

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST - UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

KELLY JAINE KÜSTER

**PROJETO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INDUSTRIAL**

LAGES (SC)

2017

KELLY JAINE KÜSTER

**PROJETO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Produção do Centro Universitário FACVEST – UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientação: Prof^o .:Dr. Rodrigo Botan.

LAGES (SC)

2017

Dedico a minha família que nunca duvidou da minha vontade e dedicação de correr atrás dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meu namorado, amigos, colegas de turma, professores, orientador, todos aqueles que me ajudaram direta e indiretamente a concluir este trabalho. Todos aqueles que tiveram paciência comigo em momentos de tensão e que me ajudaram a conseguir o que já consegui até hoje na vida.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo apresentar as vantagens e desvantagens com a aplicação de placas fotovoltaicas, que consistem na geração de energia solar para a utilização na indústria, com vistas a economizar recursos naturais, bem como recursos financeiros, de modo a melhorar a lucratividade das organizações. Sendo assim, foram apresentados dados técnicos dos equipamentos utilizados, assim como um balanço energético da utilização dessas placas e, assim, visualizar quantitativamente a sua economia. Diante disso, enumera-se a economia e a baixa manutenção como seus grandes trunfos, entretanto, a cidade de Lages/SC pode não dispor de energia solar suficiente para seu uso exclusivo, o que reduz a sua eficiência. Entretanto, pode perfeitamente servir como um meio complementar de geração de energia que ainda trará economia para as organizações que, assim, aderem a práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Energia; Solar; Placas; Fotovoltaicas; Economia.

ABSTRACT

This work aimed to present the advantages and disadvantages presented with the application of photovoltaic panels, which consist of the solar energy generation for use in industry, with a view to saving natural resources, as well as financial resources, in order to improve the profitability of organizations. Thus, technical data on the equipment used were presented, as well as an energy balance of the use of these plates and, thus, quantitative visualization of their economy. In view of this, economics and low maintenance are listed as their main assets, however, the city of Lages/SC may not have enough solar energy for its exclusive use, which reduces its efficiency, and however, it can perfectly serve as a complementary means of generating energy that will still bring savings to organizations that thus adhere to sustainable practices.

Keywords: Energy; Solar; Plates; Photovoltaic; Economy.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Objetivos..... | 2 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 2 |
| 2.2 | Objetivos Específicos..... | 2 |
| 3 | Fundamentação Teórica | 3 |
| 3.1 | Fontes Renováveis | 3 |
| 3.1.1 | Fontes Alternativas De Energia | 4 |
| 3.2 | Tipos De Fontes De Energias Renováveis | 4 |
| 3.2.1 | Energia Hidrelétrica..... | 4 |
| 3.2.2 | Energia Solar Térmica | 5 |
| 3.2.3 | Energia Solar Fotovoltaica | 5 |
| 3.2.4 | Energia Eólica | 5 |
| 3.2.5 | Energia Oceânica..... | 6 |
| 3.2.6 | Energia Geotérmica..... | 6 |
| 3.2.7 | Energia Da Biomassa | 6 |
| 3.3 | Sistema De Energia Solar Fotovoltaica E Seus Componentes..... | 7 |
| 3.4 | Tipos De Células Fotovoltaicas..... | 9 |
| 3.5 | Placas Fotovoltaicas Na Indústria..... | 10 |
| 3.6 | Radiação Solar | 10 |
| 3.6.1 | Tipos De Radiação Solar | 11 |
| 3.7 | Irradiação Solar No Brasil..... | 12 |
| 4 | Materiais E Métodos | 14 |
| 5 | Resultados E Discussão | 15 |
| 5.1 | Resultados Esperados Com O Projeto..... | 15 |
| 5.2 | Vantagens E Desvantagens | 22 |
| 5.3 | Benefícios Para O Meio Ambiente | 23 |
| 6 | Conclusão | 25 |
| 7 | Referências Bibliográficas | 26 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| FIGURA 1 - | Sistema de energia solar..... | 7 |
| FIGURA 2 - | Sistema solar conectado a distribuidora..... | 8 |
| FIGURA 3 - | A radiação solar é a soma das radiações direta e difusa | 12 |
| FIGURA 4 - | Distribuição de radiação solar no Brasil | 13 |
| FIGURA 5- | Diferença de Valores..... | 14 |
| FIGURA 6- | Quantidades kWh..... | 19 |
| FIGURA 7- | Médias consumo mensal kWh..... | 14 |
| FIGURA 8- | Diferença de valores..... | 19 |
| FIGURA 9- | Custo anual x economia..... | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados técnicos do Inversor Frontius 27.0-3-S..... | 16 |
| Tabela 2 - Dados técnicos do Módulo Fotovoltaico CS6X-320P | 17 |
| Tabela 3 - Balanço Energético do Sistema Fotovoltaico | 18 |
| Tabela 4 - <i>Payback</i> simples..... | 23 |

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho será apresentado um estudo de implantação de placas fotovoltaicas, no qual será analisado a possibilidade de utilizar a luz solar, que é uma energia limpa, renovável e inexaurível. Com isso buscamos como principal objetivo reduzir em até 20 % os gastos mensais com energia elétrica da empresa.

O sol é a principal fonte energética do nosso planeta. No Brasil a energia solar era utilizada em pequenos sistemas, em regiões de difícil acesso ou onde as instalações de linhas de distribuição de energia elétrica não eram economicamente viáveis. A quantidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede vem aumentando, e deverá ser cada vez mais utilizado. A Região Sul é a menos privilegiada quando nos referimos a energia solar, devido termos um clima subtropical, mas mesmo assim ainda possui insolação melhor do que a encontrada em países que empregam largamente a energia solar fotovoltaica.

O Brasil poderá tornar-se um dos principais líderes mundiais no emprego de energias renováveis alternativas. A energia fotovoltaica é uma opção viável e promissora para complementar e ampliar a geração de eletricidade.

Qualquer sistema tem pontos negativos, e um ponto que podemos destacar é o alto custo para a compra das placas fotovoltaicas, a variação nas quantidades de energia produzidas de acordo com a situação atmosférica.

Entre os pontos positivos podemos destacar o aumento da disponibilidade de eletricidade e dos benefícios ambientais com a utilização desta fonte renovável. A energia solar impulsionará o desenvolvimento tecnológico e irá criar empregos e movimentar a economia nacional.

Outro ponto positivo que podemos mencionar é a manutenção do sistema de energia solar, devido ao custo ser mínimo. A principal manutenção consiste na limpeza das placas, basta passarem um pano com água que a placa estará limpa de qualquer sujeira. O inversor solar também precisa de manutenção dependendo do tipo de inversor que você usar será necessário substituir uma ou outra parte dele depois de cinco a dez anos.

2 OBJETIVOS

Serão enumerados os objetivos que pretendem ser atingidos com este projeto.

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudo de caso para implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma indústria.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar as vantagens e desvantagens desse sistema;

Fazer análise dos gastos para a implantação do projeto;

Avaliar os benefícios de todo o sistema ao meio ambiente;

Demonstrar os resultados alcançados com o projeto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 FONTES RENOVÁVEIS

O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. A superfície da terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período. Apenas uma pequena parcela dessa energia é aproveitada. Mesmo assim, com poucas exceções, praticamente toda a energia usada pelo ser humano tem origem no sol (BRASIL ESCOLA, 2017).

