

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM  
GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

CRISTIANO CRUZ DA SILVA

WEMERSON FRANKLYN ARAUJO DE OLIVEIRA

GESTÃO DOS RESÍDUOS E RECICLAGEM DE MÓDULOS  
FOTOVOLTAICOS

CAMPINAS/SP

2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM  
GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

CRISTIANO CRUZ DA SILVA

WEMERSON FRANKLYN ARAUJO DE OLIVEIRA

## GESTÃO DOS RESÍDUOS E RECICLAGEM DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Graduação apresentado por Cristiano Cruz da Silva e Wémerson Franklyn Araújo de Oliveira como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Gestão de Energia e Eficiência Energética, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Doralice de Souza Luro Balan.

CAMPINAS/SP

2022

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca**

O48g

OLIVEIRA, Franklyn Araujo de  
Gestão dos resíduos e reciclagem de módulos fotovoltaicos. Franklyn  
Araujo de Oliveira e Cristiano Cruz da Silva. Campinas, 2022.  
90 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Gestão de Energia e Eficiência  
Energética. Faculdade de Tecnologia de Campinas.  
Orientador: Profa. Dra. Doralice de Souza Luro Balan.

1. Módulos. 2. Resíduos. 3. Pesquisa. 4. Lucratividade. 5.  
Sustentabilidade. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas.  
III. Título.

CDD 621.47

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG GEEE 22.2

**Cristiano Cruz da Silva; Wemerson Franklyn Araujo de Oliveira**

**Gestão de Resíduos e reciclagem de módulos fotovoltaicos**

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Energia e Eficiência Energética, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

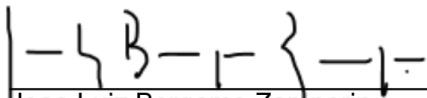
Campinas, 06 de dezembro de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Doralice de Souza Luro Balan  
Fatec Campinas



---

Joao Luiz Bergamo Zanperin  
Fatec Campinas



---

Fabio Mazzariol Santiciolli  
Fatec Campinas

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho a todos aqueles empenhados em fazer do mundo um lugar melhor, que seus exemplos se expandam e atinjam a todos que desejam a transformação do nosso planeta em um lugar melhor para viver.

## RESUMO

O ponto de partida deste trabalho é apresentar uma realidade factível projetada para um breve futuro, envolvendo a relação entre o acelerado crescimento da utilização de módulos fotovoltaicos para a geração de eletricidade e a produção de seus resíduos ao fim de sua vida útil. Diante da tendência de crescimento prevista para o setor fotovoltaico nacional, que se favorece com a extensão territorial do país e seus bons níveis de irradiação solar durante o ano, observa-se na gestão de resíduos e reciclagem de módulos fotovoltaicos uma excelente oportunidade de aplicação da economia circular, pois, esta estrutura de gerenciamento promove atraentes taxas de lucratividade, redução de energia no processo de extração dos recursos naturais e concilia o equilíbrio entre o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente. Esta pesquisa teve por objetivo propor ações que viabilizem uma logística reversa eficiente e atuante, implantando um sistema de monitoramento e captação de módulos depreciados e conduzindo para a reciclagem os seus elementos de valor agregado. Essa pode ser valiosa contribuição com o desenvolvimento socioeconômico e ambiental da sociedade. Para consolidar as informações apresentadas a metodologia incluiu pesquisa bibliográfica, dados fornecidos por setores governamentais e intergovernamentais com *expertise* no tema, e contatos pessoais com integrantes de todos os níveis do ciclo operacional envolvendo a comercialização e utilização de módulos fotovoltaicos. Conclusivamente, observou-se a relevância do assunto proposto, visto que um bom plano de logística reversa aplicada a esta tecnologia garantirá sustentabilidade e um lucrativo modelo de negócio.

**Palavras-chave:** módulos; resíduos; pesquisas, lucratividade, sustentabilidade

## ABSTRACT

The starting point of this project is to present a factual reality projected for a short future, involving the relationship between the accelerated growth by the use of photovoltaic modules for the generation of electricity and the production of residual waste at the end of his useful life. Before the forecast growth trend for the national photovoltaic sector, which favors the territorial extension of the country and its good levels of solar irradiation during the year, observe the management of waste and recycling of photovoltaic modules an excellent application opportunity from circular economy, then, this management structure promotes attractive lucrative taxes, energy reduction in the process of extraction of natural resources and reconciles the balance between the technological development and the preservation of my environment. This fisherman aims to propose actions that enable efficient and effective reverse logistics, installing a monitoring system and capturing depreciated modules and leading to the recycling of these aggregated value elements. It can be a valuable contribution to the socio-economic and environmental degeneration of society. To consolidate the information provided by the methodology including bibliographic research, data provided by government and intergovernment sectors with expertise on the subject, and contact people with integral parts of all the stages of the operational cycle involving the marketing and use of photovoltaic modules. In conclusion, we observe the relevance of the proposed assumption, given that a reverse logistics bomb plan applied to this technology will guarantee sustainability and a lucrative business model.

**Keywords:** modules; waste; research; profitability, sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Tecnologias fotovoltaicas.....	5
Figura 2 - Módulos de células monocristalinas e policristalinas .....	6
Figura 3 - Aplicabilidade dos filmes finos .....	7
Figura 4 - Composição geral do módulo.....	8
Figura 5-Áreas aptas para projetos fotovoltaicos .....	12
Figura 6- Modelos de economias .....	20
Figura 7- Sistema de Logística reversa.....	21
Figura 8- Sensores Industriais.....	23
Figura 9- Tipos de conexão wireless.....	24
Figura 10- Fluxograma aplicado a reciclagem de módulos .....	25
Figura 11- Modelo de Negócio .....	39
Figura 12- Quadro de negócio de gestão e reciclagem de módulos fotovoltaicos ....	40
Figura 13-Representação da estratégia Oceano azul .....	47
Figura 14- Matriz Swot .....	48
Figura 15- Estrutura Analítica do Projeto.....	60
Figura 16- Diagrama de Ishikawa.....	61
Figura 17-Diagrama funcionamento operacional da empresa.....	62
Figura 18- Mob2b Sistema de monitoramento de módulos solares danificados .....	64
Figura 19- Figura 20-Painel de controle .....	65
Figura 20- Ponto de coleta disponibilizado pela prefeitura .....	66
Figura 21- Monitoramento módulos danificados.....	67
Figura 22- Atendimentos realizados.....	68
Figura 23- Usina Fotovoltaica de São Gonçalo de Gurgueia - Piauí.....	71



## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1- Crescimento fotovoltaico no Brasil.....	11
Gráfico 2- Crescimento na geração de energia por fontes renováveis.....	19
Gráfico 3- Redução de gases estufa através da aplicação da ISO 50001 .....	35
Gráfico 4- Curva de Valor.....	46
Gráfico 5-Índice de referência .....	51
Gráfico 6- Divisão percentual dos 4 quadrantes.....	52
Gráfico 7- Curva de tendencia dos 4 quadrantes .....	53
Gráfico 8- Fluxo de caixa econômico .....	58
Gráfico 9- Projeção do crescimento da capacidade instalada e redução dos custos até 2050 .....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Proposta de valor.....	42
Quadro 2-Índice de comparação curva de valor (a) .....	45
Quadro 3-Índice de comparação curva de valor (b) .....	45
Quadro 4- Matriz Swot.....	50
Quadro 5- Cruzamento das variáveis interna com as externas .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Elementos químicos contidos nos módulos.....	9
Tabela 2-Resultados modelados de volumes de resíduos cumulativos estimados de painéis fotovoltaicos em fim de vida por país em toneladas referentes aos anos (2016 -2030).....	13
Tabela 3- -Resultados modelados de volumes de resíduos cumulativos estimados de painéis fotovoltaicos em fim de vida por país em toneladas referente aos anos (2040 a 2050) .....	13
Tabela 4- Cotação da London Metal Exchange .....	14
Tabela 5- valor nacional dos materiais recicláveis nos módulos em 09/09/2022 .....	14
Tabela 6- Percentual dos resíduos por unidade de módulo .....	15
Tabela 7- Projeção dos resíduos fotovoltaicos por década.....	16
Tabela 8- Valor da massa específica de cada elemento por período.....	17
Tabela 9- Quantificação de massa e arrecadação financeira.....	18
Tabela 10- Possíveis concorrentes .....	44
Tabela 11- Análise dos fatores internos e externos .....	51
Tabela 12- Cenário pessimista.....	55
Tabela 13- Cenário realista .....	56
Tabela 14- Cenário otimista .....	56

## LISTA DE SIGLAS

MME	Ministério de Minas e Energia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IRENA	International Renewable Energy Agency
IEA-PVPS	Internacional Energy Agency Photovoltaic Power System
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
GW	GigaWatt
PNEd	Plano Nacional de Energia
GWp	GigaWatt pico
US\$	Dólar Americano
REEEs	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
m-Si	Silício Monocristalino
p-Si	Silício Policristalino
a-Si	Silício Amorfo
CdTe	Telureto de Cádmio
GIGS	Cobre, Índio, Gálio, Selênio
GaAs	Arseneto de Gálio

CZTS	Cobre, Zinco, Estanho (Tin), Enxofre (Sulfur)
EVA	Etileno Acetato de Vinil
C	Carbono
O	Oxigênio
Na	Sódio
Mg	Magnésio
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Sn	Estanho
N	Nitrogênio
Ti	Titânio
Ag	Prata
F	Flúor
Zn	Zinco
Cu	Cobre
Pb	Chumbo
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDS	Espectroscopia por Energia Dispersiva
UFVs	Usinas Fotovoltaicas

FRELP	Full Recovery End Life Photovoltaic
NDC	National Determined Contribution
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
E-LIXO	Lixo Eletrônico
UFES	Universidade do Espírito Santo
c-Si	Silício Cristalino
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
EU	União Europeia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização.....	3
1.2	Justificativa.....	4
2	OBJETIVOS.....	4
2.1	Objetivo Geral .....	4
2.2	Específicos.....	4
3	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	5
3.1	Configuração E Elementos Do Módulo Fotovoltaico .....	8
3.2	Crescimento Do Setor Fotovoltaico Nacional.....	10
3.3	Projeção Dos Resíduos Fotovoltaicos.....	12
3.4	Elementos De Valor Nos Módulos Fotovoltaicos.....	14
3.5	Cotação Internacional De Commodities .....	14
3.6	Cotação Nacional De Recicláveis .....	14
3.7	Porcentagem De Elementos Contidos Nos Módulos.....	15
3.8	Quantificação Dos Resíduos Fotovoltaicos.....	16
3.9	Somatória E Capitalização Dos Elementos.....	17
4	ECONOMIA CIRCULAR.....	18
5	LOGÍSTICA REVERSA.....	20
6	APOIO TECNOLÓGICO PARA RECICLAGEM FOTOVOLTAICA .....	22
7	RECICLAGEM FOTOVOLTAICA .....	25
7.1	Problemática Ambiental No Setor Fotovoltaico .....	28
7.2	Legislações No Setor Fotovoltaico .....	31
7.3	A Importância Da Gestão De Energia .....	34
8	CONCEITO DE MISSÃO, VISÃO E VALORES .....	36
8.1	Missão, Visão E Valores Analisada.....	37
9	ESTRATÉGICA DE NEGÓCIO.....	38
9.1	Oportunidade De Negócio.....	38

9.2	Canvas .....	39
9.3	Proposta De Valor .....	41
9.4	Estrutura De Mercado .....	42
9.4.1	Tipos de estruturas de mercado .....	43
9.5	Concorrentes.....	44
9.6	Curva De Valor.....	45
9.7	Matriz Swot.....	47
9.8	Ambiente Interno .....	49
9.9	Ambiente Externo.....	49
9.10	Matriz Swot Analisada.....	50
9.11	Três Cenários.....	54
10	FLUXO DE CAIXA .....	57
11	PROJETO EMPRESA .....	59
11.1	Eap – Estrutura Analítica Do Projeto.....	59
11.2	Qualidade Nos Processos .....	60
12	FUNCIONAMENTO ESTRATÉGICO DA EMPRESA .....	62
13	SISTEMA DE MONITORAMENTO E RASTREAMENTO DE MÓDULOS FOTVOLTAICOS DANIFICADOS .....	63
13.1	Funcionamento Do Sistema .....	64
13.2	Pontos De Coletas .....	65
13.3	Rastreamento Dos Módulos Danificados .....	66
13.4	Análise Dos Atendimentos Por Módulos Modernizados E Danificados .....	68
14	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
15	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74



## 1 INTRODUÇÃO

Muitos setores especializados em energia estão em alerta referente a necessidade de aprofundar os diálogos entre os órgãos competentes sobre a logística reversa no setor fotovoltaico, para que este modelo de produção energética realmente consolide-se como uma fonte de energia limpa. Entre os expoentes na área estão o Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), *International Renewable Energy Agency* (IRENA), IEA-PVPS e ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica).

O crescimento do setor de produção de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos vem crescendo no país, apresentando 930 mil sistemas conectados à rede, o que totaliza 17GW (Gigawatts) de potência instalada (ABSOLAR 2022). Em paralelo com esta inflexão, projeta-se que o total de módulos inutilizados atinja o número de bilhões em poucos anos (PNE 2050 – Plano Nacional de Energia). Assim, o Brasil tornar-se o maior produtor de resíduos desses componentes na América Latina, alcançando 550 mil toneladas de elementos descartados até 2050 (IRENA, IEA-PVPS 2016).

O Brasil está classificado como o quarto país que mais cresce no setor, e está ocupando a 13ª posição mundial no uso da energia solar em comparação com outros países. Em análises quantitativas que avaliam a potencialidade de expansão, estima-se que apenas áreas aptas para a implantação de sistemas fotovoltaicos que possuam uma radiação solar média superior a 06 Wh/m<sup>2</sup> (Seis Watt hora por metro quadrado), o país atinge o valor de 307 GWp (Gigawatts – pico) (PNE 2050).

É preciso unir forças na construção e preservação da sustentabilidade, visando um equilíbrio entre os avanços tecnológicos e os impactos causados ao meio ambiente. Nas conclusões da IRENA (2016), em 2030 haverá 1,7 milhões de toneladas de resíduos fotovoltaicos descartados no mundo e 60 milhões em 2050. Está situação pode agravar-se, pois temos que considerar a disseminação dos modelos fotovoltaicos genéricos que são mais baratos, que em geral possuem um ciclo de vida de no máximo 05 anos (Solar Power World 2018).

A ascensão dos sistemas fotovoltaicos certamente está sendo um dos grandes passos da humanidade referente à produção de energia elétrica. Contudo, a falta de adequadas gestões públicas e ambientais imediatas neste segmento, proporcionará em breve mais um grande desastre ambiental como vem ocorrendo com o plástico.

Os módulos fotovoltaicos depreciados representam a médio prazo um nicho no mercado lucrativo para aqueles que se estruturarem investindo neste segmento. O gerenciamento da vida útil destes componentes proporcionará até 2050 uma recuperação econômica estimada em US\$ 15 bilhões (IRENA, IEA-PVPS 2016). O Brasil permite uma grande expansão no setor fotovoltaico devido seus altos níveis de radiação solar e extensão territorial. No período de 2020 a 2021 houve um crescimento de 90% na geração distribuída e de 37% na geração centralizada (EPE 2020). Neste cenário, projetos voltados à implantação da gestão de resíduos e reciclagem de módulos ou sistemas descomissionados, representa um excelente modelo de negócio.

A aplicação de modelos de negócios envolvendo uma logística reversa eficiente, além de gerar receitas, colabora de forma respeitosa com o meio ambiente. Esta pesquisa acadêmica visa proporcionar um modelo de empreendimento que se fundamenta na importância de propor soluções para uma forma correta de descarte de resíduos fotovoltaicos, introduzindo os materiais de valor de mercado na cadeia produtiva, reduzindo os impactos ambientais, minimizando a problemática que o setor de energia solar causará se houver a ausência de um gerenciamento de resíduos adequado.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os módulos fotovoltaicos são equipamentos que convertem os raios solares em eletricidade. Sua implantação iniciou-se no Brasil em 2011 e devido aos altos níveis de irradiação solar e condições atraentes para sua aquisição oferecidas por instituições financeiras, sua expansão atingiu altos índices em apenas 11 anos, prometendo expandir-se nas próximas décadas (ABSOLAR 2020). Existem diversas tecnologias empregadas possibilitando diferentes configurações, tipos e modelos que encontram no território brasileiro possibilidades e condições extremamente favoráveis para sua implantação (PNE 2050).

Temas importantes envolvendo a relação do crescimento do setor fotovoltaico nacional com a produção de resíduos gerados serão significativos para se estabelecer propostas de gerenciamento para administrá-los. Principalmente, pelo fato de os módulos fotovoltaicos depreciados serem caracterizados como resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos REEEs (IRENA, IEA-PVPS2016).

