



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
KÁTIA HELENA STEINER

**ESTUDO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO E
DESCARTE DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Tubarão
2020

KÁTIA HELENA STEINER

**ESTUDO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO E
DESCARTE DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

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

Orientador: Prof^ª. Francielen Kuball Silva, Dr^ª.

Tubarão

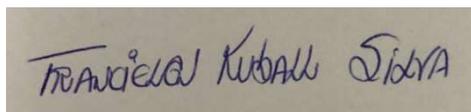
2020

KÁTIA HELENA STEINER

**ESTUDO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL DECORRENTE DA UTILIZAÇÃO E
DESCARTE DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

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

Tubarão, (10) de (dezembro) de (2020).



Professor e orientador Francielen Kuball Silva, Dr^a.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Bruno William Wisintainer, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela oportunidade de estar aqui e não pensar em desistir em nenhum momento, a minha família, amigos, namorado e colegas pelo apoio e incentivo durante todo o curso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela oportunidade de estar aqui, e poder saber que está presente em momentos especiais como este. Agradecer ao meu avô que foi e sempre será uma pessoa muito importante, onde me apoiou desde pequena para alcançar meus objetivos profissionais e pessoais.

Agradecer também à minha família que sempre me orientou em fazer melhores escolhas ao longo da vida e também de minha trajetória acadêmica. Onde sempre se dispuseram a me ajudar em qualquer coisa que precisasse.

A professora e orientadora do trabalho de conclusão de curso Prof^a. Francielen Kuball Silva, Dr^a, com grande reconhecimento e gratidão pela ajuda, que com vasta sabedoria soube me orientar nesta etapa importante da graduação.

Aos colegas e amigos que conheci e convivi na trajetória acadêmica, que sempre se fizeram presentes, agradeço a oportunidade de ter conhecido e passar esses momentos importantes nesta fase de vida.

Agradeço às empresas pela oportunidade de poder entrevistá-las e obter um conhecimento maior sobre a forma e meios que eles lidam no mercado de trabalho.

“O futuro vai mostrar os resultados e julgar cada um segundo as suas realizações.”(Nicolas Tesla).

RESUMO

A energia solar decorre de uma fonte limpa e renovável, entretanto, os equipamentos utilizados na produção de energia elétrica através do sol para realizar a conversão podem causar danos ao meio ambiente e aos seres humanos, caso sejam descartados de forma inadequada, pois possuem metais pesados em sua composição. O objetivo deste trabalho foi identificar o conhecimento sobre os impactos ambientais, assim como a destinação de placas fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar. A justificativa para o tema foi devido ao crescimento de empresas na área de projetos de geração de energia na região de Tubarão/SC, visando entender o conhecimento e a destinação de placas fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar. Trata-se de uma pesquisa aplicada, onde a abordagem do problema de pesquisa é qualitativa, sendo que o procedimento é um estudo de caso, onde utilizou-se um questionário como instrumento de coleta de dados, na qual visou conhecer a percepção ambiental, assim como a destinação das placas fotovoltaicas pelas empresas entrevistadas. Através do estudo de caso foi possível perceber que as empresas possuem pouco conhecimento relacionado aos impactos gerados pela utilização, e tão pouco sobre a disposição final das placas fotovoltaicas. Conclui-se que ainda não existe um destino final correto aos módulos fotovoltaicos, e conseqüentemente é necessária a criação de medidas em relação a logística reversa para que seja dado um destino adequado a este resíduo sólido.

Palavras - chaves: Impactos ambientais. Placas fotovoltaicas. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Resíduo sólido.

ABSTRACT

The solar energy comes from a clean and renewable source, however, the equipment used in the production of electricity through the sun to perform the conversion can cause damage to the environment and to humans, if they are improperly disposed of, as they contain heavy metals in its composition. The objective of this work was to identify the knowledge about the environmental impacts, as well as the destination of photovoltaic plates from the generation of solar electric energy. The justification for the theme was due to the growth of companies in the area of energy generation projects in the region of Tubarão / SC, aiming to understand the knowledge and destination of photovoltaic plates from the generation of solar electricity. It is an applied research, where the approach to the research problem is qualitative, and the procedure is a case study, where a questionnaire was used as a data collection instrument, in which it aimed to know the environmental perception, as well as the destination of the photovoltaic plates by the interviewed companies. Through the case study it was possible to notice that the companies have little knowledge related to the impacts generated by the use, and so little about the final disposition of the photovoltaic plates. It is concluded that there is still no correct final destination for the photovoltaic modules, and consequently it is necessary to create measures in relation to reverse logistics so that an adequate destination is given to this solid waste.

Keywords: Environmental impacts. National Solid Waste Policy. Photovoltaic plates. Solid waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito fotovoltaico e fotoelétrico	21
Figura 2 – Sistemas fotovoltaicos.....	22
Figura 3 – Camada P e N.....	23
Figura 4 – Placas fotovoltaicas monocristalina (esquerda) e policristalina (direita).....	25
Figura 5 – Gestão e Hierarquia do Gerenciamento dos Resíduos	30
Figura 6 – Atribuições da logística reversa para produtos abordados pela lei 12.305/2010	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das placas fotovoltaicas	28
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	15
1.5 METODOLOGIA.....	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	18
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
2.2.1 PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	22
2.2.2 DESCARTE DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS	25
2.3 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RESÍDUOS	29
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 DELINIAMENTO DO MÉTODO	33
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	35
4.1 PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS	35
4.2 PERCEPÇÃO SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS E A DESTINAÇÃO CORRETA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	36
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA	46

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico do Brasil precisam estar alinhados as questões ambientais, visando não exaurir os recursos naturais, assim como preservar o meio ambiente. Atualmente, existe uma preocupação mundial com a obtenção de energia, assim como os problemas ambientais decorrentes de sua produção. A sustentabilidade é um tema muito discutido na matriz energética brasileira, pois, espera-se a utilização de fontes de energias renováveis que causem o mínimo de danos ao meio ambiente. Entretanto, segundo Inatomi e Udaeta (2007), os impactos gerados ao meio ambiente podem ser reversíveis ou irreversíveis, dependendo das proporções que se encontram.

No Brasil, o Ministério de Minas e Energia (MME) é o órgão responsável por formular e definir as diretrizes da política energética nacional, sendo que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é responsável pelos estudos e pesquisas, visando subsidiar o planejamento do setor energético nas áreas de energia elétrica, petróleo, gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Com todo o desenvolvimento do país decorrente de uma nova era tecnológica, é necessária cada vez mais a utilização de energia elétrica, o paradigma em nossa atual realidade é economizar energia elétrica por meio de ações sustentáveis, de forma mais eficiente visando utilizar toda a tecnologia de uma forma economicamente correta. Assim, para alcançarmos a sustentabilidade, precisa-se adotar práticas que utilizem com bom senso a diminuição do consumo de energia. Pesquisas realizadas pela EPE (EPE, 2019), indicam que em 2018 a taxa de crescimento seria 2,0% superior ao ano anterior, ou seja, no Brasil, a geração de energia elétrica para setores públicos e privados atingiu 601,4 TWh.

Vale destacar que, em um passado não tão distante, uma das principais fontes de energia era proveniente de fonte fóssil, vinda da queima de combustíveis limitados, onde apresentavam e ainda apresentam aspectos negativos ao meio ambiente, como a emissão de gases poluentes, chuvas ácidas e também o efeito estufa. Evidentemente que os combustíveis fósseis foram extraídos e transformados a partir de recursos naturais, como o crescimento deste tipo de produção foi tão vasto, a maior preocupação era a renovação dessa matéria-prima. A partir desta problemática o país impulsionou um novo tipo de geração, a de fontes renováveis.

Destaca-se que a matriz elétrica brasileira é predominantemente de fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica, solar e biomassa (EPE, 2019), e embora o predomínio

da fonte hídrica seja consideravelmente relevante, sua participação na produção total vem diminuindo, assim, outras fontes renováveis vêm ganhando destaque, como a energia solar.

1.1 JUSTIFICATIVA

A energia renovável pode e deve ser utilizada em equilíbrio, de maneira que não traga resultados negativos ao meio ambiente e a população, pode ser facilmente captada e integrada há um sistema de abastecimento de energia de uma região, sendo que, atualmente grande parte é utilizada em empresas nacionais e multinacionais.

Dentre estas fontes pode ser direcionar a solar, onde estima-se que no futuro essa energia deva desempenhar um importante papel, principalmente em países em desenvolvimento, por ser uma fonte praticamente inesgotável. A partir de dados extraídos do Balanço Energético Nacional (EPE, 2019), enquanto as fontes renováveis ocupam 83,3% de oferta interna de eletricidade no Brasil, a energia solar representa 0,54% dessa oferta, perante as outras fontes renováveis. A produção de energia primária sobre a fonte solar no ano de 2018 foi de 298×10^3 tep (toe), enquanto o Sul do país tem 0,2% de capacidade instalada de energia solar, Santa Catarina tendo 4 MW desta porcentagem, utilizada tanto pelo setor público como o privado.

A energia solar pode ser utilizada para diferentes finalidades, onde varia do aquecimento e resfriamento de água, iluminação, coordenação de equipamentos entre outros diversos meios, a principal é a geração de energia elétrica, resultado da captação dos raios solares convertidos em corrente alternada (AC), e direcionada as redes de distribuição ou armazenados em baterias. Este tipo de geração provém da utilização de painéis fotovoltaicos, sendo eles além do sol um dos principais componentes do sistema. Apesar de gerar uma energia limpa, aparentemente seja associado a algo positivo por ser uma fonte renovável, entretanto, alguns materiais utilizados podem causar poluição ao meio ambiente.