A energia de biomassa tem origem na energia captada do sol, através da fotossíntese, que é a conversão da energia da luz solar em energia química. A energia da água dos rios, usada para mover turbinas de usinas hidroelétricas, tem origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocado pelo calor do sol (HEMUS, 2004).

A energia dos ventos tem origem nas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera ocasionada pelo aquecimento solar. Os combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo também têm origem na energia solar, pois são o resultado da decomposição da matéria orgânica produzida há milhões de anos (BRASIL ESCOLA, 2017).

As fontes renováveis de energia são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Podemos utilizá-las continuamente, pois sempre se renovam. Temos o exemplo da energia solar, aproveitada diretamente para aquecimento ou geração de eletricidade, hidroelétrica, eólica, oceânica, entre outras (HEMUS, 2004).

A hidroelétrica é a fonte de energia mais utilizada em todo o mundo, dependendo da disponibilidade de água nos rios. Este recurso é infinito desde que não ocorra o esgotamento das bacias hídricas pela ação direta humana ou por alterações climáticas que modificam os regimes pluviométricos (HEMUS, 2004).

Os ventos também são inesgotáveis e constituem uma fonte de energia renovável, pois vão sempre soprar enquanto existir o calor do sol para aquecer a atmosfera. É possível questionar até que ponto uma fonte de energia é inesgotável. A ciência aponta que ainda poderemos aproveitar a luz e o calor do sol durante cerca de 8 bilhões de anos, tempo suficiente para considerarmos inesgotável essa fonte de energia. (HEMUS, 2004)

Da mesma forma, a energia geotérmica, que é o calor do subsolo terrestre, também é considerada inesgotável, pois sua disponibilidade é muito vasta em comparação a outras

fontes de energia que vão se esgotar muito antes, como é o caso dos combustíveis fósseis. Embora sejam muito grandes as reservas de petróleo, gás e carvão em todo o mundo, a disponibilidade desses recursos fósseis diminui com o uso, portanto são fontes de energia não renováveis. Por maiores que sejam as reservas conhecidas dos recursos não renováveis, é certo que a humanidade não poderá contar indefinidamente com a energia produzida a partir dessas fontes (BRASIL ESCOLA, 2017).

Além de serem limitadas, as fontes não renováveis são causadoras de diversos danos ambientais, dentre os quais podem ser citados os vazamentos de petróleo nos oceanos, a emissão de poluentes pela queima de combustíveis e as contaminações causadas pela estocagem de dejetos radioativos e pelos acidentes com usinas nucleares, que embora raros, são um risco permanente para o planeta (BRASIL ESCOLA, 2017).

3.1.1 Fontes Alternativas De Energia

O aumento acelerado da demanda de energia elétrica em todo o mundo tem nos levado a buscar novas fontes de energia para a geração de eletricidade. As tradicionais fontes de energia ainda constituem a base mundial da geração de eletricidade, como as grandes usinas hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e as usinas nucleares (VILLALVA,2015).

Existem fontes alternativas de gerar energia, entre elas podemos citar: pequenas centrais hidrelétricas, os geradores eólicos, sistemas solares térmicos, sistemas fotovoltaicos e as termelétricas e microturbinas alimentadas a gás natural. O conceito de energia alternativa não é exclusivo das fontes renováveis, entretanto a maior parte dos sistemas alternativos de geração de eletricidade emprega fontes renováveis (VILLALVA, 2015).

3.2 TIPOS DE FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

3.2.1 Energia Hidrelétrica

O princípio de funcionamento de uma usina hidrelétrica acontece quando a água de um rio é represada e depois escoada por um duto. O movimento da água faz as pás de uma turbina girar. A energia potencial da água armazenada no reservatório, transformada em energia cinética durante o escoamento, é transformada em eletricidade por um gerador elétrico acoplado a turbina. A eletricidade produzida é conduzida para um transformador elétrico e

depois distribuída para os centros de consumo através das linhas de transmissão. Apesar de ser uma fonte renovável e não emitir poluentes as hidrelétricas causa impactos ambientais e sociais, entre eles: destruição da vegetação natural, assoreamento do leito dos rios, desmoronamento de barreiras e remoção da população (BURRATTINI,2008).

3.2.2 Energia Solar Térmica

Nos sistemas de aquecimento solar o calor é captado por coletores solares instalados nos telhados de prédios ou residências para aquecer a água. Dentro dos coletores existem tubos por onde circulam a água que é aquecida e depois armazenada em um reservatório. O principal objetivo deste sistema é aquecer a água utilizando diretamente o calor do sol, de forma limpa, simples e eficiente. A principal desvantagem desse sistema são as variações climáticas (BURRATTINI, 2008).

3.2.3 Energia Solar Fotovoltaica

O sistema fotovoltaico consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica. Diferentemente dos sistemas solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do sol, o sistema fotovoltaico tem a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica, esta corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica. Neste sistema também podemos dizer que a principal desvantagem dele é o custo e o clima (VILLALVA, 2015).

3.2.4 Energia Eólica

A energia eólica pode ser usada na geração de eletricidade através de turbinas eólicas acopladas a geradores elétricos. Em regiões do planeta onde existem ventos constantes a energia eólica é uma fonte inesgotável e muito importante de eletricidade.

Existem dois tipos de turbinas eólicas, as de eixo horizontal e as de eixo vertical. As de eixo vertical são usadas em pequenos geradores e as de eixo horizontal em grandes geradores. Desvantagens do sistema: impactos sonoros, visuais e a morte de pássaros

(VILLALVA, 2015).

3.2.5 Energia Oceânica

É possível extrair energia das ondas do mar, das correntes oceânicas ou do movimento das marés. O movimento das marés é resultado da atração gravitacional do sol e da lua sobre a água dos oceanos. A onda oceânica tem origem indireta na energia solar e resultam da ação do vento sobre a água. As correntes marítimas são resultado de diferenças de temperaturas e densidade da água causada pelo aquecimento solar.

O aproveitamento da energia das marés pode ser feito através do represamento da água, o movimento da água é usado para acionar as pás de uma turbina acoplada a um gerador elétrico. As principais desvantagens são: o custo da instalação elevado e a sua construção podem acarretar impactos ambientais (VILLALVA, 2015).

3.2.6 Energia Geotérmica

Em algumas regiões do planeta é possível encontrar temperaturas elevadas a apenas algumas centenas de metros de profundidade, especialmente em regiões vulcânicas e onde existe a presença de gêiseres, que são fontes de água quente que brotam do solo.

Para a produção de eletricidade empregam-se tubulações subterrâneas de água com as quais é possível extrair o calor do subsolo e levá-lo até centrais geradoras, que utilizam turbinas a vapor para acionar geradores elétricos. Este sistema tem um custo inicial elevado e a barata manutenção da bomba de sucção de calor, é contrabalançada pelo elevado custo de manutenção dos canos (BURRATTINI,2008).

3.2.7 Energia Da Biomassa

A energia da biomassa é obtida a partir da queima de compostos orgânicos de origem vegetal e animal. Os combustíveis fósseis são uma forma de biomassa não renovável. A biomassa vegetal pode ser reconstituída pelo plantio, portanto é uma fonte renovável de energia. Desconsiderando aspectos negativos como a necessidade de grandes áreas para plantio e a exaustão dos solos (VILLALVA,2015).