Os temas explanados nesta pesquisa retratam um potencial crescimento neste setor, tipos existentes de tecnologias fotovoltaicas empregadas, composição química dos módulos e suas aplicações. Consecutivamente, sínteses sobre a economia circular e logística reversa estabelecem informações que conduzirão ao resultado das projeções estimadas de resíduos e proverão sistemas de monitoramento, coleta e reciclagem, promovendo-se a identificação dos materiais de valor para quantificá-los e monetizá-los, apresentando assim as receitas aguardadas. Informações pertinentes sobre os temas ambientais e regulatórios que abrangem o setor fotovoltaico nacional serão abordados visando apresentar as problemáticas e permitindo a condução de alternativas para aprimorar as tratativas já existentes.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Com as crescentes transformações tecnológicas que buscam atender as necessidades humanas por energia elétrica, enxerga-se no setor fotovoltaico a premissa de uma forma de energia limpa. Porém, o seu crescimento irá resultar em uma quantidade de resíduos que possuem elementos nocivos que sem um adequado planejamento proporcionará prejuízos ambientais e econômicos. A gestão da vida útil desses módulos fotovoltaicos pode gerar receitas, criam diversas oportunidades de negócio, aumenta a oferta de emprego, aumento da renda e principalmente ajuda no equilíbrio ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Criar uma empresa que faça a gestão o monitoramento e a reciclagem de módulos fotovoltaicos ao fim de sua vida útil.

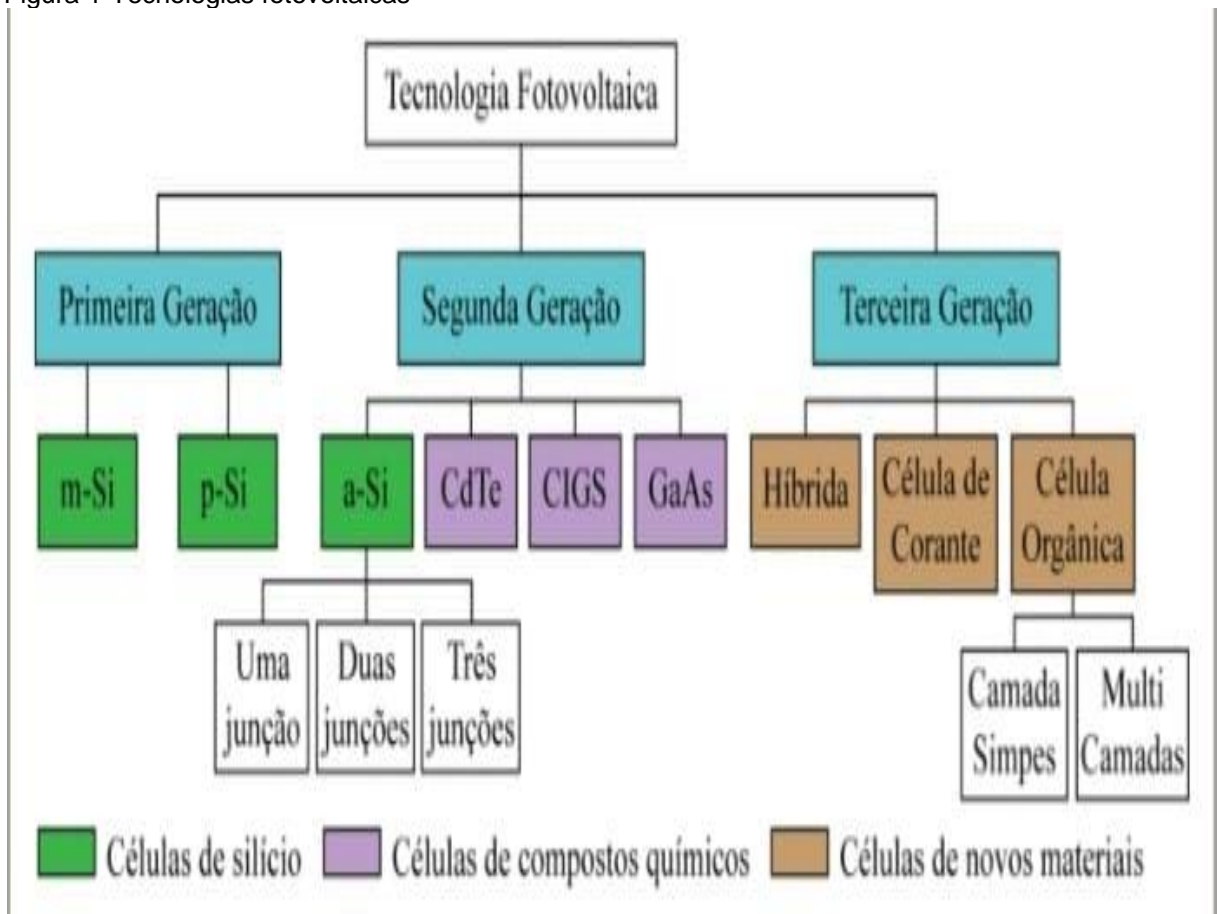
### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Aplicar um sistema de logística reversa adequada aos módulos ou sistemas fotovoltaicos descomissionados.
- Quantificar os resíduos e implantar um sistema de coleta recuperando seus materiais de valor.
- Demonstrar a viabilidade econômica e social de empreendimentos que visam a reciclagem destes materiais.
- Aplicar um sistema de informação que faça o gerenciamento dos módulos danificados.

### 3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico é um componente composto por células semicondutoras de eletricidade, normalmente produzidas pelo elemento silício (Si), este converte a luz solar em energia elétrica, ou tecnicamente falando, gera o efeito fotovoltaico, (Tolmasquim, 2003). De acordo com a tecnologia e substâncias empregadas para a fabricação do módulo permite-se classificá-los em elementos de 1ª, 2ª e 3ª geração (ABSOLAR 2020).

Figura 1-Tecnologias fotovoltaicas



Fonte: < <https://eletronica depotencia.com/celula-fotovoltaica>>, acesso em 10. out. 2022

As tecnologias aplicadas aos módulos permitem que os produtos sejam mais eficientes e com menores custos de sua fabricação. A figura 1 ilustra as mudanças ocorridas na fabricação desses componentes a cada geração, resultando em:

1ª Geração

m-Si (Célula de silício monocristalino)

p-Si (Célula de silício policristalino)

Figura 2 - Módulos de células monocristalinas e policristalinas



MÓDULO MONOCRISTALINO

MÓDULO POLICRISTALINO

Fonte: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>, acesso em 10 out.2022

## 2ª Geração

Este tipo de tecnologia baseia-se na utilização dos chamados filmes finos em sua fabricação, possibilitando aplicá-los em conjunto com outros materiais e permitindo sua utilização na construção de variados produtos, principalmente aos voltados à construção civil. Os principais elementos empregados na sua fabricação são:

a-Si (Célula fotovoltaica de filme fino com silício amorfo)

CdTe (Célula fotovoltaica com telureto de cádmio)

CIGS (Célula fotovoltaica de seleneto de cobre índio e gálio)

GaAs (Célula solar de arseneto de gálio)

Figura 3 - Aplicabilidade dos filmes finos



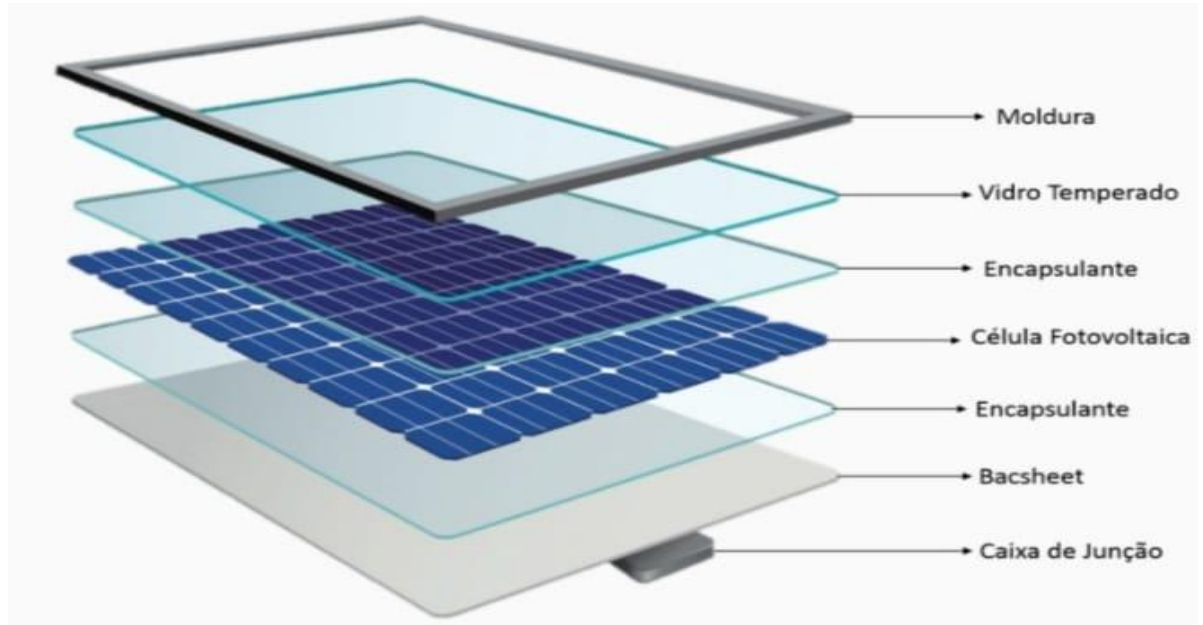
Fonte: < <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/> >, acesso em 10.out.2022

## 3ª Geração

Estes representam as tecnologias mais recentes, podendo atingir níveis de eficiência superiores a 46% em relação às de segunda geração. As mais difundidas são as células híbridas, células de corante e células orgânicas, contudo, outros modelos estão em desenvolvimento, como as células CZTS e suas variações, as células sensibilizadas por pontos quânticos e as células de perovskita.

### 3.1 CONFIGURAÇÃO E ELEMENTOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Figura 4 - Composição geral do módulo



Fonte: <<https://www.eletricampos.com.br/post/o-que-%C3%A9-painel-solar>>, acesso em 10.out.2022

Figura 5 - Componentes da caixa de junção



Fonte: <<https://pt.manuals.plus/tigo/manual-do-modulo-otimizador-ts4-ao#axzz7gDCSn7dh>>, acesso em 10.out.2022



A caixa de junção localiza-se na parte de trás dos módulos, é fabricada em polímero plástico e possui componentes eletrônicos. Deste dispositivo saem condutores elétricos de cobre estanhado que têm em suas extremidades os conectores MC4, responsáveis por promover a conexão em série entre os módulos.

Em uma análise genérica do módulo fotovoltaico observa-se: o vidro temperado, alumínio, cabeamentos de cobre, células compostas de silício, encapsulantes de etileno acetato de vinilo (EVA), e polímeros plásticos do backsheet. Entretanto, outros elementos encontram-se presentes como demonstrado em uma pesquisa científica conduzida por um grupo da Universidade Federal do Pampa em Santana do Livramento, Rio grande do Sul, entre eles constam: estanho, titânio, zinco, chumbo, cádmio e prata.

Tabela 1-Elementos químicos contidos nos módulos

<b>Vidro</b>		<b>EVA Superior</b>		<b>EVA Inferior</b>	
<b>Constituinte</b>	<b>% massa</b>	<b>Constituinte</b>	<b>% massa</b>	<b>Constituinte</b>	<b>% massa</b>
<b>C</b>	<b>6,94</b>	<b>C</b>	<b>8,94</b>	<b>C</b>	<b>7,36</b>
<b>O</b>	<b>51,35</b>	<b>N</b>	<b>17,43</b>	<b>O</b>	<b>15,02</b>
<b>Na</b>	<b>6,91</b>	<b>O</b>	<b>18,09</b>	<b>F</b>	<b>8,35</b>
<b>Mg</b>	<b>1,54</b>	<b>Al</b>	<b>0,75</b>	<b>Na</b>	<b>0,26</b>
<b>Al</b>	<b>0,55</b>	<b>Si</b>	<b>32,66</b>	<b>Al</b>	<b>57,78</b>
<b>Si</b>	<b>26,49</b>	<b>Ti</b>	<b>0,29</b>	<b>Si</b>	<b>13,25</b>
<b>Ca</b>	<b>3,88</b>	<b>Sn</b>	<b>1,6</b>	<b>Ti</b>	<b>0,16</b>
<b>Sn</b>	<b>2,34</b>	<b>Na</b>	<b>0,67</b>	<b>Zn</b>	<b>0,44</b>
		<b>Ag</b>	<b>68,05</b>	<b>Ag</b>	<b>1,76</b>
				<b>Sn</b>	<b>0,42</b>

Fonte: <periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/101136>, acesso em 07.set.2022

O método aplicado para a coleta dos dados referentes aos elementos químicos existentes no módulo fotovoltaico partiu da coleta de amostras de 5cm<sup>2</sup> de um modelo CS6P-265P-BR da Canadian Solar. Após a pesagem da massa do material coletado, este foi submetido a algumas técnicas de identificação de materiais, como:

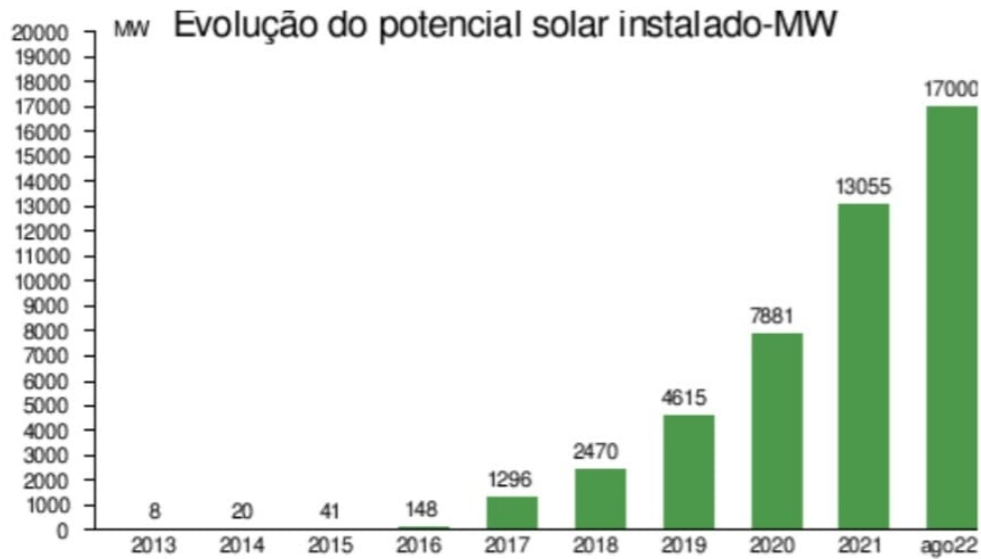
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) e Espectrometria de Fluorescência de Raio-X, onde foram registrados a presença dos elementos citados (UFP 2018).

### **3.2 CRESCIMENTO DO SETOR FOTOVOLTAICO NACIONAL**

Dados conclusivos dos setores governamentais e intergovernamentais mostram com nitidez o desafio que se enfrentará sem um plano definido envolvendo a logística reversa de componentes fotovoltaicos inutilizados. Os projetos e tecnologias envolvendo a energia solar fotovoltaica estão expandindo com grande velocidade (ABSOLAR 2020). A energia fotovoltaica vem apresentando incentivos atraentes para os investidores desta linha de negócio e aguarda uma tendência de crescimento significativa no setor, principalmente para a chamada geração centralizada, refere-se às usinas fotovoltaicas (UFVs) que são empreendimentos voltados a produção e comercialização de energia elétrica.

Para a conclusão dos resultados pertinentes ao crescimento de sistemas fotovoltaicos no Brasil, serão retiradas informações do Plano Nacional de Energia – PNE 2050, catalogado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), concluído em Brasília – DF em 2020.