Coelho e Serra (2018) estudaram os tipos de tecnologias para a reciclagem das placas ou painéis fotovoltaicos, sendo que os mesmos apresentam os três tipos de gerações de acordo com o seu material e suas características semicondutoras, cita-se que este tipo de material é considerado resíduo de equipamentos eletroeletrônico (REEE). Se não for tratado de forma correta pode ser altamente perigoso, podendo liberar toxinas afetando o meio ambiente e a saúde humana. Oliveira *et al.* (2017) pesquisaram sobre a destinação final de placas fotovoltaicas pós-consumo no Brasil. Dias *et al.* (2018) analisaram a reciclagem de resíduos de módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, Costa *et al.* (2019) estudaram os impactos

ambientais causados pelos painéis solares, assim como a percepção dos discentes da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Segundo a Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010) que dispõe a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) a responsabilidade sobre o ciclo de vida dos produtos é compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e serviços públicos de limpeza urbana. De acordo com o artigo 3^o da PNRS (BRASIL, 2010), o ciclo de vida do produto é definido como “série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matéria e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final”. Desta forma, a responsabilidade de um produto após seu consumo é de todos os envolvidos na cadeia produtiva. Para tanto, a PNRS determina o sistema de logística reversa, em que os resíduos perigosos devem ser gerenciados, sobretudo os produtos tais como pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, produtos eletroeletrônicos e seus componentes, dentre outros.

Até o presente momento nenhuma pesquisa foi realizada sobre a logística reversa nas empresas deste ramo no município de Tubarão/SC, sobretudo o descarte correto das placas fotovoltaicas, que segundo Coelho e Serra (2018), estes resíduos são considerados perigosos de classe I, e posteriormente será mais aprofundado nos próximos capítulos. Se não houver o processo devidamente correto para estes módulos, sendo considerados resíduos industriais perigosos. De acordo com os fatos expostos, a presente pesquisa tem como problema central: qual a percepção e o destino ambientalmente correto tem sido dado as placas fotovoltaicas utilizadas por empresas deste ramo no município de Tubarão/SC?

A pesquisa visa ampliar os conhecimentos sobre o destino de placas fotovoltaicas, realizando estudo inédito e contribuindo para a preservação dos conhecimentos produzidos no curso de Engenharia Elétrica – Bacharelado da Unisul.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Visto que a energia solar provém de uma fonte limpa e renovável, os equipamentos utilizados na produção de energia elétrica através do sol para a realização da conversão podem causar danos ao meio ambiente e aos seres humanos, caso sejam descartados de forma inadequada, pois possuem metais pesados em sua composição. Além de causar danos ao meio ambiente, é importante destacar que os metais pesados são extremamente danosos à saúde, como por exemplo, o chumbo e o cádmio, constituintes de alguns módulos fotovoltaicos. O princípio deste trabalho é estudar a destinação de placas

fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar, com o enfoque nos impactos ambientais, em sua maior parte após seu ciclo de vida útil. A região de Tubarão/SC cresceu vastamente com todo o desenvolvimento tecnológico na área de projetos de geração de energia, para isso a problemática do presente trabalho se dá a partir de entrevistas, utilizando como instrumento de coleta de dados questionários, a ser aplicado com as empresas deste ramo, para averiguar qual a percepção ambiental e o procedimento adotado pelas empresas após a utilização das placas fotovoltaicas.

1.3 OBJETIVOS

Neste tópico é apresentado a ideia central do trabalho, como também aos objetivos gerais e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar o conhecimento sobre os impactos ambientais, assim como a destinação de placas fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar conceitos sobre a geração de energia elétrica;
- Apresentar a Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
- Apresentar sobre a geração de energia solar fotovoltaica;
- Analisar as diferentes placas fotovoltaicas;
- Apresentar os impactos ambientais gerados durante e após o uso das placas fotovoltaicas;
- Entrevistar e relatar empresas que vendem painéis fotovoltaicos;
- Apresentar a destinação correta sobre as placas fotovoltaicas;
- Propor iniciativas as empresas no ramo, a fim de instruir sobre o descarte correto.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho parte de um estudo de caso em duas empresas na área de projeto de geração de energia solar fotovoltaica no município de Tubarão/SC, onde é realizada

entrevistas, utilizando como instrumento de coleta de dados questionários, visando compreender o descarte das células fotovoltaicas e as questões ambientais relacionadas ao processo durante e após seu ciclo de vida.

1.5 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa, de acordo com Silva e Menezes (2001), um método que utiliza levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas de maior envolvimento ao instrumento de estudo, para a familiarização do referente tema a ser apresentado. A abordagem escolhida remete a busca por explicações sobre o estudo de caso, analisando a percepção ambiental, assim como o procedimento de descarte das placas fotovoltaicas na região de Tubarão/SC. Assim sendo, uma pesquisa bastante específica, de acordo com Gil (2002), a pesquisa fundamental é voltada a criação de um problema e na busca da análise e coleta de dados, a fim de interpretar os resultados obtidos. Para isso, deve-se ser relacionado à pesquisa também dados a serem coletados e apresentados, como:

- Levantamento bibliográfico;
- Estudar a geração de energia solar fotovoltaica;
- Pesquisar os tipos de células fotovoltaicas no mercado atual;
- Apresentar a Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
- Relacionar os impactos ambientais decorrentes das células fotovoltaicas;
- Efetuar entrevistas com as empresas que atuam no ramo;
- Analisar e obter os resultados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução do tema. No segundo capítulo, são apresentadas as questões relacionadas ao conceito de sustentabilidade, a busca por uma energia limpa e renovável, o sistema de geração fotovoltaico, que é o principal componente utilizado para a produção de energia solar, a diferenciação sobre as placas fotovoltaicas, assim como os impactos que podem ser gerados durante e após o uso, a destinação final, e toda a parte legislativa que envolve os resíduos sólidos.

No terceiro capítulo é descrito o método e qual o tipo de abordagem para a realização da pesquisa.

No quarto capítulo encontram-se a análise e discussão dos dados obtidos a partir das entrevistas realizadas, juntamente com os dados interpretados através da revisão de literatura.

Por fim, o quinto capítulo aborda as considerações finais sobre as principais conclusões retiradas do presente estudo de caso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre os temas de interesse envolvidos no estudo, tais como sustentabilidade, geração de energia fotovoltaica, painéis fotovoltaicos, poluição ambiental, legislação nacional e municipal, entre outros tópicos, a fim de possibilitar a interpretação do assunto sobre os temas abordados neste trabalho.

2.1 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A humanidade tomou proporções através de pesquisas, ideias e criações que modificaram nossa atualidade. Grande parte dessas criações se obteve na busca de concretizações pessoais ou profissionais. A definição de sustentabilidade mais amplamente adotada é a da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987, p. 8) “desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades”. A maneira como geralmente é operacionalizada é através do *triple bottom-line* ou triplé da sustentabilidade (econômico, ambiental e social), um conceito desenvolvido por Elkington (1998), que simultaneamente considera e equilibra questões econômicas, ambientais e sociais de um ponto de vista microeconômico.

Visando interpretar o conceito desenvolvido por Elkington, segundo Roma (2019) os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) partiram do princípio de erradicar fatores principais como fome e pobreza, buscando ser um pilar a população de classe baixa principalmente de países pouco desenvolvidos. Os oito objetivos e as 21 metas foram abordadas em países-membros da ONU (Organização das Nações Unidas), através da Resolução n°55/2000, do dia 13 de novembro de 2000, cerca de 191 países aderiram a esta norma, enquanto ocorria a 55ª sessão da Assembleia Geral. Como grande parte dos objetivos foram impostos entre um intervalo de 15 anos, prevendo uma substituição dos ODM a partir do ano de 2015, novos objetivos e metas foram alcançadas, criando o documento Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável em que os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas respectivas 169 metas criadas a partir deste documento intitulado por um período prolongado de mais 15 anos, até 2030.

Aos países que adotaram as devidas medidas preventivas seguindo os 17 ODS, que buscam proporcionar uma ação de redução a emissão de gases ao efeito estufa (GEE), estima-se manter uma temperatura média inferior a 2° C comparando a níveis pré-industriais,

e reforçando um objetivo futuro para que seja inferior a 1,5° C acima dos níveis estabelecidos anteriormente. O acordo com as restrições climáticas entrou em vigor em Paris no dia 4 de novembro de 2016, um mês depois da declaração aproximadamente 55 respectivas partes da convenção aderiram a estas restrições tendo a orientação de minimizar fenômenos climáticos recorrentes aos GEE (Krajačić *et al.*, 2017).

Segundo Rosa *et al.* (2019), a sustentabilidade é sinônimo de evolução econômica, sempre visando a incorporação das questões sociais, econômicas e ambientais. Para alcançar um melhor desempenho na sustentabilidade, busca-se melhorar as práticas entre as pessoas na cadeia de suprimentos, como a reciclagem, ato de reutilizar um produto que foi processado. Existem práticas para reduzir os impactos ambientais, no qual nas quais destaca-se ao usar materiais puros de propriedades conhecidas e saudáveis. Usando recursos renováveis assim eliminando resíduos indesejáveis, e possuindo produções mais eficientes do que com o uso de maquinário.

As empresas precisam adotar ações visando alcançar o desenvolvimento sustentável, ou seja, objetivando metas para tornar o planeta mundialmente sustentável. O ecodesenvolvimento ou desenvolvimento sustentável é fundamentado com objetivos de equilíbrio social, ambiental e econômico. Entretanto, existem aqueles em nosso meio que acreditam em um crescimento reestruturado voltado em aplicações, condição no qual é necessária para o desenvolvimento, onde o verdadeiro desenvolvimento é aquele em que os padrões de recursos são aproveitados, e não aqueles que fazem pouco caso desta opção, assim, apoiando um mau desenvolvimento (SACHS, 2002).

O crescente aumento pela demanda de energia elétrica voltada à produção de combustíveis fósseis em alguns anos anteriores, se tornou uma verdadeira apreensão em aspectos ambientais, permitindo assim um desafio para a futura geração. No qual pode ser direcionado há uma nova prática, usando combustíveis alternativos com novos meios mais eficientes e por meios sustentáveis. Segundo Choudhary e Srivastava (2019), em questões mundiais a emissão de gases derivados do carbono pode obter uma redução de até 70% ao decorrer dos anos em até 2050, equacionando apenas energias renováveis. Nestas proporções o dióxido de carbono representa 74% da emissão de gases do efeito estufa, enquanto 73% da emissão de gases do efeito estufa é derivada do consumo de energia, tornando-se o principal vilão da atmosfera (GE e FRIEDRICH, 2020).