3.3 SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES

O sistema de energia solar fotovoltaica é composto por diversas partes, fundamental para o seu funcionamento. Na figura a seguir está ilustrado o funcionamento das principais partes.



FIGURA 1 - Sistema de energia solar
Fonte: SOLAR, 2017.

Um sistema de energia solar fotovoltaico, é um sistema capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Existem dois tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados (*Off-grid*) e Sistemas Conectados à Rede (*Grid-tie*) (SOLAR,2017).

Os sistemas isolados são utilizados em locais remotos ou onde o custo de se conectar a rede elétrica é elevado. São utilizados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água, entre outros. Já os sistemas conectados à rede, substituem ou complementam a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica (SOLAR,2017).

Um sistema fotovoltaico possui quatro componentes básicos:

- **Painéis solares:** fazem o papel de coração, “bombeando” a energia para o sistema. Podem ser um ou mais painéis e são dimensionados de acordo com a energia necessária. São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade (SOLAR,2017).

- **Controladores de carga:** funcionam como válvulas para o sistema. Servem para evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho (SOLAR,2017).
- **Inversores:** cérebro do sistema, são responsáveis por transformar os 12 V de corrente contínua (CC) das baterias em 110 ou 220 V de corrente alternada (AC), ou outra tensão desejada. No caso de sistemas conectados, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica (SOLAR,2017).
- **Baterias:** trabalham como pulmões. Armazenam a energia elétrica para que o sistema possa ser utilizado quando não há sol (SOLAR,2017).

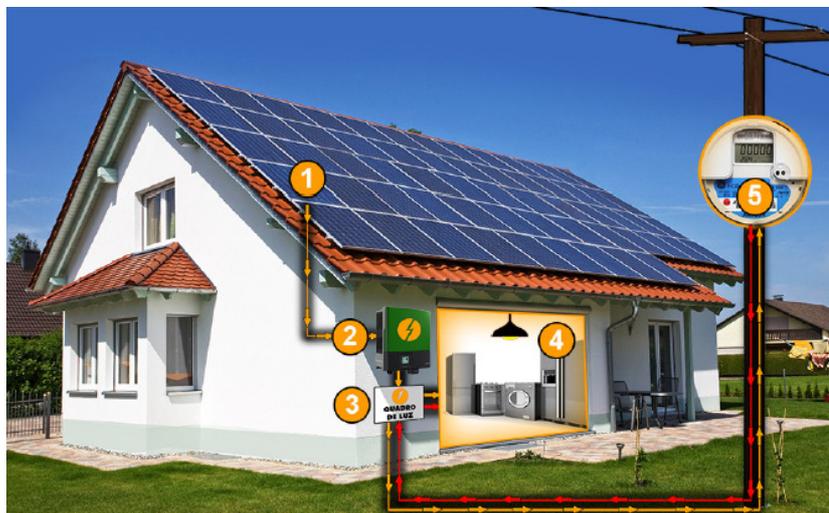


FIGURA 2 - Sistema solar conectado a distribuidora
Fonte: SOLAR, 2017.

Conforme podemos ver na imagem acima, o primeiro passo é a reação do sol sobre as placas fotovoltaicas. Os painéis solares, instalados sobre o telhado são conectados uns aos outros e então conectados no seu inversor solar (SOLAR,2017).

A função do inversor solar é converter a energia solar para a empresa. A energia que sai do inversor vai para o quadro de luz e é distribuída para a empresa, assim reduz a quantidade de energia que compraremos da distribuidora (SOLAR,2017).

O excesso de energia vai para a rede de distribuição e geram créditos, através do relógio bi-direcional. Esse relógio mede a energia da rua que é consumida quando não tem sol e a energia solar gerada em excesso, quando tem muito sol é injetada na rede da distribuidora. A energia solar que vai para a rede vira créditos de energias, para serem utilizados a noite ou nos próximos meses (SOLAR,2017).

Os créditos são medidos em kWh. Para cada kWh gerado em excesso recebe-se o equivalente a um crédito de kWh, desta forma quando recebermos a conta de luz iremos ter as informações de quanto consumimos de energia e quanto injetamos na rede (SOLAR,2017).

3.4 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Existem vários tipos de placas fotovoltaicas, as mais encontradas no mercado são as de silício monocristalino, silício policristalino e a do filme fino de silício. O silício utilizado na fabricação das células fotovoltaicas é extraído do minério quartzo. O Brasil é um dos países que mais contém esse material, porém não são fabricadas as placas e nem é feito o beneficiamento do quartzo no Brasil (VILLALVA,2015).

Silício monocristalino: o silício ultrapuro é aquecido em altas temperaturas e submetido a um processo de formação de cristal, chamado método de Czochralski, em resultado a este processo é obtido o lingote de silício monocristalino, que é constituído de uma estrutura única e possui organização molecular homogênea, o que faz com que o lingote tenha aspectos brilhantes e uniformes. Após este processo o lingote é serrado e fatiado em camadas finas que em seguida são submetidas a processos químicos, onde irão receber impurezas em ambas as faces, formando assim as camadas de silício. Por fim a célula recebe uma película metálica em uma das faces, uma grade metálica e uma camada de material antirreflexo na face que irá receber a luz. As células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala. Alcançam eficiência de 15% a 18%, mas tem um custo de produção mais elevado. São células rígidas e quebradiças que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica (BURRATTINI,2008).

Silício policristalino: o lingote de silício policristalino é formado por um aglomerado de pequenos cristais, com tamanhos e orientações diferentes. O lingote policristalino também é serrado em camadas finas que posteriormente se transformam em células fotovoltaicas. As células policristalinas possuem aparências heterogênea e normalmente são encontradas na cor azul, sua cor pode diferir em função do tratamento antirreflexo empregado. As células de silício policristalino tem eficiência entre 13% e 15%, seu custo de fabricação é menor do que o das células monocristalinas e isso compensa a redução da eficiência. São células rígidas e

quebradiças que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica (VILLALVA,2015).

Filmes finos: são uma tecnologia mais recente, diferentemente das células cristalinas, que são produzidas a partir de fatias de lingote de silício, os dispositivos de filmes finos são fabricados através da deposição de finas camadas de materiais (silício e outros), sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. O processo de deposição que pode ocorrer por vaporização ou através de outros métodos, permite que pequenas quantidades de matéria prima sejam empregadas para fabricar os módulos, assim evitamos os desperdícios encontrados na serragem do lingote. As temperaturas de fabricação dos filmes estão entre 200°C e 500°C, em oposição às temperaturas de até 1500°C necessárias para a fabricação de células cristalinas (VILLALVA,2015).

3.5 PLACAS FOTOVOLTAICAS NA INDÚSTRIA

A célula fotovoltaica é o dispositivo fotovoltaico básico. Uma célula sozinha produz pouca eletricidade, então várias células são agrupadas para produzir painéis, placas ou módulos fotovoltaicos. Um módulo fotovoltaico é constituído de um conjunto de células montadas sobre uma estrutura rígida e conectados eletricamente. Normalmente as células são conectadas em série para produzir tensões maiores (BURRATTINI,2008).

3.6 RADIAÇÃO SOLAR

A luz viaja com uma velocidade constante no vácuo do espaço extraterrestre. A captação do calor solar é a transformação de energia eletromagnética em energia térmica pelos corpos e materiais que recebem sua radiação. Quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre um corpo que tem a capacidade de absorver radiação, a energia eletromagnética é transformada em energia cinética e transmitida para as moléculas e átomos que compõem esse corpo (VILLALVA, 2015).