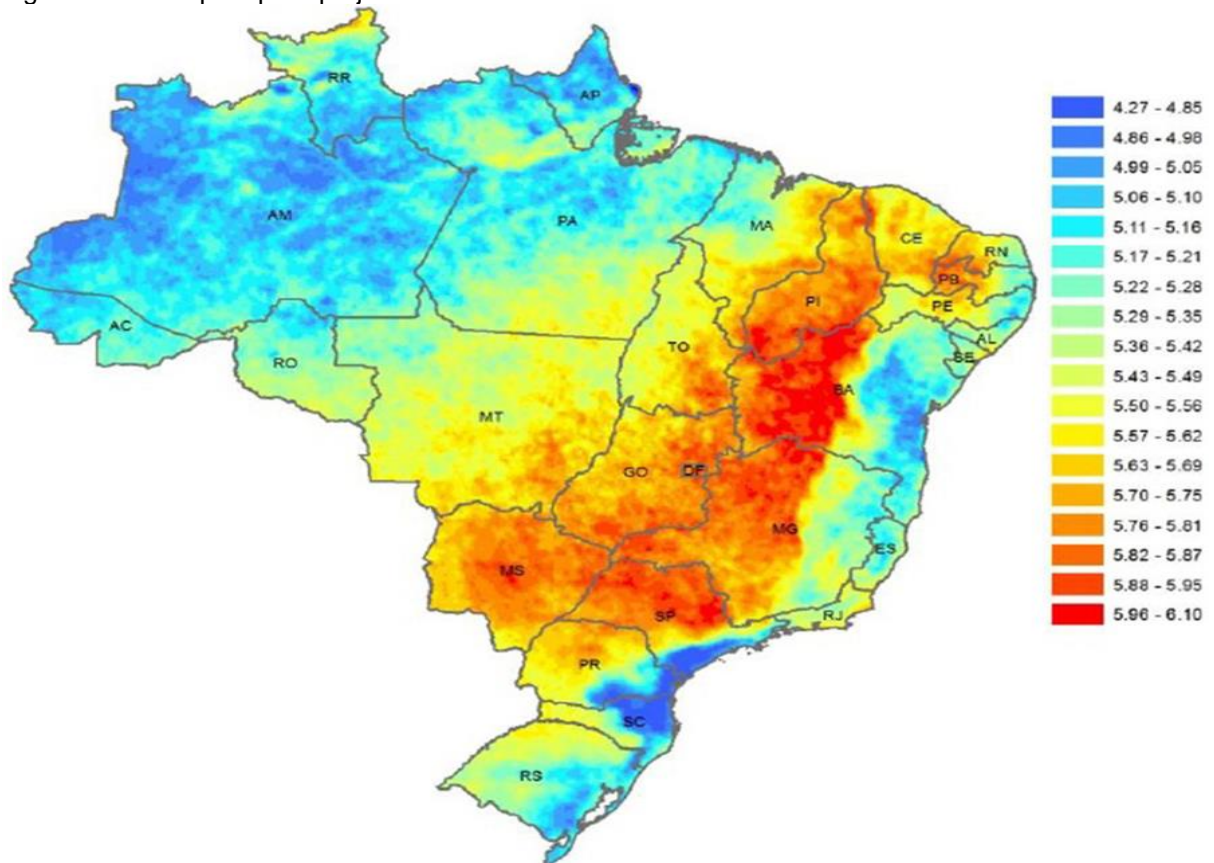
Gráfico 1- Crescimento fotovoltaico no Brasil



Fonte: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar\\_no\\_Brasil](https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_no_Brasil) >, acesso em 07 set.2022

Atualmente, a produção fotovoltaica atingiu 17 GW de capacidade instalada, e na avaliação do Plano Nacional de Energia 2050, atingirá de 27 a 90 GW (ABSOLAR). Esta inflexão é considerada como não controlável devido a fatores como às facilidades atuais para a aquisição de sistemas fotovoltaicos e seu barateamento, alta dos preços da eletricidade no mercado cativo de energia e o atual momento hídrico que está limitando a produção das usinas hidrelétricas impulsionando a implantação de UFVs (Usinas Fotovoltaicas). Concomitantemente, este crescimento é diretamente proporcional para a produção de resíduos fotovoltaicos, estimando-se um volume de milhões de toneladas à médio prazo (PNE 2050).

Figura 5-Áreas aptas para projetos fotovoltaicos



Fonte: <[redalyc.org/journal/6257/625766545013/html/](http://redalyc.org/journal/6257/625766545013/html/)>, acesso em 28.set.2022

O potencial de crescimento do setor fotovoltaico no Brasil é um dos mais favoráveis do mundo devido sua posição geográfica e bons níveis de irradiação solar anuais. Considerando apenas as melhores áreas existentes, haveria um crescimento dos atuais 17 GW para 307 GWp de capacidade instalada (EPE 2020).

### 3.3 PROJEÇÃO DOS RESÍDUOS FOTOVOLTAICOS

Na publicação *End-of-Life Management Solar Photovoltaic System* (Gestão de Fim de Vida de Painéis Solares Fotovoltaicos) de junho de 2016 da IRENA e IEA-PVPS (International Energy Agency-Photovoltaic Power System), é apresentada a projeção de resíduos no Brasil no horizonte 2050. Contudo, na data de publicação

deste material, não foram considerados os módulos genéricos que possuem um ciclo de vida útil reduzido comparado com os comumente utilizados e também a implantação das tecnologias de terceira geração, onde ambas as situações colaboram para o aumento da obsolescência dos sistemas atualmente instalados e a geração dos resíduos (Solar Power World 2018). Assim, com estas variáveis ainda não contabilizadas, esta tendência de crescimento de módulos desativados aumentará.

Tabela 2-Resultados modelados de volumes de resíduos cumulativos estimados de painéis fotovoltaicos em fim de vida por país em toneladas referentes aos anos (2016 -2030)

Ano	2016		2020		2030	
	Perda regular	Perda precoce	Perda regular	Perda precoce	Perda regular	Perda precoce
Brasil	10	10	40	100	2500	8500

Fonte:< irena\_ieapvps\_end-of-life\_solar\_pv\_panels\_2016.pdf>, acesso em15.set.2022

Tabela 3- -Resultados modelados de volumes de resíduos cumulativos estimados de painéis fotovoltaicos em fim de vida por país em toneladas referente aos anos (2040 a 2050)

Ano	2040		2050	
	Perda regular	Perda precoce	Perda regular	Perda precoce
Brasil	18.000	160.000	300.000	700000

Fonte:< irena\_ieapvps\_end-of-life\_solar\_pv\_panels\_2016.pdf>, acesso em15.set.2022

A somatória dos valores cumulativos de resíduos estimados até 2050 atingirá o montante de 1.189.160 ton. (um milhão cento e oitenta e nove mil cento e sessenta toneladas). Logo, projetos bem gerenciados possibilitarão uma forma rentável de empreendedorismo conciliando o desenvolvimento tecnológico com reduções de impactos no meio ambiente.

### 3.4 ELEMENTOS DE VALOR NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Este item apresenta o valor de mercado nacional e internacional dos elementos contidos em um módulo fotovoltaico. Os valores cotados referem-se à média entre os chamados *CASH BUYER* e *CASH SELLER & SETTLEMENT* em US\$/T (Compra e venda à vista em Dólar por tonelada), retirados da London Metal Exchange, uma bolsa de futuros com maior mercado do mundo em contratos sobre metais.

### 3.5 COTAÇÃO INTERNACIONAL DE COMMODITIES

Tabela 4- Cotação da London Metal Exchange

<b>METAL</b>	<b>VALOR US\$ TON</b>
Alumínio	2.280,12
Chumbo	1.918,37
Cobre	7.985,08
Estanho	21.305,22
Prata	600.000,00

Fonte: < <https://www.lme.com/en/Market-data/Reports-and-data/Monthly-averages>>, acesso em 15.set.2022

### 3.6 COTAÇÃO NACIONAL DE RECICLÁVEIS

Tabela 5- valor nacional dos materiais recicláveis nos módulos em 09/09/2022

<b>MATERIAIS</b>	<b>VALOR/KG</b>	<b>VALOR/TON</b>
<b>Alumínio</b>	<b>R\$ 8,00</b>	<b>R\$ 8.000,00</b>
<b>Chumbo</b>	<b>R\$ 11,00</b>	<b>R\$ 11.000,00</b>
<b>Cobre</b>	<b>R\$ 35,00</b>	<b>R\$ 35.000,00</b>
<b>Estanho</b>	<b>R\$ 21,00</b>	<b>R\$ 21.000,00</b>
<b>Prata</b>	<b>R\$ 3.090,00</b>	<b>R\$ 3.090.000,00</b>
<b>Plástico</b>	<b>R\$ 0,80</b>	<b>R\$ 800,00</b>

Fonte: recicladores locais

### 3.7 PORCENTAGEM DE ELEMENTOS CONTIDOS NOS MÓDULOS

Informações expressando o percentual que cada elemento possui em uma unidade de módulo, são importantes pra que se possa contabilizar a participação que cada material ocupa nos montantes de resíduos estimados no futuro. Ressalta que nos resultados apresentados abaixo, variações podem surgir quando comparados com dados fornecidos por outras publicações. Isso pode ocorrer devido às características peculiares existentes entre modelos e fabricantes, assim como tecnologia usada, quantidades de células e dimensões físicas do módulo. Nesta pesquisa a massa total módulo é considerada entre 24 e 25 quilos e 156 células, pois, os modelos utilizados atualmente em sistemas implantados no Brasil apresentam massa similar.

Tabela 6- Percentual dos resíduos por unidade de módulo específico analisado

<b>Em um módulo de 23kg, com 72 células</b>	<b>% em cada módulo</b>	<b>Peso de cada componente por módulo em Kg</b>	<b>Preço de mercado pago por Kg</b>	<b>Valor por módulo de acordo com % material</b>
Alumínio	10,30	2,369	R\$ 6,90	R\$ 16,346
Vidro	74,16	17,057	R\$ 0,14	R\$ 2,388
Polímero	11,31	2,601	R\$ 0,70	R\$ 1,821
Silício	3,35	0,770	R\$ 10,60	R\$ 8,167
Cobre	0,57	0,131	R\$ 22,00	R\$ 2,884
Prata	0,01	0,002	R\$ 52,00	R\$ 0,120
Estanho	0,12	0,028	R\$ 33,49	R\$ 0,924
Zinco	0,12	0,028	R\$ 5,38	R\$ 0,148
Chumbo	0,06	0,014	R\$ 6,00	R\$ 0,083
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>23Kg</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 32,881</b>

Fonte: Elaboração própria

O semimetal silício não será incorporado nas análises quantitativas deste trabalho por ser um elemento empregado em setores específicos de determinadas indústrias de eletroeletrônicos, fator que impõe dificuldades na comercialização deste produto no setor de reciclagem nacional, que visam suas negociações em produtos que permitam um ciclo operacional mais dinâmico.

### 3.8 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS FOTOVOLTAICOS

Dentro das perspectivas tecnológicas envolvendo a energia fotovoltaica observa-se mudanças exponenciais envolvendo-as (Tolmasquim 2003). Em níveis industriais de geração de eletricidade, as tecnologias fotovoltaicas atingem sua obsolescência em tempos menores que os domiciliares, pois, a procura por componentes que apresentem maior desempenho e eficiência reduzem o valor da energia produzida, eleva sua competitividade promovendo assim uma maior inserção deste modelo na matriz energética nacional, conseqüentemente, apresentando uma maior margem de lucro aos produtores (EPE 2020).

Para uma melhor compreensão do tema proposto neste item, inicialmente será ilustrado uma síntese das estimativas de resíduos fotovoltaicos aguardados em períodos decenais. Os dados apresentados na tabela a seguir representam a quantidade total de módulos descomissionados, os valores são expressos em quilos, pois, os comercializadores destes materiais utilizam esta unidade de medida para suas transações de compra e venda.

Tabela 7- Projeção dos resíduos fotovoltaicos por década

<b>PROJEÇÃO DOS RESÍDUOS FOTOVOLTAICOS EM QUILOS (KG)</b>				
<b>Ano</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Estimativa de resíduos	140.000	11.000.000	170.000.000	1.000.000.000

Fonte: <adaptado de irena e ieapvps\_end-of-life\_solar\_pv\_panels\_2016.pdf>, acesso em 15.set.2022

Com a conclusão da quantidade total de resíduos fotovoltaicos estabelecido, promove-se a quantificação do valor oferecido por cada material existente nos módulos.



Tabela 8- Valor da massa específica de cada elemento por período

<b>QUANTIDADE EM QUILOS DE RESÍDUOS POR ELEMENTO (KG)</b>				
<b>ANO</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Alumínio	11.200	880.000	13.600.000	80.000.000
Chumbo	1.400	11.000	170.000	1.000.000
Cobre	14.000	110.000	1.700.000	10.000.000
Estanho	1.400	11.000	170.000	1.000.000
Prata	1.400	11.000	170.000	1.000.000
Polímeros	14.000	1.100.000	17.000.000	100.000.000

Fonte: Elaboração Própria

O método aplicado para se estipular a quantidade de resíduos estimados para cada tipo de material em seus respectivos períodos, leva em consideração a relação entre o montante total da massa dos módulos depreciados apresentado na tabela 6, com o percentual que cada elemento contribui nesta somatória apresentado na tabela 5, logo, encontra-se o valor específico da massa que cada tipo de reciclável será ofertado.

### **3.9 SOMATÓRIA E CAPITALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS**

Este cenário considerará a soma total da quantidade em quilos que cada elemento produzirá até o ano de 2050. Este resultado será multiplicado pelo valor do quilo que cada material possui no mercado nacional, o que proporcionará os resultados financeiros que se arrecadará com esse mercado no futuro. Por tratar-se de commodities os resultados informados podem variar de acordo com o período analisado, devido às flutuações cambiais envolvendo-as.

Tabela 9- Quantificação de massa e arrecadação financeira

<b>Tipo de Material</b>	<b>Total em Kg/2050</b>	<b>Valor do Kg/(R\$)</b>	<b>Total obtido/(R\$)</b>
Alumínio	93.891.200	8,00	751.129.600,00
Chumbo	1.182.000	11,00	13.006.400,00
Cobre	11.824.400	35,00	413.840.000,00
Estanho	1.182.400	21,00	24.830.400,00
Prata	1.182.400	3.090,00	3.653.616.000,00
Polímeros	28.014.000	0,80	22.411.200,00

FONTE: Elaboração própria

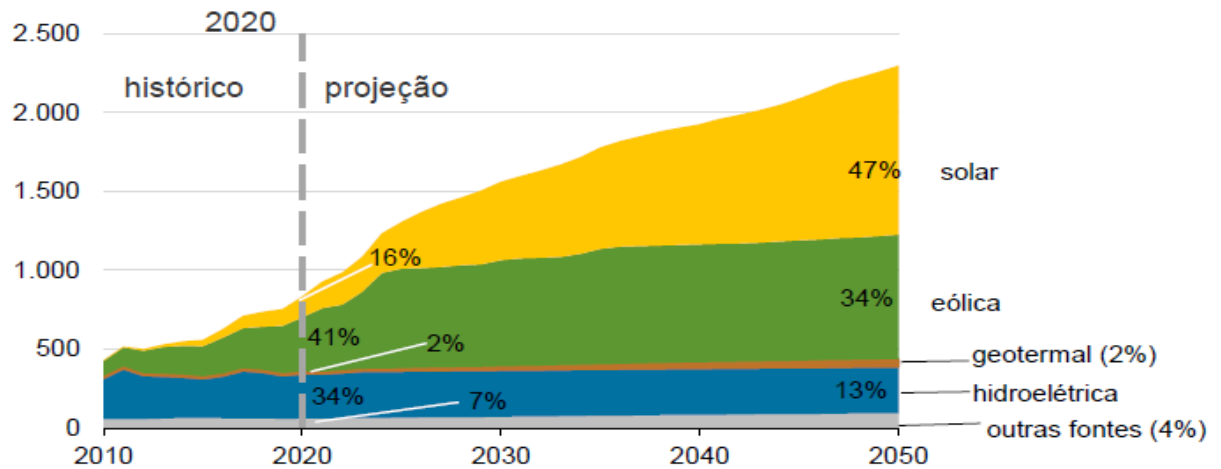
O valor financeiro recuperado com a reciclagem dos elementos contidos em módulos fotovoltaicos depreciados atingirá nos períodos analisados o montante de R\$ 4.878.833.600,00 (quatro bilhões, oitocentos e setenta e oito milhões, oitocentos e trinta e três mil e seiscentos Reais). Os valores apresentados são baseados nas estimativas de projeção de resíduos fotovoltaicos catalogado na publicação da IRENA e IEA-PVPS (2016).

#### **4 ECONOMIA CIRCULAR**

Os sistemas solares fotovoltaicos são considerados tecnologias de baixo investimento. No final do seu ciclo de vida uma grande quantidade de lixo eletrônico se formará comprometendo a qualidade de vida das famílias e agravando os impactos ambientais em toda a esfera terrestre, sendo necessário que haja uma gestão eficiente desses resíduos através do sistema 3 Rs (recondicionar, reutilizar e reciclar). Esse método quando bem aplicado diminui os impactos ambientais e evita ou retarda a escassez dos materiais mais críticos utilizados na produção dos módulos fotovoltaicos (IRENA – IEA-PVPS 2016).

Segundo o Energy Information Administration (EIA-2021), haverá um crescimento de 47% na produção mundial de energia solar em 2050. A instituição aponta ainda, que esta fonte energética se tornará a principal geradora de energia elétrica se tratando de fontes renováveis.