Novas ações, medidas ou práticas direcionadas a empresas, devem ser voltadas a um conceito de produção mais limpa, o que seria “a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva a processos, produtos e serviços, com a finalidade de

umentar a eficiência e reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.” (Oliveira; Araújo, 2009).

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A geração de energia solar fotovoltaica provém da fonte mais limpa e infinita que o planeta Terra pode proporcionar que é o sol, principal componente de processos físicos e químicos e biológicos (GOMÉS *et al*, 2018). A crescente demanda pela busca de fontes renováveis impulsionou o país a pesquisarem novos meios de produção de energia de forma a não produzirem poluição ao meio ambiente e o seu redor. Segundo Rebollar e Rodrigues (2011):

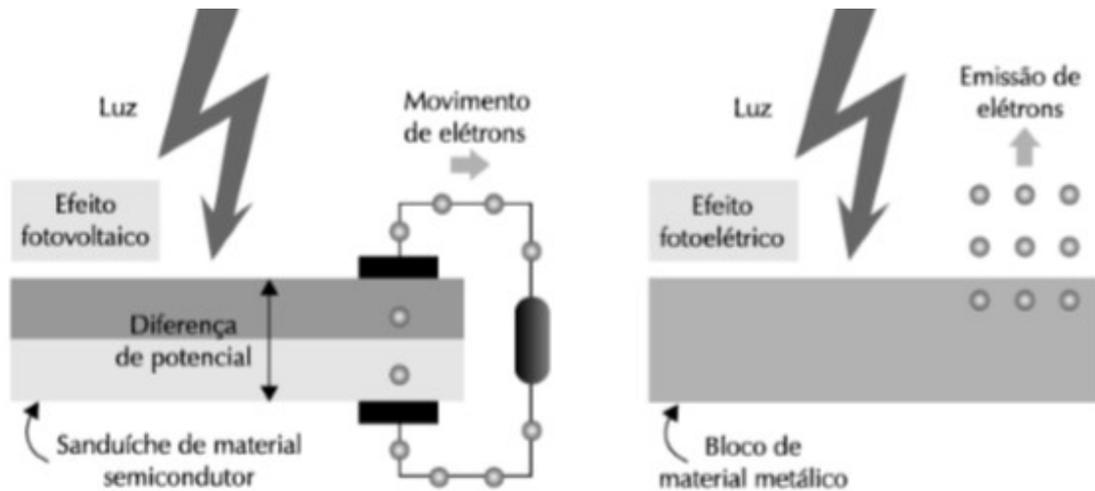
A energia solar é uma fonte utilizada desde a Antiguidade no planejamento agrícola, arquitetônico, entre outros. Desde então são construídos equipamentos para o melhor aproveitamento dessa fonte de energia. Em sua forma natural (passiva), a energia solar pode ser largamente utilizada para produção de alimentos (agricultura e pecuária) e na arquitetura. Em sua forma ativa, diferentes tecnologias permitem ainda o aproveitamento da radiação na forma de calor ou de eletricidade. Esses aproveitamentos podem ser aplicados no aquecimento e no resfriamento de água e de ambientes; na iluminação artificial; no cozimento ao sol; no funcionamento de equipamentos diversos; na obtenção, dessalinização ou descontaminação da água; e na irrigação de culturas (REBOLLAR; RODRIGUES, 2011, pág. 8).

Os raios solares vêm a Terra como um tipo de radiação eletromagnética, onde se propaga em diferentes ondas e variam em frequências e comprimento de onda. Ao ponto de vista do ser humano, é possível observar uma pequena fração de onda eletromagnética mais conhecida como luz visível, enquanto o espectro de radiação que assim denominado por ser um agrupamento das ondas que são irradiadas pelo sol, podem ser visíveis e invisíveis a olho nu (Villalva, 2015). A conversão da energia solar é direcionada a dois efeitos, a luz e o calor, que é caracterizado pelo efeito fotovoltaico e fotoelétrico, conforme mostra a Figura 1. Vale destacar que, o efeito fotovoltaico foi descoberto no início do século XIV, sendo a primeira célula fotovoltaica, desenvolvida em 1883 pelo norte-americano Charles Fritts, na qual sua eficiência era de aproximadamente 1%. Segundo NREL (2017), a placa mais eficiente possui uma taxa de conversão de 46% de energia solar em energia elétrica.

O efeito fotovoltaico é responsável pela produção de energia elétrica, este fenômeno ocorre no momento em que um determinado material recebe uma fração de luz, assim agitando os elétrons localizados no terminal do material, fazendo com que alguns desses elétrons passem para uma banda de condução. Sendo assim, “consiste no aparecimento

de uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor, quando esse absorve a luz visível.” (SOUZA, 2014, p.12). Já o efeito fotoelétrico ocorre quando a radiação solar incide no material arrancando os elétrons que estão neste material, (Villalva, 2015).

Figura 1 – Efeito Fotovoltaico e fotoelétrico.



Fonte: Villalva, (2015).

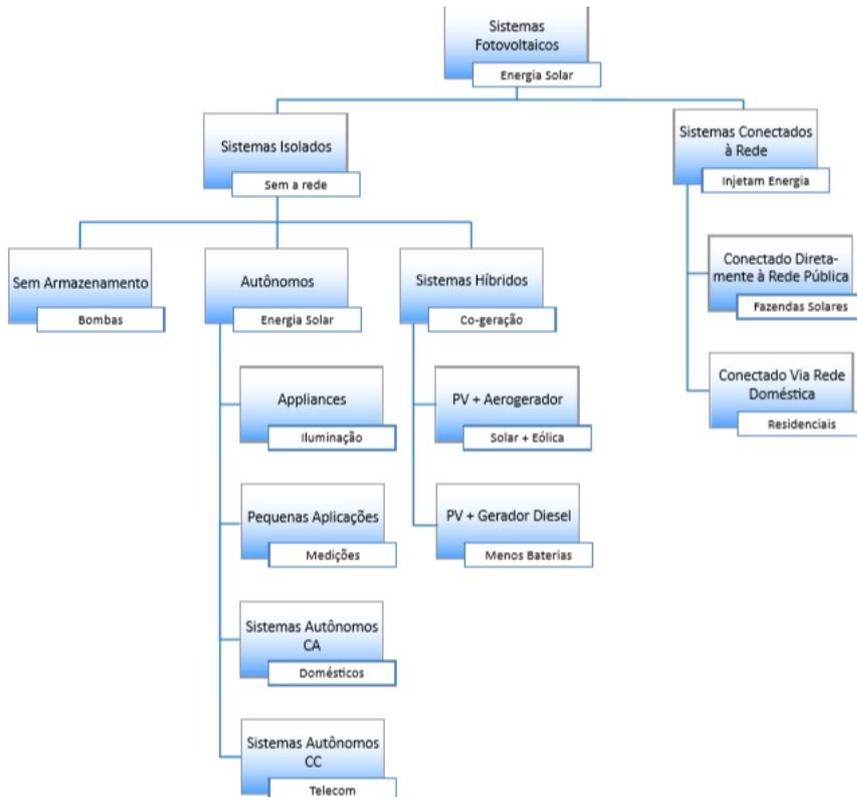
Os sistemas de energia solar fotovoltaicos pode ser dividido em dois:

- Sistemas Isolados (*Off-grid*): caracterizado por não estar conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN).
- Sistemas Conectados à Rede (*On-grid*): caracterizado por estar conectados ao Sistema Interligado Nacional.

Os sistemas fotovoltaicos, são de diferentes tipos (Figura 2), o sistema isolado funciona através do armazenamento de corrente utilizando baterias, que tem como foco a utilização em dias com variações climáticas, como dias nublados e chuvosos, ou durante o período noturno. Enquanto a corrente que sai da bateria é contínua (DC), o inversor faz o papel de converter a corrente contínua em corrente alternada (AC), após o processo de conversão a energia gerada já pode ser utilizada, sendo assim, existem 4 elementos fundamentais para este tipo de sistema: os painéis fotovoltaicos, as baterias, os reguladores de baterias e os inversores. Entretanto, os sistemas conectados à rede normalmente não possuem baterias, caracterizados por fornecer toda a energia produzida, injetando na rede de energia elétrica, neste caso o inversor e a rede trabalham de forma acoplada, e toda a energia que é

fornecer na rede passa por um medidor que calcula o quanto de energia entra e quanto sai. Apesar de ser um sistema economicamente mais barato, e muitas vezes mais eficiente que o sistema off-grid. (SOUZA, 2017).

Figura 2 – Sistemas Fotovoltaicos.



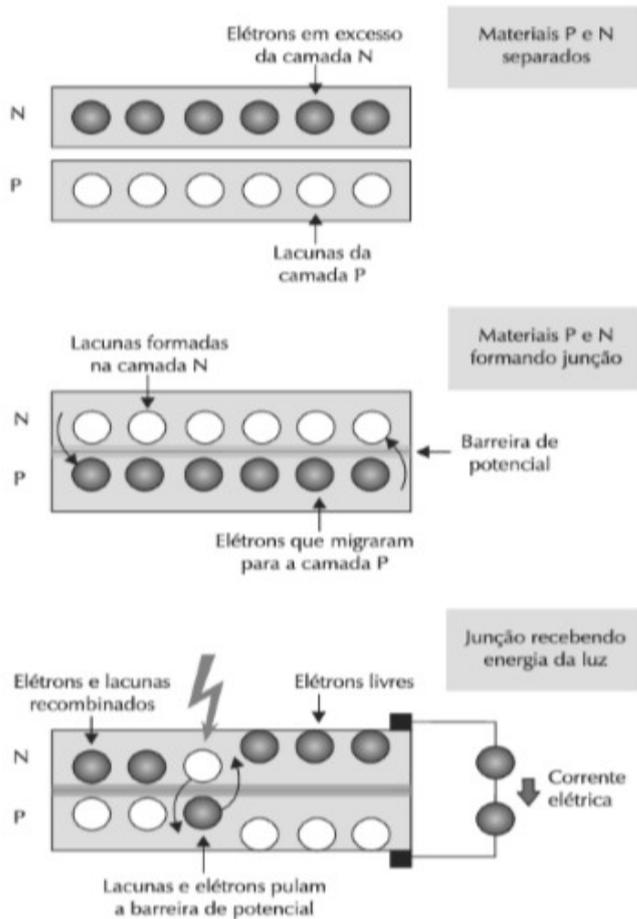
Fonte: Souza (2014).