Esse processo corresponde a transmissão de calor ou energia térmica. Quanto maior o estado de agitação dos átomos e moléculas, maior a temperatura do corpo. As ondas eletromagnéticas, ao incidirem sobre determinados materiais em vez de transmitir calor, podem produzir alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões e correntes elétricas. Existem

diversos efeitos elétricos da radiação eletromagnética sobre os corpos, sendo dois deles os efeitos fotovoltaico e fotoelétrico (BURRATTINI,2008).

O efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores. Se a célula for conectada a dois elétrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho elétrico entre dois elétrodos, surgirá uma corrente elétrica (VILLALVA,2015).

O efeito fotoelétrico ocorre em materiais metálicos e não metálicos sólidos, líquidos ou gasosos. Ele ocasiona a remoção de elétrons, mas não é capaz de criar tensão elétrica sobre o material. O efeito fotoelétrico é muitas vezes confundido com o efeito fotovoltaico, embora sejam relacionados são fenômenos diferentes (BURRATTINI,2008).

3.6.1 Tipos de Radiação Solar

A radiação solar sofre a influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes de chegar ao solo e poder ser captada por células e módulos fotovoltaicos. A radiação que atinge uma superfície horizontal do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens (VILLALVA,2015).

A radiação global é a soma da radiação direta e da radiação difusa. A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do sol, (o “zênite” é uma linha imaginária perpendicular ao sol. O ângulo zenital do sol é zero quando ele se encontra exatamente acima do observador (BURRATTINI,2008).

A espessura da massa de ar atravessada pelos raios solares na atmosfera depende do ângulo zenital do sol). A radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos. Conforme imagem abaixo:

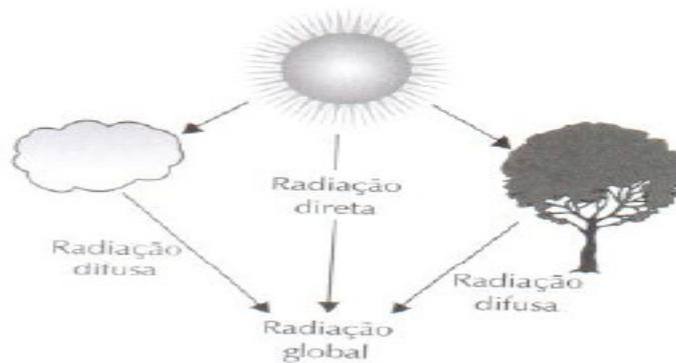


FIGURA 3 – A radiação global é a soma das radiações direta e difusa
Fonte: VILLALVA, 2015.

3.7 IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

O país possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Para termos uma noção, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica é 40% menor do que na região menos ensolarada da Brasil. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.500 Wh/m² a 6.300 Wh/m² no país.

Apesar dessas condições favoráveis, o uso de energia solar para geração elétrica ainda é pouco considerado como uma opção para alimentar nossas indústrias, casas e edifícios. Como o país já possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, a melhor integração da energia solar foto voltaica seria como fonte complementar, aproximando a geração do consumo e reduzindo assim perdas com transmissão.

Se nas cidades há vastas áreas sobre as edificações para a instalação de painéis fotovoltaicos, no meio rural, essa fonte energética é a opção mais limpa e segura para levar eletricidade a comunidades isoladas e de difícil acesso.

Além disso, o Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo. Isso faz com que o país seja um local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células solares, gerando empregos e retorno em impostos pagos.

Para isso, seria preciso investir em pesquisas para desenvolver um conhecimento de purificação do silício até o chamado “grau solar”, que é superior ao do silício empregado na siderurgia.

Para a realização do estudo de viabilidade em plantas que utilizam fonte solar fotovoltaica, é necessário verificar o potencial de irradiação no local onde será implantado o painel. O Atlas Brasileiro de Energia Solar mostra os valores de irradiação para todo o território nacional, conforme a Figura 4.

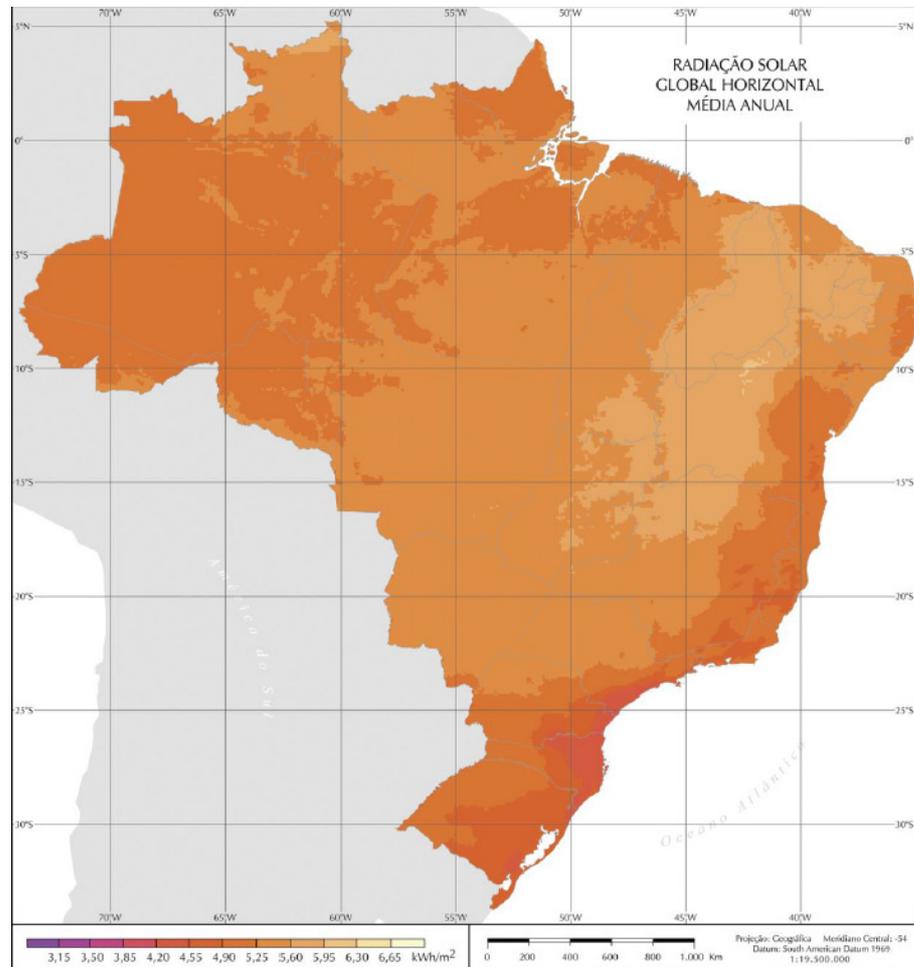


FIGURA 4 – Distribuição de radiação solar no Brasil
Fonte: Pereira, Atlas brasileiro de energia solar. 2006.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O Método do Estudo de Caso enquadra-se como uma abordagem qualitativa e é frequentemente utilizado para coleta de dados na área de estudos organizacionais. Um estudo de caso também pode envolver a conjugação de casos múltiplos. São exemplos de situações desta natureza no campo da Administração: o estudo de inovações introduzidas em diferentes áreas de uma empresa (MILES e HUBERMAN, 1994).