Gráfico 2- Crescimento na geração de energia por fontes renováveis



Fonte: < <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio> > acesso em 17.ago.2022

Para (GAUTAM; SHANAR;VRAT 2021) a forma mais adequada de gerenciar esse tipo de resíduo é através da cadeia de abastecimento circular e a recuperação dos suprimentos inseridos no processo produtivo, isso levaria a um ciclo econômico de equilíbrio, nesse cenário surge a ideia de economia circular.

Com a industrialização a capacidade de produção cresceu a uma velocidade muito grande, o modo produtivo passou a ser em escala e a economia globalizada facilitou o comércio de produtos entre os países, em contrapartida essa facilidade gera sérios problemas ao meio ambiente, os produtos no fim da vida são descartados de forma incorreta comprometendo o uso dos recursos como a água, alimentos e a prosperidade de gerações futuras.

A forma como os bens são produzidos e consumidos devem ser repensados e voltados para a manutenção do meio ambiente. Neste novo cenário, a economia linear voltada a (produzir, utilizar e descartar) deixa de ser o foco, dando lugar a economia circular que emprega (utilizar-reutilizar-reciclar-reformar-redistribuir) voltada para a sustentabilidade dos recursos não renováveis a fim de garantir o bem-estar das futuras gerações.

Figura 6- Modelos de economias



Fonte: < <https://www.boavontade.com/pt/ecologia/o-que-e-economia-circular-e-como-ela-funciona>> acesso em 20.out.2022

O modelo de economia circular procura extrair o valor dos recursos e energia que foram utilizados no processo produtivo, esses recursos têm grande potencial de virar matéria prima, componente ou fonte de energia não necessariamente no mesmo processo produtivo do qual foi gerado. Em paralelo a este método aplicam-se ações para o retorno dos resíduos ao ciclo produtivo, é a chamada logística reversa.

## 5 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa tem o propósito de promover ações de recolhimento, separação e destinação adequada a materiais que chegaram ao fim de sua vida útil, inserindo-os novamente na cadeia produtiva. Com a aplicabilidade deste método mitiga-se a exploração dos recursos naturais, promovem-se oportunidades de negócios e incentiva a sustentabilidade (BALLOU 2006).

Figura 7- Sistema de Logística reversa



Fonte: <<https://maispolimeros.com.br/2021/12/22/economia-circular-parte-2/>> acesso em 06.out.2022

Conceitos envolvendo a logística reversa iniciaram-se na década de 70, levando em consideração os impactos ambientais causados pelo incorreto gerenciamento de materiais descartados no meio ambiente, haurindo a percepção nos benefícios ecológicos e econômicos com a recuperação desses materiais. Os materiais que se inserem na logística reversa, passam por etapas levando em consideração a seguinte ordem: coleta, seleção, classificação e reciclagem, permitindo que diversos tipos de itens sejam usados em diferentes aplicações (BALLOU 2006).

De acordo com LEITE (2003, p.16),

Entendemos a logística reversa como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes do retorno dos bens de pós venda e de pós consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

A aplicabilidade da logística reversa é um fator necessário diante do crescente consumo de produtos pela sociedade moderna. Este modelo de gerenciamento permite desenvolver o equilíbrio ambiental associado ao crescimento econômico,

estabelecendo o conceito de desenvolvimento sustentado que vem sendo amplamente difundido e utilizado universalmente visando garantir necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras (LACERDA 2002).

As ações voltadas à logística reversa estendem-se além de um simples retorno de uma mercadoria ao processo de reaproveitamento para a produção de novos bens de consumo. Ela estabelece bases para a gestão de operações envolvendo o descarte de materiais, reuso e máximo aproveitamento na recuperação de resíduos dos produtos que atingiram seu fim de vida (BRITO e DEKKER 2002). Empresas de todos os tamanhos no Brasil têm obrigações legais estabelecidas para cumprir referentes à sua aplicação.

A aplicação de uma gestão de logística reversa eficiente apresenta vantagens a todos os segmentos de empreendedorismo, pois, contribui significativamente para a consolidação de vínculos pós vendas com clientes, aceitação da entrada do produto no mercado, firmar parcerias com outras empresas que visam atingir metas sustentáveis, aumento de diferencial competitivo e redução de custos (BALLOU 2006).

Apoiar, incentivar e aprimorar as atividades que buscam minimizar impactos ambientais e reduzir a extração de matéria prima é fundamental para que ações sustentáveis se consolidem. O objetivo é garantir ascensão econômica, mas garantir e promover sequencias de ações que beneficiem as empresas, o meio ambiente e a sociedade em geral.

## **6 APOIO TECNOLÓGICO PARA RECICLAGEM FOTOVOLTAICA**

O uso de sensores para o monitoramento das operações em sistemas fotovoltaicos é aplicado com o propósito de acompanhar as características das tensões, correntes, frequências e demais funções operacionais como geração, transmissão e distribuição elétrica de conjuntos ou de um módulo isolado. Garantindo com este gerenciamento, a possibilidade de analisar e avaliar melhores procedimentos que visem às melhores tomadas de decisões quando sistemas

fotovoltaicos apresentarem queda de eficiências, redução no desempenho e aproximação de fim de vida dos módulos (FORENO 2011). Existem diversos modelos de sensores para usos específicos como os apresentados na figura abaixo.

Figura 8- Sensores Industriais



Fonte: <<https://energiainteligenteufjf.com.br/tecnologia/sensores-industriais>>, acesso em 13 nov.2022

As aplicações de sensores em sistemas operacionais servem para possibilitar o monitoramento de diversos processos, contudo, para que haja um contato entre suas operações e transmissão de dados para um acompanhamento gerencial, são necessários meios de conexão que são encontrados através de tipologias de conexão com a internet aplicáveis para cada situação (POMÍLIO 2010).

Figura 9- Tipos de conexão wireless

<b>Padrão</b>	<b>Taxa de Transmissão</b>	<b>Consumo Transmissão</b>	<b>Consumo Standby</b>	<b>Capacidade de Pilha</b>
BlueTooth	1 Mbps	50 mA	0,2 mA	100 Kbytes
Wi-Fi	54 Mbps	400mA	20 mA	> 100 Kbytes
Zigbee	250 Kbps	50mA	50 $\mu$ A	34 KBytes

Fonte: <<http://www.ppgee.ufmg.br>>estudodastecnologiasdemonitoramentodepaineisemusinasfotovoltaica>, acesso em 13 nov. 2022

Há também interligação de controle por meio de cabecamentos, contudo, sua implantação inviabiliza alguns projetos, pois, os deixam mais caros. A aplicabilidade de sistemas de sensoriamento comandados por conexão sem fio promove a possibilidade do monitoramento de sistemas localizados em áreas remotas e em tempo real (ZHENGMING 2011). Facilitando assim, visualizar plantas fotovoltaicas para que se acompanhem principalmente seus processos de descomissionamento.

As características e aplicabilidade de cada tecnologia wireless variam de acordo com as capacidades de transmissão exigidas. Cada tipo possui seus alcances de recepção, transmissão, níveis de ruídos, capacidade de tráfego e consumo de energia. Encontrar o modelo mais favorável para determinar o monitoramento de sistemas fotovoltaicos de determinada planta deve ser considerado no momento da construção do projeto (MOLINA 2008).

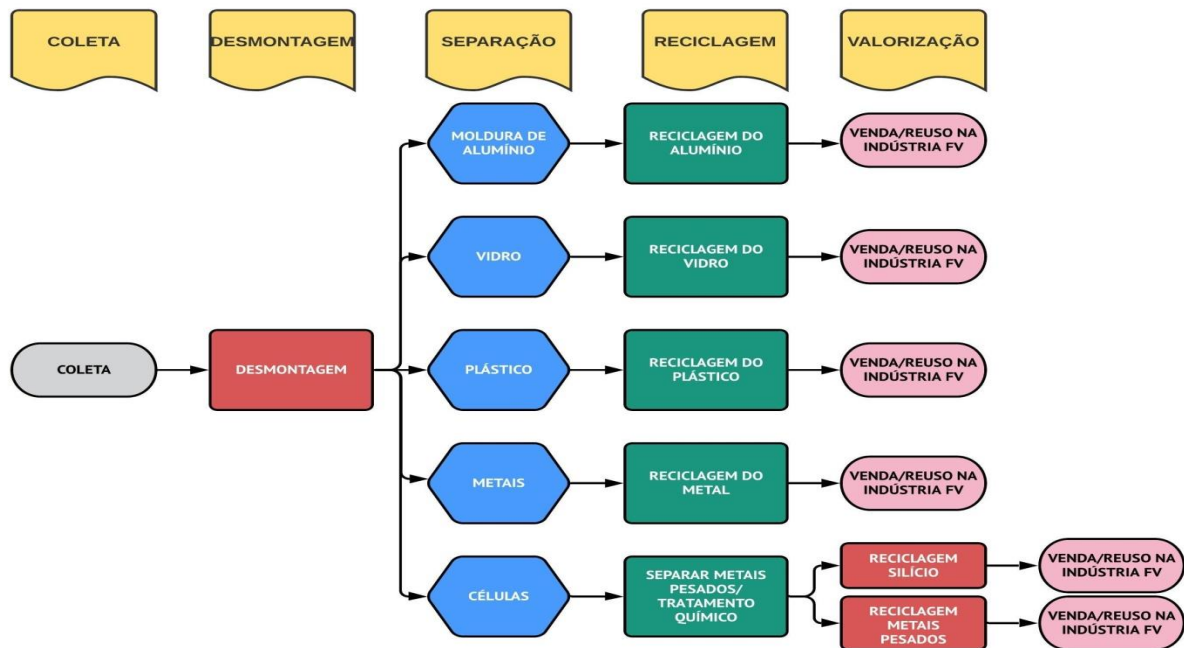
O uso das tecnologias de sensoriamento e comunicação é essencial para bons resultados nas atividades de gestão de resíduos e reciclagem dos módulos fotovoltaicos, permitindo precisão nos dados que direcionam para as aplicações das etapas de coletas e reciclagem, resultando em melhores resultados nas receitas adquiridas com esse modelo de negócio.



## 7 RECICLAGEM FOTOVOLTAICA

Considerando as quantidades esperadas de módulos fotovoltaicos descartados, a implantação de unidades recicladoras qualificadas para este tipo de tecnologia promoverá o retorno de seus materiais a cadeia produtiva com excelentes benefícios econômicos, sociais e ambientais. Este modelo de negócio promove a chamada logística reversa, que visa à reutilização de materiais recicláveis pela indústria (SCHMIDT 2009). O fluxograma abaixo ilustra um cenário onde os elementos de módulos inservíveis retornam aos fabricantes destes componentes, contudo, os materiais resultantes da reciclagem podem ser direcionados a qualquer setor que possa reaproveitá-los.

Figura 10- Fluxograma aplicado a reciclagem de módulos



Fonte: <<https://energes.com.br/reciclagem-de-modulo-fotovoltaicos-e-possivel/>>, acesso em 10 out. 2022.

A logística aplicada aos módulos fotovoltaicos tem o propósito de promover ações de recolhimento, separação e destinação adequada aos produtos que

chegaram ao fim de sua vida útil, reinserindo os materiais aproveitáveis novamente na cadeia produtiva (IRENA, IEA-PVPS 2016). Com a aplicabilidade deste método mitiga-se a exploração dos recursos naturais promovem-se oportunidades de negócios e incentivo a sustentabilidade (MIGUEZ 2007).

Entretanto, para um bom desempenho desta atividade é importante estabelecer etapas bem definidas para o processo, pois, na reciclagem de módulos solares são necessárias ações diferenciadas da reciclagem convencional, porque estes produtos são caracterizados como (REEs) resíduos eletroeletrônicos (VÉRONIQUE MONIER 2011). Assim, em momentos adequados são realizados tratamentos especiais para a separação e aquisição de elementos. A figura 6 ilustra este cenário, no qual seus processos são explicados da seguinte forma:

**Coleta:** Nesta fase é recomendável estabelecer parcerias para a criação de pontos de recebimento de módulos depreciados. A coleta exige ações que envolvem o recolhimento e transporte dos materiais a um ponto específico, onde procedimentos são aplicados para selecionar cada tipo de produto.

**Desmontagem e separação:** Este processo inicialmente faz uma separação mecânica dos materiais mais fáceis de serem removidos do módulo, usando métodos de separação magnética por gravidade, por densidade, eletrostática, entre outros, resultando em: alumínio, vidro, cabo de cobre estanhado e plástico (IRENA IEA-PVPS 2016). Estes materiais são facilmente comercializados no mercado nacional e direcionados as indústrias de siderurgia, polímeros e cabos elétricos, pois, no país não há empresas que fabriquem módulos fotovoltaicos, apenas uma única montadora que importa os componentes constituintes do módulo e os une.

Para a captação dos metais chumbo e prata são necessárias medidas que envolvem processos químicos de lixiviação e refino. No Brasil não há empresas estruturadas para recuperá-los, logo, todos os resíduos que sobram após a seleção mecânica são triturados e enviados ao exterior (ABSOLAR 2020). Em 2018 a empresa italiana SASIL Srl utilizando um processo denominado FRELPA, informou poder recuperar dos módulos 94% da prata, 99% do cobre, 95% do silício, 99% de alumínio e 98% do vidro.

Reciclagem: O conceito de reciclagem define-se como métodos para o reaproveitamento de resíduos com o objetivo de transformá-los novamente em bens de consumo (LEITE 2003). No âmbito fotovoltaico este tema é mais abrangente, pois, envolvem setores sociais, políticos e tecnológicos (IRENA 2016). Em seu processo de gerenciamento de resíduos requer-se critérios que consideram a periculosidade dos elementos contidos em cada tipo de módulo (ABSOLAR 2020).

As legislações que envolvem a reciclagem dos resíduos fotovoltaicos levam em consideração as mesmas aplicadas aos chamados REEEs (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos), pois os módulos fotovoltaicos são considerados equipamentos eletroeletrônicos, assim, por ser uma problemática recente no Brasil, a cada dia surgem métodos e propostas empenhadas em desenvolver modelos de reciclagem neste setor (ABSOLAR 2020).

Outro contexto para a criação de valor na reciclagem fotovoltaica está em promover práticas de minimização de módulos depreciados a serem destinados às unidades de tratamentos de resíduos, aplicando-lhes métodos de reparos e reutilização naqueles passíveis de reparação e que não tiveram danos ou interrupções na geração de eletricidade. Este processo promove a troca dos componentes que apresentem defeitos como o vidro, caixa de junção, moldura e cabeamentos, conduzindo a recolocação do módulo no mercado com a devida certificação de garantia, possibilitando a criação de outro modelo de negócio que envolve a produção de equipamentos de segunda mão que abrirá estímulos a uma grande camada de consumidores (IRENA 2016).

Projetos envolvendo a reciclagem fotovoltaica requerem ações que vão além dos módulos, sendo importante aplicar atenção a todos os elementos necessários para a construção de um sistema solar, o que inclui os inversores, controladores de carga e em casos de sistemas off grid os elementos de armazenamento de eletricidade (baterias). Analisando-se com profundidade as questões que retratam sobre formas adequadas de gerenciamento dos resíduos fotovoltaicos no Brasil, fica evidente que ações envolvendo esta questão requerem decisões imediatas (IRENA-IEA-PVPS 2016).

## 7.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL NO SETOR FOTOVOLTAICO

A preocupação mundial e as ações que buscam alternativas para mitigar os impactos ambientais decorrentes estão nos alertando que o planeta Terra não suportará por muito tempo aos excessos da raça humana. Neste sentido a integração da sociedade, setores industriais e de políticas públicas torna-se o primeiro degrau para a consolidação de um plano assertivo e eficiente para as questões dos chamados lixos eletroeletrônicos (ABSOLAR 2020).

De acordo com o Plano Nacional Energético - PNE 2050 (2020, p. 14),

Os governos continuam como atores principais nas questões políticas nacionais e internacionais, todavia a complexidade crescente da governança global, a dinâmica entre as diferentes esferas das entidades subnacionais e a conectividade entre os diferentes atores (e.g., empresas transnacionais e movimentos globais da sociedade civil) podem ganhar maior importância na tomada de decisão política e sua efetividade. Nessa direção, iniciativas globais como o Acordo de Paris e as NDC dos países e as Metas de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU merecem destaque em termos de cooperação gerada tanto na esfera interna (entre governo e respectivas sociedades) quanto na esfera internacional (entre governos) em torno de objetivos comuns para a humanidade.