2.2.1 PLACAS FOTOVOLTAICAS

Ao projetar um sistema fotovoltaico, deve-se acrescentar o importante papel dos módulos fotovoltaicos, no qual sua função é desempenhar a captação e conversão da luz solar em energia elétrica. De acordo com Villalva (2015), os módulos podem ser compostos com diferentes tipos de materiais, porém, destaca-se que o silício faz parte de 95% dos painéis produzidos mundialmente. Cada módulo produzido é derivado da combinação de duas camadas P e N, que em conjunto possuem propriedades semicondutoras. Embora existam células de diferentes combinações, que podem ser similares a junção P e N, tem uma pequena distinção em relação ao número de camadas. Quando é apresentada uma falha no material P

em que ele perde elétrons ao seu redor, o material N excede seus elétrons na tentativa de corrigir a ausência desses elétrons, como apresenta a Figura 3, por meio desta ligação é criado um campo elétrico, conhecido como abarreira de potencial.

Figura 3 – Camada P e N.



Fonte: Villalva (2015).

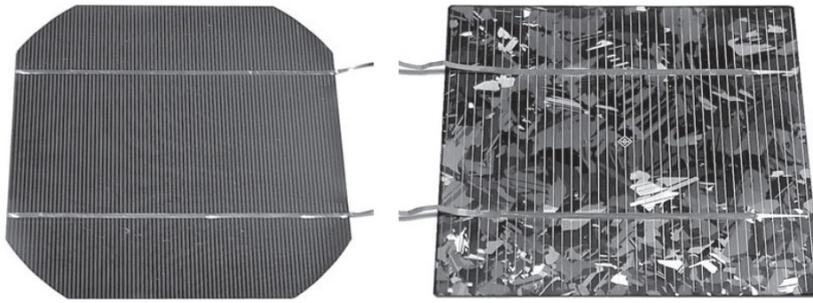
Os módulos variam muito de uma qualidade a outra, mas em determinado momento e dependendo do tipo de célula, existe a possibilidade de atravessar a barreira de potencial, neste caso, quando a camada superior N da célula ser penetrada pelos raios solares, a energia que sobrecarrega os elétrons, torna-se forte suficiente para conseguir atravessar a barreira, e assim fazendo com que eles mesmos consigam chegar à camada P(Figura 3). O percurso dos elétrons no momento de transição, são redirecionados aos terminais da camada N que ao surgir um circuito fechado, tende a criação de uma corrente elétrica. Os circuitos que são criados a partir da combinação das camadas P e N, podem resultar em corrente elétrica apenas com os elétrons excedentes da camada N (VILLALVA, 2015).

O desenvolvimento dos painéis fotovoltaicos é constituído a partir da ideia de produzir uma energia limpa. Os componentes pertencentes às placas podem variar, enquanto, alguns são mais eficientes e outros economicamente viáveis ao público, em parte tudo varia conforme o projeto é destinado no qual elas sejam aplicadas. Os materiais que participam fisicamente dos painéis provêm de materiais semicondutores, onde, atualmente as mais convencionais produzidas, possuem componentes como: silício monocristalino, policristalino ou filmes finos (amorfo). “As células convencionais são fabricadas com finas lâminas de silício cristalino de cerca de 100 centímetros quadrados de superfície e décimos de milímetro de espessura.” (CHIVELET e SOLLA, 2010, p. 34).

A placa de silício monocristalino se caracteriza por ser a primeira implantada no mercado, possuem as extremidades arredondadas, com uma tonalidade maior voltada ao silício puro (quase preto ou azul escuro). O princípio de produção desta placa concentra-se em cortes cilíndricos do material silício, quando impostos na placa cada célula fotovoltaica são feitos 4 cortes laterais sobre ela, para obter um melhor aproveitamento de espaço sobre a placa. A eficiência média deste painel é de 15 a 22%, tendo a eficiência mais alta comparada aos outros painéis, sua vida útil é superior a 30 anos, e ocupam pouco espaço quando comparadas a outras tecnologias. Quanto à placa de silício policristalino são similares à placa monocristalina, derivada do mesmo material, os cristais do silício são impostos na placa em um bloco, após este processo é feita uma serragem sobre o bloco e fatiados nas laterais. Tem média de eficiência de 14 a 20%, comparando aos módulos monocristalinos sua eficiência é inferior, e o custo também, pode-se dizer que a principal diferença entre esses dois tipos de módulos esta relacionado a fundição do lingote a partir de um único cristal, no caso do monocristalino e com a policristalina sendo o processo de fundição mais rápido o início da fase sólida se dá em diferente pontos da estrutura.

Outros painéis como, por exemplo, o de filmes finos de silício amorfo, em tempos atrás eram muito utilizado em pequenas aplicações, ao decorrer do tempo, este painel desenvolveu uma técnica para suprir uma demanda maior de energia, a este podem ser acopladas algumas camadas das células que combinadas trazem um índice de eficiência entre 6 a 9%. (PORTALSOLAR, 2011). Alguns tipos de módulos são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Placas fotovoltaicas monocristalina (esquerda) e policristalina (direita).



Fonte: Chivelet e Solla (2010).

Os módulos fotovoltaicos podem ser classificados dependendo o tipo de geração, entre eles, segundo Dias (2015), essa classificação pode ser dividida em três partes: a primeira geração pertence às placas de silício cristalino (c-SI), com estrutura policristalina ou monocristalina, este material possui um índice maior de potencial energético. A segunda geração se dá aos módulos de filmes finos (*thinfilm*), feitos com alguns tipos de substratos (CdTe e GaAs). E a terceira e última geração pertence às tecnologias emergentes, como módulos CPV (*concentrator photovoltaics*) utilizado em lentes para uma maior captação dos raios solares, e os módulos DSSC (*Dye-sensitized solar cell*) derivados de materiais orgânicos, como também células orgânicas e híbridas que em agrupamentos partem do silício cristalino e amorfo.

Observa-se que, independentemente do tipo de placa, com o aumento de eficiência, assim como a redução nos preços das placas, faz com que a energia solar tenha cada vez mais aumento na matriz energética, resultado de maior acessibilidade na instalação dos sistemas solares pela população, assim como nas indústrias. Entretanto, com o aumento na utilização de placas fotovoltaicas para a geração de energia elétrica e devido à sua composição possuir componentes tóxicos, é necessário refletir sobre seu ciclo de vida.

2.2.2 DESCARTE DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

Atualmente está em evidência a preocupação com a destinação correta dos resíduos sólidos, visando evitar a degradação do meio ambiente. Grande parte desta poluição destrói a camada de ozônio, com gases poluentes ou a disposição final incorreta de materiais altamente radioativos e assim particularmente afetando a fauna e flora. “O motivo é que paralelamente ao efeito estufa propriamente dito ocorrem inúmeros outros fenômenos que

podem ter grande influência no maior ou menor crescimento da floresta” (KIRCHHOFF, 1988, p. 50).

Segundo Mucelin e Bellini (2008), lixo é considerado pelas pessoas como algo sem utilidade, ou seja, quando uma pessoa possui um produto e não deseja mais o seu uso ou o produto já tenha chegado ao fim de vida útil, automaticamente o pensamento do ser humano é jogar fora, e assim ser considerado um produto descartável. De acordo com Oliveira (2017):

Conforme o artigo 3º, inciso XVI da PNRS resíduos sólidos significam o “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquido cujas particularmente tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (OLIVEIRA, 2017, pág 148).

Críticas e insatisfação já são recorrentes no Brasil, devido à má orientação e falta do princípio de interesse sobre os resíduos elétricos e eletrônicos, sendo que aproximadamente 2,6 kg deste tipo de resíduo é gerado ao ano por habitante no país (TOMMASI *et al*, 2017). Os impactos ambientais gerados pelos resíduos tóxicos podem variar desde a contaminação no solo, podendo afetar até o ar atmosférico, de uma forma bastante abrangente. Segundo Orsati (2006), tais impactos podem ser relacionados através da disposição do lugar, ocorrendo casos de fogo, fumaça, odores, animais e mosquitos transmissores de doenças. Entre outros meios podendo afetar rios, lagos, mares, ar, solo, poluição sonora e poluição visual.

De acordo com Tolmasquim (2004), o sistema fotovoltaico considerado também como um resíduo sólido, pode apresentar os seguintes aspectos negativos ao meio ambiente, como:

- A circulação associada à produção de energia, ou ligada ao transporte, instalação, operação, todos os processos necessários até o uso do equipamento. Desde o ponto de fabricação até a retirada do sistema.
- A produção de gases tóxicos durante o processo de fabricação para a construção dos módulos, podendo produzir materiais cancerígenos.
- Apesar de um sistema fotovoltaico poder ser feito em áreas urbanas, muitas vezes residencialmente, é preciso de disponibilidade de um lugar para sistemas maiores, podendo afetar o habitat ao seu redor.

- Se o sistema estiver em lugares de áreas públicas ou urbanas (sensíveis), pode ocorrer impactos visuais.
- Importante direcionar a toxicidade dos materiais usados nas placas expondo o ambiente ao seu redor, arsênico, gálio e cádmio, assim como outros tipos de materiais, até o ácido sulfúrico utilizado em baterias.

As baterias utilizadas em projetos de geração fotovoltaica off-grid também precisam ser destinadas corretamente, porque este material é considerado tóxico e radioativo devido a todos os componentes que fazem parte.

A ISO 14001 compõe um sistema de Gestão Ambiental, que proporciona práticas e ações aconselhando as pessoas a desempenhar um papel melhor no meio ambiente, proporcionam métodos ecológicos e sustentáveis, sendo assim, tornando influenciáveis no mercado de trabalho. A economia voltada à sustentabilidade necessita de matéria-prima disponível em grande escala, caso o papel da matéria-prima já tinha sido exercido não obtendo mais resultados, se possível ter a opção de serem recuperados ou reaproveitados de alguma forma, devem passar pelo processo chamado reciclagem.