Neste projeto não se incluem materiais apenas métodos. Os métodos utilizados para chegarmos nos resultados foram identificados através de dados de uma empresa que faz implantação de placas fotovoltaicas na indústria. Esta empresa está localizada na cidade de Blumenau- SC e chama-se Orangesun.

Para fazermos uma análise da viabilidade deste projeto realizamos o cálculo da diferença de valores entre o kWh da distribuidora atual e o valor do kWh com o projeto da implantação das placas fotovoltaicas, conforme figura abaixo:

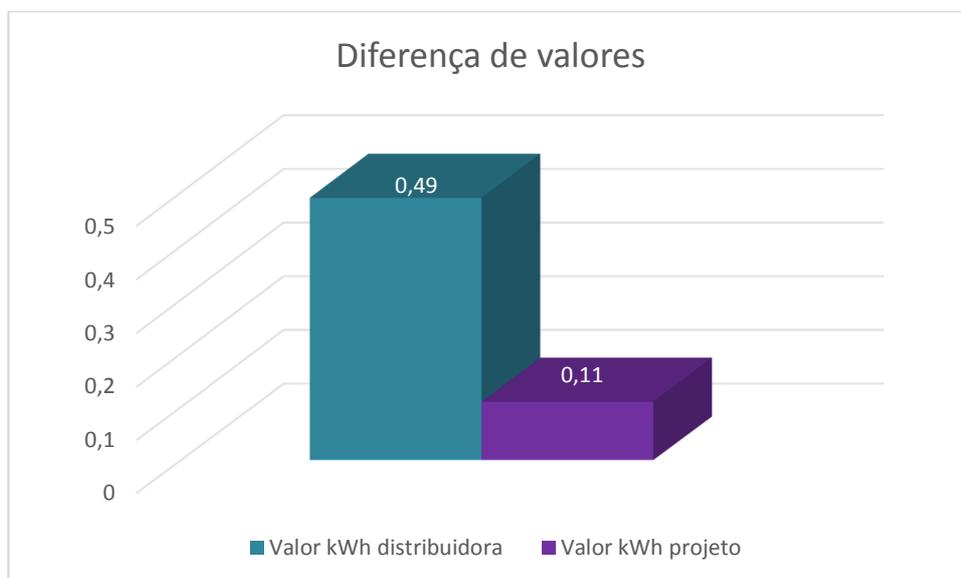


Figura 5 – Diferença de Valores

Fonte: a autora, 2017.

Neste cálculo fizemos uma média dos kWh consumidos e dividimos por doze meses, para descobrirmos o valor do kWh da distribuidora, que custa R\$ 0,49 centavos, já o valor do kWh do projeto custaria R\$ 0,11 centavos, este valor é a divisão do total de faturamento (neste caso economia ou valores que deixam de ser pagos a concessionária) pelo custo do projeto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os dados referentes às placas fotovoltaicas, o seu comparativo com o método comum de energia elétrica, bem como suas vantagens, desvantagens e resultados.

5.1 RESULTADOS ESPERADOS COM O PROJETO

Para analisarmos os resultados esperados com o projeto, é de crucial importância avaliar os dados técnicos dos equipamentos utilizados, de modo a mensurar a economia a ser proposta, com isso, nas duas tabelas a seguir, está disposto os dados técnicos de modelos utilizados no sistema Inversor Frontius 27.0-3-S e do Módulo Fotovoltaico CS6X-320P. Esses dados nos foram fornecidos pela empresa Orangesun.

Tabela 1 - Dados técnicos do Inversor Frontius 27.0-3-S
Fonte: a fabricante (2017)

| INVERSOR - FRONTIUS 27.0-3-S | |
|---|-----------------------|
| Fabricante | FrontiusInternational |
| Disponível | Sim |
| Dados elétricos | |
| Potência nominal c.c | 27,53 KW |
| Potência nominal c.a | 27 KW |
| Potência c.c máxima | 27,7 KW |
| Potência c.a máxima | 27 KW |
| Consumo em espera | 7 W |
| Consumo noturno | 1 W |
| Injeção a partir de | 20 W |
| Corrente de entrada máxima | 71,6 A |
| Tensão de entrada máxima | 1000 V |
| Tensão nominal c.c | 580 V |
| Quantidade de fases de injeção | 3 |
| Quantidade de entradas c.c | 6 |
| Com transformador | Não |
| Alteração da eficiência se a tensão de entrada se desviar da tensão nominal | 0,3% / 100V |
| Seguidor PMP | |
| Potência de saída < 20% da potência nominal | 99,8% |

| | |
|---|---------|
| Potência de saída > 20% da potência nominal | 100% |
| Quantidade de seguidores em PMP | 1 |
| Corrente de entrada máxima por seguidor PMP | 47,7 A |
| Potência de entrada máxima por seguidor PMP | 27,7 KW |
| Tensão mínima do PMP | 580 V |
| Tensão máxima do PMP | 850 V |

Tabela 2 - Dados técnicos do Módulo Fotovoltaico CS6X-320P
Fonte: a fabricante (2017)

| MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6X-320P | |
|--|----------------------|
| Fabricante | Canadian Solar Inc. |
| Disponível | Sim |
| Dados elétricos | |
| Tipo de célula | Si policristalino |
| Exige inversor com transformador | Não |
| Número de células | 72 |
| Número de diodos de desvio | 3 |
| Dados mecânicos | |
| Largura | 982 mm |
| Altura | 1954 mm |
| Profundidade | 40 mm |
| Largura na moldura | 35 mm |
| Peso | 22 kg |
| Com moldura | Não |
| Características U-I sob STC | |
| Tensão PMP | 36,8 V |
| Corrente PMP | 8,69 A |
| Potência nominal | 320 W |
| Tensão de circuito aberto | 45,3 V |
| Corrente de curto-circuito | 9,26 A |
| Aumento da tensão de circuito aberto até estabilização | 0% |
| Características de carga parcial U-I | |
| Fonte dos valores | Fabricante/próprio |
| Irradiação | 200 W/m ³ |
| Tensão PMP com carga parcial | 35,9743 V |
| Corrente PMP com carga parcial | 1,7215 A |
| Tensão de circuito aberto com carga parcial | 42,2774 V |
| Corrente de curto-circuito com carga parcial | 1,8529 A |
| Mais | |

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Coeficiente de tensão | (-) 139,98 mV/K |
| Coeficiente de corrente | (-) 4,63 mA/K |
| Coeficiente de potência | (-) 0,41 %/K |
| Fator de correção do ângulo | 99% |
| Tensão máxima do sistema | 1000 V |
| Capacidade térmica esp. | 920 J/(kg*K) |
| Coeficiente de absorção | 70% |
| Coeficiente de emissão | 85% |

A análise dos dados descritos anteriormente é de fundamental importância para o conhecimento dos equipamentos que serão operados, bem como o potencial de economia que os mesmos podem gerar e, assim, tomar a decisão do equipamento mais adequado para a situação.

Diante dos dados expostos e de testes realizados pela empresa Orangesun, foi realizado um balanço energético do sistema fotovoltaico, com vistas a mensurar o seu consumo e a economia que o mesmo pode gerar, conforme a tabela a seguir.

