.7.1 Energia das marés.....	47
2.1.7.1.1 Breve histórico.....	47
2.1.7.2 Energia das ondas	47
2.1.7.2.1 Breve histórico.....	47
2.2 ESTUDO DO SOL	48
2.2.1 O sol	48
2.2.2 Radiação solar	48
2.2.3 Irradiação solar	50
2.2.4 Medição de radiação solar	51
2.2.5 Recurso solar	51
2.3 MICRO E MINIGERAÇÃO	52
2.4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA	52
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	53
2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA	54
2.6.1 TMA - Taxa Mínima de Atratividade	54
2.6.2 Pay-back	54
2.6.3 VPL - Valor Presente Líquido	54
2.6.4 TIR - Taxa Interna de Retorno	55
3 METODOLOGIA	56
4 ANÁLISE E RESULTADOS	57
4.1 LOCALIZAÇÃO	57
4.2 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR	57
4.3 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	59
4.4 LEVANTAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DE LÂMPADA DE LED	60
4.4.1 Lâmpada de LED de 100W	60
4.4.2 Lâmpada de LED de 150W	60
4.4.3 Escolha da luminária	61
4.4.3.1 Fornecedor A	61
4.4.3.2 Fornecedor B	62

4.5 VIABILIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA.....	63
5 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	69
ANEXOS	73
ANEXO A – TARIFA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	74
APÊNDICES	75
APÊNDICE A – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 1	76
APÊNDICE B – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 1.....	77
APÊNDICE C – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 2	78
APÊNDICE D – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 2	79
APÊNDICE E – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 3.....	80
APÊNDICE F – FLUXO DE CAIXA PARA O CASO 3.....	81

1 INTRODUÇÃO

O aumento das discussões que envolvem o meio ambiente, atualmente, relacionam o aquecimento global. O mesmo é causado pela crescente emissão de gases do efeito estufa, sendo este resultado de processos naturais e, também, de atividades humanas (GUERRA; YOUSSEF, 2012).

O gás CO₂ é o mais comum entre as atividades humanas e resulta da queima de produtos orgânicos como madeira, carvão, combustíveis fósseis, ou seja, ocorre em atividades domésticas, industriais, na utilização de transportes motorizados, (PRIMAVESI; ARZABE; PEDREIRA, 2007).

Do ponto de vista global, o setor energético tem participação direta e significativa nos problemas ambientais atuais. Logo, tem-se como exemplos desses impactos, a poluição do ar urbano, as mudanças climáticas (como efeito estufa), a chuva ácida, desflorestamento, alagamento, entre outros (REIS, 2011).

Conforme citado anteriormente, o setor energético possui uma considerável participação com o impacto ambiental, é considerado, também, um setor gerador de poluição, logo, diante deste fato, tem-se a principal justificativa para seguimento desta monografia.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

No decorrer dos tempos, o uso da energia elétrica passou a ser indispensável no cotidiano da humanidade, entretanto suas formas de obtenção convencionais e tradicionais trazem grandes complicações ambientais, visto que suas matrizes energéticas são provindas de combustíveis fósseis responsáveis por emissão de gases do efeito estufa. Assim, o ser humano, junto com outras práticas nocivas, passou a destruir, aos poucos e sem perceber, o planeta.

O Brasil tem como potencial natural um clima propício para diversas atividades particulares, desde plantações a energias renováveis. Possui grande diferencial em ventos, excelente irradiação solar, áreas para implantação de hidrelétricas e uma área agrícola de extrema importância, com plantação de cana-de-açúcar, possibilitando a geração de energia associando a biomassa. O que torna o assunto energias renováveis importante são seus benefícios que, com a preservação do ambiente, tem como consequência o crescimento socioeconômico.

Tendo como base pesquisas relacionadas a energias limpas e renováveis, pode-se levar em consideração o grande crescimento da utilização das mesmas. Tratando-se de energia solar, chama atenção países de baixo índice de raio solar, um exemplo seria a Alemanha, considerada mundialmente o país com o maior mercado de energia solar, é um dos países que mais geram energia solar. No Brasil, mesmo que seu pior local de irradiação solar tenha melhor índices que o local de maior irradiação da Alemanha, ainda assim a fonte mais utilizada é a provinda de hidrelétricas, segundo a Empresa de Pesquisa Elétrica (EPE).

No entanto, ao contrário do governo alemão, presencia-se a falta de incentivo aos habitantes brasileiros. Além da parte econômica, é visível complicações com licitações, etc. Uma das tentativas de incentivo tem partido da Eletrobrás, por meio do Programa Procel Reluz. O programa busca implantar sistemas eficientes para a iluminação pública utilizando novas tecnologias, com o intuito de maximizar a eficiência energética de vias públicas, servindo como impulso aos municípios.

Outro incentivo está no Sul do Brasil, estado de Santa Catarina, localizada na cidade de Capivari de Baixo, onde se encontra o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, com capacidade instalada de 857MW, a qual pertence, atualmente, à empresa *ENGIE*, que vem buscando implantar mais energias limpas pelo mundo, priorizando atividades com menor emissão de CO₂.

Sendo 11.059 MW de capacidade energética instalada no país, a *ENGIE* possui 90% de sua capacidade provinda de fontes renováveis, uma delas, com 3 MW, está localizada na cidade de Tubarão, também no estado de Santa Catarina e é chamada de Usina Solar Cidade Azul, localiza-se em uma cidade de clima subtropical. Visando a um futuro melhor, como questão problema, delinea-se para esta pesquisa: é viável um projeto de sistema fotovoltaico para iluminação pública na cidade de Tubarão – SC a partir das investigações realizadas nos anos de 2018 e 2019?

1.2 OBJETIVO

Neste item, serão apresentados os objetivos geral e específicos elencados para esta pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

Investigar a viabilidade de projeto de sistema de iluminação pública com tecnologia eficiente e sustentável, visando contribuir para com o meio ambiente, economia financeira e diminuição da dependência do mercado do petróleo.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a eficácia da localização pretendida pela pesquisa;
- b) Analisar, matematicamente, a viabilidade dos custos para implantação;
- c) Levantar o consumo atual de energia elétrica na iluminação de uma via pública;
- d) Apresentar viabilidade econômica de um novo sistema.

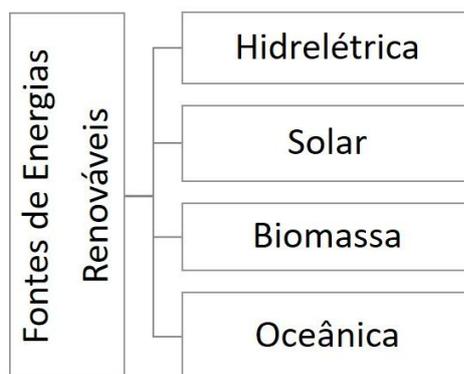
2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo é composto pela fundamentação bibliográfica que engloba os temas fontes de energias renováveis, energia solar, micro e minigeração, localização, viabilidade econômica.

2.1 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

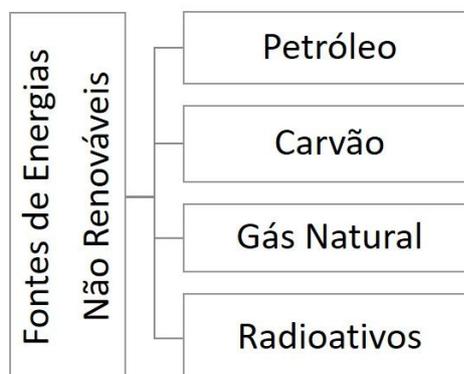
De maneira geral, pode-se dividir as fontes energéticas em: fontes de energia renováveis como Figura 1 e fontes de energia não renováveis como Figura 2.

Figura 1 - Exemplos de fontes renováveis



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Figura 2 - Exemplos de fontes não renováveis



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

As fontes de energia não renováveis são definidas como aquelas que se originam de combustíveis fósseis e combustíveis nucleares, sendo este considerado um assunto polêmico pelas suas consequências. Formados durante a Idade Carbonífera, da Era Paleozóica, os combustíveis fósseis são considerados responsáveis pela maior parte de suprimento de energia (LUIZ, 1985). De maneira geral, são consideradas fontes não renováveis aquelas que, devido seu rápido consumo, comparado ao tempo preciso para sua formação, são suscetíveis a se esgotarem (REIS, 2011).

Portanto, cita-se como exemplos de fontes energéticas não renováveis: o petróleo, o carvão, o gás natural e materiais radioativos. Embora haja conhecimento de reservas dos recursos não renováveis, sua disponibilidade diminui com o uso, considerados, então, recursos finitos, esgotáveis. Além de suas limitações, os combustíveis fósseis causam danos ambientais impactantes (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Entretanto, tem-se as fontes de energia limpa, associada às fontes renováveis. Essas apresentam reduzidos danos ao meio ambiente, além disso, por serem fontes renováveis, são consideradas inesgotáveis, ou seja, apesar do seu constante uso, nunca irá acabar, e sim, renovar-se. Assim sendo, tem-se como principais exemplos, a energia solar, energia eólica, hidráulica, biomassa, oceânica (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Fontes renováveis são aquelas cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética, como as águas dos rios, mares, sol e ventos (REIS, 2011).

Tendo como objetivo o aumento de fontes alternativas renováveis na geração de energia, a Lei nº 10.438/2002 criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), favorecendo empreendedores que carecem de vínculos com empresas geradoras, transmissoras ou distribuidoras de energia elétrica. Entretanto, as fontes consideradas no programa são eólicas, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa (ANEEL, 2015).

2.1.1 Energia hidráulica

A hidrelétrica tem por finalidade a geração de energia através de potencial hidráulico presente em um determinado rio, sendo este potencial diretamente relacionado com a vazão e os desníveis existentes no mesmo.

Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente. (ANEEL, 2008, p. 50).

Conforme Luiz (1985), a fonte de energia hidráulica é uma das mais promissoras fontes de energia renovável, principalmente para países como o Brasil, que possui grandes recursos hídricos.

Totalizando 2/3 do planeta, a água é considerada o recurso natural mais abundante da Terra. Devido ao fato de retornarem à superfície terrestre em forma de chuva e, também, por meio do ciclo de transformação da água do estado líquido para vapor pelos efeitos da energia solar e da força da gravidade, a água é considerada um recurso renovável e, igualmente, uma das fontes para produção de energia limpa que colaboram com a diminuição de gases poluentes (ANEEL, 2008).

2.1.1.1 Hidrelétrica no Brasil

Dados históricos retratam o início da hidroeletricidade no Brasil no século XIX, com a Usina Hidrelétrica Marmelos Zero, a primeira da América do Sul. Localizada no Estado de Minas Gerais, às margens do rio Paraibuna, a usina foi inaugurada em 5 de setembro de 1889, operando até 1896.

Informações fornecidas pela Aneel apontam a usina hidrelétrica como fonte líder na capacidade de geração de energia do Brasil, com 60,39% de potência instalada. Este dado serve para confirmar a ideia de que a hidroeletricidade tem sido a principal fonte de geração do país, sendo isso consequência de sua abundância e, outrossim, do fator econômico.

Assim como seu grande potencial energético, as hidrelétricas trazem como principais vantagens seus reservatórios, servindo como controle de cheias, suprimento para consumo, serviços de navegação, entre outros. Entretanto, sua maior dificuldade de expansão está relacionada, na maioria das vezes, aos reservatórios, que resultam em áreas alagadas, gerando grandes impactos socioambientais (TOLMASQUIM, 2016).

As usinas hidrelétricas possuem diversas variáveis a serem consideradas na sua classificação e uma delas é a potência instalada. Tal variável determina se a usina é de médio ou grande porte ou, até mesmo, uma pequena central hidrelétrica, popularmente conhecida como PCH (ANEEL, 2008).

2.1.2 Energia da biomassa

Resíduos sólidos urbanos como animais, vegetais, industriais e florestais consistem em originar a biomassa. Referindo-se a fins energéticos, a energia da biomassa

abrange a utilização de tais resíduos. Todavia, no contexto tecnológico, a biomassa serve para suprimento tanto energético, como combustível, sendo este último uma maneira de promover o setor do transporte.

O termo biomassa compreende a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como as florestas, as culturas e os resíduos agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos rejeitos industrial e urbano. Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros. (BRASIL, 2007, p. 103).

Segundo a ANEEL (2008), o uso da biomassa como fonte de energia é uma das mais propícias ao meio ambiente, pois, por causa da utilização de resíduos, a mesma contribui para a luta contra a poluição do solo e, também, dos lençóis freáticos.

2.1.2.1 Breve histórico

Em seu contexto histórico, a biomassa teve um papel fundamental para a evolução humana. Destarte, a biomassa era, assim como o sol, uma fonte de calor significativa utilizada pelo homem até meados do século XVII. Entretanto, sua exploração, naquela época, foi tão intensa que, conseqüentemente, houve a escassez em países europeus, onde outras fontes começaram a ser utilizadas a fim de substituir o papel da biomassa (REIS, 2011).

[...] O aproveitamento energético da biomassa disponível foi essencial para a evolução humana, sendo que seu próprio meio de obtenção e uso progrediram juntos, desde a lenha catada para cocção, proteção e aquecimento, até as modernas práticas de produção silvo – agropecuárias e industriais, de transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade [...] (TOLMASQUIM, 2016, p. 137).

Com o crescimento da energia provinda de combustíveis fósseis como carvão, petróleo, gás-natural, a biomassa foi perdendo sua liderança na geração de energia. Entretanto, atualmente, países desenvolvidos ou não estão criando ações para o uso de energias renováveis, sendo motivados pela necessidade de redução do consumo de derivados do petróleo.

2.1.2.2 Aspectos operacionais

Conforme a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), o uso da bioenergia é dividido em uso tradicional, englobando a combustão da biomassa e o uso moderno, compondo-se das tecnologias. Essa última se refere a biocombustíveis, neste caso, para substituir a gasolina, produzidos através do bagaço e outras plantas, entre outras tecnologias, como o biogás (digestão anaeróbia de resíduos), bio-refinarias, etc.