Em países mais desenvolvidos já houve ocorrências por falta de conhecimento sobre os resíduos fotovoltaicos. Muitas vezes os defeitos apresentados nos módulos podem direcionar ao pouco desempenho energético, que talvez seja acarretado a defeitos e variações apresentados conforme passar dos anos. A preocupação deste tipo de resíduo é a busca ao saber um destino correto ou como deve ser direcionado para ser reciclado. Aos materiais que são impostos nas placas, podem ter altos índices de recuperação, como: vidro e alumínio – Al (97% e 100%), cobre e telúrio – Cu e Te (em torno de 80%), e alguns metais raros como índio e gálio – In e Ga (75% e 99%), compondo 1% do peso da placa (SICA *et al*, 2017). De acordo com o estudo realizado *End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels* pela *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2016), os percentuais aproximados de massa de cada componente das tecnologias das placas fotovoltaicas estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das placas fotovoltaicas.

Materiais	Silício Monicristalino / Policristalino	Filme Fino de Telureto de Cádmio
Vidro	74,16%	95,00%
Polímero	11,31%	3,50%
Alumínio	10,30%	0,35%
Silício	3,35%	-
Cobre	0,57%	1,00%
Prata	0,01%	-
Estanho	0,12%	-
Zinco	0,12%	0,01%
Chumbo	0,06%	-
Telúrio	-	0,07%
Cádmio	-	0,07%

Fonte: Adaptado de IRENA (2016).

Existem alguns processos que fazem a recuperação correta de resíduos fotovoltaicos. De acordo com Pupin (2019), pode haver processos a partir de conceitos da química, física, aquecimento e resfriamento de materiais ou através de laser. Segundo Sica *et al.*(2017), existem duas empresas que atuam no ramo, o c-SI por *Deutsche Solar* (criada na Alemanha) em 2003, que recupera materiais como plástico, células, vidros, metais ou ligas metálicas e, a *First Solar* em 2007, para os filmes finos Cd e Te (nos Estados Unidos, Alemanha e Malásia), alcança uma taxa de recuperação de 90% para vidros e 95% para os materiais semicondutores. Enquanto na França, afirmam a criação da primeira Usina de reciclagem de módulos fotovoltaicos, chamada *Veolia*, com meta de 4.000 toneladas até o ano de 2022. Localizada em Rousset, e tem como objetivo a reciclagem de todos os módulos fotovoltaicos desativados na França e alguns outros lugares.

No Brasil é verídico afirmar que existem empresas atuando no mercado de trabalho com o processo de reutilização do ciclo de fim de vida dos painéis fotovoltaicos, dentre elas podemos citar a *SUNR Reciclagem Fotovoltaica*, fundada em 2020, participante de 26 estados e o Distrito Federal, pode ser localizada em Florianópolis/SC, e caracteriza-se por ser a primeira empresa que atua com a reciclagem de painéis fotovoltaicos na América Latina, tendo média de aproveitamento em 90% dos painéis.

Segundo Tommasi *et al.*(2017), por meio da busca de diferentes métodos para a captação de energia através de uma fonte limpa e renovável, e a constante preocupação com questões ambientais, a partir deste ponto é criado o primeiro documento destinado aos painéis fotovoltaicos, classificados como um material especial de resíduos eletroeletrônicos. Proporcionando ideais para que as empresas tenham a sensibilidade de adotar métodos que façam o processo de logística reversa do resíduo fotovoltaico. Devido a importância de a

empresa ser responsável por buscar uma melhor conclusão ao material, e inovando ideias para futuramente produzirem painéis práticos e fáceis de desmontagens, é necessária a interação da empresa com práticas sustentáveis.

Ao decorrer do tempo, o crescente impulso à comercialização de placas fotovoltaicas nesses últimos anos, aponta que apesar de obterem uma demanda muito grande, estes painéis não concluíram seu fim do ciclo de vida em grande parte da geração atual, sendo assim, existem poucos estudos sobre este tópico, por este motivo, é verídico cogitar que em certo ponto a Legislação Brasileira possui um determinado atraso em questões socioambientais voltadas aos resíduos fotovoltaicos (PRADO, 2018).

2.3 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RESÍDUOS

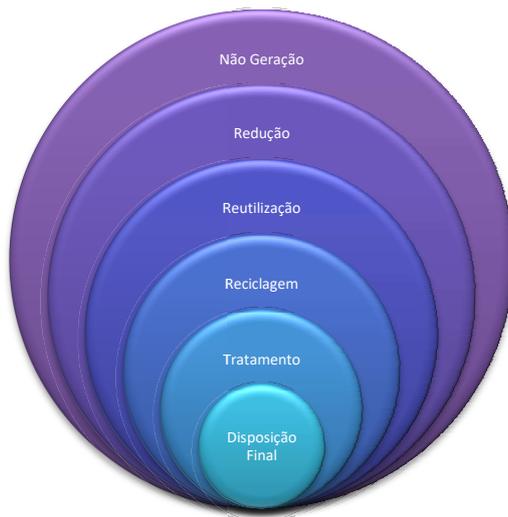
Alguns países da União Europeia e Estados Unidos estão mais avançados quanto ao gerenciamento das placas fotovoltaicas após seu consumo. No Brasil, recentemente, foi instituída a política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) sancionada conforme a Lei nº12.305/2010 usando o decreto 7.404/10. A PNRS compreende a responsabilidade da gestão de resíduos perigosos e de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), aos geradores e ao poder público, sendo assim, a PNRS (Art. 9) é quem cuida da geração de resíduos, buscando sempre o consumo sustentável, disponibilizando o ensinamento de novos hábitos para proporcionar um desempenho susceptível ao ato da reciclagem e a reutilização dos resíduos sólidos como também destinação ambientalmente correta dos rejeitos.

A União Europeia foi a primeira a regulamentar a destinação das placas fotovoltaicas em 2012, através da Diretiva 2012/19/EU, referente aos REEE, o art. 5º, nº1, é orientado aos estados participantes da Diretiva, a condição de obterem uma taxa anual de coletas mínimas. Inicialmente, as taxas eram de 45% em cima do peso total dos resíduos recolhidos, comparando-se a média de equipamento eletroeletrônico apresentados ao mercado nos três anos antecedentes a 2016, enquanto previsões para o ano de 2019 as taxas proporcionaram um aumento de até 65%. Seguindo a concordância que os estados participantes devem garantir aos resíduos coletados, a forma correta da disposição final. Padoan *et al.* (2018) apresentam que o ciclo das placas fotovoltaicas se obteve por indústrias especializadas no ramo fotovoltaico a partir de Diretivas, com o intuito de “implementar o compromisso da indústria fotovoltaica de criar um programa voluntário de coleta e reciclagem

de modelos de fim de vida e assumir a responsabilidade pelos módulos fotovoltaicos em toda a sua todo o ciclo da cadeia de valor”. (PADOAN *et al*, p.5, 2018).

Segundo a PNRS, os resíduos sólidos são classificados conforme a disposição do material, podendo ser de classe I (resíduos radioativos, tóxicos, inflamáveis e corrosivos), classe II(apresentam combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade), e classe III (não apresentando riscos a natureza ou as pessoas). Entre eles a destinação final do material pode variar em: coleta seletiva, lixão ou vazadouro, aterros sanitários, usinas de compostagem, incineração, reciclagem, biogaseificação ou metanização e até resíduos tóxicos (MOTA, *et al.*, 2009), conforme mostra a Figura 5.Como parâmetro é adotada a NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que classifica os resíduos como: Classe I – Perigosos e Classe II – Não Perigosos, sendo classe IIA – Não Inertes; Classe IIB – Inertes.

Figura 5 – Gestão e Hierarquia do Gerenciamento dos Resíduos



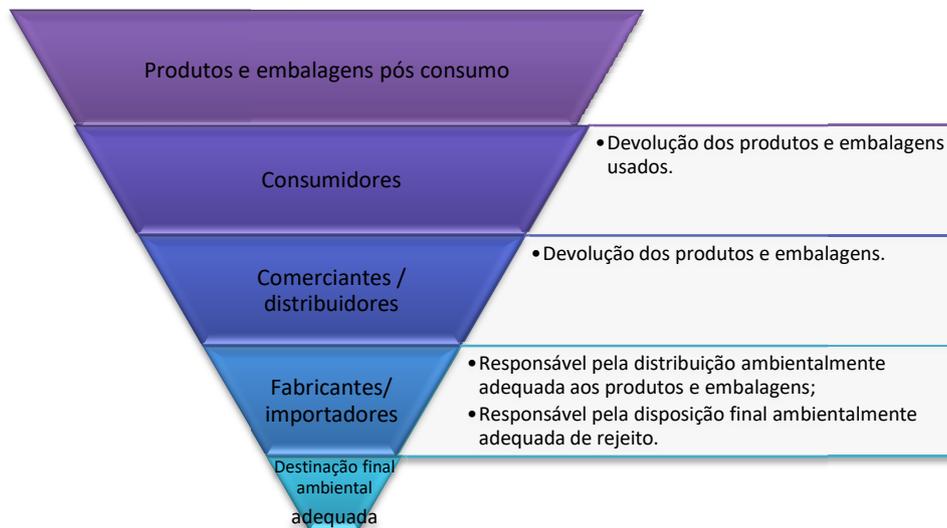
Fonte: Do autor, baseado na PNRS (2010).

Segundo Leite (2009), a logística reversa faz parte da reflexão estratégica empresarial, tanto para o retorno pós-operação, quanto ao diagnóstico, dificuldades e restrições as diversas naturezas. Existindo restrições a cada produto, podem ocorrer casos de retorno de produtos pós-venda e produtos pós-consumo. O retorno pós-venda é destinado aos produtos não consumidos assim o retorno envolve através da própria rede de distribuição, facilitando a organização. Enquanto o retorno pós-consumo possui um teor de complexidade maior EPR (*Extended Product Responsibility*), ou seja, basicamente que a responsabilidade seja dos fabricantes, visando a destinação certa do produto. A PNRS decreta que o destino dos

resíduos sólidos pode ser pela destinação final adequada voltada: reutilização, reciclagem e a recuperação do material, como também a disposição final adequada distribuindo os resíduos em aterros, conforme as normas específicas e evitando danos ambientais, à saúde pública e à segurança de todos (MOTTA, 2013).