Tabela 3 - Balanço Energético do Sistema Fotovoltaico
Fonte: a fabricante (2017)

| BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO | | |
|---|------------------------|----------|
| Irradiação global - horizontal | 1731,8 KWh/m2 | |
| Desvio em relação ao espectro padrão | (-)17,32 KWh/m2 | -1% |
| Reflexão do solo (albedo) | 1,67 KWh/m2 | 0,10% |
| Orientação e inclinação do plano dos módulos | 60,39 KWh/m2 | 3,52% |
| Sombreamento independente do módulo | 0 KWh/m2 | 0% |
| Reflexão na superfície do módulo | 25,05 KWh/m2 | 1,41% |
| Irradiação global no plano dos módulos | 1751,5 KWh/m2 | |
| | 1751,5 KWh/m2 | |
| | x 959,41 m2 | |
| | (=) 1.680.395,0 KWh | |
| Irradiação global fotovoltaica | 1.680.395,0 KWh | |
| Sujeira | 0,00 KWh | 0% |
| Conversão de STC 40 (eficiência nominal do módulo 16,67%) | (-) 1.400.340,25 KWh | - 83,33% |
| Energia fotovoltaica nominal | 280.054,7 KWh | |
| Sombra parcial, específica do módulo | 0,00 KWh | 0% |
| Comportamento sob baixa irradiação | (-) 5514,51 KWh | -1,97% |
| Desvio em relação à temperatura nominal do módulo | (-) 16377,31 KWh | -5,97% |
| Diodos | (-) 1290,81 KWh | -0,50% |
| Mismatch (indicações do fabricante) | (-) 5137,44 KWh | -2% |

| | | |
|--|----------------------|--------|
| Mismatch (conexão/sombra) | 0,00 KWh | 0% |
| Energia fotovoltaica (c.c.) sem redução pelo inversor | 251.734,7 KWh | |
| Redução devido à faixa de tensão PMP | (-)25,23 KWh | -0,01% |
| Redução devido à corrente c.c máxima | 0,00 KWh | 0% |
| Redução devido à potência c.c máxima | (-) 504,34 KWh | -0,20% |
| Redução devido à potência c.a máxima/cos phi | (-) 343,32 KWh | -0,14% |
| Perda no seguidor PMP | (-) 20,21 KWh | -0,01% |
| Energia fotovoltaica (c.c) | 250.841,6 KWh | |
| Energia na entrada do inversor | 250.841,6 KWh | |
| Divergência entre tensão de entrada e tensão nominal | (-)711,79 KWh | -0,28% |
| Conversão c.c/c.a | (-) 5132,81 KWh | -2,05% |
| Consumo em espera | (-) 38,68 KWh | -0,02% |
| Perda cabeamento total | (-)2449,58 KWh | -1% |
| Energia fotovoltaica (c.a) menos consumo em espera | 242.508,7 KWh | |
| Injeção na rede | 242.547,0 KWh | |

No projeto gerador fotovoltaico optou-se pela escolha de um sistema fotovoltaico de silício policristalino, devido ao seu custo ser inferior aos das placas monocristalinas. Foram feitos estudos para determinar os rendimentos do sistema fotovoltaico e com isso chegamos aos resultados abaixo:

Energia do gerador fotovoltaico: 242.547 kWh

Rendimento anual específico: 1.515,92 kWh/kWp

Emissões de CO₂ evitadas: 145.528 kg/ano

Esse estudo é para que seja possível justificar a implantação das placas fotovoltaicas. A energia solar nos beneficia de várias formas, entre elas podemos citar dos bens ao meio ambiente, menor emissão de gases tóxicos, utilização de um bem imensurável como o sol, e além do mais podemos reduzir o gasto com energia elétrica.

O custo total do projeto é de R\$ 676.925,38, neste valor a empresa Orangesun inclui a execução do projeto, impostos, embalagens, seguro de transporte, máquinas e ferramentas necessárias para a montagem, aferições e testes de funcionamento, projeto elétrico, responsabilidade técnica, placas fotovoltaicas, inversores, baterias, conectores, cabos, entre outros materiais.

Após a instalação do projeto por ano, pode-se economizar o valor de R\$ 111.572,62. O custo do kWh é calculado dividindo-se o investimento proposto (R\$ 676.925,38) pela geração

esperada no período de 25 anos que é o período de garantia do projeto. No cálculo abaixo mostraremos o custo do kWh solar:

$$\text{Custo kWh solar} = \frac{676925,38}{(20212 \text{ (valor gerado mensalmente (kWh))} \times 12(\text{meses}) \times 25(\text{anos}))}$$

$$\text{Custo kWh solar} = 0,11$$

Abaixo apresentaremos os comparativos de quantidades e valores mensais do projeto, incluindo quantidades consumidas e suas respectivas médias, consumo mensal, entre outros.

Conforme a figura abaixo podemos identificar o total consumido anualmente em kWh (568.560), a quantidade de kWh gerada através do projeto (242.547) e a quantidade que deveremos comprar da distribuidora, que é a diferença do consumo anual com a quantidade gerada no projeto, que totaliza 326.013 kWh.

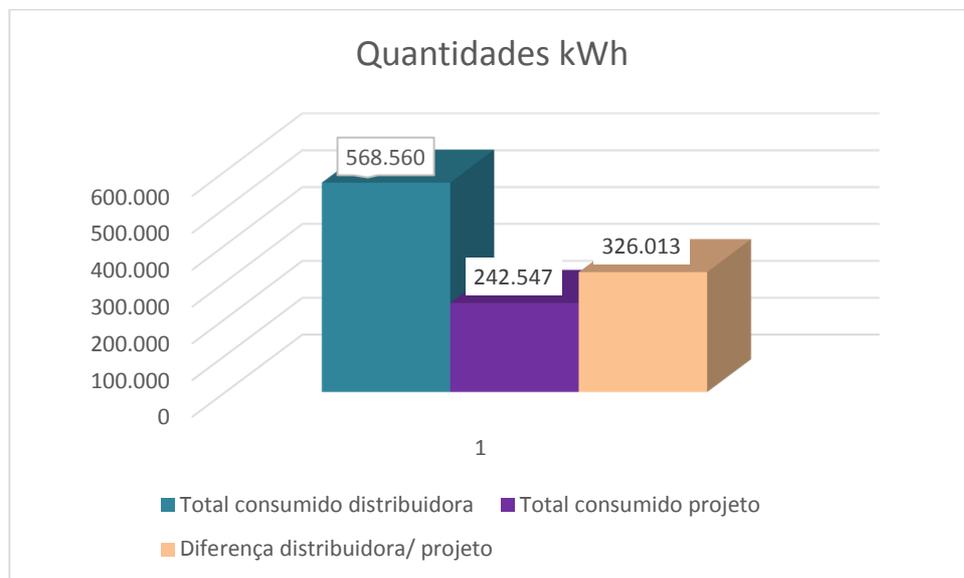


Figura 6– Quantidades kWh.

Fonte: a autora, 2017.

Na Figura 7 demonstramos as médias de consumo mensal em kWh da distribuidora atual e a média que conseguimos gerar de kWh com o projeto fotovoltaico.