Em 2021 uma publicação da Green Eletron, empresa especializada em logística reversa de eletroeletrônicos fundada em 2016 pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), retratou a percepção da população brasileira sobre o lixo eletrônico, deixando transparente a inépcia da população envolvendo o assunto e como é de fundamental importância estender os diálogos sobre os problemas e soluções, propondo medidas sensatas e métodos adequados para a redução desses produtos no meio ambiente. No Brasil, apenas 4% do lixo eletrônico recebe a coleta e os tratamentos adequados (GREEN ELETRON 2021).

Com todos os recursos aplicados para uma conscientização da sociedade envolvendo temas pertinentes aos chamados *e-lixo*, ainda percebe uma fragilidade envolvendo. Assim, observa-se a necessidade de se promover uma extensiva campanha de ações e divulgações de como lidar com as quantidades de resíduos fotovoltaicos que atingirão níveis críticos em breve (PNE 2050).

De acordo com a Green Eletron (2021, p. 2),

O lixo eletrônico (também chamado de resíduo eletrônico, REEE ou e-lixo) é um dos grandes desafios da gestão de resíduos em todo o planeta, já que o número de dispositivos desse tipo cresce cerca de 4% a cada ano – sendo considerado pela Universidade das Nações Unidas como o resíduo que mais cresce no mundo atualmente. Para se ter uma ideia, os resíduos eletrônicos descartados no mundo cresceram 21% em apenas 5 anos, segundo o E-Waste Monitor 2020. Segundo o relatório desenvolvido pela Universidade das Nações Unidas, o Brasil descartou, apenas em 2019, mais de 2 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos, sendo que menos de 3% desse volume foi reciclado. Os componentes químicos, quando descartados e manuseados incorretamente, são prejudiciais ao meio ambiente porque podem contaminar o solo e os cursos d'água.

O fator mais preocupante relativo à depreciação de tecnologias fotovoltaicas está na no momento do descarte de componentes descomissionados. Na composição dos módulos em funcionamento atualmente estão presentes elementos tóxicos e contaminantes potencialmente nocivos, que quando descartados incorretamente contaminam o solo e os lençóis freáticos. Esses elementos são classificados na categoria de resíduos perigosos, pois causa toxicidade aguda ou crônica de alta gravidade nos seres vivos, atribuindo responsabilidades a todos os envolvidos na cadeia comercial fotovoltaica. Os casos de contaminação geralmente ocorrem devido ao descarte desses materiais no meio ambiente (UFES 2020).

De acordo com IRENA – IEA-PVPS, (2016, pg.43),

No entanto, constituintes menores de painéis c-Si podem apresentar dificuldades de reciclagem, pois contém silício, prata e vestígios de elementos como estanho e chumbo (juntos representando 4% da massa). Painéis de filme fino (9% da produção anual global) consistem em mais de 98% de vidro, polímero e alumínio (resíduos não perigosos), mas também quantidades modestas de cobre e zinco (juntos cerca de 2% da massa), o que é potencialmente perigoso para o meio ambiente. Eles também contém semicondutores ou materiais perigosos, como índio, gálio, selênio, cádmio telúrio e chumbo. Materiais perigosos precisam de tratamento especial e podem se enquadrar em uma classificação de resíduos específica, dependendo da jurisdição.

Os elementos citados são classificados como resíduos perigosos, causando toxicidade aguda ou crônica de alta gravidade aos seres vivos e, geralmente, os casos de contaminações registrados ocorrem pelo incorreto descarte desses produtos no meio ambiente (MOSCHEM e GONÇALVES 2020).

Com a velocidade no aumento do consumo de tecnologias fotovoltaicas, associado ao infeliz histórico de comportamento humano em descartar de forma

inadequada materiais inservíveis e principalmente os contaminantes, conclui-se um prognóstico de desequilíbrio entre as ações prejudiciais ao meio ambiente e as pautadas na qualidade de vida para as futuras gerações.

A participação imediata dos responsáveis pelas decisões envolvendo um futuro energético sustentável no país é importante para que se esteja preparado a receber de forma gerencial os grandes fluxos estimados de resíduos fotovoltaicos aguardados para os próximos anos (EPE 2020). A gestão de fim de vida dos módulos promoverá a criação de desenvolvimento sustentável e geração de oportunidades em diversos setores (ABSOLAR 2020).

Diante deste cenário, países que implantaram o uso da energia fotovoltaica por um período maior que o Brasil, vem demonstrando preocupações com as quantidades de resíduos produzidos por esta tecnologia, e empenhando esforços e investimentos na busca de formas para a criação de meios que associem o crescimento tecnológico com o econômico e prioritariamente respeitando as metas ambientais.

Os objetivos alcançados por esses países permitem que se absorvam suas experiências promovendo-se no âmbito nacional modelos de abordagens para soluções aplicáveis voltadas a geração de resíduos fotovoltaicos. Estados, municípios, comercializadores de produtos fotovoltaicos e empresas especializadas em gestão de resíduos, precisam estabelecer iniciativas e operações para o desenvolvimento de projetos voltados a este segmento.

Outro fator pertinente é a participação de políticas e legislações empenhadas em incentivar empresas de gestão de resíduos fotovoltaicos, promovendo arrecadações de taxas no momento da compra desses componentes para que estas possam ser revertidas em investimentos no setor, auxiliando-as essas no desenvolvimento e aquisição de tecnologias capazes de extrair ao máximo todos os elementos de valor contidos nos módulos. Há inúmeras estratégias existentes visando formas rentáveis e sustentáveis para proporcionar um bom modelo de gestão de fim de vida de módulos fotovoltaicos. O fator decisivo para o sucesso desses empreendimentos é sua implantação imediata.

## 7.2 LEGISLAÇÕES NO SETOR FOTOVOLTAICO

Inicialmente é preciso entender que componentes fotovoltaicos inservíveis se caracterizam como resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, por serem elementos de geração de correntes elétricas e são representados pelas siglas REEE ou WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment* – Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos), o que atribui responsabilidades a todos os envolvidos na cadeia comercial pela logística reversa destes produtos (ABSOLAR 2020).

Medidas estabelecidas pelo Governo Federal promovem significativas ações para a aplicação da logística reversa (MMA). Inicialmente cita-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei nº 12.305 de 02/08/2010) que atribui responsabilidades na gestão de resíduos sólidos por parte daqueles que o produzem e do poder público. O seu artigo nº 33 obriga fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a organizar e implementar a logística reversa para seus produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza e manejo de resíduos (L12305-Planalto 2010).

Outra iniciativa importante foi o decreto Nº 9177 de 23/10/2017 que criou normas que asseguram a isonomia nos cumprimentos das obrigações atribuídas à logística reversa de produtos e embalagens por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, assim, todas as empresas envolvidas na operacionalidade de produtos estão sujeitas a mesma regra (D 9177-Planalto 2017).

Em 2019 foi firmado o Acordo Setorial para a Logística Reversa, um documento que complementa a Lei 12.305 estabelecendo algumas metas a todos os setores que participam da produção e comercialização de equipamentos eletroeletrônicos por criarem pontos adequados de coletas e destinação final desses produtos (GREEN ELETRON 2021). Visando aprimorar uma destinação ambientalmente adequada aos REEEs, foi formalizado o Decreto Federal 10240/2020 que complementa o Decreto nº 9.177 de 23 de outubro de 2017, impondo à implementação de sistemas de logísticas reversas para produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso domiciliar (Senado Federal 2020).

A promulgação do Decreto Federal 10240/2020 requer melhores debates e contextualizações, pois ela limita a executoriedade das operações de logística reversa apenas a equipamentos eletroeletrônicos de uso domiciliar, isentando responsabilidades ao setor de geração centralizada por seus módulos aplicados no setor industrial. A ausência de um vínculo jurídico envolvendo as grandes usinas fotovoltaicas (UFVs) no que tange a logística reversa de seus componentes depreciados deixa este setor sem uma legislação específica, abrindo precedentes para ações inadequadas no gerenciamento de fim de vida de seus equipamentos (ABSOLAR 2020).

Promover Intercâmbios de ideias com empresas e setores internacionais que possuam expertise nas atividades de logística reversa do setor fotovoltaico, permitirá encontrar soluções para as fragilidades envolvendo as questões legais pertinentes a gestão de resíduos fotovoltaicos no cenário brasileiro (IRENA, IEA-PVPS 2016). Um bom modelo regulatório que se aplicado a países incipientes no setor fotovoltaico que garantirá bons resultados, são os estabelecidos na Europa.

A União Europeia (UE) atualmente vem aplicando um excelente modelo de ações e regulamentações particularmente direcionado para os resíduos fotovoltaicos, determinando metas para testes de materiais perigosos, tratamento, descarte e reciclagem desses produtos. Suas diretivas baseiam-se no princípio de responsabilidade estendida ao produtor, exigindo que os fornecedores de módulos fotovoltaicos financiem os processos de coleta e reciclagem dos módulos independentemente de qual localidade estes estejam localizados, implantando assim a Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e eletrônicos da União Europeia (IRENA, IEA-PVPS 2016).

Esta diretiva cria estruturas legais para resíduos de módulos fotovoltaicos e atribui responsabilidade por promover as ações relativas em todos os processos envolvidos no gerenciamento desses resíduos a todos os 28 países que constituem a União Europeia. Suas tratativas são voltadas fundamentalmente a gestões de financiamentos para operações de sistemas de lixo eletrônico, incluindo módulos fotovoltaicos (IRENA, IEA-PVPS 2016). A Diretiva REEE cria taxas para fomentar os custos de operacionalidade da logística reversa envolvendo os resíduos fotovoltaicos e principalmente atingir metas ambientais (ABSOLAR 2020).



Mesmo com todas as iniciativas que visam conduzir os resíduos eletroeletrônicos no Brasil a uma destinação adequada, promovendo meios que responsabilizem os integradores do ciclo comercial desses produtos a oferecer meios de promover uma logística reversa eficiente, é notório que em muitas vezes esta responsabilidade torna-se do próprio dono do projeto em que módulos fotovoltaicos estejam instalados (ABSOLAR 2020). Assim, propostas para o cenário nacional no gerenciamento de fim de vida dos módulos devem sugerir ou estabelecer diretrizes como:

Implantar em todos os níveis educacionais de ensino público e privado educação aplicada ao conhecimento do cenário e consequências dos resíduos eletroeletrônicos;

Ampla informação promovida pelos envolvidos na produção e comercialização dos módulos e poder público, especificando através de meios de comunicação e nos manuais e etiquetas dos módulos sobre a presença de elementos tóxicos e contaminantes em sua composição;

As taxas recolhidas na aquisição de módulos e sistemas fotovoltaicos devem ser distribuídas aos setores responsáveis para que haja reservas de recursos para garantir a aplicabilidade da logística reserva de módulos instalados por comercializadores e/ou instaladores que porventura tenham aberto processos de fechamento ou falência;

Incentivos fiscais elaborados exclusivamente para empreendimentos voltados a reciclagem de módulos fotovoltaicos com supervisão dos órgãos regulatórios, para que se evite que agentes econômicos usufruam desse benefício sem que realmente venha a contribuir com as operações de logística reversa, os chamados Free Riders;

Regulamentações definidas ao setor de geração centralizada fotovoltaico, para que se estabeleça a isonomia dos critérios da lei;

Promover ações conjuntas com instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico com o objetivo de desenvolver propostas voltadas a soluções e aproveitamento de módulos descomissionados;

Divulgação transparente e orientação aos consumidores que adquirirem módulos fotovoltaicos aos meios acessíveis para um correto descarte;

Meios que permitam identificar a origem da empresa fabricante do módulo fotovoltaico, para que se possa localizar de forma assertiva seu fabricante (Ex: Logomarca do fabricante impressa na moldura de alumínio);

Desenvolver no processo de fabricação, meios que possibilite a troca de componentes danificados no módulo de forma a apenas substituí-lo (Ex: o vidro), e não ter que depreciar o módulo por completo devido a um único elemento danificado;

Criação de unidades de capacitação profissional especializada em recuperação e reciclagem de módulos fotovoltaicos.

Muitas alternativas adequadas podem ser encontradas e aplicadas aos módulos fotovoltaicos descartados e outros tipos de resíduos se houver empenho e dedicação dos setores empresariais e de gestão pública. Tais parcerias e decisões vão além da promoção de meios que envolvam ações socioeconômicas e ambientais, é acima de tudo, a garantia da habitabilidade dos seres vivos no planeta.

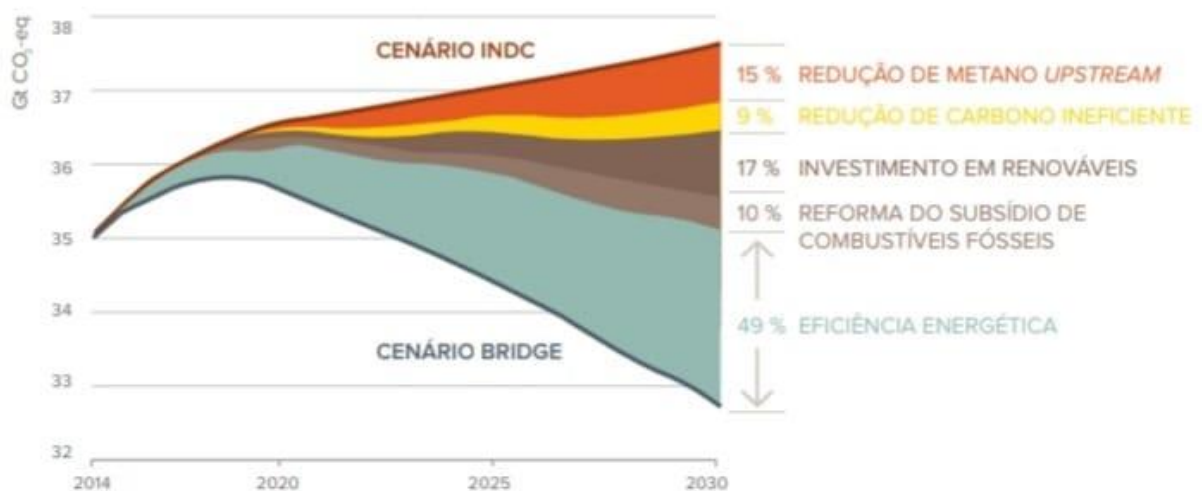
Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, Artigo 225 da Constituição Federal de outubro de 1988).

### **7.3 A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE ENERGIA**

Com o objetivo de desenvolver melhorias no consumo de energia, a ISO 50001 estabelece requisitos para a gestão de energia aplicáveis a todos os tipos de organizações, setores públicos e residências, melhorando seus desempenhos e eficiência energética, reduzindo emissões de gases estufa e demais impactos ambientais (ABNT 2011). Com a implementação dos requisitos desta norma, estabelece-se uma integração entre o gerenciamento de energia e os de qualidade (ISO 9001) e ambiental (ISO 14001).

A norma ISO 50001 coaduna as experiências na gestão de energia de várias organizações existentes no mundo. No Brasil esse documento está impresso de forma integral na Norma ABNT NBR ISSO 50001, suas orientações facilitam e conduzem a decisões mais coerentes para gerir a energia de forma mais efetiva promovendo resultados satisfatórios, principalmente, nas reduções de impactos ambientais (ABNT 2011).

Gráfico 3- Redução de gases estufa através da aplicação da ISO 50001



Fonte: <<https://www.paseidireto.com/arquivo/28935743/guia-para-aplicação-da-norma-abnt-nbr-iso-50001-gestao-de-energia>>, acesso em 14 nov. 2022

As orientações propositivas contidas na Norma ISO 50001 conduzem a:

Implantar políticas voltadas ao uso mais eficiente da energia e proposição de metas para que sejam efetuadas.

Coleta de dados dos recursos energéticos para melhor entendimento e tomada de decisões a respeito do uso da energia.

Associar-se a outros sistemas de gestão, projetos de mitigação de poluentes e implantação de eficiência energética através da cadeia de suprimentos.

Avaliar os resultados obtidos na condução das normas de gestão de energia e estabelecer melhorias contínuas.

## **8 CONCEITO DE MISSÃO, VISÃO E VALORES**

Missão.

A missão se originou junto a religião através dos Jesuítas que enviavam seus integrantes para longe, o termo foi instalado no meio militar realizações de operações táticas. Nas organizações o termo está voltado para o planejamento estratégico e define a proposta em função do seu negócio.

Portanto a missão é a representatividade do papel em que a empresa atua em seu negócio tentando explicar o que faz e como faz de um posicionamento estratégico.

Segundo Scott, Jafe e Tobe (1998), a missão deve possuir enunciados simplistas que aponte para uma direção e de ênfase no propósito da sua existência, mostrando onde quer chegar

Visão.

O termo visão tem origem do latim com o significado de “algo visto na imaginação ou algo sobrenatural.” Na atualidade tem significado de “acreditar ver em sonhos”.

Trazendo para o mundo corporativo, a visão faz parte do planejamento estratégico da empresa apontando o que espera ser e realizar em um intervalo de tempo determinado. Serve de guia para os colaboradores mostrando o futuro, mas sem fugir da sua realidade, e de que forma o trabalho deve ser realizado para atingir os resultados.