De acordo com a PNRS, a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos é compartilhada, ou seja, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, são responsáveis por reduzir a quantidade de resíduos sólidos e rejeitos, o desperdício de materiais e impactos ambientais. Dentro das definições de responsabilidade compartilhada, também é colocada como obrigação a estruturação e implementação de sistemas de logística reversa para produtos e embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes e produtos e componentes eletroeletrônicos. Isto significa que cabe o retorno dos produtos pós-consumo pelo consumidor, independente da coleta pública regular, e o manejo dos resíduos recebidos por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. A Figura 6 apresenta as responsabilidades e a logística reversa no PNRS (2010).

Figura 6 – Atribuições da logística reversa para produtos abordados pela lei 12.305/2010.



Fonte: Do autor, baseado na PNRS(2010).

Os municípios devem regulamentar a disposição final dos rejeitos para que sejam fechados todos os lixões e aterros controlados e sejam destinados para aterros sanitários. A legislação municipal de Tubarão sancionou a Lei nº 4.616, de 16 de dezembro de 2016 (Tubarão, 2016), estabelecendo a Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

(PMGIRS). Impondo responsabilidades ao Poder público e aos instrumentos econômicos, dispondo dos princípios e objetivos, para o acesso de todos ao serviço de limpeza da cidade como também aos resíduos sólidos municipais. Também foi aprovada a Lei nº 4888, de 17 de maio de 2018 (Tubarão, 2018) estabelece sobre a responsabilidade da destinação de lâmpadas usadas e impõe exigências, os revendedores ou fabricantes de lâmpadas, dentro do município, são obrigados a darem o destino correto a este tipo de produto (Silva *et al.* 2020).

Desta forma, fica decretado que fabricantes e importadores devem proporcionar o destino correto a estes rejeitos e suas respectivas embalagens, passando pela aprovação do órgão competente responsável do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente), e se de alguma forma pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, estabelecido pela PNRS por meio da junção do art. 18 com o art. 55.

A PNRS é quem determina o processo de logística reversa no Brasil, que envolve toda a parte ambiental, participando e apoiando nos processos de reutilização ou descarte de resíduos, por estes, e outros motivos ainda não se sabe o que as empresas do município de Tubarão /SC, visam fazer quando chegar o momento do descarte das placas fotovoltaicas.

Entretanto, vale frisar que, segundo a PNRS, os resíduos de equipamento elétricos e eletrônicos, fazem parte do sistema de logística reversa, ou seja, todas as partes envolvidas no processo de aquisição do produto, consumidores, comerciantes/distribuidores e fabricantes/importadores são responsáveis no gerenciamento dos REEE. Cabendo aos consumidores devolver os produtos para os comerciantes/distribuidores, sendo que estes devem enviar os REEE para os fabricantes/importadores para que o rejeito seja encaminhado para disposição final ambientalmente adequada exigida pelo órgão ambiental competente ou pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PNRS, 2010).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos a fim de buscar evidências sobre a percepção e o destino ambientalmente correto dado as placas fotovoltaicas utilizadas por empresas deste ramo no município de Tubarão/SC.

3.1 DELINEAMENTO DO MÉTODO

Para alcançar os objetivos propostos, a presente pesquisa se caracteriza em seguir os parâmetros de acordo com Silva e Menezes (2001). A pesquisa é aplicada, se conceitua na busca da solução de uma problemática, onde o conhecimento é originado em aplicações práticas. Em seus objetivos, é exploratória, busca apresentar pesquisas bibliográficas, a fim de obter um maior contato entre o objeto de estudo e sua problemática, fazendo com que o assunto abordado seja claro e específico.

Em primeiro lugar, obtiveram-se os dados referentes à matriz energética brasileira, a fim de se ter uma visão da atual conjuntura elétrica do país. Através destes dados percebe-se a crescente geração de energia elétrica a partir da energia solar e a tendência desta continuidade através de estudos realizados pela EPE (2019), levando à preocupação referente à percepção e ao descarte de placas fotovoltaicas.

A forma de abordagem do problema de pesquisa é qualitativa, determina que existe um tipo de relação ativa entre o mundo real e o sujeito. Relatando uma conexão indispensável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em número. Este método não exige que tenha processos específicos, basicamente se dá a interpretar os fatos e assumir os devidos resultados. A abordagem qualitativa é descritiva, orientando a análise dos fenômenos para chegar a uma conclusão de problemas específicos. A naturalidade deste processo se conceitua em coletar as informações tendo como o sujeito a principal ferramenta da pesquisa (SILVA E MENEZES, 2001, p. 20).

Parte do procedimento técnico desencadeou através do estudo de caso, a fim de buscar um conhecimento maior sobre o objeto de estudo, a pesquisa se concretiza em um estudo intenso e cansativo na busca da conclusão da problemática.

Visa-se alcançar o objetivo através da obtenção de dados com pessoas que já tenham atuado na área, ou possuam um nível superior de experiência no ramo em que está designada o objeto de estudo, para por fim chegarem a devidas conclusões sobre o assunto (DOMINGUES, *et al.*, 2016).

O presente trabalho tem como importância, orientar e conscientizar a população, e principalmente as empresas que atuam na área de venda e instalação de painéis fotovoltaicos na região de Tubarão/SC, sobre a importância de um destino correto a este resíduo. Como instrumento de coleta de dados foi utilizado um questionário aberto, no qual foi dividido em duas partes, onde a primeira é voltada ao perfil profissional da empresa com 5 perguntas, enquanto a segunda parte visa conhecer a percepção ambiental, assim como a destinação das placas fotovoltaicas pelas empresas entrevistadas, contando com 6 perguntas.

O questionário utilizado nas entrevistas, foi elaborado seguindo os critérios da PNRS na Lei 12.305/10, baseando-se também na Lei nº 4.616, de 16 de dezembro de 2016 (Tubarão, 2016), na Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), e partindo da consciência e normas em que toda empresa deve criar um sistema de logística reversa, motivaram a eventuais perguntas do questionário.

Aleatoriamente, foram escolhidas duas empresas para a realização de entrevistas, a primeira empresa trabalha há 9 anos no ramo fotovoltaico, tendo 20 colaboradores que auxiliam todo o processo de projeto, venda, implementação até manutenção. A segunda empresa atua há 2 anos no mercado trabalho fotovoltaico, sendo bem recente e contando apoio de 16 colaboradores. É necessário ressaltar que dentre as empresas escolhidas para as entrevistas, cerca de outras 14 empresas atuam no mercado de trabalho no mesmo ramo na região da Amurel e, especificamente, em Tubarão existem 8 empresas deste ramo.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises dos questionários aplicados neste estudo de caso, sendo que a intenção é atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos deste trabalho de conclusão de curso, os quais são identificar o conhecimento sobre os impactos ambientais, assim como a destinação de placas fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar.

Os resultados foram discutidos em duas partes, sendo a primeira o perfil das empresas entrevistadas e, a segunda trata sobre os impactos ambientais e a destinação das placas fotovoltaicas.

4.1 PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS

A primeira parte do questionário aplicado visa conhecer o perfil das empresas, propondo ter um maior conhecimento sobre a empresa podemos citar que: a empresa X atua a cerca de “8 a 9 anos” no mercado de trabalho, conta com o apoio de “50 colaboradores”, e se caracteriza por atender todos os segmentos: residencial, comercial e industrial “na maior parte sendo industrial, vendendo ao país inteiro”, atua em “todas as etapas, desde a parte da entrega de equipamentos, montagem da estrutura, e até distribuição”. Enquanto isto, a empresa Y é recente com apenas “2 anos” de atuação, contando com a ajuda de “16 colaboradores”, e atende os segmentos a partir dos “três nichos de mercados, além de grandes usinas fotovoltaicas, tendendo o foco principal ao ramo comercial e industrial”, e atuam “fazendo todo o processo de compra do material até a instalação, se tornando uma empresa completa, com exceção que o único procedimento não feito é a fabricação dos equipamentos”. Com isso, é perceptível que as duas empresas estão satisfeitas atuando no ramo fotovoltaico, apesar de existirem muitas empresas novas, surgindo recentemente, tornam o mercado de trabalho na região mais competitivo.

A partir das falas obtidas através da entrevista com as empresas X e Y, percebe-se que as mesmas vão ao encontro dos dados encontrados no Balanço Energético Nacional, onde constata-se que a energia solar representa 0,54% na matriz elétrica brasileira de fontes renováveis (EPE, 2019). Pode-se dizer que o Brasil está no início da utilização da energia solar, entretanto, por se tratar de um país com clima tropical e com níveis de irradiação, é esperado que haja um aumento expressivo da participação desta tecnologia nos próximos anos

impulsionada principalmente pela preocupação ambiental e a busca pela diversificação da matriz energética.

Conforme conceitos da PNRS, as empresas devem se preocupar não apenas com o marketing realizado na venda das placas fotovoltaicas, na qual gera uma produção de energia limpa, de fonte renovável e que não cause emissão de gases poluentes, mas elas precisam ter como princípio um projeto autossustentável.

É importante ressaltar que, uma das futuras preocupações dessas empresas deva ser com a destinação dos resíduos fotovoltaicos, mesmo havendo garantia através dos fornecedores deste produto, a ideia é aplicar o que determina a PNRS onde todos são responsáveis pelo destino correto das placas.

4.2 PERCEPÇÃO SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS E A DESTINAÇÃO CORRETA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

A segunda etapa do questionário é voltada a percepção dos entrevistados quanto os impactos ambientais, assim como a destinação correta das placas fotovoltaicas, onde verifica-se quais as providências as empresas X e Y estão tomando quando o descarte ou substituição dos painéis fotovoltaicos se faz necessário.