Atualmente, tecnologias modernas e eficientes de utilização da biomassa na produção de energia estão sendo desenvolvidas para produzir óleos fluidos, eletricidade e calor. As fontes usadas são diversificadas e incluem madeira, cana-de-açúcar e seu bagaço, amido, plantações energéticas, refugos da agricultura e produtos da floresta. Tecnologias avançadas orientam-se para a gaseificação e a obtenção da biomassa (madeira, bagaço e cana-de-açúcar) a partir da celulose, entre outras, a fim de aperfeiçoar sua utilização energética. (REIS; SANTOS, 2014, p. 82).

Referente aos biocombustíveis, um fato impactante foi a criação do Programa Nacional de Álcool, popularmente conhecido como Proálcool, criado em 14 de novembro de 1975. Seu principal objetivo foi a produção de um combustível alternativo, conseqüente do aumento de preço do petróleo e seus derivados, sendo o programa considerado pioneiro na busca de devidos fins. Neste sentido, houve a ampliação da indústria sucroenergética e o programa tornou-se referência internacional (TOLMASQUIM, 2016).

O Brasil atua como um dos maiores promotores de biocombustíveis do mundo, tendo como principal biomassa utilizada o bagaço da cana-de-açúcar, sendo esse a principal fonte de biomassa utilizada, também, na geração elétrica, com 32,3 TWh de 44,7 TWh produzidos, segundo dados da EPE em 2014.

O processo da bioenergia é considerado semelhante ao de uma termelétrica, todavia a biomassa é considerada uma grande aliada para a redução de emissores de poluentes e isso se deve ao fato de seu gás carbônico gerado ser originado na fotossíntese.

Os resíduos, pela variação, de acordo com fatores como nível econômico e desenvolvimento industrial de cada país e, também, seu destino, são difíceis de se realizarem análises referente à produção, no entanto, devido ao avanço tecnológico em diversos países, é possível ter uma noção, inexata, da geração de resíduos sólidos urbanos (resíduos comerciais e domiciliares) e industriais (provenientes do beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, por exemplo).

2.1.3 Energia oceânica

A energia oceânica engloba energias provindas das marés, ondas, correntes marinhas, gradientes de temperatura e salinidade da água do mar, sendo as 3 (três) primeiras mencionadas as de maior relevância no cenário de geração elétrica. Sendo assim, o oceano reserva, teoricamente, energia térmica e energia mecânica. Entretanto, em razão da desqualificação do calor presente neste ambiente, somente a energia mecânica pode ser devidamente aproveitada, isso correspondente aos avanços tecnológicos (TOLMASQUIM, 2016).

Mesmo possuindo uma reserva em alta escala, a energia oceânica, ainda, é vista como uma energia do futuro. Além de sua vasta distribuição mundial, esta energia é limpa, portanto, estudos estão sendo realizados em diversos países para que, futuramente, ela possa vir a ser utilizada de maneira eficaz e viável para geração de energia (REIS, 2011).

2.1.3.1 Energia das marés

Entende-se por maré o resultado da interação gravitacional entre a terra, a lua e o sol. Esta viabiliza o aproveitamento energético potencial e o cinético. O aproveitamento das marés oceânicas é feito nas chamadas usinas maremotrizes. Assim como ocorre em hidrelétricas, a conversão da energia potencial em energia elétrica ocorre após a passagem da água por uma turbina, sendo a energia potencial, resultante das variações do nível do mar (BRASIL, 2007).

2.1.3.1.1 Breve histórico

Segundo Reis (2011), a história da utilização das marés para fins energéticos tem seu início na Idade Média, em países como a França e a Inglaterra. Com a finalidade de moer grãos, eram instalados pequenos moinhos submarinos, dando início a sua utilização. Todavia, sua história, como geração de eletricidade, teve início apenas em 1966, também na França, com uma capacidade de 240 MW de potência e foi considerado um sistema de médio porte.

2.1.3.2 Energia das ondas

As ondas são originadas através do atrito dos ventos com a superfície do mar. Essas estão distribuídas pelo mundo e possuem uma grande densidade energética, estando

entre as fontes renováveis de maior densidade. Entretanto, países da América Central, costa Sudeste dos Estados Unidos e América do Sul, Oeste da África, Sudeste Asiático e Japão possuem uma baixa densidade energética.

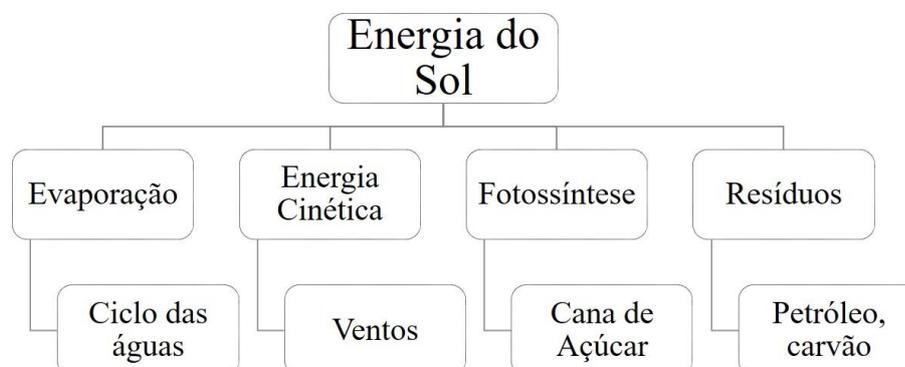
2.1.3.2.1 Breve histórico

No contexto histórico da energia das ondas, a crise do petróleo, na década de 70, teve um importante estímulo devido ao aumento pela busca de energias alternativas para a substituição da mesma (REIS, 2011). Para tanto, países iniciaram pesquisas buscando métodos eficientes para a utilização desta fonte de energia. Buscando viabilidade de aproveitamento em função das características locais e regime das ondas, dispositivos foram criados para serem situados em determinadas regiões.

2.1.4 Energia Solar

Durante toda a história da humanidade, o sol tem sido considerado uma predominante fonte de energia para a Terra, capaz de suprir necessidades como alimentação, aquecimento e iluminação, através do fornecimento de calor. Classificando-se como uma fonte de energia inesgotável, ele é responsável pela derivação de outras fontes de energias existentes e pode gerar energia elétrica diretamente, com painéis fotovoltaicos, a partir da luz, ou, ainda, de forma indireta, com o aproveitamento do calor, como ocorre em usinas heliotérmicas, e outros exemplos conforme Figura 3 (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 3 - Exemplos de formas indiretas de manifestação de energia solar



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Assim, também a energia eólica é uma forma indireta de manifestação de energia solar, já que os ventos se formam a partir da conversão da radiação solar em energia cinética, em função de um balanço diferenciado nas diferentes latitudes entre a radiação solar incidente e a radiação terrestre emitida. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que originalmente obtiveram do recurso solar a energia necessária ao seu desenvolvimento. É também através da energia do Sol que a matéria orgânica, como a cana de açúcar, realiza a fotossíntese e se desenvolve para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas. (PINHO; GALDINO, 2014, p. 47).

O uso do sol, para geração elétrica, é denominado de forma sucinta diante de sua disponibilidade. Contudo, seu uso teve um aumento considerável nos últimos anos, decorrente dos problemas físicos ambientais e, também, pela mudança sócio econômica, como, por exemplo, o decréscimo do custo dos painéis fotovoltaicos.

A rápida expansão da capacidade instalada nos últimos anos, atrelada à forte redução de custos; o imenso potencial técnico de aproveitamento; e o fato de não emitirem poluentes durante sua operação, fez com que o mundo voltasse sua atenção para a energia solar como alternativa de suprimento elétrico. (TOLMASQUIM, 2016, p. 310).

Além do aumento significativo do uso do sol para geração elétrica através de painéis fotovoltaicos, seu aproveitamento térmico, também, teve um considerável desenvolvimento, sendo aproveitado tanto em residências, quanto em indústrias. De modo geral, o recurso solar está interligado com condições de clima e tempo da região, para tanto, cada país ou região possui sua característica climática e, igualmente, uma determinada disposição solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

2.1.4.1 Energia solar no mundo

O incentivo a fontes de energias renováveis, no âmbito mundial, é de extrema importância e uma das condições fundamentais na ampliação de geração elétrica por meio de fontes limpas. A Europa, por exemplo, já considerada líder em número de instalações, foi perdendo o cargo após a redução de incentivos, consequentemente, países Asiáticos, como a China, estão avançando crescentemente em busca de fontes limpas e o principal motivo é a grande geração de gases poluentes no país.

Conforme o Acordo de Paris, Artigo 7, item 2 (2015, p. 30):

As Partes reconhecem que a adaptação é um desafio global enfrentado por todos com dimensões locais, subnacionais, nacionais, regionais e internacionais, e é um componente – chave da e faz uma contribuição para a resposta global em longo prazo às mudanças climáticas para proteger as pessoas, meios de subsistência e ecossistemas, tendo em conta as necessidades urgentes e imediatas daqueles países em desenvolvimento Partes que são particularmente vulneráveis aos efeitos adversos nas mudanças climáticas.

Segundo Tolmasquim (2016), o setor de energia fotovoltaica nos últimos anos teve sua inserção baseada em diferentes modelos de negócios e esquemas regulatórios, predominantemente apoiados por medidas de incentivo, dentro os quais se destacam:

- I. Tarifa prêmio: constitui-se, por entre contratos com prazos entre 15 e 20 anos, na compra de energia gerada por um valor fixo por kWh;
- II. Leilões: envolvendo, em grande maioria, projetos de grande porte, é o modelo de compra de energia com contratos a longo prazo, consequentes de processos de leilão;
- III. Net metering: de modo geral, esse modelo permite que a geração fotovoltaica seja utilizada compensando o consumo de eletricidade da unidade onde o sistema está instalado, reduzindo sua fatura.

2.1.4.1.1 Usina Parque Solar da Represa Longyangxia

Depois de se ter a Fazenda Solar Topaz, na Califórnia, com capacidade de 550 MW em 2014, a Energia Solar Kamuthi, na Índia, com 648 MW em 2016, tem-se hoje o Parque Solar da Represa de Longyangxia, na China, como a maior fazenda solar do mundo, com capacidade de 850 MW. Localizada na província de Qinghai, no oeste do país, a usina solar possui 27 km² (quilômetros quadrados) e capacidade energética suficiente para abastecer 200.000 residências, sua construção teve início em 2013 e foi concluída em 2017 (ALTERNATIVES ENERGIES, 2017).

Entretanto, apesar de ser um país líder em energia fotovoltaica, a China, também, lidera a lista de maior poluidor do mundo, sendo considerado o maior emissor de gases do efeito estufa. Todavia, após ser um dos países a sancionar o Acordo de Paris, em dezembro de 2015, os chineses têm investido firmemente em fontes energéticas renováveis, buscando cumprir o proposto no acordo (THE GUARDIAN, 2017).

As Partes devem, ao se engajar voluntariamente em abordagens cooperativas que envolvem a utilização dos resultados de mitigação transferidos internacionalmente visando as contribuições nacionalmente determinadas, promover o desenvolvimento

sustentável e assegurar a integridade ambiental e a transparência, incluindo em termos de governança, e deve aplicar um acompanhamento robusto para garantir, inter alia, que se evite a dupla contagem, de acordo com a orientação adotada pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes do Acordo de Paris. (NAÇÕES UNIDAS, 2015, p. 29).

De acordo com o jornal *The Guardian* (2017), em 2012, a energia solar foi descartada pelo governo chinês devido seu alto custo, diferente do que ocorre atualmente. Nos últimos anos, os custos vêm despencando, conseqüentemente, sua utilização também. Desta forma, a China pretende, até 2020, produzir em torno de 110 GW de energia solar, buscando o desenvolvimento em energias renováveis e uma mudança climática.

Na sequência, as Figura 4 e Figura 5 ilustram o Parque Solar da Represa de Longyangxia em 2013 e 2017.

Figura 4 - Parque Solar da Represa de Longyangxia em 2013



Fonte: NASA – *Earth Observatory*, 2013.

Figura 5 - Parque Solar da Represa de Longyangxia em 2017



Fonte: NASA – *Earth Observatory*, 2017.

2.1.4.2 Energia solar no Brasil

Referente à energia solar nacional, afirma-se que o país tem uma grande vantagem de aproveitamento energético, pois está situado em uma região com grande incidência solar que favorece boa parte do território. Entretanto, essa fonte, ainda, é considerada pouco utilizada comparada a sua expansão.

Historicamente, no Brasil, a fonte solar tem uma ligação considerável com a geração fotovoltaica e seu uso, na década atual, obteve expressivo aumento devido condições como a regulamentação da geração distribuída conectada à rede e, também, o início de realização de leilões específicos para contratação da mesma.

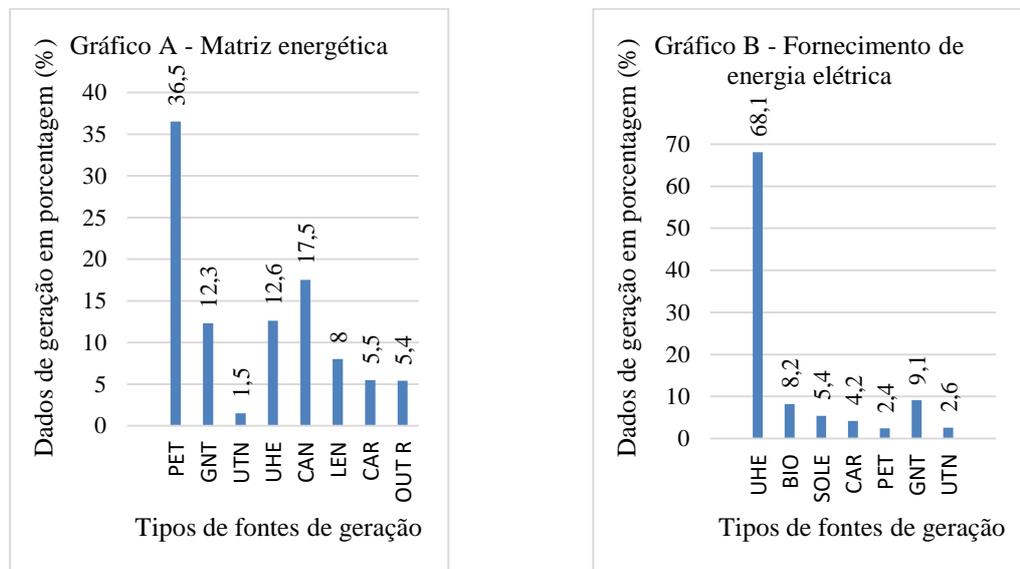
O sistema de leilão customizado associado à contratação de longo prazo, não apenas viabiliza o financiamento dos projetos, mas também induz os geradores a reduzir os seus preços. Dessa forma, espera-se que, à semelhança da energia eólica, os preços também caiam para patamares competitivos nos próximos anos. Adicionalmente, esse modelo de negócios, em conjunto com as políticas de conteúdo local que estão sendo implementadas no país, deve trazer segurança aos investidores no desenvolvimento na indústria nacional fotovoltaica. (TOLMASQUIM, 2016, p. 312).