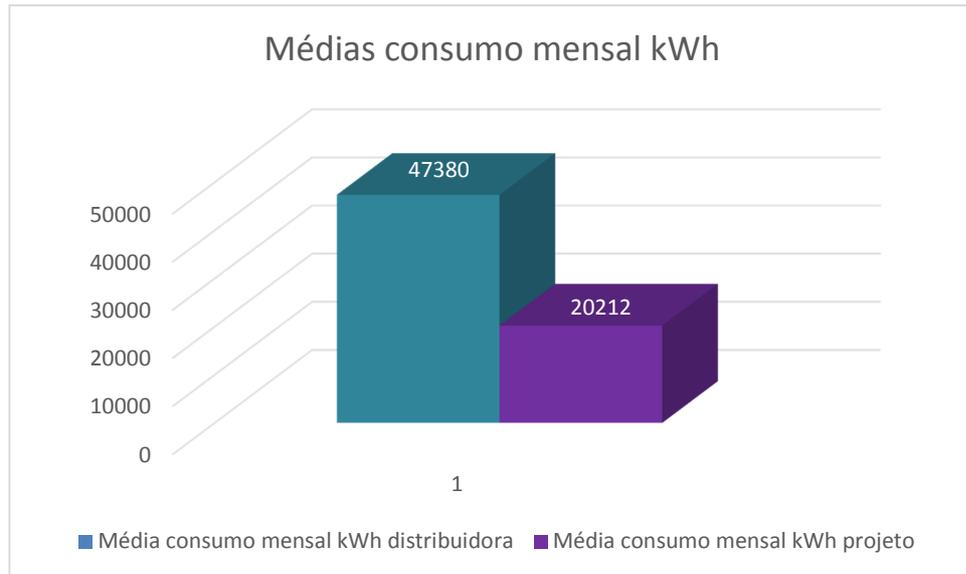


Figura7 – Médias consumo mensal kWh.

Fonte: a autora, 2017.

Valores em kWh:

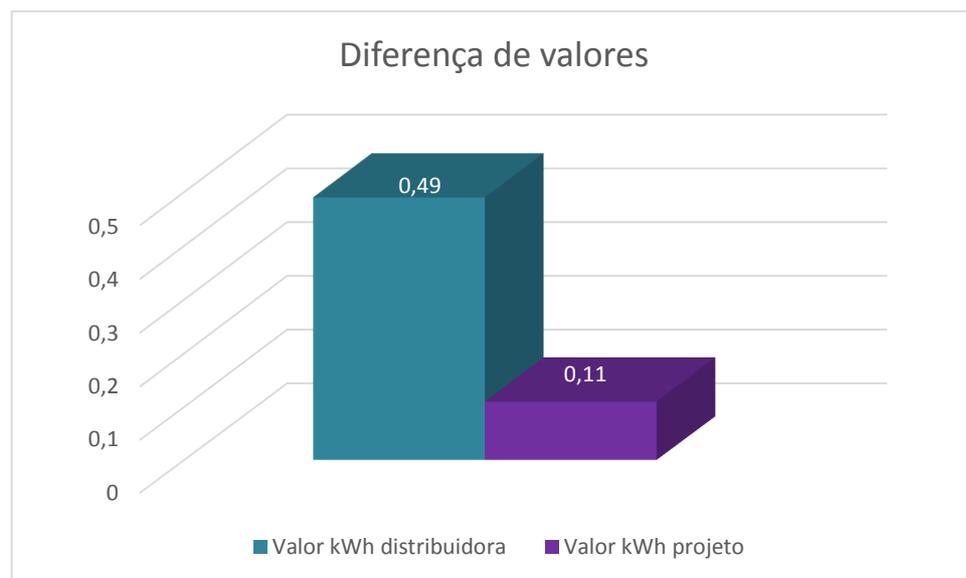


Figura 8– Diferença de valores.

Fonte: a autora, 2017.

Futuro x já foi feito, os valores gastos em energia anualmente e o valor de economia anual com o projeto:

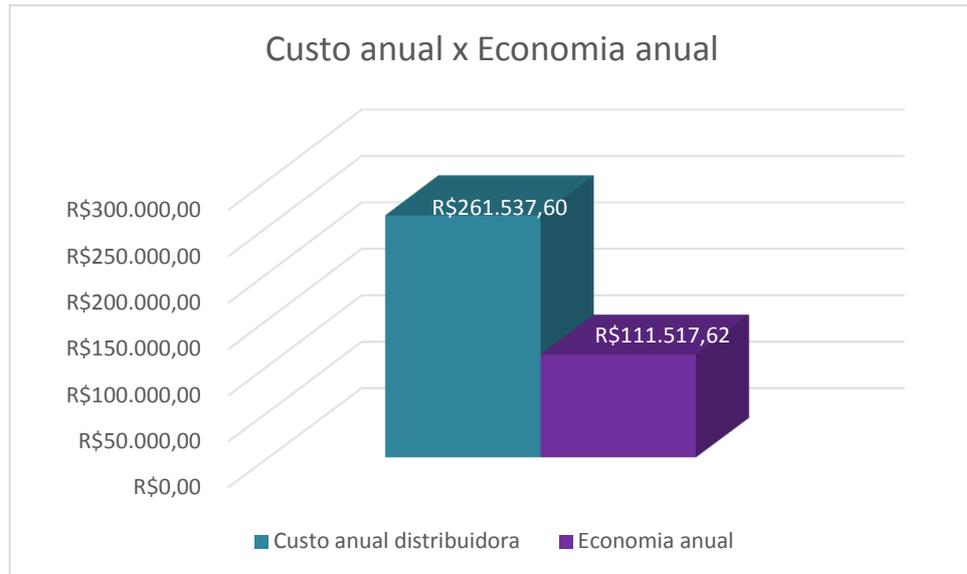


Figura 9 – Custo anual x economia.

Fonte: a autora, 2017.

Conforme pesquisamos, existem bancos que financiam o projeto, onde concedem até 25 anos para quitar o valor da dívida. O projeto pode ser financiado pelo banco BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social), onde será utilizado o *Payback* (Retorno) simples, ou período de *payback*, que é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento.

É definido como o número de anos, meses, semanas, para se recuperar o investimento inicial. Para se calcular o período de *payback* de um projeto basta somar os valores dos fluxos de caixa auferidos, período a período, até que essa soma se iguale ao valor do investimento inicial.

Conforme tabela abaixo iremos demonstrar em quanto tempo o projeto será pago através do *payback* simples:

Tabela 4 - *Payback* simples.

Fonte: Orangesun(2017)

| Ano | Investimento / economia anual | Saldo acumulado |
|---|-------------------------------|-------------------|
| 0 | -R\$ 676.925,38 | 0 |
| 1 | R\$ 111.571,62 | -R\$ 565.353,76 |
| 2 | R\$ 124.960,21 | -R\$ 440.393,55 |
| 3 | R\$ 139.955,44 | -R\$ 300.438,11 |
| 4 | R\$ 156.750,09 | -R\$ 143.688,02 |
| 5 | R\$ 175.560,10 | R\$ 31.872,08 |
| 6 | R\$ 196.627,32 | R\$ 228.499,40 |
| 7 | R\$ 220.222,59 | R\$ 448.721,99 |
| 8 | R\$ 246.649,31 | R\$ 695.371,30 |
| 9 | R\$ 276.247,22 | R\$ 971.618,52 |
| 10 | R\$ 309.396,89 | R\$ 1.281.015,41 |
| 11 | R\$ 346.524,52 | R\$ 1.627.539,93 |
| 12 | R\$ 388.107,46 | R\$ 2.015.647,39 |
| 13 | R\$ 434.680,35 | R\$ 2.450.327,74 |
| 14 | R\$ 486.842,00 | R\$ 2.937.169,74 |
| 15 | R\$ 545.263,03 | R\$ 3.482.432,77 |
| 16 | R\$ 610.694,60 | R\$ 4.093.127,37 |
| 17 | R\$ 683.977,95 | R\$ 4.777.105,32 |
| 18 | R\$ 766.055,30 | R\$ 5.543.160,62 |
| 19 | R\$ 857.981,94 | R\$ 6.401.142,56 |
| 20 | R\$ 960.939,77 | R\$ 7.362.082,33 |
| 21 | R\$ 1.076.252,55 | R\$ 8.438.334,88 |
| 22 | R\$ 1.205.402,85 | R\$ 9.643.737,73 |
| 23 | R\$ 1.350.051,20 | R\$ 10.993.788,93 |
| 24 | R\$ 1.512.057,34 | R\$ 12.505.846,27 |
| 25 | R\$ 1.693.504,22 | R\$ 14.199.350,49 |
| O <i>payback</i> simples ocorre em 4,82 anos ou 4 anos e 10 meses | | |