Toda empresa deve priorizar o conhecimento e a atuação conforme são redigidas as leis nacionais, estaduais e municipais, para isto, foi questionado o conhecimento das empresas sobre as leis destinadas aos resíduos sólidos, dentre elas a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e a Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Segundo a empresa X *“já trabalhavam com a parte de resíduos sólidos em fábrica, possuindo todo o processo de descarte de resíduo sólidos, por fim acabou impulsionando o crescimento da empresa ao vender energia solar. Tornando a experiência uma base pra eles”*. O entrevistado relata que o descarte de módulos com possíveis falhas são poucos, citando que talvez a preocupação principal devesse ser a dos fabricantes relacionado à destinação final. Quanto à empresa Y *“não conhecemos a política voltada aos resíduos sólidos impostas no município de Tubarão, trabalhávamos em parte com uma empresa que proporcionava a informação correta sobre estas normas, porém não mais”*.

Segundo a PNRS, assim como a PMGIRS a responsabilidade sobre o ciclo de vida das placas fotovoltaicas deve ser compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e serviços públicos de limpeza urbana. De acordo com o artigo 3º da PNRS (BRASIL, 2010), o ciclo de vida do produto é definido como “série

de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matéria e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final”. Sendo assim, pode-se destacar que a responsabilidade sobre placas fotovoltaicas é de todos os envolvidos na cadeia produtiva.

Indaga-se a ideia da empresa participar do sistema de logística reversa, conforme determina a PNRS e PMGIRS, a empresa X cita que *“trabalhamos com parte de integradores, ao possuir equipamentos queimados ou quebrados retornamos ao fabricante para dar o possível destino correto”*, a empresa Y não possui sistema de logística reversa. O entrevistado relata que como estão só dois anos no mercado de trabalho, se recorda de uma vez na qual o cliente possuía os equipamentos (placas) em um galpão, e ao sair do galpão conduzindo uma máquina agrícola (trator), sem querer danificou as placas que estavam ali, então o processo que eles fizeram foi de encaminhar estas placas ao fornecedor deles.

Percebe-se que a logística reversa, assim como a educação ambiental não tem sido discutida entre os envolvidos na responsabilidade compartilhada, todavia, é necessária a conscientização dos cidadãos, assim como de todos os envolvidos no ciclo de vida do produto, pois a logística reversa só pode ser implementada se todos descartarem os resíduos de forma correta. Segundo a Lei 9.975/99, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), *“a educação ambiental envolve os processos pelos quais a sociedade constrói valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências a fim de conservar o meio ambiente”*, (BRASIL, 1999).

Quanto à destinação final das placas, a empresa X relata *“que a responsabilidade não é diretamente da empresa, o módulo quebrado retorna a empresa e assim prossegue ao fabricante nacional ou não”*, e a empresa Y *“devolvemos ao fabricante os painéis, variando conforme o fabricante em geral são em torno de 10 anos a garantia. Enquanto a garantia de eficiência da placa gera em torno de 30 anos em 80%.”*

A PMGIRS, determina em seu art.2, inciso em IX, a destinação final ambientalmente correta deve ser a reciclagem, compostagem e reaproveitamento, e até a disposição final dos produtos, evitando risco à saúde e os impactos ambientais. A partir do questionário e das respostas é verídico ver a confiança que as empresas depositam em seus fabricantes, dos quais não se sabe ao certo se dão um destino final correto ou não as placas, e a pior hipótese seria a que se fosse a empresa quem deveria dar o destino correto, o que elas fariam.

Quanto ao conhecimento das empresas sobre o processo de reciclagem observa-se que a empresa X *“sabe que existem procedimentos onde fazem a reciclagem em parte maior sendo manualmente, separação de materiais, entre outras coisas, mas não sabemos dizer ao*

certo em porcentagem quantos são reciclados”. A empresa Y cita *“até os dias atuais não houve algum incidente sobre reciclagem, devido à empresa ser muito recente. Assim, não obtivemos demanda pra isso”*.

Os processos de reciclagem podem variar conforme Pupin (2019), a reciclagem de resíduos subsidia a redução de montantes de lixos, jogada em aterros ou em outros lugares. É necessário que as empresas busquem formas econômicas e sustentáveis para dar o fim correto aos materiais, e transparecer uma empresa que acarreta todos os métodos ambientalmente corretos. Em sua pesquisa Oliveira *et al.* (2017) enumera diversas ações que devem ser realizadas visando um sistema adequado de descarte de placas fotovoltaicas, no qual considera diferentes aspectos, dentre eles, as particularidades geográficas e socioculturais do Brasil, com as dificuldades intrínsecas de um país de dimensões continentais, em desenvolvimento e com baixo grau educacional. Além disso, os autores destacam que é necessário um interesse de uma política que envolva todos os atores da sociedade, tais como: Ministério do Meio Ambiente, Ibama e agências estaduais de fiscalização ambiental, Ministério de Minas e Energia, agências do setor de energia, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Ministério Público, prefeituras, empresas de diversos ramos (produtoras e comercializadoras do setor de energia solar, distribuidoras de energia, que realizam manutenção nos equipamentos, envolvidas na coleta dos resíduos sólidos urbanos, usinas de reciclagem, aterros sanitários), Organizações Não Governamentais (ONGs) de defesa do meio ambiente, Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIPs), catadores de materiais recicláveis, indivíduos diretamente afetados, sindicatos, mídia, clientes e outros.

Os impactos ambientais gerados pelos painéis fotovoltaicos podem variar, desde a produção de suas placas até a destinação final, para isto a empresa X concorda em que *“a energia produzida deve ser autossuficiente, em grande parte ela se paga em poucos anos de uso (1 a 2 anos), caso não se pague ao decorrer desses anos tendo no máximo até 4 anos, acaba se tornando um elemento totalmente prejudicial ao meio ambiente. Tornando-se um problema à natureza, e de nada adianta gerar energia limpa quando ao final da vida útil prejudicar o meio ambiente”*. Quanto a empresa Y enfatiza que *“não possuímos muito conhecimento sobre os impactos que podem causar, não fazemos ideia dos danos que ocorrem, porém, sabemos que existem órgãos reguladores que devemos seguir normas para poderem implementar nossos projetos”*.

Os modelos atuais de painéis fotovoltaicos variam conforme são constituídos e quais os materiais integrantes das placas. Segundo Padoan *et al.* (2018) apresenta que os módulos monocristalinos e policristalinos ainda se destacam por sua eficiência ser superior a

de outros modelos, onde, as outras alternativas que poderiam substituir os painéis de silício (Si), relacionam a presença de materiais tóxicos em seus componentes, como em painéis que utilizam Cd em CdTe, ou, a presença de In, Ga em CIGS e CIGS. Para os impactos que podem ser gerados de diferentes formas, Tolmasquim (2004) apresenta que variam desde emissões de gases poluentes participando de todo ciclo de vida do produto, com o processo de fabricação dos módulos a transporte, implementação, desmontagem do projeto aplicado até a destinação do módulo. Outro tipo de emissão que pode ocorrer, seja por meio da matéria-prima que talvez possa ser derivada de um elemento tóxico, produzindo outros tipos de gases podendo ser eles nocivos ou não, tais como: dióxido de enxofre - SO₂, dióxido de carbono - CO₂ e o óxido de nitrogênio – Nox, e outros. Partindo da disposição do local, pode-se impactar com poluição visual, e haver percas de habitat. Não somente os impactos gerados por poluição através da geração de energia solar ocorrem de forma visual, como os gases citados anteriormente, não são visíveis a olho nu, então, a poluição pode estar acontecendo mesmo às pessoas não sabendo que ela possa existir.

Quanto aos impactos gerados pela destinação incorreta dos materiais a empresa X cita que *“temos ideias do que possam acontecer, porém incentivamos o crescimento de empresas privadas que possam atuar neste mercado de trabalho, assim, produzindo um novo tipo de renda, como dito anteriormente, não é sustentável produzir energia limpa e no final de vida útil acabar se tornando um empecilho ou prejudicando o meio ao seu redor.”*, e a empresa Y *“ não conhecemos as consequências que podem ocorrer com o descarte inadequado, porém, somos parceiros de uma empresa que é quem cuida da parte de resíduos sólidos e quem lida com esses processos”*.

Para tal resposta, as empresas devem tomar partido de todo o processo do ciclo de vida do produto, buscando *“a aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva a processos, produtos e serviços, com a finalidade de aumentar a eficiência e reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.”*(Oliveira; Araújo, 2009, p.2). Como dito anteriormente, questões como as que Tolmasquim (2004) apresentou, relacionadas aos impactos e as consequentes repostas é possível perceber a inferioridade do conhecimento da parte socioambiental de seus produtos. De acordo com Tommasi *et al.* (2017), o primeiro documento criado especialmente aos módulos fotovoltaicos, é classificado por um material especial de REEE. E a partir deste documento é imposto ideias para que empresas tomem medidas na criação de processos de logística reversa, buscando haver soluções melhores para o determinado resíduo.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo identificar o conhecimento sobre os impactos ambientais, assim como a destinação de placas fotovoltaicas provenientes da geração de energia elétrica solar, utilizando como instrumento de pesquisa entrevistas realizadas com empresas que atuam no ramo fotovoltaico em Tubarão/SC.

Existem leis nacionais, estaduais e municipais impostas sobre a destinação final dos resíduos sólidos, que podem partir de: coletas seletivas, vazadouros, aterros, usinas de compostagem, incinerações, reciclagem, biogásificação, dentre outros. Acredita-se ser necessária a criação de novas leis específicas à destinação do resíduo fotovoltaico, para que as empresas atuantes neste ramo, sejam obrigadas a encontrar uma solução, através do sistema de logística reversa adequado, sobretudo após a devolução aos seus fabricantes/importadores.

Através da revisão de literatura, constatou-se que existem poucos estudos sobre a destinação final dos módulos fotovoltaicos, e os que existem são hipóteses para futuros trabalhos. Apesar de grande parte do painel fotovoltaico ser reciclado, ainda permanece a dúvida sobre como realizar a reciclagem de alguns constituintes do painel, ou qual a destinação correta aos resíduos fotovoltaicos.

As empresas se tornam totalmente dependentes dos fabricantes, tanto para importar, quando para destinar os produtos. Uma possibilidade futura de achar a solução é a criação de leis específicas que proporcione as devidas medidas para a disposição final deste material, ou um novo mercado de trabalho que parte dos resíduos fotovoltaicos.