O ano de 1994, no Brasil, ficou marcado com a criação do PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), pelo Governo Federal. O Programa

tinha por objetivo promover a eletrificação rural, principalmente por meio de sistemas fotovoltaicos (TOLMASQUIM, 2016).

Conforme dados apontados no Gráfico 1 - Capacidade de geração do Brasil, a fonte solar, possui 5,4% de potência em operação no país, somados com a energia eólica. Entretanto, empresas privadas do setor elétrico têm investido em construções de usinas fotovoltaicas no Brasil, buscando a sustentabilidade nas gerações de energia elétrica.

Gráfico 1 - Capacidade de geração do Brasil



Legenda: BIO-Biomassa, CAN-Derivados de cana, CAR-Carvão mineral, GNT-Gás natural, LEN-Lenha e carvão, OUT NR-Outras Não Renováveis, OUT R-Outras Renováveis, PET-Petróleo e derivados, SOLE-Solar e Eólicas, UHE-Usina Hidrelétrica, UTN-Usina Termonuclear.

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor, 2018.

2.1.4.2.1 Usina Parque Solar Nova Olinda

Localizado na cidade de Ribeira, no Estado do Piauí (Figura 6), em uma região predominantemente semiárida, o Parque Solar Nova Olinda, representado na Figura 7, conta com 930 mil painéis solares distribuídos por 690 hectares de área construída. O parque tem capacidade de abastecer 300 mil famílias por ano, possuindo uma capacidade de 600 GWh de geração anual.

Entre uma das vantagens da energia solar, está a geração de empregos. Dados fornecidos pela Enel Green Power indicam que para a construção do parque foram contratados 1.700 funcionários. Atualmente, a Enel é considerada a líder em produção de energia solar no Brasil e com o Parque Solar Nova Olinda, a Enel opera o maior Parque Solar da América do Sul.

Figura 6 - Localização da Usina Parque Solar Nova Olinda



Fonte: *Enel Green Power*, adaptado pelo autor, 2018.

Figura 7 - Usina Parque Solar Nova Olinda



Fonte: *Enel Green Power*, 2017.

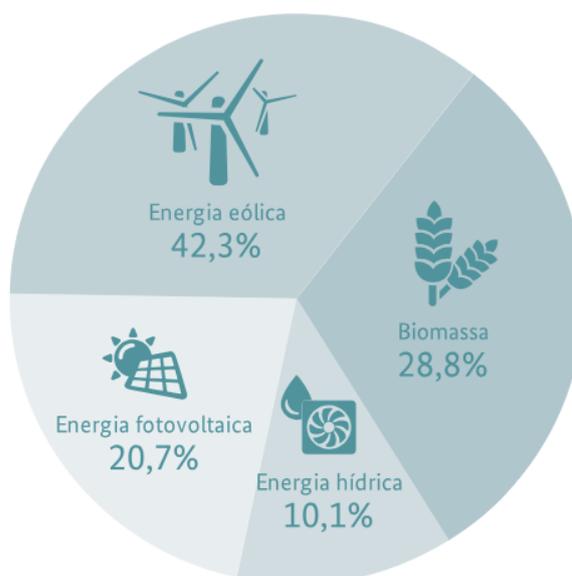
2.1.4.3 Energia solar fotovoltaica

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, na maioria das vezes, feitos de silício, e a mesma é a unidade fundamental do processo de conversão.

Conforme o que consta no atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA *et al.*, 2017), a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos tem um grande potencial no Brasil, a prova disso é o fato de seu local menos ensolarado ser capaz de gerar mais eletricidade que o local mais ensolarado da Alemanha, país, hoje, considerado o maior gerador de energia fotovoltaica.

No caso da Alemanha, atualmente, os sistemas fotovoltaicos produzem mais de 20% da eletricidade gerada no país a partir de fontes renováveis, segundo se apresenta na Figura 8. Mesmo com moderada incidência de radiação solar, a energia provinda do sol é uma importante fonte de energia elétrica para o país. Para tanto, esse crescimento é consequência de apoio do Governo Federal, onde, em termos econômicos, concentrou a expansão de energias renováveis em fontes de tecnologias com preços acessíveis, sendo uma delas a solar. (ENERGIEWENDE).

Figura 8 - Distribuição energética na Alemanha em 2015



Fonte: Energiewende, 2015.

2.1.4.3.1 *Breve histórico*

O cientista francês Alexandre – Edmond Becquerel, nascido em 1820, foi primordial no descobrimento do efeito fotovoltaico. Becquerel, em 1839, verificou, pela primeira vez, a possível conversão da luz do sol em energia elétrica quando o mesmo, ao iluminar uma estrutura de material semicondutor, observou a presença de diferença de potencial.

Entretanto, somente na década de 50, iniciou a produção das primeiras células fotovoltaicas, seguindo os desenvolvimentos tecnológicos, sendo a utilização de fotocélulas um papel decisivo para programas espaciais. Todavia, na década de 70, com a presença da crise do petróleo, conseqüentemente, houve um aumento no estudo da aplicação das células e as mesmas deixaram de servir somente para programas espaciais, passando a estar, também, presente no meio terrestre, servindo como fornecimento de energia (CRESESB, 2006).

[...] Os primeiros dispositivos que podem ser denominados de células solares ou células fotovoltaicas foram fabricados em selênio e desenvolvidos por C. E. Frits em 1883. Nos anos 1950, ou seja, mais de 110 anos após a descoberta de Becquerel, foram fabricadas nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, as primeiras células fotovoltaicas baseadas nos avanços tecnológicos na área de dispositivos semicondutores. Estas células fotovoltaicas foram fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino e atingiram uma eficiência de conversão de energia solar em elétrica, relativamente alta para a época, de 6%, com potência de 5 MW e área de 2cm². (PINHO; GALDINO, 2014, p. 103).

Contudo, seu uso, antigamente, era inviável pelo alto custo, até que países começaram a estimular, através de programas, a geração fotovoltaica, tendo como consequência a redução dos custos. Atualmente, encontra-se sistemas fotovoltaicos competindo com fontes convencionais de energia, aumentando sua utilização expressivamente.

2.1.4.3.2 *Aspectos operacionais*

A geração fotovoltaica baseia-se em materiais denominados periodicamente semicondutores, sendo este, geralmente, o silício. O semicondutor presente permite o fluxo eletrônico, conforme é estimulado pela irradiação solar. A princípio, todas as células fotovoltaicas são constituídas por, no mínimo, 2 (duas) camadas de materiais semicondutores, formando uma junção eletrônica, sendo uma camada positivamente e outra negativamente carregada (ANEEL, 2008).

2.1.4.3.3 *Células fotovoltaicas*

A célula fotovoltaica é o elemento principal para a geração fotovoltaica, entretanto para o aproveitamento da mesma, é necessário a presença de determinados componentes, como a moldura, selante, vidro, o encapsulante, backsheet (TOLMASQUIM, 2016).

As células fotovoltaicas costumam ser ligadas em série para maior fornecimento de energia elétrica e, também, para uma maior tensão. Em sua grande maioria, constituem-se de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, por ser uma matéria-prima barata e de grande abundância, por não ser tóxico (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

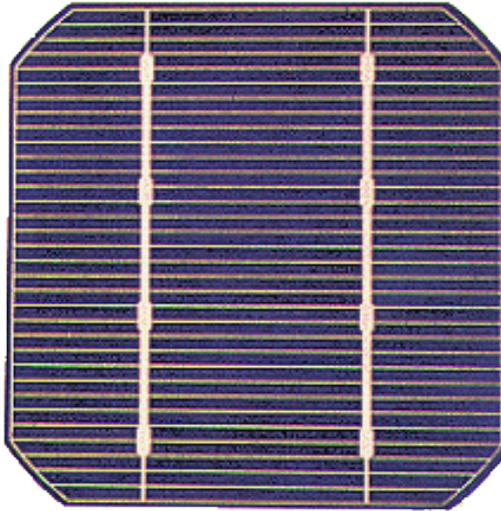
2.1.4.3.4 *Tipos de células fotovoltaicas*

A tecnologia mais comum e mais empregada na fabricação das células é o silício, um material abundante no planeta, extraído do quartzo, um dos principais minérios produzidos no Brasil.

2.1.4.3.4.1 *Silício monocristalino*

As células de silício monocristalino são as mais eficientes, sendo, então, as mais usadas e comercializadas. Seu aspecto é uniforme, de tons azulados ou pretos, conforme Figura 9, podendo, ainda, ser alterado de acordo com o tipo de tratamento antirreflexivo recebido. Devido sua rigidez, são células quebradiças, exigindo que sejam montadas em módulos para uma maior resistência mecânica em seu uso prático (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Figura 9 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino

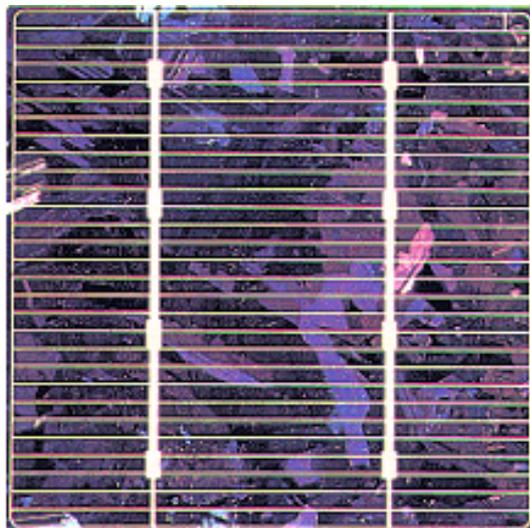


Fonte: Cresesb, 2008.

2.1.4.3.4.2 *Silício policristalino*

A célula de silício policristalino possui um controle menos rigoroso durante o processo de fabricação, diminuindo, então, seu custo e, também, sua eficiência quando comparada à célula monocristalina. Sua aparência é heterogênea, possuindo manchas, visíveis na Figura 10, devido ao tipo de silício utilizado durante sua fabricação. Assim como as células monocristalinas, são quebradiças, devendo ser montadas em módulos para uma maior resistência mecânica (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Figura 10 - Célula fotovoltaica de silício policristalino



Fonte: Cresesb, 2008.

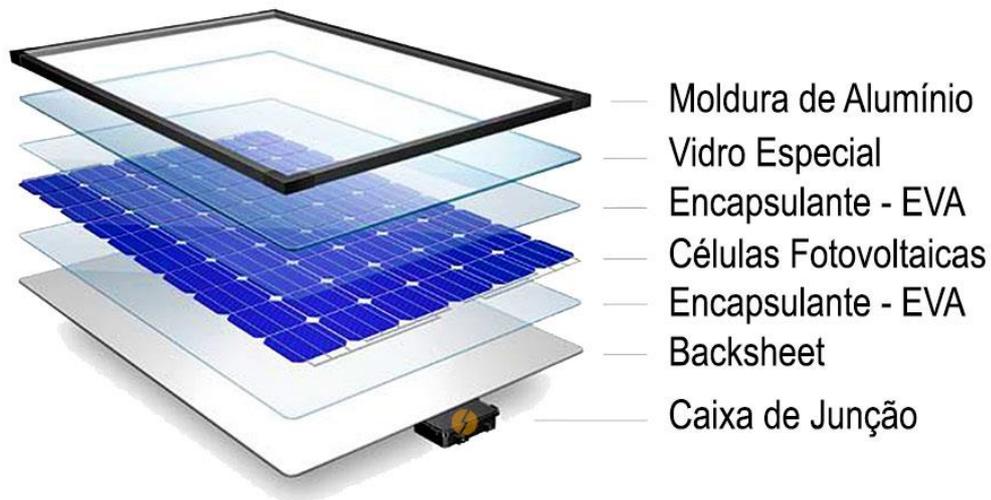
2.1.4.3.4.3 Silício amorfo

As células de silício amorfo foram as primeiras células fabricadas utilizando a tecnologia de filme fino. Mesmo possuindo vantagem, como ter um custo baixo, essas células possuem baixa eficiência, exigem uma área maior de módulos para produzir a mesma quantidade de energia que células de tecnologia cristalina e sofrem degradação mais rápido que as cristalinas (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

2.1.4.3.5 Painel fotovoltaico

O termo painel fotovoltaico, conhecido como módulo ou placa fotovoltaica, serve para designar um aglomerado de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e montadas sobre uma estrutura rígida (Figura 11). Tal agrupamento serve para produzir maiores tensões.

Figura 11 - Fabricação de um painel fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2016.

De acordo com Villalva e Gazoli (2015), as placas fotovoltaicas de silício cristalino produzem em média uma potência de 50W a 300W, alcançam uma tensão máxima de 40V e fornecem até 8A de corrente elétrica. Tem-se como exemplos as placas de silício monocristalino (

Figura 12) e as placas de silício policristalino (Figura 13).

Figura 12 - Painel fotovoltaico de silício monocristalino



Fonte: Portal Solar, 2016.

Figura 13 - Painel fotovoltaico de silício policristalino



Fonte: Portal Solar, 2016.