O projeto será pago em 4 anos e 10 meses, após isso o investimento estará pago.

5.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A aplicação deste projeto traz inúmeras vantagens inerentes à economia de recursos, o que permite a aplicação de uma energia limpa, economizando os recursos naturais que são comumente utilizados para a obtenção de energia elétrica e, inclusive, a economia financeira que tal fato pode proporcionar, conforme demonstrado anteriormente.

Com isso, uma das principais vantagens encontradas na aplicação de um sistema

fotovoltaico é o pagamento do investimento das placas voltaicas e, assim, passa-se a economizar com energia elétrica da distribuidora, haja vista que a manutenção das placas é bastante simples.

Com isso, uma manutenção fácil também se torna barata e fácil de manter, o que ratifica o rápido pagamento do investimento nas placas, aliado à grande economia de energia elétrica que pode proporcionar ao consumidor, o que reflete diretamente de forma positiva em suas finanças.

Por ser uma energia limpa, com baixo custo de manutenção e que gera uma comprovada economia monetária, é possível expandir a aplicação das placas fotovoltaicas, de modo a torna-las mais populares e, assim, reduzir o seu custo de aplicação, fato que deve ser realizado a longo prazo, afinal, trata-se de um método ainda pouco comum na região.

Vale ressaltar como desvantagem da aplicação das placas fotovoltaicas, que se converte em um desafio para a efetividade de sua aplicação, é a questão do clima da cidade de Lages, que não tem uma incidência de sol elevada, o que, por consequência, não gera uma quantidade de energia solar tão expressiva quanto em outros lugares mais quentes.

Tal situação pode questionar a aplicação das placas fotovoltaicas, entretanto, elas podem tornar-se efetivas, pois com a expansão de suas atividades, é possível realizar investimentos para melhorias em sua estrutura, de modo com que otimize a captação da energia solar e, em casos da placa fotovoltaica não conseguir trabalhar efetivamente sozinha, pode perfeitamente servir como um meio complementar de economia de energia elétrica, afinal, pode trabalhar em conjunto com o método convencional e, ainda assim, gerar economia de energia, porém, com menor eficiência e com um retorno mais demorado.

Sendo assim, o sistema fotovoltaico traz um maior número de vantagens do que desvantagens, afinal seu custo é rapidamente retornado ao consumidor e sua economia é efetiva, mesmo quando a efetividade da energia solar não é a ideal, podendo servir como complementar.

5.3 BENEFÍCIOS PARA O MEIO AMBIENTE

A utilização das placas voltaicas traz grandes benefícios para o meio ambiente, afinal, economiza recursos naturais que são consumidos para a produção de energia elétrica, que também será poupada, pois as placas fotovoltaicas fazem proveito da energia solar.

Com a popularização desse método, as hidrelétricas tendem a ter uma sobrecarga

de trabalho menor, o que implica em menores possibilidades de racionamento de energia elétrica, maior economia para o cliente e, evidentemente, menor exploração dos recursos naturais, economia de água e redução da necessidade da construção de novas hidrelétricas, o que evita a destruição de ecossistemas das regiões às quais são construídas, pois têm um forte impacto ambiental.

Com isso, a flora e a fauna têm menor grau de sofrimento com a intervenção que as hidrelétricas aplicam e a energia solar consiste em uma energia limpa, que segue as atuais tendências sustentáveis às quais a humanidade está submetida, de modo a não degradar o meio ambiente.

A utilização de energias limpas vem trazendo grandes vantagens para o meio ambiente, que sofre menores impactos com a ação humana e segue preservado e, assim, melhora a qualidade da vida da população e mantém o ecossistema o mais próximo possível de sua forma ideal.

Além disso, a energia solar é renovável, ou seja, não extrai recursos da natureza de forma irreversível, entretanto, necessita-se do sol para que ocorra de forma efetiva, o que a torna inesgotável e ela não é uma energia poluente, não emitindo gases para o efeito-estufa, não faz barulho, o que aumenta o conforto do usuário, que também precisará dispor de pouco espaço físico para sua estrutura, que é compacta e pode ser utilizada em áreas remotas, por ser prática e com pouca necessidade de manutenção.

Ou seja, as placas fotovoltaicas estão em pleno acordo com a atual necessidade para com o meio ambiente, de modo a torna-lo mais limpo, sustentável e em prol de sua preservação, em convívio harmônico com o ecossistema.

6 - CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo referente às vantagens da implantação de um sistema solar na indústria, sendo que foram avaliadas as necessidades, as vantagens e as desvantagens, valores de investimentos e os benefícios do projeto.

Tendo como base de estudo, empresas com um alto consumo de energia elétrica, os custos devem ser reduzidos consideravelmente, de modo a aumentar o índice lucrativo final, os valores dos produtos repassados para os clientes podem, inclusive, ser reduzidos, além de ser uma forma de energia que atende aos atuais princípios de sustentabilidade.

Entretanto, a cidade de Lages/SC tem uma taxa de irradiação relativamente baixa para a consideração do uso exclusivo da energia solar, o que pode torna-la menos eficiente e comprometer a efetividade de sua aplicação na região.

Porém, ainda assim é um método com aplicação viável, pois pode servir como meio complementar para a energia elétrica atualmente utilizada, ainda assim trazendo economia para o consumidor, haja vista também a baixa necessidade de manutenção realizada nas placas, o que a torna ainda mais viável.

Sendo assim, com uma aplicação parcial, também haverá economia para o cliente, entretanto, com um prazo de retorno maior do que se o utilizasse de forma integral, o que ainda trata-se de um negócio interessante, pois gera economia de energia elétrica, de recursos naturais e o investimento é rapidamente suprido.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURRATTINI, M.P.T.C. **UMA ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

COMETTA, E. **ENERGIA SOLAR: UTILIZACAO E EMPREGOS PRÁTICOS**. São Paulo: HEMUS, 2004.

ESCOLA, Brasil. **FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**. Disponível em:
<<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>
Acesso em: 13 jun. 2017.

MILES, Matthew B.; HUBERMAN, a. Michael. **Qualitative Data Analysis**.
Thousand Oaks: Sage. 1994

PEREIRA, **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2006.

SOLAR, Portal. **COMO FUNCIONA O PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

VILLALVA, M. G. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. São Paulo: Erica, 2015.