Valores.

O termo vem do Latim e tem como um dos significados “preço atribuído a alguma coisa”, nota-se que há uma relação de um bem apreciável e a moeda corrente local em um determinado país.

Segundo Ana Vitória Sandoval Ferreira no mundo corporativo, o valor faz parte do planejamento estratégico referindo as convicções a respeito do que se considera importante para a realização de objetivos.

O termo estratégico está organizado por ordem de prioridade e diferencia o que é central e perimetral, desejável e indesejável.

Para as pessoas, as escolhas estão relacionadas aos valores que podem mostrar de acordo com o ponto de vista de cada um o que é bom ou ruim, certo ou errado.

De acordo com (ZANELLI; SILVA, 2008) citada por Ana Vitória Sandoval Ferreira, são expressões dos valores presentes na organização: as tomadas de decisão, as estratégias, os objetivos, os comportamentos que são continuamente reforçados pelo sistema de recompensa.

## **8.1 MISSÃO, VISÃO E VALORES ANALISADA**

Missão.

Oferecer a nossos clientes soluções eficientes no gerenciamento e reciclagem de resíduos de módulos fotovoltaicos, contribuindo com o meio ambiente e um futuro melhor para as próximas gerações.

Visão.

Ser reconhecida como a melhor empresa do Brasil em gestão de resíduos e reciclagem de módulos fotovoltaicos.

Valores.

Respeitar o meio ambiente;

Trabalhar com responsabilidade social;

Agir com transparência e ética;

Preocupar com a sustentabilidade do planeta.

## **9 ESTRATÉGICA DE NEGÓCIO**

Estratégia de negócios são ferramentas poderosas para ajudar a alcançar os objetivos nos negócios, definindo as estratégias e táticas necessárias para sua empresa. Ela também direciona nas decisões a serem tomadas pelas organizações, contribui para expansão de novos negócios e seu posicionamento no mercado. Para novas empresas que estão entrando no mercado é necessário entender qual é a melhor estratégia para conseguir se firmar no mercado diante dos seus concorrentes.

### **9.1 OPORTUNIDADE DE NEGÓCIO**

Oportunidade de negócio é uma determinada situação que favorece a criação de um projeto, serviço ou produto que atenda a necessidade de um público consumidor.

Com o consumo de energia cada vez maior há uma grande preocupação com a sustentabilidade do planeta, o que possibilita novos nichos de mercado que colaboram para que outras companhias economizem recursos agregando valor.

Para atender a demanda por energia elétrica, grandes empresas têm investido cada vez mais em energia fotovoltaicas, devido a essa tendência de crescimento uma grande quantidade de resíduos vem sendo gerado.

No Brasil existe apenas uma única empresa especializada em resíduos fotovoltaicos, e, portanto, há uma grande oportunidade de explorar esse mercado, outro fator favorável está na falta de gerenciamento dos resíduos de módulos fotovoltaicos e grande volume a ser descartado nos próximos anos, atualmente os bancos disponibilizam créditos voltado para o setor de energia solar com taxa de juros mais baixas que variam entre 0,75% a.m e 1,54% a.m.

Atualmente existem no Brasil aproximadamente 31 siderúrgicas e 147.606 metalúrgicas, essas empresas têm grande potencial de ser clientes parceiras do

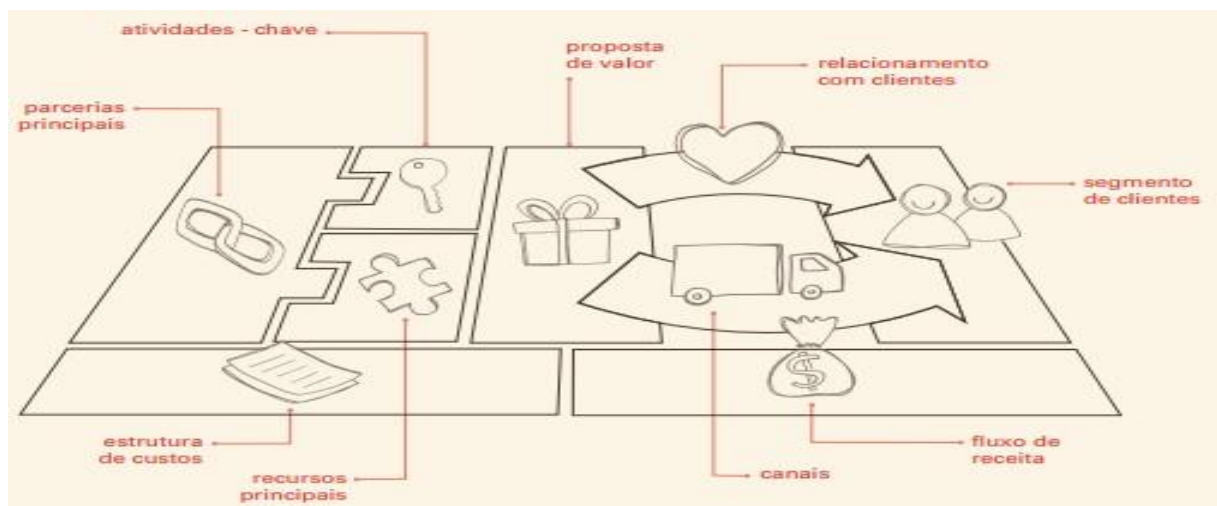
negócio, a ABSOLAR aponta que existem 44.357 usinas solares atualmente em funcionamento, e um crescimento de 14% dos resíduos fotovoltaicos até 2030.

## 9.2 CANVAS

O quadro de modelo de negócio conhecido como canvas foi desenvolvido pelos pesquisadores Alexander Osterwalder e Yves Pigneur, eles enxergaram a necessidade criar uma ferramenta que pudesse dar suporte a inovação e colaboração dos negócios. Essa ferramenta faz analogia a tela de um pintor, de acordo com o guia de negócios SEBRAE (PG.15) o quadro possui nove blocos que permitem pintar imagens de modelos de negócios.

O quadro é um mapa de negócio divididos em blocos em que cada bloco representa uma atividade do negócio que sendo implantado.

Figura 11- Modelo de Negócio



Fonte: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/conteudos/planodenegocio>> acesso em 15 jun. 2022

Os 9 blocos do quadro de negócio tentam responder 9 perguntas para que se tenha uma visão mais ampla do projeto.

Seguimento de Clientes: Para quem estamos criando valor

Proposta de valor: Que valor entregamos a nossos clientes por meio de nossos produtos e serviços?

Canais: Como alcançaremos e queremos alcançar nossos clientes?

Relacionamento com clientes: que tipo de relacionamento esperamos ter com nossos clientes?

Fonte de Receitas: Quanto os clientes estão dispostos a pagar?

Recursos Principais: Quais os principais recursos que nossa proposta de valor requer?

Atividades-Chave: Quais as principais atividades requeridas por nossa proposta de Valor?

Parcerias principais: Quem são nossos principais parceiros e fornecedores?

Estrutura de Custos: Quais são nossos principais custos?

O objetivo do quadro é ajudar empreendedores iniciantes a colocar suas ideias no papel e empresário a inovar e adicionar valor aos seus projetos, rever o negócio, repensar estratégias, melhorar processos, aumentar vendas, reduzir custos e obter margens melhores (Guia de negócio Sebrae, PG. 17).

Figura 12- Quadro de negócio de gestão e reciclagem de módulos fotovoltaicos



Fonte: Elaboração própria



### 9.3 PROPOSTA DE VALOR

A proposta de valor pode ser entendida como sendo o valor que um cliente julga ser valioso para iniciar um relacionamento com a empresa, podendo manter laços a longo prazo. Essa relação da pessoa ou clientes com a empresa proporciona uma gestão eficiente agregando o valor que cada cliente necessita ao longo de sua vida útil como consumidor.

Ou seja, a proposta de valor representa o benefício que ele absorverá ao consumir o produto e pode ser apropriada como a utilidade que ele é capaz de entregar para o usuário (MANKIWI, 2001) (Alivinio Almeida: esse citou o autor Mankiw).

Quando as empresas olham para a proposta de valor elas estão interessadas em dois momentos, o primeiro é o momento atual e suas relações com os clientes, o segundo momento está voltado para o futuro buscando um incremento financeiro maior e relacionamentos contínuos a longo prazo.

Quando uma empresa entrega um valor superior as expectativas dos clientes, conseguem alcançar o favoritismo, expandir sua atuação no mercado e conseqüentemente alcançar maior lucratividade, e, portanto, passa ter vantagem competitiva. Outra vantagem para a empresa é que os custos são reduzidos na conquista de novos clientes assim também como na oferta de seus serviços. Devido a essas vantagens é importante saber que os clientes percebem o quanto o negócio é valioso, gerando a necessidade cada vez maior de reter clientes para garantir receitas cada vez maiores no longo prazo.

O quadro abaixo mostra a percepção de valor sob o olhar da empresa ofertante do serviço.

Quadro 1- Proposta de valor

<b>PERGUNTAS A SEREM FEITAS</b>	<b>PERCEPÇÃO DE VALOR</b>
<b>Que valor oferecemos ao cliente?</b>	Oferecemos a gestão e o controle de descarte de módulos fotovoltaicos danificados ou em fim de sua vida útil.
<b>Quais dos problemas de nossos clientes estamos ajudando a resolver?</b>	O acúmulo de lixo de módulos fotovoltaicos não utilizáveis.
<b>Que pacote de produtos e serviços oferecemos a cada segmento de clientes?</b>	Monitoramento dos resíduos fotovoltaicos, logística reversa, pontos de coletas e destinação final dos resíduos e reciclagem
<b>Que necessidades dos clientes estamos atendendo?</b>	Redução de custo, ganho financeiro, reconhecimento ambiental no mercado.

Fonte: Elaboração própria

#### **9.4 ESTRUTURA DE MERCADO**

Estrutura de mercado são modelos que mostram como os mercados são organizados, existem diversas estruturas e cada uma delas representam a interação entre a oferta e demanda, tendo como base as características de um mercado existente, independente do modelo da estrutura, em todas elas os agentes estão sempre visando o lucro. Cada uma delas é composta por três principais variáveis:

- a) Número de empresas que estão produzindo no mercado
- b) Diferenciação de produtos
- c) Barreiras existentes a entrada de novas empresas

### 9.4.1 Tipos de estruturas de mercado

Concorrência perfeita: Têm como característica grande números de compradores e vendedores, onde nenhuma empresa sozinha consegue influenciar os preços de mercado, ou seja, os preços são regulados pelo próprio mercado

Nesse tipo de estrutura os produtos são homogêneos, podendo ser um bem substituto entre si, os consumidores têm informações e conhecimento sobre o preço praticado no mercado pelas empresas ofertantes.

Monopólio: Nesse tipo de estrutura o setor é dominado por uma única firma, ou seja, existe apenas um produtor ofertando produtos, matérias primas ou serviços, por ser exclusiva consegue impor seu preço aos consumidores. Nessa estrutura de mercado não existe um produto próximo que possa ser substituído e os consumidores concorrem entre si na busca pelos produtos, matérias primas ou serviços produzidos pela empresa dominadora.

Oligopólio diferenciado: É um tipo de estrutura de mercado que se caracteriza pelo pouco número de empresas dominando o mercado, o setor produtivo brasileiro é altamente oligopolizado como por exemplo a indústria automobilística, quando analisamos o cenário da energia solar, notamos uma tendência de crescimento no setor, algumas empresas surgiram dominando uma parte desse mercado, temos como exemplo a SunR que faz a reciclagem de módulos fotovoltaicos.

Concorrência monopolista ou imperfeita: Nesse tipo de estrutura de mercado, existem várias empresas atuando no mercado, tendo como característica principal a concorrência imperfeita, onde, as firmas produzem produtos diferenciados, mas ainda sim são produtos que muito próximos que podem ser substitutos.

A diferenciação dos produtos nesse tipo de mercado baseia-se principalmente pela aparência física, potência, composição química, mas também pode ser através do marketing com promoções de vendas, tipo de atendimentos e brindes.

Monopsônio: Nesse tipo de estrutura de mercado existe apenas um comprador e vários vendedores, portanto o comprador exerce grande influência no preço de mercado, geralmente varia a quantidade comprada impondo seu poder de barganha

na compra do produto ou serviços. O monopsônio é o inverso da estrutura do monopólio.

Oligopsônio: Nesse tipo de estrutura de mercado, existem poucos compradores e vários vendedores, os compradores têm o poder de barganha e conseguem determinar o preço de compra dos serviços e produtos, os ganhos estão relacionados com a elasticidade da oferta.

## 9.5 CONCORRENTES

São empresas que ofertam produtos ou serviços iguais ou muito semelhantes. Atuam no mesmo seguimento de público, geralmente estão localizados em uma mesma região.

O mercado de reciclagem de resíduos fotovoltaicos é um mercado novo com poucas empresas atuando, a principal concorrente é a empresa SunR especializada nesse segmento, porém a empresa não consegue reciclar todo o material que chega em sua instalação, outras empresas fazem a reciclagem de resíduos eletrônicos, mas não são especializadas em fotovoltaicos.

É importante acompanhar a movimentação do mercado, pois as empresas não especializadas no seguimento podem realizar manobras para adquirir uma fatia do mercado de resíduos fotovoltaicos.

As empresas abaixo possuem potencial para a conquistar uma fatia do mercado e representam uma ameaça no setor.

Tabela 10- Possíveis concorrentes

<b>CONCORRENTES</b>	<b>ATIVIDADES</b>
<b>Nossa empresa</b>	Gerenciamento, monitoramento e reciclagem de módulos fotovoltaicos
Coopermiti Digital	Reciclagem de lixo eletrônico
Green Eletron	Reciclagem de lixo eletrônico
Recicla Digital	Reciclagem de lixo eletrônico
<b>SunR</b>	Reciclagem de módulos fotovoltaicos

Fonte: Elaboração própria

## 9.6 CURVA DE VALOR

A curva de valor tem como objetivo principal mostrar o posicionamento das empresas concorrentes em relação a ideia de inovação que se pretende inserir no mercado, conhecida como estratégia dos oceanos, a curva de valor é representada através de um gráfico composto por linhas ou curvas representando cada concorrente permitindo entender como está o desempenho dos concorrentes no seguimento de mercado, no gráfico é inserido alguns atributos de valor que pode ser quantificados através de uma escala, no modelo abaixo foi utilizado uma escala que varia de 1 a 5, sendo a classificação 1 o pior cenário e 5 o melhor cenário.