As células de silício amorfo são células únicas, apresentadas na Figura 14, fabricadas em dimensões iguais de módulos. Essas possuem potência entre 50W e 110W, tensões máximas de aproximadamente 70V e valores baixos de correntes de saída, sendo assim, exigem um conjunto grande em série para alcançar a produção de energia desejada, difíceis de serem aplicadas (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Figura 14 - Painel fotovoltaico de silício amorfo



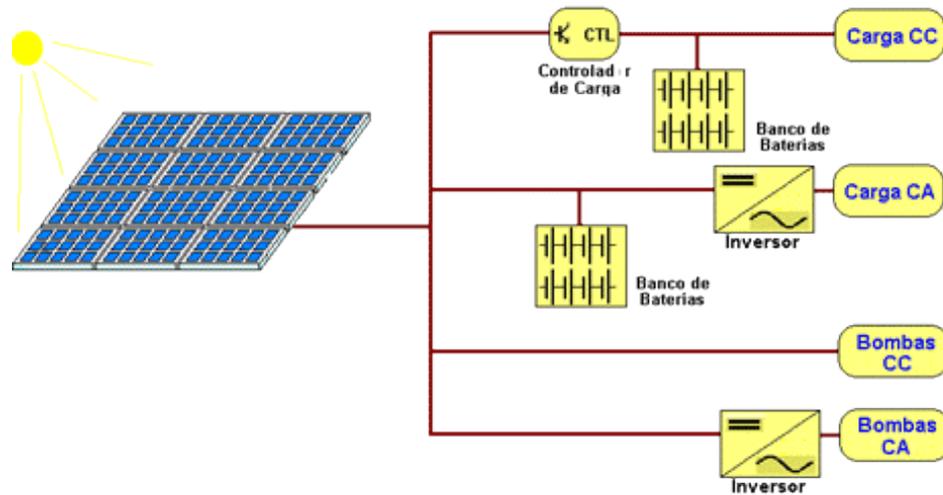
Fonte: Portal Solar, 2016.

2.1.4.3.6 *Sistemas fotovoltaicos*

Um sistema fotovoltaico é composto por uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento. Pode ser classificado em 3 (três) distintas categorias, sendo elas sistemas isolados, híbridos e conectados à rede (BRASIL, 2007). Neste sentido:

- I. Sistema isolado: é considerado um sistema sem interligação com rede elétrica de distribuição. Ele é composto, normalmente, de uma placa fotovoltaica, um controlador de cargas (utilizado para aumentar a vida útil da bateria, regulando sua carga), bateria e, de acordo com a utilização, um inversor de tensão (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Figura 15 - Representação do sistema fotovoltaico isolado



Fonte: Cresesb, 2008.

- II. Sistema híbrido: consiste no sistema cuja configuração, quando não conectado à rede elétrica, apresenta inúmeras formas de geração de energia, como turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras (BRASIL, 2007).

Figura 16 - Representação do sistema fotovoltaico híbrido

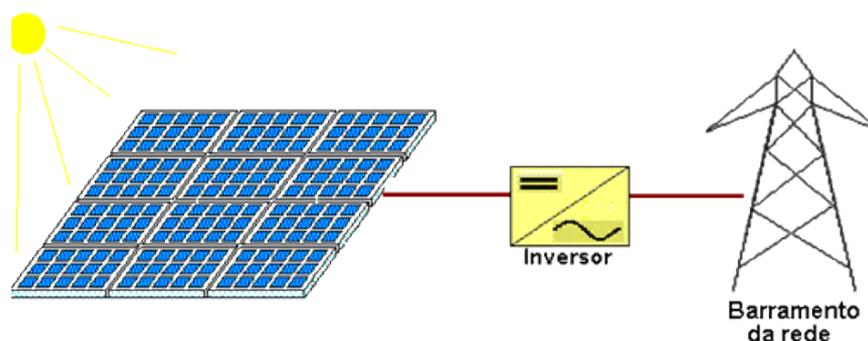


Fonte: Cresesb, 2008.

- III. Sistema conectado à rede elétrica: esse corresponde aos sistemas sem utilização de armazenamento, ou seja, toda energia produzida é distribuída. São sistemas com grande número de painéis fotovoltaicos. São

classificados em microgeração, minigeração e usinas de eletricidade (BRASIL, 2007).

Figura 17 - Representação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: Cresesb, 2008.

2.1.4.4 Energia solar heliotérmica

Ao contrário do sistema fotovoltaico, nas heliotérmicas, a geração de energia proveniente de raios solares ocorre de maneira indireta, ou seja, primeiramente ocorre a captação da irradiação, posteriormente a conversão em calor, logo, ocorre o transporte e, após, o armazenamento e, então, a conversão em energia solar.

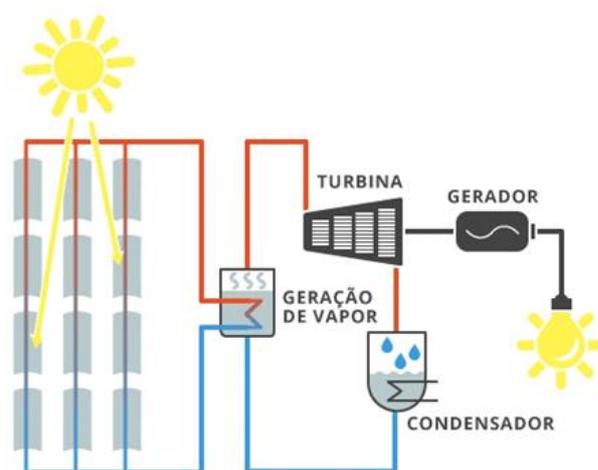
[...] Para esse processo, todas as tecnologias heliotérmicas, cilindro parabólico, torre central e disco parabólico, contam com quatro itens básicos: coletor, receptor, armazenamento, transporte e conversão. Os coletores concentram a irradiação usando refletores ou lentes com sistema de rastreamento em um receptor, onde a energia solar é absorvida como calor e convertida em eletricidade ou incorporada como energia química. Cada uma das tecnologias é caracterizada pelo formato da superfície refletora onde a luz solar é coletada e concentrada. (BRASIL, 2007, p. 32).

O processo descrito anteriormente é esquematizado na Figura 18. Nesse processo, ocorre aquecimento de um fluido térmico e, após, o aquecimento da água, levando-a a seu estado gasoso. Depois de se ter a água em formato gasoso, haverá o funcionamento semelhante ao de uma usina termelétrica, ou seja, haverá movimentação de turbinas através de vapor, onde o gerador que produzirá energia limpa será acionado (PORTAL SOLAR, 2016).

A energia solar fototérmica (heliotérmica) é uma tecnologia nova, entretanto seu uso tem sido considerado devido baixos impactos ambientais e, também, à disponibilidade

presente em regiões com grande índice de radiação, como, por exemplo, no Brasil, o Nordeste (EPE).

Figura 18 - Ilustração do funcionamento de uma usina heliotérmica



Fonte: Portal Solar, 2016.

2.1.5 Energia hidráulica

A hidrelétrica tem por finalidade a geração de energia através de potencial hidráulico presente em um determinado rio, sendo este potencial diretamente relacionado com a vazão e os desníveis existentes no mesmo.

Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente. (ANEEL, 2008, p. 50).

Conforme Luiz (1985), a fonte de energia hidráulica é uma das mais promissoras fontes de energia renovável, principalmente para países como o Brasil, que possui grandes recursos hídricos.

Totalizando 2/3 do planeta, a água é considerada o recurso natural mais abundante da Terra. Devido ao fato de retornarem à superfície terrestre em forma de chuva e, também, por meio do ciclo de transformação da água do estado líquido para vapor pelos efeitos da energia solar e da força da gravidade, a água é considerada um recurso renovável e, igualmente, uma das fontes para produção de energia limpa que colaboram com a diminuição de gases poluentes (ANEEL, 2008).

2.1.5.1 Hidrelétrica no Brasil

Dados históricos retratam o início da hidroeletricidade no Brasil no século XIX, com a Usina Hidrelétrica Marmelos Zero, a primeira da América do Sul. Localizada no Estado de Minas Gerais, às margens do rio Paraibuna, a usina foi inaugurada em 5 de setembro de 1889, operando até 1896.

Informações fornecidas pela Aneel apontam a usina hidrelétrica como fonte líder na capacidade de geração de energia do Brasil, com 60,39% de potência instalada. Este dado serve para confirmar a ideia de que a hidroeletricidade tem sido a principal fonte de geração do país, sendo isso consequência de sua abundância e, outrossim, do fator econômico.

Assim como seu grande potencial energético, as hidrelétricas trazem como principais vantagens seus reservatórios, servindo como controle de cheias, suprimento para consumo, serviços de navegação, entre outros. Entretanto, sua maior dificuldade de expansão está relacionada, na maioria das vezes, aos reservatórios, que resultam em áreas alagadas, gerando grandes impactos socioambientais (TOLMASQUIM, 2016).

As usinas hidrelétricas possuem diversas variáveis a serem consideradas na sua classificação e uma delas é a potência instalada. Tal variável determina se a usina é de médio ou grande porte ou, até mesmo, uma pequena central hidrelétrica, popularmente conhecida como PCH (ANEEL, 2008).

2.1.6 Energia da biomassa

Resíduos sólidos urbanos como animais, vegetais, industriais e florestais consistem em originar a biomassa. Referindo-se a fins energéticos, a energia da biomassa abrange a utilização de tais resíduos. Todavia, no contexto tecnológico, a biomassa serve para suprimento tanto energético, como combustível, sendo este último uma maneira de promover o setor do transporte.

O termo biomassa compreende a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como as florestas, as culturas e os resíduos agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos rejeitos industrial e urbano. Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros. (BRASIL, 2007, p. 103).

Segundo a ANEEL (2008), o uso da biomassa como fonte de energia é uma das mais propícias ao meio ambiente, pois, por causa da utilização de resíduos, a mesma contribui para a luta contra a poluição do solo e, também, dos lençóis freáticos.

2.1.6.1 Breve histórico

Em seu contexto histórico, a biomassa teve um papel fundamental para a evolução humana. Destarte, a biomassa era, assim como o sol, uma fonte de calor significativa utilizada pelo homem até meados do século XVII. Entretanto, sua exploração, naquela época, foi tão intensa que, conseqüentemente, houve a escassez em países europeus, onde outras fontes começaram a ser utilizadas a fim de substituir o papel da biomassa (REIS, 2011).

[...] O aproveitamento energético da biomassa disponível foi essencial para a evolução humana, sendo que seu próprio meio de obtenção e uso progrediram juntos, desde a lenha catada para cocção, proteção e aquecimento, até as modernas práticas de produção silvo – agropecuárias e industriais, de transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade [...] (TOLMASQUIM, 2016, p. 137).

Com o crescimento da energia provinda de combustíveis fósseis como carvão, petróleo, gás-natural, a biomassa foi perdendo sua liderança na geração de energia. Entretanto, atualmente, países desenvolvidos ou não estão criando ações para o uso de energias renováveis, sendo motivados pela necessidade de redução do consumo de derivados do petróleo.

2.1.6.2 Aspectos operacionais

Conforme a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), o uso da bioenergia é dividido em uso tradicional, englobando a combustão da biomassa e o uso moderno, compondo-se das tecnologias. Essa última se refere a biocombustíveis, neste caso, para substituir a gasolina, produzidos através do bagaço e outras plantas, entre outras tecnologias, como o biogás (digestão anaeróbia de resíduos), bio-refinarias, etc.

Atualmente, tecnologias modernas e eficientes de utilização da biomassa na produção de energia estão sendo desenvolvidas para produzir óleos fluidos, eletricidade e calor. As fontes usadas são diversificadas e incluem madeira, cana – de – açúcar e seu bagaço, amido, plantações energéticas, refugos da agricultura e produtos da floresta. Tecnologias avançadas orientam – se para a gaseificação e a obtenção da biomassa (madeira, bagaço e cana – de açúcar) a partir da celulose,

entre outras, a fim de aperfeiçoar sua utilização energética. (REIS; SANTOS, 2014, p. 82).

Referente aos biocombustíveis, um fato impactante foi a criação do Programa Nacional de Álcool, popularmente conhecido como Proálcool, criado em 14 de novembro de 1975. Seu principal objetivo foi a produção de um combustível alternativo, conseqüente do aumento de preço do petróleo e seus derivados, sendo o programa considerado pioneiro na busca de devidos fins. Neste sentido, houve a ampliação da indústria sucroenergética e o programa tornou – se referência internacional (TOLMASQUIM, 2016).

O Brasil atua como um dos maiores promotores de biocombustíveis do mundo, tendo como principal biomassa utilizada o bagaço da cana-de-açúcar, sendo esse a principal fonte de biomassa utilizada, também, na geração elétrica, com 32,3 TWh de 44,7 TWh produzidos, segundo dados da EPE em 2014.

O processo da bioenergia é considerado semelhante ao de uma termelétrica, todavia a biomassa é considerada uma grande aliada para a redução de emissores de poluentes e isso se deve ao fato de seu gás carbônico gerado ser originado na fotossíntese.

Os resíduos, pela variação, de acordo com fatores como nível econômico e desenvolvimento industrial de cada país e, também, seu destino, são difíceis de se realizarem análises referente à produção, no entanto, devido ao avanço tecnológico em diversos países, é possível ter uma noção, inexata, da geração de resíduos sólidos urbanos (resíduos comerciais e domiciliares) e industriais (provenientes do beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, por exemplo).

2.1.7 Energia oceânica

A energia oceânica engloba energias provindas das marés, ondas, correntes marinhas, gradientes de temperatura e salinidade da água do mar, sendo as 3 (três) primeiras mencionadas as de maior relevância no cenário de geração elétrica. Sendo assim, o oceano reserva, teoricamente, energia térmica e energia mecânica. Entretanto, em razão da desqualificação do calor presente neste ambiente, somente a energia mecânica pode ser devidamente aproveitada, isso correspondente aos avanços tecnológicos (TOLMASQUIM, 2016).

Mesmo possuindo uma reserva em alta escala, a energia oceânica, ainda, é vista como uma energia do futuro. Além de sua vasta distribuição mundial, esta energia é limpa,

portanto, estudos estão sendo realizados em diversos países para que, futuramente, ela possa vir a ser utilizada de maneira eficaz e viável para geração de energia (REIS, 2011).