Para melhor entendimento sobre disposição final dos painéis fotovoltaicos, e os impactos que podem ser gerados com a disposição inadequada do material, os seguintes estudos são sugeridos:

- Estudos para implementação de painéis com maior facilidade de desmontagem, e materiais que possam ser reciclados eficientemente melhor.
- O aprimoramento sobre leis que dispõem da destinação correta de resíduos fotovoltaicos.
- Estudar a disposição final dos resíduos fotovoltaicos com a possível divisão entre os fluxos de pequenos gerados e grandes gerados.
- Estudos mais aprofundados sobre impactos que são gerados com a má destinação de resíduos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004), **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), **NBR ISO 14001**: Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: ABNT.

BRASIL. **Lei nº 9795 de 27 de abril de 1999**. Política de educação Ambiental. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9795.htm>. Acesso em: 01 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 04 jul.2020.

CHIVELET, N. M., I. F. SOLLA. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**, Porto Alegre, Bookman , v. 12, p. 31-49, 2010. Disponível em: <<https://loja.grupoa.com.br/>>. Acesso em: 05 ago. 2020.

CHOUDHARY, P.; SRIVASTAVA, R, K. Journal of Cleaner Production: Sustainability perspectives - a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities. **Elsevier**, Varanasi, v. 227, p. 589 – 612, apr. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 06 jul. 2020.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v.15, n.7, p. 83-99, jun./dez. 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/>>. Acesso em: 07 jun. 2020.

COSTA. Glênea Rafaela de Souza, et al. **Impactos ambientais causado pelos painéis solares: Percepção dos discentes da UFRA – Campus Belém.**- PA. 2019. Discentes do curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA, 2019. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

DIAS, P, R. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos: Painéis solares**. 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Ciência e tecnologia de materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2020.

DIAS, P., et al. Recycling Waste Crystalline Silicon Photovoltaic Modules by Electrostatic Separation. **Journal of Sustainable Metallurgy** , v. 4, p.176–186, marc. 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

DOMINGUES, G, S. et al. Princípios e Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Educação Ambiental para a Implementação da Logística Reversa. **Revista em**

Gestão, Inovação e Sustentabilidade, Brasília, v. 2, n. 1, p. 191-216, jun. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/>>. Acesso: 06 set. 2020.

Elkington, J. (1998), *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of the 21st Century*, **New Society Publishers**, Stoney Creek, CT.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balço Energético Nacional (BEN) 2019: Ano base 2018**, 2019. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

GE, M.; FRIEDRICH, J. 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors. **World Resources Institute**, Washington, fev. 2020. Disponível em: <<https://www.wri.org/>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

GÓMES, J.M.R., et al. A irradiância solar: Conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São José dos Campos, v.40, n.3, p. e331-e3312, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/>>. Acesso em: 07 jun. 2020.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**. São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

IRENA. [International Renewable Energy Agency]. **End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels**, 2016. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.

KIRCHHOFF, V.W.J.H. Geoquímica de média e baixa atmosfera: impactos ambientais por deteriorização da camada de ozônio, **Geochimica Brasiliensis**, vol. II, n.1, jan., 1988. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/>>. Acesso em: 11 set. 2020.

KRAJAČIĆ, G. et al. Energy Conversion and Management: Integrated approach for sustainable development of energy, water and environment systems. **Elsevier**, Croatia, v.159, p. 398 – 412, dec. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.

LEITE, Paulo Roberto. Logística Reversa - A complexidade do retorno de produtos. **Revista tecnológica**, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.wjaleixo.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

MOTA, J, C. et al. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, **Anais eletrônico [...]I**, 1 – 15, 2009. Campina Grande: UEPB, 2009. Disponível em: <aguassubterraneas.abas.org>. Acesso em: 01 ago. 2020.

MOTTA, Wladimir Henriques. Análise do Ciclo de Vida e Logística Reversa. In: X SEGeT 2013 Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Gestão e Tecnologia para a

Competitividade. 23/25 out. 2013. **Anais eletrônico[...]**. Rio de Janeiro: IBICT-UFRJ, 2013. Disponível em: <<https://www.aedb.br/>>. Acesso em: 15 set. 2020.

MUCELIN, C, A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano: Garbage and perceptible environmental impacts in urban ecosystem. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p.111-124, jun. 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

NREL [National Renewable Energy Laboratory]. **Best Research - Cell Efficiencies**, 2017. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

OLIVEIRA, L, T. et al. **Destinação Final das Placas Fotovoltaicas Pós Consumo no Brasil**. 2017. Projeto de Formatura no âmbito do curso de Engenharia Ambiental. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br>. Acesso em: 03 jun. 2020.

OLIVEIRA, M.; ARAÚJO, F, A. A Produção Mais Limpa aplicada em uma pequena indústria do setor moveleiro: eficiência ambiental e econômica. In: International Workshop Advances In Cleaner Production, 20/22 maio. 2009, São Paulo, **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo: UFJF, 2009, p. 1 – 10. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

OLIVEIRA, Uanderson Rébula de. **PNRS: sistemas de logística reversa implantados e em implantação**. 1. ed. São Paulo: Editora Saraiva. 2017. Disponível em: <<https://books.google.com.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ORSATI, A. S. **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para a disposição final de resíduos sólidos**. 2006. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

PADOAN, F. C. S. M.; et al. Solar Energy: Recycling of end of life photovoltaic panels: A chemical prospective on process development. **Elsevier**, Rome, v.177, p. 746-761, dec. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. São Paulo. 2011. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2020.

PRADO, Pedro Forastieri de Almeida. **Reciclagem de Painéis Fotovoltaicos e Recuperação de Metais**. 2018. Dissertação de Mestrado em Ciências. Engenharia Química. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2020.

PUPIN, Priscila Carvalho. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida**. 2019. Dissertação em pós graduação em Engenharia de Energia. Energia, Sociedade e Meio Ambiente. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

REBOLLAR, Paola Beatriz May; RODRIGUES, Paulo Roberto. **Energias Renováveis: Energia solar**. Consórcio de Universidades Europeias e Latino-Americanas em Energias Renováveis. 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e Cultura**. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, v.71, n.1, p. 33-39, jan/mar. 2019. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/>>. Acesso em: 02 jul. 2020.

ROSA, P. et al. Journal of Cleaner Production: Circular Business Models versus circular benefits: An assessment in the waste from Electrical and Electronic Equipaments sector. **Elsevier**, Milão, v. 231, p. 940 – 952, maio. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 03 jul. 2020.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2000. Disponível em: <<https://books.google.com.br/>>. Acesso em: 05 jul.2020.

SICA, D. et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews: Management off end-of-life photovoltaic panels as a step to wards a circular economy. **Elsevier**, Rome, v.83, part, 3. p. 2934 – 2945, oct. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 10 ago.2020.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2001. Disponível em: <<http://cursos.unipampa.edu.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2020.

SILVA, Francielen Kuball.; et al. **Aplicabilidade da Logística Reversa de Lâmpadas no Município de Tubarão-SC**: Projeto de Ensino e Extensão Envolvendo Estudantes de Escola Técnica do Senai e Universidade do Sul de Santa Catarina. Cataventos, v.12, p.13 - 21, 2020. Disponível em: <<https://revistaeletronica.unicruz.edu.br/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

SOUZA, R. D. Os sistemas de energia solar fotovoltaica: Livro digital de introdução aos sistemas solares. Ribeirão Preto, **Blue Sol Energia Solar**. 2014. Disponível em: <<https://programaintegradoronline.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SOUZA, R. D. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou Isolados? [Comparação]. São Paulo, **Blue Sol Energia Solar**. 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

TOLMASQUIM, Maurício T. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Editora RelumeDumará. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

TOMMASI, A. et, al. Proposal for Policies and Practices for the Appropriate Disposal of Photovoltaic Residue in Brazil. **Civil Engineering Research Journal**. Rio de Janeiro, sept. 2017. Disponível em: <<https://juniperpublishers.com/cej/>> . Acesso em: 13 ago. 2020.

TUBARÃO. **Lei nº 4.616, de 16 de dezembro de 2016.** Estabelece a Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do município de Tubarão/SC e dá outras providências. Tubarão: Câmara Municipal, 2016.

TUBARÃO. **Lei no 4.888, de 17 de maio de 2018.** Dispõe sobre a responsabilidade da destinação de lâmpadas usadas e dá outras providências. Tubarão: Câmara Municipal, 2018.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações:** Sistemas isolados e conectados à rede. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 224 p, 2015. Disponível em: <<https://www.saraiva.com.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.



Unisul – Universidade do Sul de Santa Catarina
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA

Esse questionário destina-se à coleta de dados para elaboração do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL.

Instruções:

- As respostas dadas serão confidenciais;
 - Não será utilizado para qualquer tipo de avaliação;
 - Você não necessita responder ao que não desejar.
-

PARTE 1 – PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS

- 1 – Qual o tempo de atuação da empresa no setor de energia fotovoltaica.
- 2 – Qual principal segmento de atuação da empresa (residencial; comercial; industrial)?
- 3 – Em qual etapa da cadeia de valor sua empresa atua (instaladora; fabricante/revendedor; projetista)?
- 4 – Qual o número de colaboradores efetivos na empresa?
- 5 – Sua empresa está satisfeita com o mercado de trabalho de energia solar fotovoltaica?

PARTE 2 – SOBRE A LEGISLAÇÃO E CICLO DE VIDA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAÍCOS

- 1 – A empresa conhece a legislação nacional ou municipal sobre resíduos sólidos?
- 2 – A empresa possui sistema de logística reversa?
- 3 – Como funciona o processo de descarte e/ou devolução ao fabricante das placas fotovoltaicas?
- 4 – Existe algum processo de reciclagem? Se sim, qual a porcentagem de placas que são recicladas pelo fabricante?

5 – Na sua opinião, existem impactos ambientais relacionados aos painéis fotovoltaicos (produção até o final de sua vida útil)?

6 –A empresa conhece as consequências do descarte inadequado dos painéis fotovoltaicos?