Quadro 2-Índice de comparação curva de valor (a)

<b>Empresas</b>	<b>Segurança</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Localização</b>	<b>Processos</b>
Nosso negócio	4	5	4	5	4
SunR	3	3	3	1	4
Green Eletron	2	3	4	2	4
Recicla Digital	1	1	2	1	3
Coopermiti Digital	2	1	1	1	1

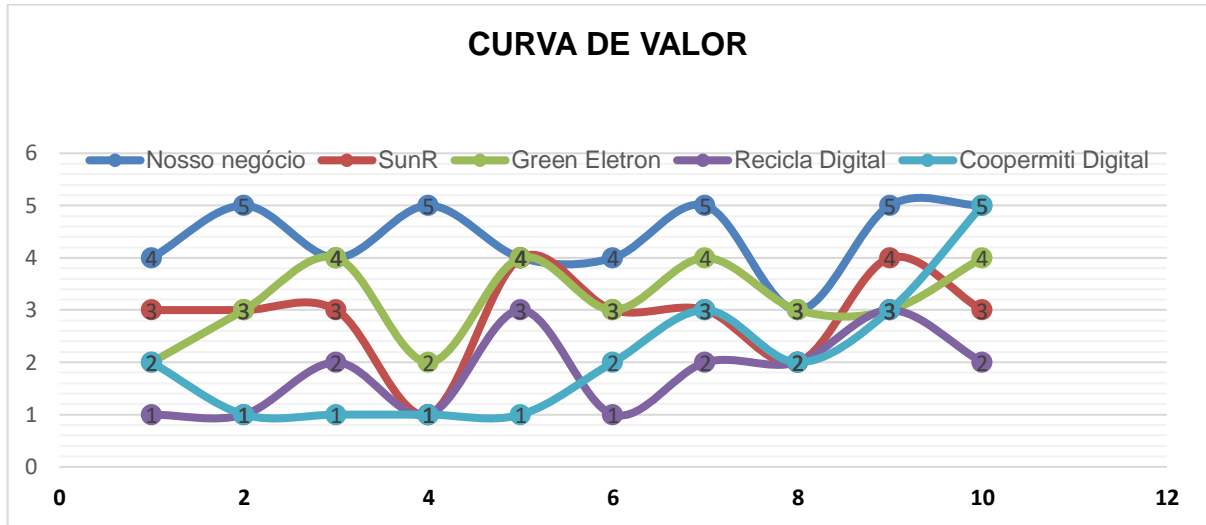
Fonte: Elaboração Própria

Quadro 3-Índice de comparação curva de valor (b)

<b>Empresas</b>	<b>Atendimento digital</b>	<b>Prazo</b>	<b>Conforto físico</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Atendimento</b>
Nosso negócio	4	5	4	5	5
SunR	3	3	3	4	3
Green Eletron	3	4	4	3	4
Recicla Digital	1	2	2	3	2
Coopermiti Digital	2	3	1	3	5

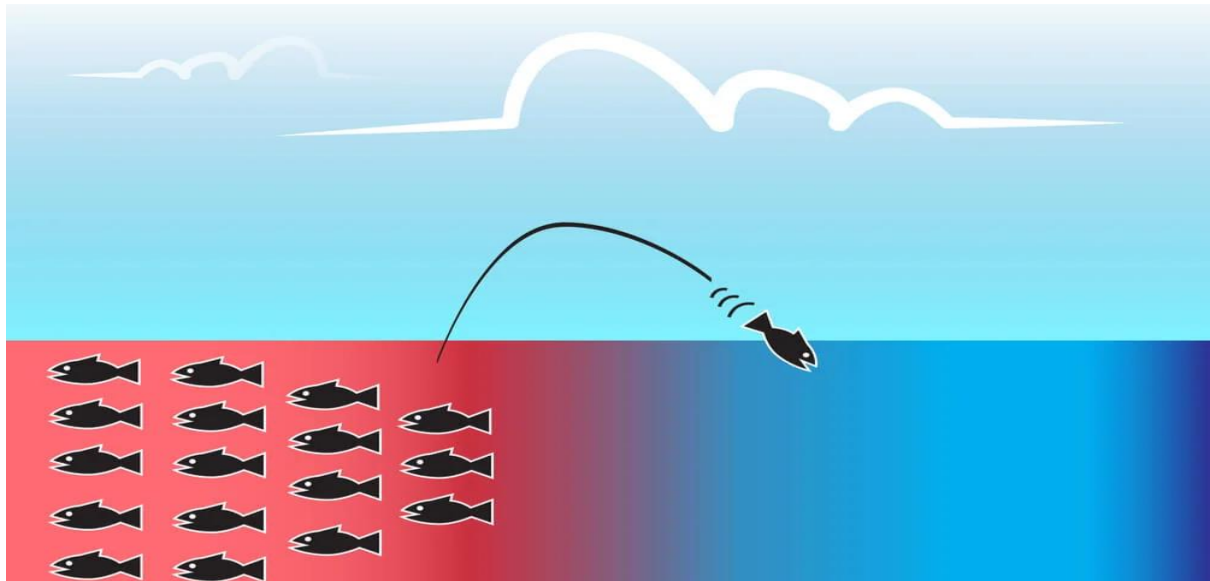
Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 4- Curva de Valor



Para os autores r W. Chan Kim e Renée Mauborgne essa estratégia está dividida em duas categorias que foi chamada de Oceano vermelho e Oceano Azul. Oceano Vermelho, as regras competitivas do mercado são conhecidas e, portanto, os limites são conhecidos e aceitos. Nessa categoria as empresas brigam por uma fatia maior do mercado tentando superar as suas concorrentes, essa competição acaba estrangulando o mercado diminuindo cada vez mais a expectativa de lucro e crescimento de cada empresa, ficou conhecida como “briga de foice” que tem como resultado o sangramento das águas deixando o oceano vermelho. Oceano Azul, as empresas com ideias inovadoras adotam estratégias diferentes que agregam valor aos consumidores, essas ideias são conhecidas como inovação de valor, a ideia principal dessa estratégia é deixar de lado a briga com os concorrentes focando em tornar a concorrência irrelevante gerando valor para os compradores e para a empresa. A empresa passa então a desbravar novos mercados inexplorados, onde, os autores fazem uma analogia a novos oceanos de águas azuis.

Figura 13-Representação da estratégia Oceano azul



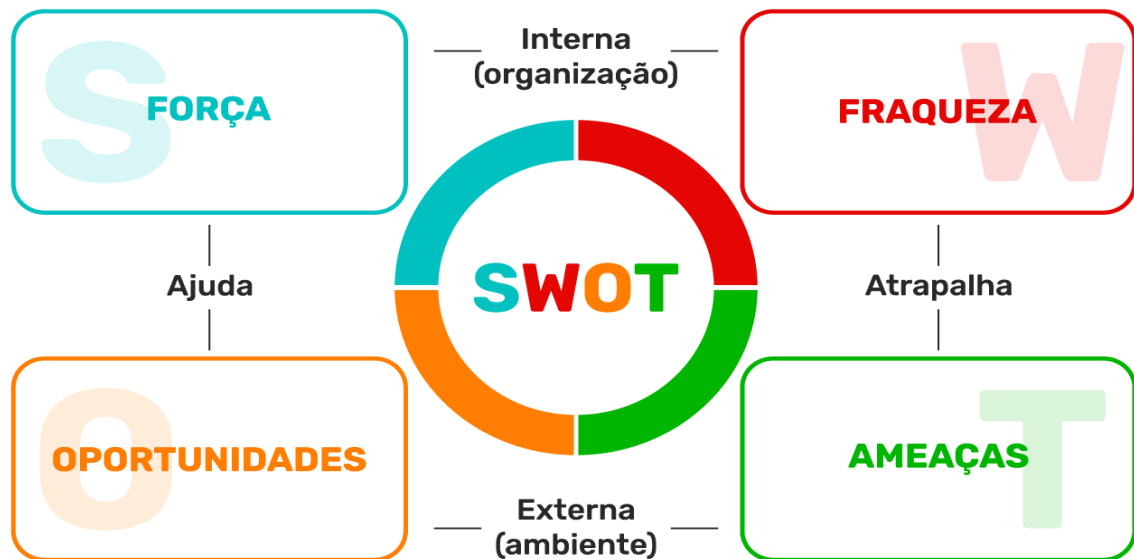
Fonte: < <https://capitalsocial.cnt.br/curva-de-valor/>> acesso em 3 nov. 2022

## 9.7 MATRIZ SWOT

A matriz swot analisa a competitividade de uma empresa fazendo comparações de pontos estratégicos diante dos concorrentes presente no mercado, essa análise é composta de quatro variáveis: Forças e fraquezas, oportunidades e ameaças.

De acordo com (RODRIGUES, et al., 2005) uma empresa será competitiva no longo prazo quando os pontos considerados fortes dentro de uma organização estão ajustados com os pontos críticos, quando esse alinhamento acontece a empresa passa a satisfazer as brechas existente no mercado.

Figura 14- Matriz Swot



Fonte: <<https://crmpiperun.com/blog/analise-swot-matriz-swot>> acesso em 19 jul. 2022

A matriz swot é uma ferramenta muito utilizada pelas empresas na gestão estratégica competitiva, nela, relaciona -se variáveis do ambiente externo, oportunidades e ameaças com as variáveis do ambiente interno forças e fraquezas, essas variáveis são distribuídas em quatro zonas no quadro Swot, o resultado da análise do cruzamento das variáveis é utilizado como indicador situacional na qual a empresa se encontra no mercado.

Para Chiavenato (2003), a principal função da matriz Swot está no cruzamento das oportunidades e as ameaças externas com os pontos fortes e fracos sob ótica interna, o resultado desse cruzamento serve de base para a gestão estratégica de organização.



## 9.8 AMBIENTE INTERNO

Forças.

As forças ou pontos fortes de uma empresa são variáveis internas que favorecem de forma positiva o ambiente na qual está inserida, essas forças ou pontos fortes são controlados pela própria organização podendo ser explorados para dentro do ambiente competitivo levando vantagem frente aos seus concorrentes e novos entrantes.

Fraquezas.

Para Martins (2007), as fraquezas são aspectos nocivos ou desfavoráveis que a empresa possui em relação ao seu segmento de negócio, apesar de ser prejudicial para um posicionamento estratégico esses fatores podem ser controlados pela própria empresa facilitando o planejamento.

## 9.9 AMBIENTE EXTERNO

Oportunidades.

São fatores positivos e favoráveis sob a ótica dos serviços prestados ou produtos realizados pela empresa em relação ao mercado no qual está posicionada ou em que está entrando. Esses fatores não podem ser controlados pela própria empresa, mas são muito significativos para o planejamento estratégico.

Ameaças.

Para Callaes (2006), ameaças são fatores, situações do presente ou potenciais que comprometem a empresa de atingir os seus objetivos estratégicos, portanto são aspectos negativo que não podem ser controlados, mas que são significativos para o planejamento estratégico.

## 9.10 MATRIZ SWOT ANALISADA

Na matriz Swot apresentada a seguir foram inseridos atributos em cada quadrante representado os fatores internos pelas Forças e fraquezas, e os fatores externos pelas oportunidades e ameaças.

Cada atributo possui um coeficiente que varia de 0 a 200, o resultado de cada quadrante é o somatório dos 5 itens analisado.

Quadro 4- Matriz Swot

<b>FATORES INTERNOS</b>	
<b>1.1 Top 5 Forças</b>	<b>1.2 Top 5 fraquezas</b>
A empresa tem um diferencial inovador	A eficiência operacional é um fator desfavorável
A equipe técnica é competente e entrosada	Alta rotatividade no quadro de funcionários
A tecnologia própria é essencial para o negócio	Custo logístico é um fator desfavorável
O produto é de qualidade	Base de clientes é pequena
A empresa será reconhecida no mercado	Infraestrutura é inadequada às necessidades
<b>2. FATORES EXTERNOS</b>	
<b>2.1 Top 5 Oportunidades</b>	<b>2.2 Top 5 das Ameaças</b>
Aproveita políticas governamentais	Economia de escala
Há expectativas de redução de impostos	Não há novos clientes entrando no mercado
Existem poucos concorrentes no mercado	Não há novas linhas de produtos
Economia local crescendo	Há um número limitado de recursos essenciais
Aproveita políticas governamentais	Necessidade de Capital

Fonte: Elaboração própria

O resultado do somatório de cada quadrante foi combinado entre si gerando um índice de referência em porcentagem, que mostra qual é a situação da empresa em relação ao mercado.

Gráfico 5-Índice de referência

Índice	200%	100%	30%	0	30%	100%	200%
<b>57%</b>							
	Muito desfavorável	Desfavorável	Equilíbrio	Favorável		Muito favorável	

Fonte: Elaboração própria

O Índice de 57% é favorável, isso significa que vale a pena continuar com o planejamento fazendo, mas adicionando ações de melhorias de forças e oportunidades e medidas de contenção de possíveis fraquezas e ameaças.

Tabela 11- Análise dos fatores internos e externos

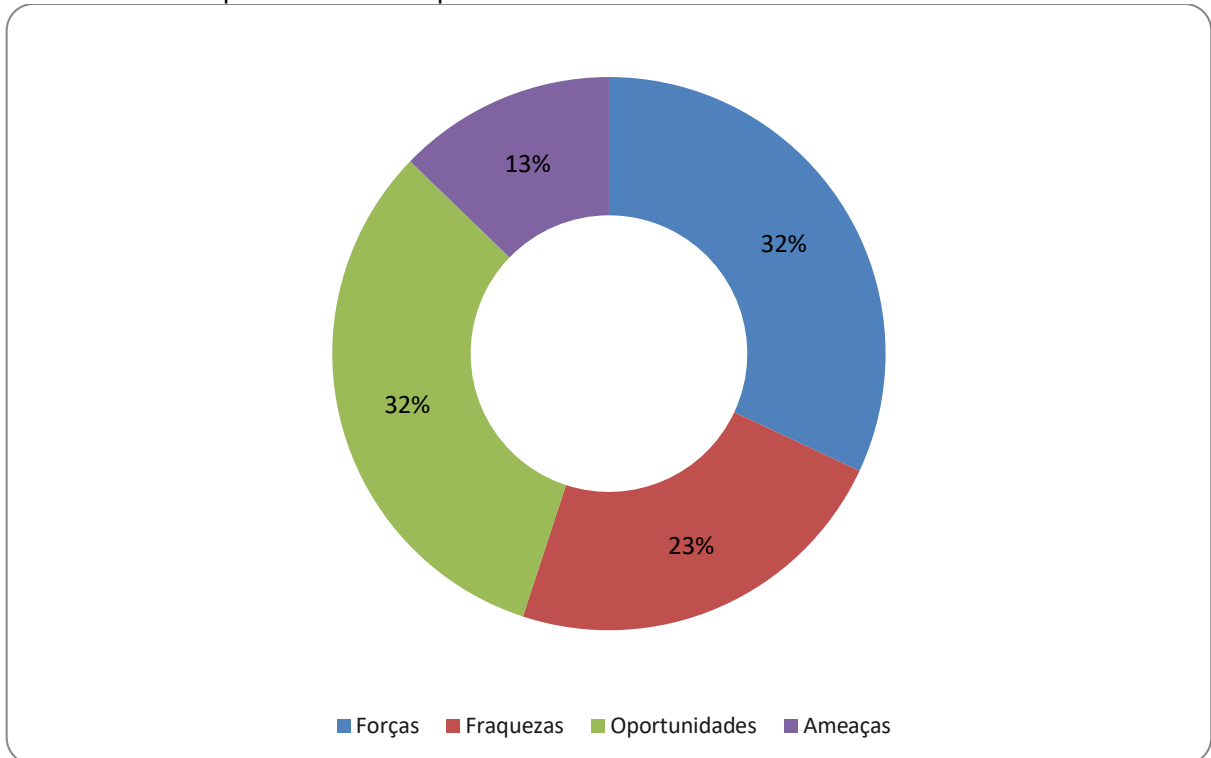
<b>Forças</b>	32%	Forças são mais altas do as fraquezas, portanto deve-se manter ou melhorar o resultado.
<b>Fraquezas</b>	23%	Fraquezas estão mais baixas que do que as forças, é um fator favorável, mas não se deve acomodar
<b>Oportunidades</b>	32%	Existem mais oportunidades do que ameaças, deve-se alinhar quais forças irão otimizar as chances de acontecerem de fato.
<b>Ameaças</b>	13%	Existem mais oportunidades do que ameaças, deve-se alinhar quais forças irão otimizar as chances de acontecerem de fato.

Fonte: Elaboração própria

De acordo com índices apresentado acima, as forças mostram que a empresa tem um diferencial inovador pois utiliza um sistema de gerenciamento e monitoramento de resíduos eficaz, as fraquezas por sua vez apontam que a eficiência operacional é um fator desfavorável uma vez que o modo de operação exige alto investimento, treinamentos constantes de pessoas e parcerias público privado o que pode se tornar o processo burocrático , as oportunidades se dão no aproveitamento das políticas governamentais de incentivo a geração de energia solar, já as ameaças ficam por conta das economias de escalas pois a empresa que está entrando no mercado é totalmente dependente da quantidade de módulos fotovoltaicos danificados e dos preços das matérias prima utilizadas no processo de fabricação.

O gráfico a seguir mostra a divisão percentual de cada quadrante analisado, podemos notar uma tendencia maior e favorável nas forças 32% e oportunidades 32%, por outro lado a fraquezas representam 23% enquanto as ameaças têm um percentual de 13%

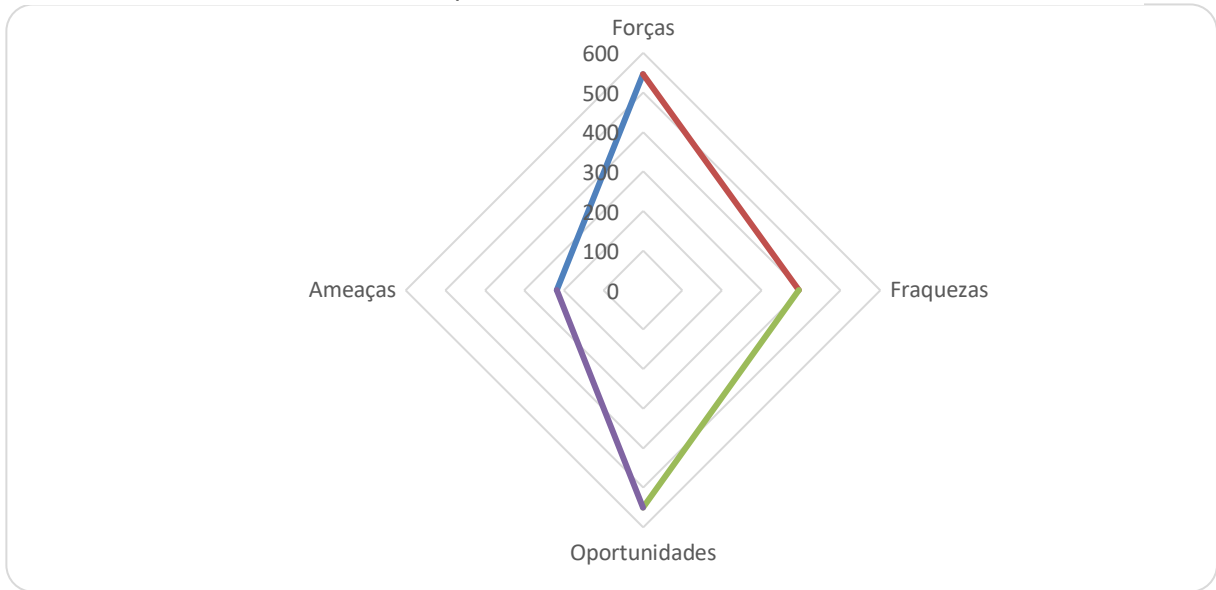
Gráfico 6- Divisão percentual dos 4 quadrantes



Fonte: Elaboração própria

Ao atribuir valores variando de 0 a 600 observa-se no gráfico, curvas com suas respectivas extremidades representando uma tendencia onde são direcionadas para as forças e fraquezas, oportunidades e ameaças. As extremidades mais acentuadas em direção as forças e oportunidades indicam um grau mais elevado em comparação com as ameaças e fraquezas, isso implica que o modelo analisado é favorável para inserção no mercado.