2.1.7.1 Energia das marés

Entende-se por maré o resultado da interação gravitacional entre a terra, a lua e o sol. Esta viabiliza o aproveitamento energético potencial e o cinético. O aproveitamento das marés oceânicas é feito nas chamadas usinas maremotrizes. Assim como ocorre em hidrelétricas, a conversão da energia potencial em energia elétrica ocorre após a passagem da água por uma turbina, sendo a energia potencial, resultante das variações do nível do mar (BRASIL, 2007).

2.1.7.1.1 Breve histórico

Segundo Reis (2011), a história da utilização das marés para fins energéticos tem seu início na Idade Média, em países como a França e a Inglaterra. Com a finalidade de moer grãos, eram instalados pequenos moinhos submarinos, dando início a sua utilização. Todavia, sua história, como geração de eletricidade, teve início apenas em 1966, também na França, com uma capacidade de 240 MW de potência e foi considerado um sistema de médio porte.

2.1.7.2 Energia das ondas

As ondas são originadas através do atrito dos ventos com a superfície do mar. Essas estão distribuídas pelo mundo e possuem uma grande densidade energética, estando entre as fontes renováveis de maior densidade. Entretanto, países da América Central, costa Sudeste dos Estados Unidos e América do Sul, Oeste da África, Sudeste Asiático e Japão possuem uma baixa densidade energética.

2.1.7.2.1 Breve histórico

No contexto histórico da energia das ondas, a crise do petróleo, na década de 70, teve um importante estímulo devido ao aumento pela busca de energias alternativas para a substituição da mesma (REIS, 2011). Para tanto, países iniciaram pesquisas buscando métodos eficientes para a utilização desta fonte de energia. Buscando viabilidade de

aproveitamento em função das características locais e regime das ondas, dispositivos foram criados para serem situados em determinadas regiões.

2.2 ESTUDO DO SOL

O objetivo deste tópico é apresentar, resumidamente, informações e características do sol, como sua composição, radiação, recurso.

2.2.1 O sol

O sol é considerado uma estrela anã amarela, localizado no centro do sistema solar. Pela sua gravidade, é possível a união do sistema solar, ou seja, desde planetas até mesmo partículas, mantém-se unidas em sua órbita.

Sua estrutura é composta por uma mistura de gases, dos quais 70,6% é composto por hidrogênio e 27,4% é composto por gás hélio (NASA, 2019). É no núcleo, parte do interior do sol, que ocorre a conversão do hidrogênio em hélio, através de uma fusão termonuclear, consequentemente, resultando na liberação de energia (TOLMASQUIM, 2016).

A energia produzida no núcleo é a responsável pela alimentação do sol e, também, pelo calor e luz que o sol emite, tornando possível a vida na terra. O sol está a aproximadamente 150.000 km da Terra. Sua superfície, a fotosfera, possui temperatura de 5.500 °C, sendo sua radiação, a luz do sol que atinge a Terra (NASA, 2019). O sol emite, aproximadamente, $3,86 \cdot 10^{26}$ W de potência, sendo esta taxa constante a bilhões de anos (PEREIRA *et al.*, 2017).

2.2.2 Radiação solar

A energia incidente sobre a superfície terrestre, vinda do sol, é denominada radiação solar (EPE). Ao longo do ano, o sol fornece $1,5 \cdot 10^8$ kWh de energia para a superfície terrestre, sendo esse valor correspondente a 10.000 vezes o consumo anual de energia no mundo (CRESESB, 2006). Portanto, pode-se afirmar que o sol possui um grande potencial para utilização como fonte energética. Todavia, o recurso solar varia conforme a localidade e, também, ao longo do dia e ano, e, muitas vezes, essas variações causadas pelos fenômenos de translação e rotação.

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução). (AMÉRICA DO SOL).

O movimento de rotação realiza - se em torno de um eixo com uma inclinação fixa de $23,45^\circ$, com relação ao plano equatorial. Essa inclinação é responsável por ocasionar a mudança das estações ao longo do ano, enquanto as estações são determinadas pelos solstícios e equinócios (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 19 - Geometria Sol - Terra



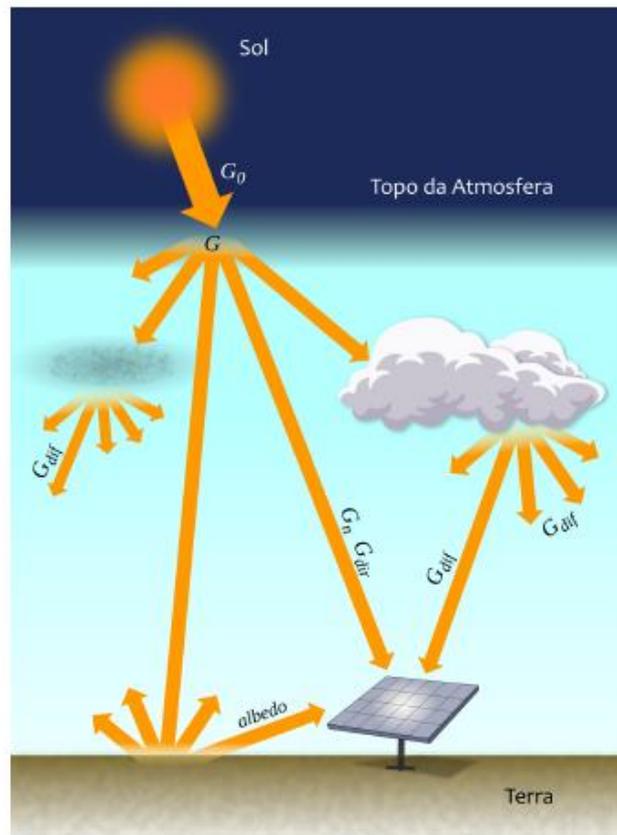
Fonte: Pereira *et al.*, 2017, p. 16.

A duração solar do dia possui variações mais intensas em regiões polares e em períodos de solstícios, enquanto as regiões próximas a linha do Equador e em períodos de equinócios sofrem poucas variações, sendo esse último o caso da maior parte do território brasileiro (AMÉRICA DO SOL). A duração do dia está relacionada com as estações do ano, essas definidas conforme Figura 19 - Geometria Sol - Terra. Sendo assim, quando o Polo Sul está voltado para o sol, ocorre o verão no Hemisfério Sul e, caso contrário, o Polo Sul em direção oposta ao sol, ocorre, então, o inverno (PEREIRA *et al.*, 2017).

2.2.3 Irradiação solar

Medida em Watt por metro quadrado (W/m^2), a irradiação solar é definida como a medição da energia radiante do sol por um metro quadrado da superfície terrestre (NASA, 2008). Tal irradiação é composta por componentes direta e difusa e essas agem conforme apresentado na Figura 20 - Componentes da irradiação (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 20 - Componentes da irradiação solar



Fonte: Pereira *et al.*, 2017, p. 19.

Entende-se por irradiação direta àquela que não sofre com processos radioativos e nem espalhamentos presentes na atmosfera. Portanto, vêm diretamente da direção do sol. Todavia, a irradiação difusa provém de todas as direções, sofrendo espalhamento pelos gases e partículas presentes na atmosfera terrestre. Nos casos em que a superfície possuir determinada inclinação com relação à horizontal, haverá uma terceira componente, sendo essa refletida pelo ambiente do entorno (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.4 Medição de radiação solar

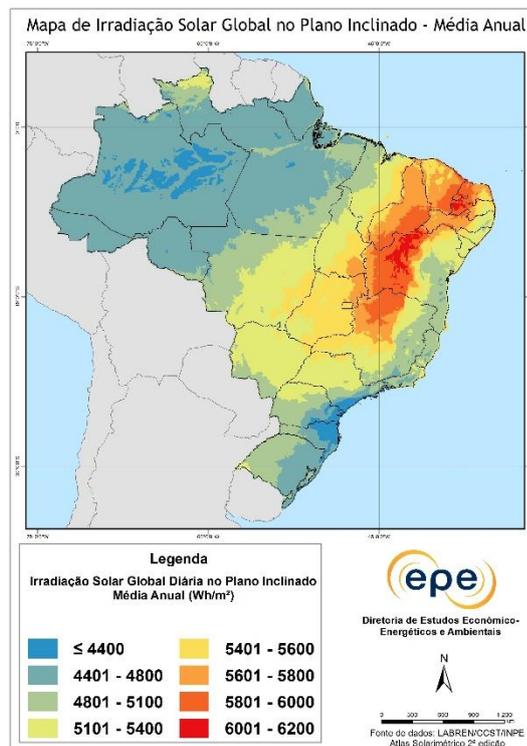
O conhecimento da radiação solar, sua medição, é um fator considerável no momento de desenvolvimento de projetos voltados à captação e conversão da energia solar. Sendo assim, esta medição viabiliza a instalação de sistemas fotovoltaicos em determinadas regiões (PINHO; GALDINO, 2014).

Logo, o piranômetro e o pireliômetro são os instrumentos, normalmente, utilizados na medição da irradiação solar. O piranômetro é, comumente, utilizado em medidas de irradiação global (direta e difusa), enquanto o pireliômetro serve para medições de irradiação direta (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.5 Recurso solar

O clima do Brasil possui uma grande diversificação devido sua extensão territorial, relevo e massas de ar. Grande parte do território nacional apresenta clima tropical e subtropical, entretanto, parte do sertão nordestino, pode ser classificado como clima semiárido (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 21 - Mapa de irradiação global no plano inclinado



Fonte: EPE.

O mapa apresentado na Figura 21 - Mapa de irradiação global no plano refere-se a dados brasileiros de irradiação, adequado para aplicações fotovoltaicas e de aquecimento. Ele fornece informações importantes como regiões de maior irradiação solar no Brasil, favorecendo a criação de projetos para utilização do recurso solar.

2.3 MICRO E MINIGERAÇÃO

Para os sistemas de micro e minigeração, devem ser consideradas regulamentações previstas nas Resoluções Normativas N° 482, de 17 de abril de 2012 e N° 687, de 24 de novembro de 2015, onde essa última apresenta alterações da REN N° 482.

Sendo assim, a Resolução Normativa N° 482 estabelece condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Entretanto, irão ser consideradas as alterações presentes na REN N° 687, cujas definições que vigoram são:

I. Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II. Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III. Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.
(ANEEL, 2016, p. 1).

2.4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública é um fator indispensável para o desenvolvimento em cidadania das comunidades, conforme Figura 22, pode-se perceber o ciclo presente na iluminação pública quando se trata de seus fatores e objetivos durante sua aplicação. Logo, a mesma contribui para a segurança pública, facilitando o tráfego de pedestres e automóveis, auxiliando servidores públicos da área de segurança na prevenção da criminalidade, favorece uma melhor qualidade de vida, possibilitando o desfrute visual das paisagens e, também, de

prédios em horários noturnos, embelezando as áreas urbanas (ELETRICIDADE MODERNA, 2019).

Figura 22 - Importância da iluminação pública



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Conforme NBR 5101, a iluminação pública deve ser projetada a fim de proporcionar uma maior segurança do tráfego de veículos e pedestres, atendendo requisitos como redução de acidentes e destaque de obras públicas e edifícios no turno da noite, melhora na condição de vida, acessibilidade ao fluxo do tráfego, eficiência energética (ABNT, 2012).

Referente às cobranças, o Art. 149-A da Constituição Federal estabelece ser facultativo, aos Municípios e ao Distrito Federal, a cobrança da contribuição do custeio do serviço de iluminação pública (COSIP) na fatura de consumo de energia elétrica, na forma de leis, respectivamente (BRASIL, 1988).

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conforme decretado pela Lei N° 9991/2000, é de obrigação de concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica a aplicação de um determinado montante, especificado em lei, em programas de eficiência energética em seu uso final. Logo, neste contexto, entende-se por eficiência energética o ato de produzir mais energia utilizando menos recursos, sejam eles naturais ou energéticos (BRASIL, 2000).

Atualmente, um desses recursos tem sido a troca da lâmpada incandescente pelas lâmpadas de LED (*Light Emitting Diodes*), essas são capazes de consumir até 90% menos de

energia que as lâmpadas usuais, além de possuírem uma vida útil maior e não possuírem componentes tóxicos, contribuindo, assim, para o meio ambiente.

2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo de viabilidade econômica tem como principal objetivo prever, hipoteticamente, cenários positivos ou negativos de um plano ou projeto.

2.6.1 TMA - Taxa Mínima de Atratividade

Quando é implementado determinado projeto, o investidor tem um retorno mínimo esperado, sendo definido por taxa mínima de atratividade.

2.6.2 Pay-back

Considerado uma das maneiras mais básicas de análise de investimento, o *Pay-back* consiste em definir e calcular o tempo de retorno do investimento inicial, sendo esse tempo anos, meses, semanas, etc.

2.6.3 VPL - Valor Presente Líquido

Enquanto o *Pay-back* é considerado o método mais simples, o VPL é considerado o mais utilizado na análise de investimentos. Conforme Miranda (2011), o valor presente líquido constitui em atualizar o fluxo de caixa, comparando este valor atualizado, com o valor investido inicialmente.

Resumindo, de forma matemática, o valor presente líquido nada mais é que a soma de fluxos de caixa (FC_n) como, pagamentos ou recebimentos, sendo subtraídos do investimento inicial (FC_0). Seu resultado é considerado positivo quando maior que zero, enquanto que, quando menor que zero, é desfavorável à empresa e, quando igual a zero, não significa nem ganho e nem prejuízo à mesma.

$$VPL = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad 1$$

2.6.4 TIR - Taxa Interna de Retorno

Segundo Miranda (2011), a taxa interna de retorno é a taxa de desconto que zera o valor dos fluxos de caixa, sendo assim, todas as entradas e saídas de caixa do empreendimento são igualadas e seu resultado é dado em percentual.

Em casos que houver mais de um projeto, o critério de decisão a ser considerado é, primeiramente, o projeto que a taxa interna de retorno obter um resultado maior que a taxa de mínima atratividade e, por segundo, o projeto que obter a maior taxa interna de retorno.

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad 2$$

3 METODOLOGIA

Pela objetividade de gerar hipóteses para implantação de painéis fotovoltaicos, o tipo de pesquisa adequado foi a exploratória, por proporcionar uma maior relação com o problema. O planejamento desse tipo de pesquisa é bastante flexível, entretanto, em sua maioria, assume forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso (forma utilizada).

A monografia assume a forma de estudo de caso e os resultados a serem apresentados possuem condição de hipóteses e não conclusões. Neste caso, a coleta de dados possui inúmeras técnicas, portanto, tem-se processos de análise e interpretação de vários modelos, todavia a natureza predominante é a qualitativa.

As técnicas utilizadas para coleta de dados são levantamento de dados, pesquisa bibliográfica, análise de documentos, entrevista com especialistas da área, onde se buscou informações mais precisas para a possibilidade de implantação na cidade, análise de artefatos físicos, onde houve a contagem e, também, estudo dos postes presentes no trecho em questão.

Ressalta-se a importância da Avenida Patrício Lima, trecho escolhido, para a cidade de Tubarão, sendo o mesmo utilizado como via de acesso à saída da cidade e, ainda, acesso a supermercados e outros estabelecimentos de necessidade pública.

Inicialmente, fez-se o estudo da radiação solar local, considerando então informações obtidas no *Software* RADIASOL2. Para seguimento, foi realizado em campo o somatório de postes presente no decorrer da via, onde o mesmo foi possível ser levantado em presença física no local. Posteriormente, teve-se o levantamento da demanda e o atual consumo de energia elétrica no trecho considerado, sendo que através deste, obtiveram-se os custos gerados pela atual forma de iluminação, visto que os mesmos foram calculados de acordo com dados presente na Lei Municipal N° 4861.

Por último, iniciou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico, onde se analisaram as propostas viáveis e eficientes, através do estudo de viabilidade econômica, para a modificação do sistema de fornecimento de energia e de iluminação, sendo considerados os sistemas fotovoltaicos isolados.

Entretanto, os valores de inclinação (ângulo), serviram para auxiliar na instalação do sistema, logo, depende para que fim será a instalação e, também, dos requisitos apresentados do projeto (CRESESB, 2018).

Com base no *Software* RADIASOL2, um programa desenvolvido pelo LABSOL- Laboratório de Energia Solar da UFRGS, foi possível encontrar os valores de irradiância e temperatura da cidade de Tubarão, conforme Tabela 1 e Tabela 2. No programa, é definido o ângulo de inclinação, considerando o valor mais próximo da latitude do local, neste caso, considerado 30°, o ângulo de orientação azimutal, estabelecido 0° e o coeficiente de reflexão ou albedo, sendo este igual a 20, o valor mínimo permitido pelo programa.

Tabela 1 - Média mensal e anual dos índices de irradiação para a cidade de Tubarão

Mês	Irradiação Global (kWh/m²/dia)	Irradiação Direta (kWh/m²/dia)	Irradiação Difusa (kWh/m²/dia)	Irradiação Plano Inclinado (kWh/m²/dia)
Janeiro	6,22	2,88	2,8	5,77
Fevereiro	5,72	2,94	2,63	5,64
Março	4,93	2,95	2,38	5,4
Abril	4,01	2,75	2,09	4,89
Mai	3,25	2,86	1,54	4,44
Junho	2,83	2,47	1,55	4,05
Julho	2,74	2,1	1,65	3,78
Agosto	3,62	2,68	1,86	4,58
Setembro	4,2	2,35	2,42	4,82
Outubro	5,06	2,5	2,67	5,24
Novembro	6,37	3,33	2,55	5,96
Dezembro	6,46	2,84	2,97	5,89
Média Anual	4,62	2,72	2,26	5,04

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Tabela 2 - Temperatura máxima, média e mínima para a cidade de Tubarão

Mês	Temperatura Máxima	Temperatura Média	Temperatura Mínima
Janeiro	27,0	21,0	18,0
Fevereiro	27,0	21,0	18,0
Março	24,0	21,0	18,0
Abril	21,0	18,0	15,0
Mai	21,0	15,0	12,0
Junho	18,0	12,0	9,0
Julho	18,0	12,0	9,0
Agosto	18,0	12,0	9,0
Setembro	18,0	15,0	12,0
Outubro	21,0	15,0	12,0
Novembro	24,0	18,0	15,0
Dezembro	24,0	18,0	15,0

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

4.3 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O levantamento da demanda foi feito através do somatório de energia consumida por cada poste. Sendo assim, foram considerados os postes instalados, atualmente, no decorrer da via, o somatório da potência elétrica, o tempo de funcionamento diário e semanalmente, devido sua necessidade.

Segundo membro da atual equipe da COSIP de Tubarão, as lâmpadas atuais possuem potência de 400W e, conforme levantamento em campo, existem 44 postes ao longo da Avenida, então, o cálculo da demanda foi feito da seguinte forma:

$$Demanda = 44 \times 400 = 17.600W \quad 3$$

$$\begin{aligned} Consumo &= 17.600 \times 12h \times 30 \text{ dias} = 6336.000W.h \quad 4 \\ &= 6.336,00kW.h \end{aligned}$$

Conforme o Manual de Tarifação de Energia Elétrica, os consumidores são classificados em grupo A, para atendimento a consumidores de alta tensão e grupo B, para unidades consumidoras com baixa tensão, considerando no máximo 2.300 volts. A Lei Municipal nº 4861/2018, que trata do Custeio do Serviço de Iluminação Pública-COSIP, estabelece que a Tarifa de Iluminação Pública-TIP será composta pela tarifa B4a da Celesc, sendo definida pela fórmula:

$$TIP = Tarifa Celesc B4a \times 6.336kW.h \quad 5$$

De acordo com determinação da Celesc, a Tarifa Convencional para o subgrupo B4a-Iluminação Pública-Rede de Distribuição é de R\$ 0,28626/kWh, sendo possível a inclusão de eventuais tarifas adicionais, encargos ou reajustes, definidos pela ANEEL.

Logo,

$$TIP = 0,28626 \times 6.336 = R\$ 1.813,74 \quad 6$$

4.4 LEVANTAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DE LÂMPADA DE LED

Mediante busca por lâmpadas de LED equivalente à potência das lâmpadas utilizadas, atualmente, foram consideradas às seguintes:

4.4.1 Lâmpada de LED de 100W

$$Demanda = 44 \times 100 = 4.400W \quad 7$$

$$\begin{aligned} Consumo &= 4.400 \times 12h \times 30 \text{ dias} = 1584.000W.h \quad 8 \\ &= 1.584,00kW.h \end{aligned}$$

Logo, a Equação 9 apresenta a TIP em LED para o caso 1 e a Equação 10 apresenta a economia gerada em 12 meses:

$$TIP = 0,28626 \times 1.584,00 = R\$ 453,43 \quad 9$$

$$\begin{aligned} R\$ 1.813,74 - R\$ 680,15 &= R\$ 1.360,30 \quad 10 \\ R\$ 1.360,30 \times 12 &= R\$ 16.323,65 \end{aligned}$$

4.4.2 Lâmpada de LED de 150W

A Equação 11 mostra o cálculo da demanda em LED para o caso 2:

$$Demanda = 44 \times 150 = 6.600W \quad 11$$

A Equação 12 apresenta o cálculo provável do consumo em LED, mensal, para o caso 2:

$$\begin{aligned} Consumo &= 6.600 \times 12h \times 30 \text{ dias} = 2376.000W.h & 12 \\ &= 2.376,00kW.h \end{aligned}$$

Logo, a Equação 13 apresenta a TIP em LED para o caso 2 e a Equação 14 a economia gerada em 12 meses:

$$\begin{aligned} TIP &= 0,28626 \times 2.376,00 & 13 \\ TIP &= R\$ 680,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R\$ 1.813,74 - R\$ 680,15 &= R\$ 1.133,59 & 14 \\ R\$ 1.133,59 \times 12 &= R\$ 13.603,08 \end{aligned}$$

4.4.3 Escolha da luminária

Para a escolha da luminária de LED, foram realizadas pesquisas buscando luminárias com placa fotovoltaica integrada, ou seja, luminárias cujos componentes (bateria, placa fotovoltaica, luminária em LED) se encontram em uma única peça.

4.4.3.1 Fornecedor A

O modelo disponibilizado pelo “Fornecedor A”, apresentado na Figura 24 - Modelo de luminária 1, possui 150W de potência e é indicado para postes de 5 a 8 metros. O mesmo possui 15000 lúmens, um fluxo luminoso de 100-110LM/W, autonomia de bateria por até 18 horas com 30% de sua potência. Seu painel solar é do tipo monocristalino, de 25W. Seu investimento pode ser expressado, matematicamente, da seguinte forma:

$$R\$ 649,49 \times 44 = R\$ 28.595,60 \quad 15$$

Figura 24 - Modelo de luminária 1



Fonte: Light Solar, 2019.

4.4.3.2 Fornecedor B

O modelo disponibilizado pelo “Fornecedor B”, apresentado na Figura 25 - Modelo de luminária 2, possui 100W de potência e é indicado para postes de 8 a 10 metros. O mesmo possui autonomia por até 5 noites, um fluxo luminoso de 10000 lumens. Seu painel solar possui 72W. Seu investimento pode ser expresso, matematicamente, da seguinte forma:

$$R\$ 5.999,00 \times 44 = R\$ 263.956,00$$

16

Figura 25 - Modelo de luminária 2



Fonte: Fotovolt, 2019.

4.5 VIABILIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA

A viabilidade econômica tem por objetivo apresentar ao investidor se seu projeto é viável ou não, ou seja, realizar o cálculo do tempo de retorno e realizar uma comparação entre o resultado obtido e o quanto foi economizado ao longo de um determinado tempo. O resultado obtido nessa comparação servirá para o investidor concluir se o projeto terá lucro e o tempo que esse lucro será obtido.

Para iniciar a análise econômica foi determinado, através da Equação 4, o consumo atual da Avenida Patrício Lima, sendo, então, considerado 6.336 kWh/mês. O cálculo do consumo provável, ou seja, do consumo futuro, foi mostrado na Equação 8 para 1º caso e Equação 12 para 2º caso, totalizando, respectivamente, 1.584 kWh/mês e 2.376 kWh/mês.

Baseando-se em estimativas de custos futuros, foi calculado o valor de economia do sistema. Conforme presente na Equação 14, o saldo economizado em 1 ano seria de aproximadamente R\$ 16.323,65 e, de acordo com a Equação 14, R\$ 13.603,08. Todavia, o tempo de retorno do projeto foi definido através dos métodos de *pay-back* simples e descontado, considerando-se uma taxa de juros com o objetivo de obter o Valor Presente (VP) do fluxo de caixa ao longo do tempo. A taxa citada anteriormente foi a SELIC, atualmente equivalente a 6,50%, logo:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n} \quad 17$$

Sendo:

VP = valor presente;

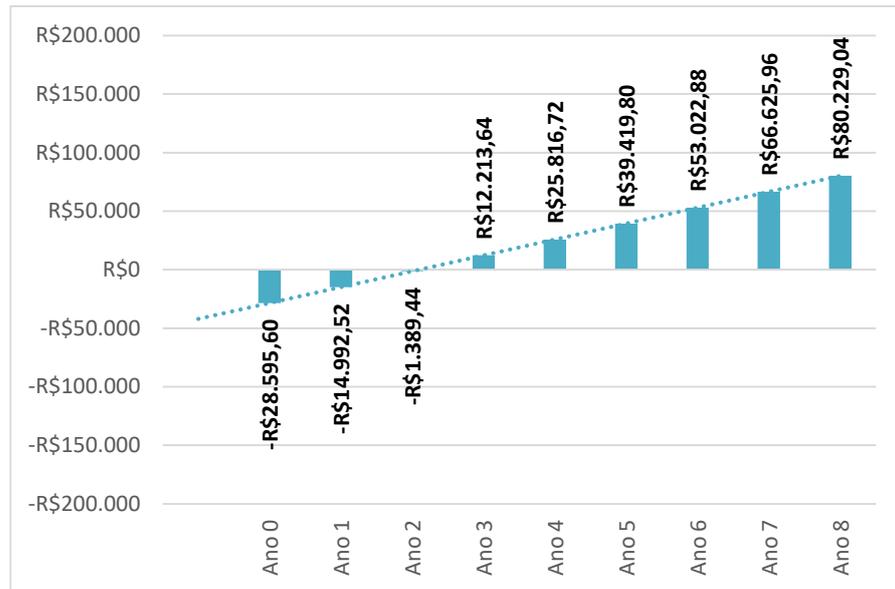
VF = valor futuro;

i = taxa SELIC;

n = número de anos.

O Gráfico 2 apresenta os valores de fluxo de caixa e do valor presente anual. Ressalta-se que valores como manutenção, variação na taxa COSIP, entre outros, não foram considerados, sendo assim, os resultados obtidos podem sofrer alterações.

Gráfico 2 - Fluxo de caixa para o caso 1



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

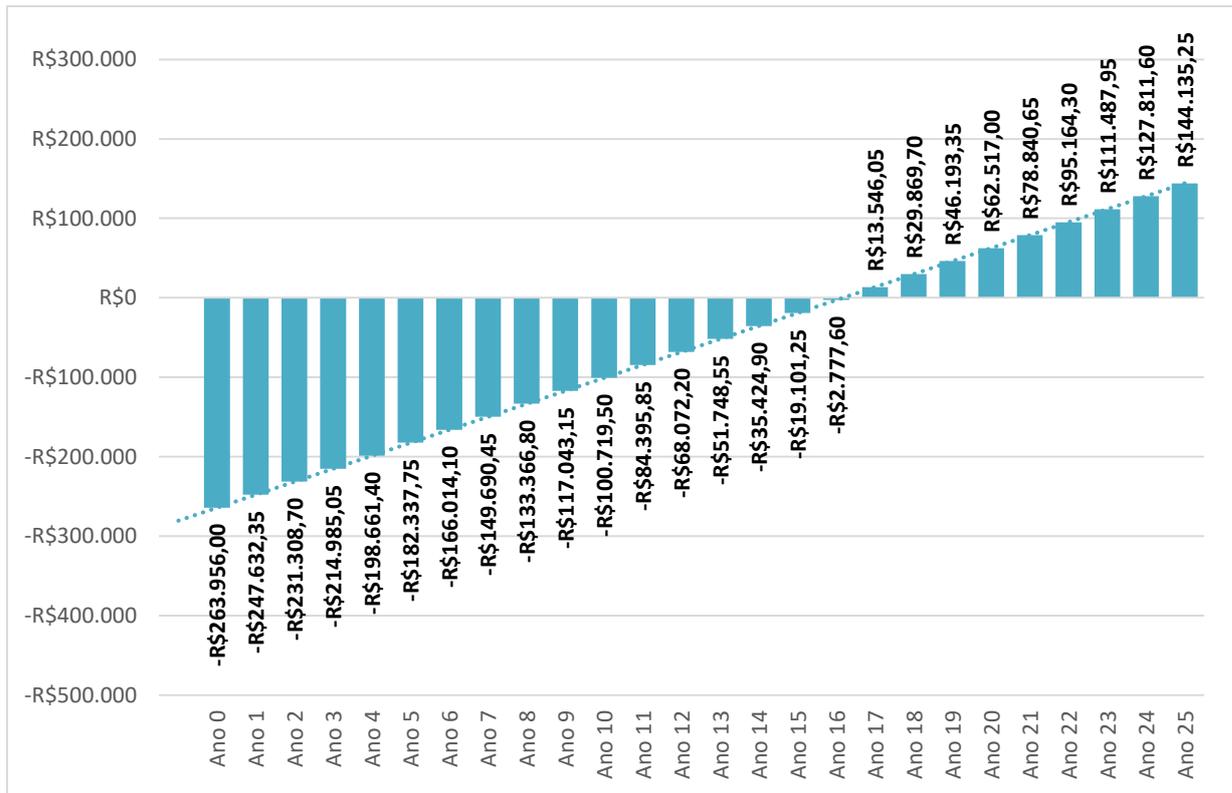
Observa-se que o retorno financeiro acontece após o terceiro ano de investimento. O modelo utilizado nesse cálculo, apresentado pelo “Fornecedor A”, possui garantia de 1 ano e o sistema possui vida útil de aproximadamente 8 anos, varia conforme utilização.

Foi, também, efetuado o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) para um período de 8 anos, utilizando a Equação 1 e o resultado foi um valor de R\$ 54.230,17, considerado positivo para o projeto.

Como análise final, calculou-se, através da Equação 2, a Taxa Interna de Retorno (TIR), encontrando um total de 45%, sendo, então, maior que a TMA estabelecida. Sendo assim, com o tempo de retorno sendo de 3 anos, menor que o tempo de vida útil do sistema e o valor de TRI maior que o da TMA, o projeto é considerado viável.

Entretanto o resultado obtido pelo método *Pay-back* simples, para um prazo de 25 anos, para um possível “Caso 2”, utilizando somente o modelo apresentado pelo “Fornecedor B”, apresentou um tempo de retorno de 15 anos, conforme Gráfico 3. Assim, após análise econômica realizada através do método VPL, foi encontrado um saldo negativo equivalente a R\$ 64.842,13 e a TRI inferior a TMA, tornando, portanto, o projeto inviável nessas condições.

Gráfico 3 - Fluxo de caixa para o caso 2



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Todavia, devido sua eficiência e modernidade, o modelo apresentado pelo “Fornecedor B” foi considerado em um terceiro projeto, o qual considera 50% da quantidade de luminárias necessárias do “Fornecedor A” e 50% do “Fornecedor B”.

Sendo assim, foram efetuados os seguintes cálculos para obtenção de resultados para análise de viabilidade:

$$Demanda = 22 \times 100 = 2200W \quad 18$$

$$Demanda = 22 \times 150 = 3300W$$

$$\begin{aligned} Consumo &= 5.500 \times 12h \times 30 \text{ dias} = 1980.000W.h \quad 19 \\ &= 1.980,00kW.h \end{aligned}$$

Logo, TIP e economia gerada em 12 meses são apresentados da forma a seguir:

$$TIP = 0,28626 \times 1.980,00 \quad 20$$

$$TIP = R\$ 566,79$$

$$R\$ 1.813,74 - R\$ 566,79 = R\$ 1.246,95 \quad 21$$

$$R\$ 1246,95 \times 12 = R\$ 14.963,40$$

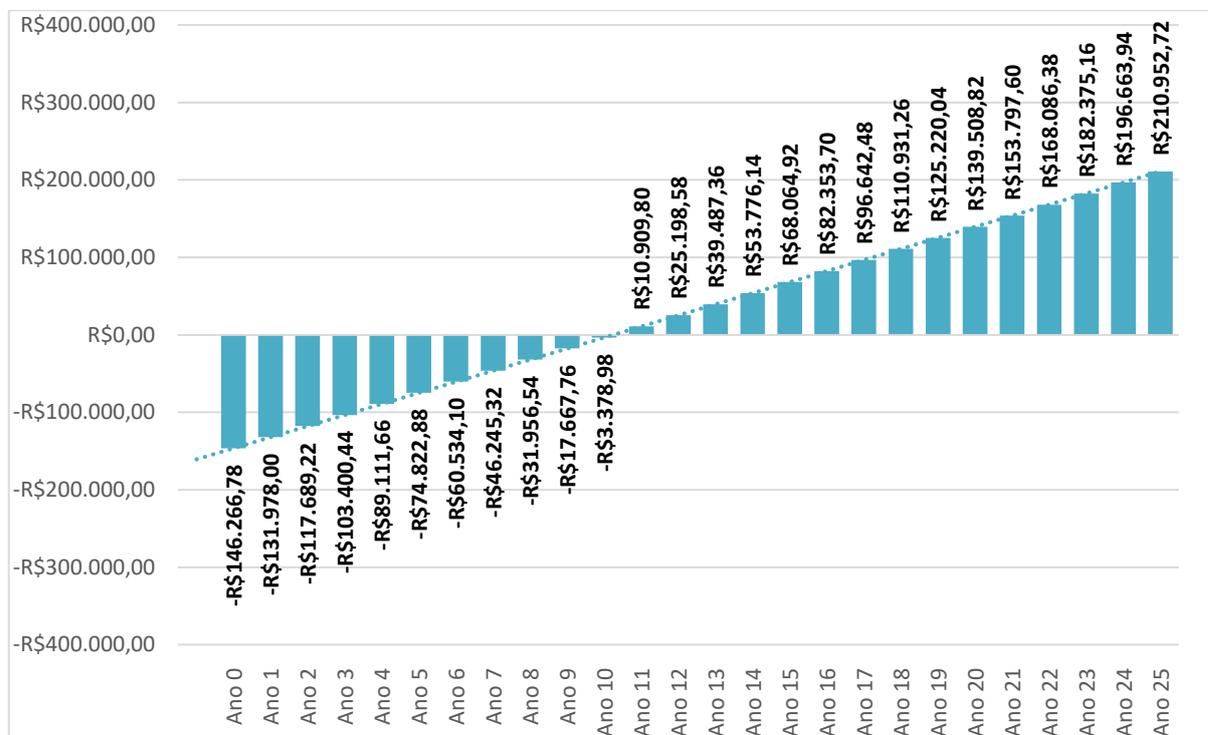
Investimentos para o caso 3:

$$R\$ 649,49 \times 22 = R\$ 14.288,78 \quad 22$$

$$R\$ 5.999,00 \times 22 = R\$ 131.978,00$$

$$R\$ 131.978,00 + R\$ 14.288,78 = R\$ 146.266,78$$

Gráfico 4 - Fluxo de caixa para o caso 3



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Para o caso em questão, o Gráfico 4 apresenta um retorno financeiro a partir do 11º ano de investimento. Nesse caso, também, foi efetuado o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), para um período de 25 anos, utilizando a Equação 1 e o resultado foi um valor de R\$ 28.026,00, considerado positivo para o projeto.

Como análise final, calculou-se, através da Equação 2, a Taxa Interna de Retorno (TIR), encontrando um total de 8%, sendo maior que a TMA estabelecida. Assim, com o tempo de retorno sendo de 11 anos, possui o valor de TRI maior que o da TMA e o projeto é considerado viável.

5 CONCLUSÃO

A cada ano é visível o crescimento da preocupação do ser humano com o meio ambiente. Meios de amenizar os danos ambientais são criados e aderidos pela sociedade. Um dos meios que chama a atenção é o do setor elétrico. Formas de diminuir a emissão de CO₂ têm sido utilizadas com mais frequência e uma das fontes que cresce de maneira significativa em sua utilização é a fonte solar.

O trabalho teve por objetivo analisar a viabilidade para implantação de um sistema isolado na iluminação pública na Avenida Patrício Lima, localizada na cidade de Tubarão, estado de Santa Catarina. O estudo caracterizou-se por ser um tipo de pesquisa exploratória, baseando-se em uma revisão teórica sobre eficiência energética, fontes de energia renovável, aprofundando-se na fonte de energia solar, com o estudo do sol e equipamentos utilizados para a sua geração.

Para completar as bases teóricas, tem-se, também, o estudo sobre as normas brasileiras e os principais incentivos determinantes para esse tipo de geração elétrica. Um estudo sobre viabilidade econômica, outrossim, teve destaque devido à objetividade desta pesquisa. A utilização do software RADIASOL2, desenvolvido pela UFRGS, possibilitou a obtenção da irradiância e temperatura mensal do local considerado no estudo.

O software RADIASOL2 é um dos programas incluso no pacote SOLARCAD, este desenvolvido para facilitar o acesso à usuários com conhecimento ou não do tema Energia Solar, sendo assim, são softwares flexíveis para serem utilizados em atividades como simulações e análises personalizadas por pesquisadores com grande base teórica, de livre acesso ao público.

Portanto, o estudo desenvolveu-se através do conhecimento do consumo atual da Avenida em questão. Posteriormente, foi escolhida a luminária com capacidade suficiente para substituir as atuais e, então, realizado o consumo provável. A luminária escolhida atende aos requisitos de eficiência energética e sustentabilidade em um mesmo componente, ou seja, possui sistema de LED e fotovoltaico integrados.

Por último, realizaram-se o levantamento de custos e o estudo de viabilidade econômica para implantação do sistema. O investimento necessário, para o “Caso 1”, ficou no valor aproximado de R\$ 28.595,60 e o tempo de retorno desse investimento em torno de 3 anos, conforme levantamento feito pelo método *Pay-back* simples e tempo de vida útil da luminária, de acordo com Fornecedor A, de 8 anos, aproximadamente.

Todavia, foi constatado para o “Caso 2” sua inviabilidade perante a situação em questão, logo, o mesmo foi desconsiderado. Entretanto, levando em conta algumas noções gerais de projeto de iluminação pública, foi realizado, no “Caso 3”, um levantamento onde 50% das luminárias seriam utilizadas em locais de travessias para pedestres e os demais 50% no decorrer do trecho. Logo, o investimento necessário para este caso será de R\$ 146.266,78, com tempo de retorno de investimento de 11 anos, conforme método *Pay-back* simples.

Sendo assim, conforme análise de viabilidade e resultados favoráveis, o devido sistema, além de ser eficiente, contribuirá para o meio ambiente e, igualmente, servirá como incentivo à sociedade, uma vez que seu baixo consumo e baixo valor são fatores atraentes aos cidadãos e, também, por ser uma fonte renovável, ou seja, uma fonte inesgotável, energia proveniente do sol, e não emissora de gases poluentes e nem causadora do aquecimento global.

REFERÊNCIAS

ALTERNATIVE ENERGIES, 2017. **Parque Solar da Represa de Longyangxia na China é hoje a maior fazenda solar do mundo.** 2017. Disponível em: <https://www.alternative-energies.net/longyangxia-dam-solar-park-in-china-is-now-the-biggest-solar-farm-in-the-world/>. Acesso em: 02 out. 2018.

AMÉRICA DO SOL. **Energia Solar** - ANEEL. Disponível em: <http://americadosol.org/links/>. Acesso em: 05 out. 2018.

AMUREL. –**Associação de Municípios da Região de Laguna.** Disponível em: <https://www.amurel.org.br/index/detalhes-municipio/codMapaItem/41796/codMunicipio/276#>. Acesso em: 12 out. 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 1. ed. Brasília, 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG: Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 28 out. 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação Pública - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa SELIC.** Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 23 mai. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 01 mai. 2019.

BRASIL. **Lei No. 9.991, de 24 de julho de 2000.** Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm. Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030: Geração Termelétrica – Biomassa.** Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites->

pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 10 mai. 2019.

Brazilian Energy Balance 2017 Year 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

CELESC. **Tarifas**. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>. Acesso em: 19 mai. 2019.

CORTEZ L.A.B.; LORA E.E.S.; GÓMEZ E.O. **Biomassa para energia**. 1. ed. São Paulo: Editora da Unicamp, 2008.

CRESESB. **Energia solar: princípios e aplicações**. 2006.. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 22 out. 2018.

CRESESB. **Potencial Energético - Potencial Solar**. 2018. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> Acesso em: 22 out. 2018.

ELETRICIDADE MODERNA. **Iluminação Pública: Retrofit com luminárias LED e sistema de automação**. 2019.

ENEL. **Enel: líder em energias renováveis**. 2017. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pr/historias/a201712-enel-lider-em-energias-renovaveis.html>. Acesso em: 13 out. 2018.

ENEL. **Parque Solar Nova Olinda: uma viagem pelo passado e pelo futuro no sertão do Piauí**. 2017. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pr/historias/a201711-uma-viagem-pelo-passado-e-pelo-futuro-no-sertao-do-piaui.html>. Acesso em: 13 out. 2018.

ENEL. **Enel no Brasil**. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pr/quemsomos/a201611-enel-brasil.html>. Acesso em: 13 out. 2018.

ENEL. **Onde Estamos**. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/where-we-are>. Acesso em: 13 out.2018.

ENERGIEWENDE. **A Transição Energética Alemã**. Disponível em: <http://www.energiewende-global.com/pt/?topic=erneuerbare-energien>. Acesso em: 02 out. 2018.

ENGIE. **Sobre a ENGIE**. Disponível em: <https://www.engie.com.br/institucional/sobre-a-engie/>. Acesso em: 10 out. 2018.

ENGIE. **Usinas Complementares: Usina Solar Cidade Azul**. Disponível em: <http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>. Acesso em: 10 out. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 20 out. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Mapa Solar**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/abcdenergia/Paginas/MAPA-SOLAR.aspx>. Acesso em: 20 out. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030: Outras Fontes**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 20 out. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030: Termelétrica (Biomassa)**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 20 out. 2018.

FOTOVOLT. **Luminária Solar Atlas**. Disponível em: <https://www.luminariasolar.com.br/product-page/luminaria-solar-atlas-100-w-all-in-one-10000-lumens>. Acesso em: 28 mai. 2018.

GUERRA J. B. S. O. de A; YOUSSEF A. Y. **As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade**. 1. ed. Palhoça: Editora Unisul, 2012.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Bioenergia**. Disponível em: <http://www.irena.org/bioenergy>. Acesso em: 12 out. 2018.

LABSOL. **RADIASOL2**. Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>. Acesso em: 17 mai. 2019.

LIGHT SOLAR. **Luminária Solar Pública**. Disponível em: <https://www.lightsolar.com.br/luminaria-solar-publica-150w>. Acesso em: 22 mai. 2019.

LUIZ, Adir Moisés. **Como aproveitar a energia solar**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1985.

MIRANDA, Joseane Borges de. **Engenharia econômica**. 1.ed. Palhoça: Unisul Virtual, 2011.

MUNICÍPIO DE TUBARÃO. **A cidade**. Disponível em: <https://www.tubarao.sc.gov.br/cms/diretorio/index/codMapaItem/22106>. Acesso em: 26 out. 2018.

NAÇÕES UNIDAS. **Adoção do Acordo de Paris**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

NASA. **Longyangxia Dan Solar Park**. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/89668/longyangxia-dam-solar-park>. Acesso em: 02 out. 2018.

NASA. **Solar Irradiance**. 2008. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/science/solar-irradiance.html. Acesso em: 02 out. 2018.

NASA. **Our sun**. 2019. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>. Acesso em: 02 mai. 2018.

PEREIRA E.B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PINHO J.T; GALDINO M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. Atualizada. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Energia Heliotérmica: entenda como funciona**. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-heliotermica-entenda-como-funciona.html>. Acesso em: 05 out. 2018.

PRIMAVESI, O; ARZABE, C; PEDREIRA, M. dos S. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical**. 1. ed. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

PROCEL. **Resultados PROCEL 2018**. Ano base 2017. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel_rel_2018_web.pdf. Acesso em: 28 abr. 2019.

REIS L.B.; SANTOS E.C. **Energia elétrica e sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2014.

REIS, Lineu Belico dos. **Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2011.

THE GUARDIAN. **China constrói a maior fazenda solar do mundo em jornada para se tornar superpotência verde**. 2017. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jan/19/china-builds-worlds-biggest-solar-farm-in-journey-to-become-green-superpower>. Acesso em: 02 out. 2018.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. 1. ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

World bussiness council for sustainable development. GNR Project - Reporting CO₂, 2016.

ANEXOS

ANEXO A – Tarifa de Iluminação Pública

RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.436, DE 13 DE AGOSTO DE 2018:

Tarifa Convencional - Grupo B (sem tributos)		
Subgrupos	Classificação	Energia R\$/kWh
	Residencial Normal	0,5204900
	Residencial Baixa Renda até 30kWh	0,1821715
B1	Residencial Baixa Renda de 31 a 100kWh	0,3122940
	Residencial Baixa Renda de 101 a 220kWh	0,4684410
	Residencial Baixa Renda acima de 220kWh	0,5204900
	Rural, não cooperativa	0,3643400
B2	Cooperativa de Eletrificação	0,3643400
	Serviço Público de Irrigação	0,3122900
	Água, Esgoto e Saneamento	0,4424165
B3	Demais Classes	0,5204900
B4a	Iluminação Pública - Rede de Distribuição	0,2862600
B4b	Iluminação Pública - Bulbo da Lâmpada	0,3122900

Fonte: Celesc, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fluxo de Caixa para o Caso 1

Tabela 3 - Método *Pay-back* Simples

Ano	Fluxo de Caixa		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	28.595,60	-R\$	28.595,60
Ano 1	R\$	13.603,08	-R\$	14.992,52
Ano 2	R\$	13.603,08	-R\$	1.389,44
Ano 3	R\$	13.603,08	R\$	12.213,64
Ano 4	R\$	13.603,08	R\$	25.816,72
Ano 5	R\$	13.603,08	R\$	39.419,80
Ano 6	R\$	13.603,08	R\$	53.022,88
Ano 7	R\$	13.603,08	R\$	66.625,96
Ano 8	R\$	13.603,08	R\$	80.229,04

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

APÊNDICE B – Fluxo de Caixa para o Caso 1

Tabela 4 - Método *Pay-back* Descontado

Ano	Fluxo de Caixa		Valor Presente		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	28.595,60	-R\$	28.595,60	-R\$	28.595,60
Ano 1	R\$	13.603,08	R\$	12.772,85	-R\$	15.822,75
Ano 2	R\$	13.603,08	R\$	11.993,28	-R\$	3.829,47
Ano 3	R\$	13.603,08	R\$	11.261,30	R\$	7.431,82
Ano 4	R\$	13.603,08	R\$	10.573,99	R\$	18.005,81
Ano 5	R\$	13.603,08	R\$	9.928,63	R\$	27.934,44
Ano 6	R\$	13.603,08	R\$	9.322,65	R\$	37.257,09
Ano 7	R\$	13.603,08	R\$	8.753,67	R\$	46.010,76
Ano 8	R\$	13.603,08	R\$	8.219,41	R\$	54.230,17

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

APÊNDICE C – Fluxo de Caixa para o Caso 2

Tabela 5 - Método Pay-back Simples

Ano	Fluxo de Caixa		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	263.956,00	-R\$	263.956,00
Ano 1	R\$	16.323,65	-R\$	247.632,35
Ano 2	R\$	16.323,65	-R\$	231.308,70
Ano 3	R\$	16.323,65	-R\$	214.985,05
Ano 4	R\$	16.323,65	-R\$	198.661,40
Ano 5	R\$	16.323,65	-R\$	182.337,75
Ano 6	R\$	16.323,65	-R\$	166.014,10
Ano 7	R\$	16.323,65	-R\$	149.690,45
Ano 8	R\$	16.323,65	-R\$	133.366,80
Ano 9	R\$	16.323,65	-R\$	117.043,15
Ano 10	R\$	16.323,65	-R\$	100.719,50
Ano 11	R\$	16.323,65	-R\$	84.395,85
Ano 12	R\$	16.323,65	-R\$	68.072,20
Ano 13	R\$	16.323,65	-R\$	51.748,55
Ano 14	R\$	16.323,65	-R\$	35.424,90
Ano 15	R\$	16.323,65	-R\$	19.101,25
Ano 16	R\$	16.323,65	-R\$	2.777,60
Ano 17	R\$	16.323,65	R\$	13.546,05
Ano 18	R\$	16.323,65	R\$	29.869,70
Ano 19	R\$	16.323,65	R\$	46.193,35
Ano 20	R\$	16.323,65	R\$	62.517,00
Ano 21	R\$	16.323,65	R\$	78.840,65
Ano 22	R\$	16.323,65	R\$	95.164,30
Ano 23	R\$	16.323,65	R\$	111.487,95
Ano 24	R\$	16.323,65	R\$	127.811,60
Ano 25	R\$	16.323,65	R\$	144.135,25

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

APÊNDICE D – Fluxo de Caixa para o Caso 2

Tabela 6 - Método *Pay-back* Simples

Ano	Fluxo de Caixa		Valor Presente		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	263.956,00	-R\$	263.956,00	-R\$	263.956,00
Ano 1	R\$	16.323,65	R\$	15.327,37	-R\$	248.628,63
Ano 2	R\$	16.323,65	R\$	14.391,90	-R\$	234.236,73
Ano 3	R\$	16.323,65	R\$	13.513,52	-R\$	220.723,21
Ano 4	R\$	16.323,65	R\$	12.688,75	-R\$	208.034,46
Ano 5	R\$	16.323,65	R\$	11.914,32	-R\$	196.120,14
Ano 6	R\$	16.323,65	R\$	11.187,15	-R\$	184.932,99
Ano 7	R\$	16.323,65	R\$	10.504,37	-R\$	174.428,62
Ano 8	R\$	16.323,65	R\$	9.863,26	-R\$	164.565,36
Ano 9	R\$	16.323,65	R\$	9.261,28	-R\$	155.304,08
Ano 10	R\$	16.323,65	R\$	8.696,03	-R\$	146.608,05
Ano 11	R\$	16.323,65	R\$	8.165,29	-R\$	138.442,76
Ano 12	R\$	16.323,65	R\$	7.666,94	-R\$	130.775,82
Ano 13	R\$	16.323,65	R\$	7.199,00	-R\$	123.576,82
Ano 14	R\$	16.323,65	R\$	6.759,63	-R\$	116.817,19
Ano 15	R\$	16.323,65	R\$	6.347,07	-R\$	110.470,12
Ano 16	R\$	16.323,65	R\$	5.959,69	-R\$	104.510,44
Ano 17	R\$	16.323,65	R\$	5.595,95	-R\$	98.914,48
Ano 18	R\$	16.323,65	R\$	5.254,41	-R\$	93.660,07
Ano 19	R\$	16.323,65	R\$	4.933,72	-R\$	88.726,35
Ano 20	R\$	16.323,65	R\$	4.632,60	-R\$	84.093,74
Ano 21	R\$	16.323,65	R\$	4.349,86	-R\$	79.743,88
Ano 22	R\$	16.323,65	R\$	4.084,38	-R\$	75.659,50
Ano 23	R\$	16.323,65	R\$	3.835,10	-R\$	71.824,41
Ano 24	R\$	16.323,65	R\$	3.601,03	-R\$	68.223,38
Ano 25	R\$	16.323,65	R\$	3.381,25	-R\$	64.842,13

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

APÊNDICE E – Fluxo de Caixa para o Caso 3

Tabela 7 - Método *Pay-back* Simples

Ano	Fluxo de Caixa		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	146.266,78	-R\$	146.266,78
Ano 1	R\$	14.288,78	-R\$	131.978,00
Ano 2	R\$	14.288,78	-R\$	117.689,22
Ano 3	R\$	14.288,78	-R\$	103.400,44
Ano 4	R\$	14.288,78	-R\$	89.111,66
Ano 5	R\$	14.288,78	-R\$	74.822,88
Ano 6	R\$	14.288,78	-R\$	60.534,10
Ano 7	R\$	14.288,78	-R\$	46.245,32
Ano 8	R\$	14.288,78	-R\$	31.956,54
Ano 9	R\$	14.288,78	-R\$	17.667,76
Ano 10	R\$	14.288,78	-R\$	3.378,98
Ano 11	R\$	14.288,78	R\$	10.909,80
Ano 12	R\$	14.288,78	R\$	25.198,58
Ano 13	R\$	14.288,78	R\$	39.487,36
Ano 14	R\$	14.288,78	R\$	53.776,14
Ano 15	R\$	14.288,78	R\$	68.064,92
Ano 16	R\$	14.288,78	R\$	82.353,70
Ano 17	R\$	14.288,78	R\$	96.642,48
Ano 18	R\$	14.288,78	R\$	110.931,26
Ano 19	R\$	14.288,78	R\$	125.220,04
Ano 20	R\$	14.288,78	R\$	139.508,82
Ano 21	R\$	14.288,78	R\$	153.797,60
Ano 22	R\$	14.288,78	R\$	168.086,38
Ano 23	R\$	14.288,78	R\$	182.375,16
Ano 24	R\$	14.288,78	R\$	196.663,94
Ano 25	R\$	14.288,78	R\$	210.952,72

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

APÊNDICE F – Fluxo de Caixa para o Caso 3

Tabela 8 - Método *Pay-Back* Descontado

Ano	Fluxo de Caixa		Valor Presente		Fluxo de Caixa Descontado	
Ano 0	-R\$	146.266,78	-R\$	146.266,78	-R\$	146.266,78
Ano 1	R\$	14.288,78	R\$	13.416,69	-R\$	132.850,09
Ano 2	R\$	14.288,78	R\$	12.597,84	-R\$	120.252,25
Ano 3	R\$	14.288,78	R\$	11.828,95	-R\$	108.423,30
Ano 4	R\$	14.288,78	R\$	11.107,00	-R\$	97.316,30
Ano 5	R\$	14.288,78	R\$	10.429,11	-R\$	86.887,19
Ano 6	R\$	14.288,78	R\$	9.792,59	-R\$	77.094,60
Ano 7	R\$	14.288,78	R\$	9.194,92	-R\$	67.899,68
Ano 8	R\$	14.288,78	R\$	8.633,73	-R\$	59.265,96
Ano 9	R\$	14.288,78	R\$	8.106,79	-R\$	51.159,17
Ano 10	R\$	14.288,78	R\$	7.612,01	-R\$	43.547,17
Ano 11	R\$	14.288,78	R\$	7.147,42	-R\$	36.399,74
Ano 12	R\$	14.288,78	R\$	6.711,19	-R\$	29.688,55
Ano 13	R\$	14.288,78	R\$	6.301,59	-R\$	23.386,96
Ano 14	R\$	14.288,78	R\$	5.916,99	-R\$	17.469,97
Ano 15	R\$	14.288,78	R\$	5.555,86	-R\$	11.914,11
Ano 16	R\$	14.288,78	R\$	5.216,77	-R\$	6.697,35
Ano 17	R\$	14.288,78	R\$	4.898,37	-R\$	1.798,97
Ano 18	R\$	14.288,78	R\$	4.599,41	R\$	2.800,44
Ano 19	R\$	14.288,78	R\$	4.318,70	R\$	7.119,13
Ano 20	R\$	14.288,78	R\$	4.055,11	R\$	11.174,25
Ano 21	R\$	14.288,78	R\$	3.807,62	R\$	14.981,86
Ano 22	R\$	14.288,78	R\$	3.575,23	R\$	18.557,09
Ano 23	R\$	14.288,78	R\$	3.357,02	R\$	21.914,11
Ano 24	R\$	14.288,78	R\$	3.152,13	R\$	25.066,25
Ano 25	R\$	14.288,78	R\$	2.959,75	R\$	28.026,00

Fonte: Elaboração do autor, 2019.