Gráfico 7- Curva de tendencia dos 4 quadrantes



Fonte: elaboração própria

A tabela abaixo é uma ferramenta utilizada para ajudar as empresas a escolherem qual é a melhor estratégia corporativa a ser seguida, para isso faz-se o cruzamento de uma coluna com uma linha de acordo com as análises internas e externas.

Cada letra encontrada no cruzamento representa algumas estratégias, e, portanto, deve-se optar por aquela que melhor se ajusta com a situação atual da empresa.

Temos como resultado da análise Swot a prevalência de forças e oportunidades, no cruzamento dos dois encontra-se a letra A.

Quadro 5- Cruzamento das variáveis interna com as externas

<b>INTERNA</b> <b>EXTERNA</b>	<b>Predomínio de</b> <b>forças</b>	<b>Equilíbrio</b>	<b>Predomínio de</b> <b>fraquezas</b>
<b>Predomínio de</b> <b>oportunidades</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>G</b>
<b>Equilíbrio</b>	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Ameaças críticas</b>	<b>C</b>	<b>F</b>	<b>I</b>

Fonte: Elaboração própria

Para a letra A temos 4 estratégias a seguir:

Crescimento interno

Integração horizontal

Integração vertical de empresas relacionadas

Fusões

Das estratégias citadas a mais adequada para o momento no qual a empresa se encontra é a Crescimento interno, seria inviável fazer fusões ou adquirir outras empresas uma vez que a empresa está entrando no mercado, um outro motivo para a escolha dessa estratégia é o fato da empresa querer preservar a sua cultura, eficiência, qualidade e inovação.

## 9.11 TRÊS CENÁRIOS

Os cenários são estudo de viabilidade econômica que fazem projeções de um negócio que está começando, e, sua principal finalidade é a de amenizar os riscos de investimentos. Para a análise destes cenários são levados em considerações os fatores internos e externos, oportunidades e ameaças conforme apresentado na análise Swot, essa metodologia é utilizada como ferramenta auxiliar no gerenciamento de riscos.

Para testar o modelo de negócio foi levado em consideração 3 cenários: Pessimista, realista e otimista, cada um desses cenários representam diferentes formas de crescimento, porém mesmo em um cenário que supostamente não seja favorável devido as aos fatores externos que são difíceis de controlar, em qualquer um deles o crescimento foi sempre positivo. O que explica isso é o crescimento exacerbado na geração de energias elétrica através de sistemas fotovoltaicos.

Abaixo estão representados os 3 cenários analisados tendo a Selic como taxa básica de juros, um payback satisfatório de 5 anos e o ponto de equilíbrio de 2 anos.

O payback mostra o tempo que o investimento demora para pago, é nesse momento que a empresa começa a gerar lucros pois deixa de vender para cobrir somente as despesas.

Já o ponto de equilíbrio mostra quando as receitas se igualam as despesas, a partir desse momento a empresa começa a ser viável financeiramente, podendo atrair investimentos e expandir seu negócio.

Pessimista - O alto custo dos painéis solares atrelado ao dólar alto, extensão da pandemia, aumento do desemprego e retração da economia.

Tabela 12- Cenário pessimista

<b>Indicadores de retorno – Cenário pessimista</b>	
Taxa de referência SELIC	14,80% a.a
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	15,00% a.a
VPL (Valor Presente Líquido)	R\$ 203.557,77
TIR (Taxa Interna de Retorno)	16,23%
Payback (tempo necessário até começar a ter lucro)	12 Anos
Investimento inicial	R\$ 18.004.000,00
Ponto de equilíbrio	Ano 7

Fonte: Elaboração própria

Realista – Inflação alta, crescimento baixo do PIB, geração de empregos.

Tabela 13- Cenário realista

<b>Indicadores de retorno – Cenário realista</b>	
Taxa de referência SELIC	13,75% a.a
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	14,50% a.a
VPL (Valor Presente Líquido)	R\$ 711.237,90
TIR (Taxa Interna de Retorno)	28,60% a.a
Payback (tempo necessário até começar a ter lucro)	5 Anos
Investimento inicial	R\$ 18.004.000,00
Ponto de equilíbrio	Ano 3

Fonte: Elaboração própria

Otimista - Fim da pandemia, crescimento da economia, crise hídrica, financiamentos voltados para o setor em energia solar, taxa de câmbio baixa, juros baixos.

Tabela 14- Cenário otimista

<b>Indicadores de retorno – Cenário otimista</b>	
Taxa de referência SELIC	3,70% a.a
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	6,30% a.a
VPL (Valor Presente Líquido)	R\$ 1.760.164,34
TIR (Taxa Interna de Retorno)	35%
Payback (tempo necessário até começar a ter lucro)	2 Anos
Investimento inicial	R\$ 18.004.000,00
Ponto de equilíbrio	Ano 1

Fonte: Elaboração própria

Mantendo o mesmo investimento nos 3 cenários e fazendo uma comparação entres eles, notamos que a TIR manteve-se sempre maior do que a TMA, o VPL por sua vez apresentou sinal positivo mostrando ser uma variável favorável na tomada de decisão na análise econômica, por outro lado, o payback no cenário pessimista ficou muito acima do aceitável de 5 anos, no mesmo cenário o ponto de equilíbrio não



apresentou um valor favorável, a empresa neste caso ira demorar 7 anos para que as receitas iguaem às despesas.

## **10 FLUXO DE CAIXA**

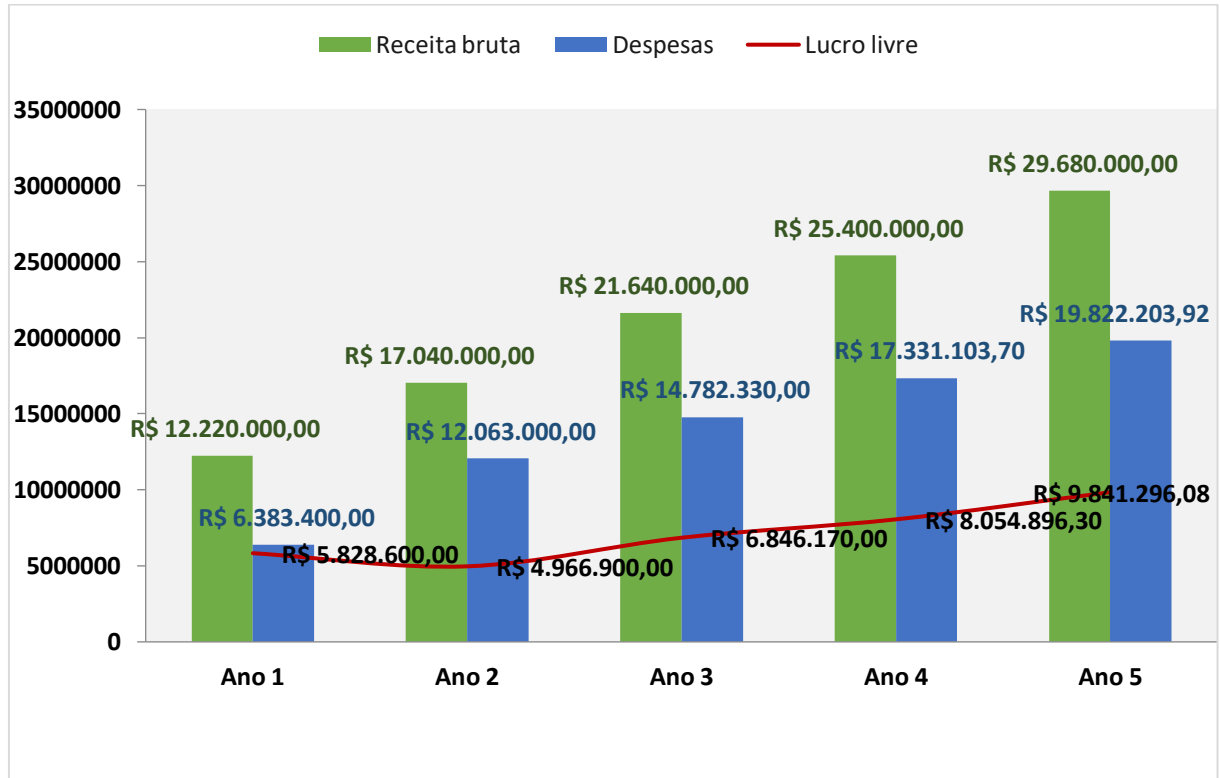
O fluxo é uma ferramenta utilizada para entender a movimentação do dinheiro no caixa da empresa, ou seja, todo o dinheiro recolhido e gasto por uma empresa em um determinado período é chamado de fluxo de caixa.

Essa ferramenta é um instrumento para análise de viabilidade econômico-financeira fazendo projeções de períodos futuros indicando como deve ser o comportamento do saldo no caixa da empresa para o período projetado.

Através do fluxo de caixa pode-se calcular alguns índices importantes tais como: Rentabilidade, Lucratividade, ponto de equilíbrio e payback, esses índices quando analisados em conjuntos contribuem para respostas objetivas nas tomadas de decisões.

O gráfico a seguir representa um fluxo de caixa, nele estão contidos as receitas, despesas e o lucro líquido.

Gráfico 8- Fluxo de caixa econômico



Fonte: Elaboração própria

Alinha de tendência representa a curva de crescimento do lucro líquido para o período projetado, do ano 1 para o ano 2, a há uma leve declinação, mas ainda assim o resultado é positivo. Para os anos seguintes a inclinação da mostra um crescimento contínuo, isso significa que o lucro líquido do ano posterior é sempre maior quando comparado ao ano anterior.

## **11 PROJETO EMPRESA**

De acordo com o manual PMBOK (2017) projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único. Produto, serviço ou resultado único. Projetos são realizados para cumprir objetivos através da produção de entregas.

Um objetivo é definido como um resultado a que o trabalho é orientado, uma posição estratégica a ser alcançada ou um propósito a ser atingido, um produto a ser produzido ou um serviço a ser realizado. Uma entrega é definida como qualquer produto, resultado ou capacidade único e verificável que deve ser produzido para concluir um processo, fase ou projeto. As entregas podem ser tangíveis ou intangíveis.

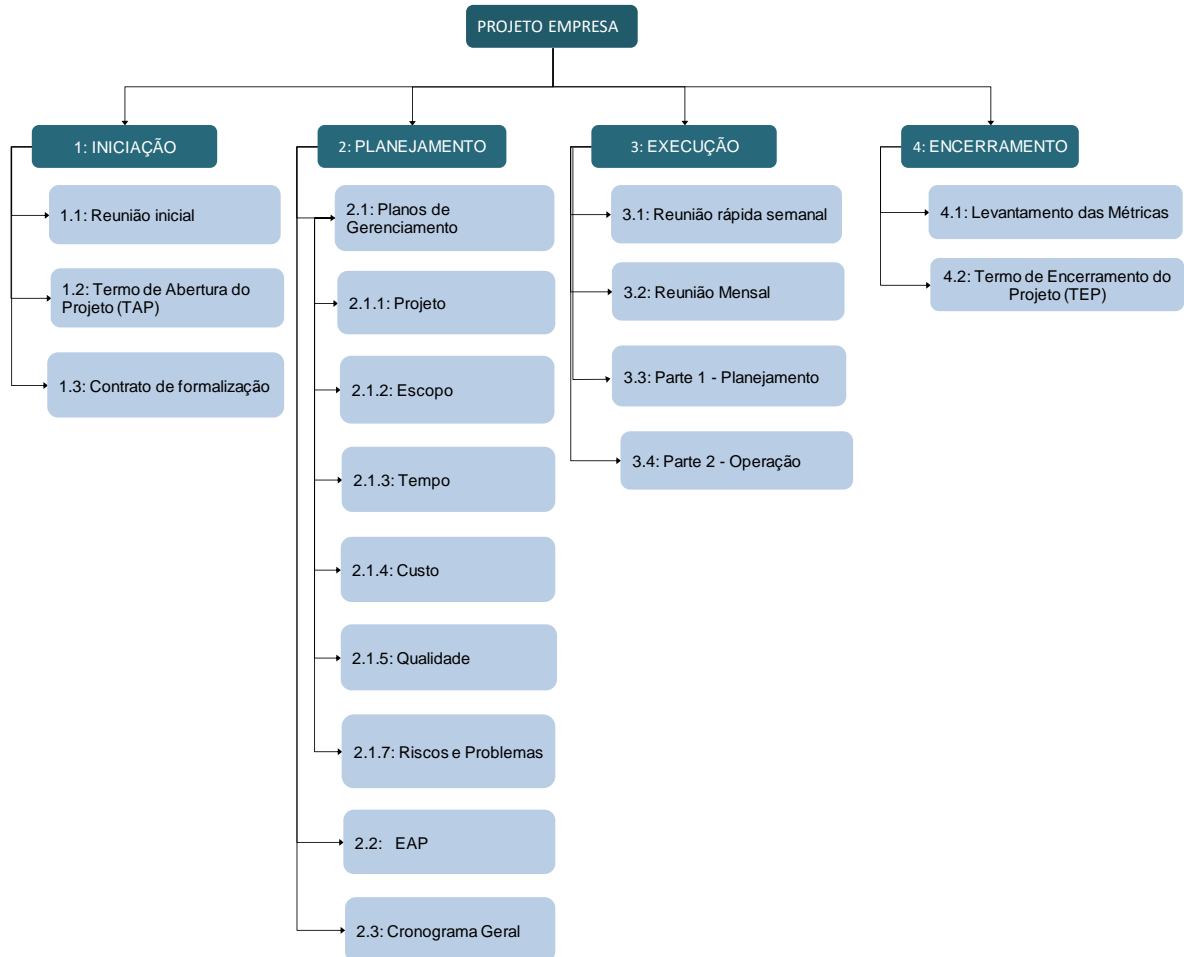
### **11.1 EAP – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO**

A criação da EAP é um processo que decompõe as entregas e o trabalho em partes menores para facilitar o gerenciamento. O desenvolvimento desse processo traz como benefício uma visão ordenada do que será entregue, esse processo é criado uma única vez e, portanto, deve ter uma atenção voltado para as informações de entrada e saída da EAP. De acordo com o PMBOK, “A EAP é uma decomposição hierárquica do escopo total do trabalho a ser executado pela equipe do projeto a fim de atingir os objetivos do projeto e criar as entregas requeridas. A EAP organiza e define o escopo total do projeto e representa o trabalho especificado na atual declaração do escopo do projeto aprovada.

Cada parte menor do trabalho que foi planejado dentro da EAP é representado em níveis mais baixos, são conhecidos no gerenciamento de projetos como pacotes de trabalhos, sua finalidade é de agrupar cada tarefa onde o trabalho é agendado.

No contexto da EAP, o trabalho se refere a produtos de trabalho ou entregas que são o Resultado da atividade e não a atividade propriamente dita (PMBOK pg. 157 ano 2017)

Figura 15- Estrutura Analítica do Projeto



Fonte: Elaboração própria

## 11.2 QUALIDADE NOS PROCESSOS

O diagrama de Ishikawa foi desenvolvido pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa em 1943, voltado para a gestão qualidade a ferramenta foi adaptada para processos de uma forma geral, o sucesso do diagrama se mantém até os dias atuais devido a facilidade de utilização desde o chão de fábrica até a alta cúpula de uma corporação.

O diagrama trabalha com o aspecto visual através de um gráfico em formato de espinha de peixe, sua disposição gráfica contribui para que a equipe chegue nas causas-raiz que afeta a queda na produtividade.

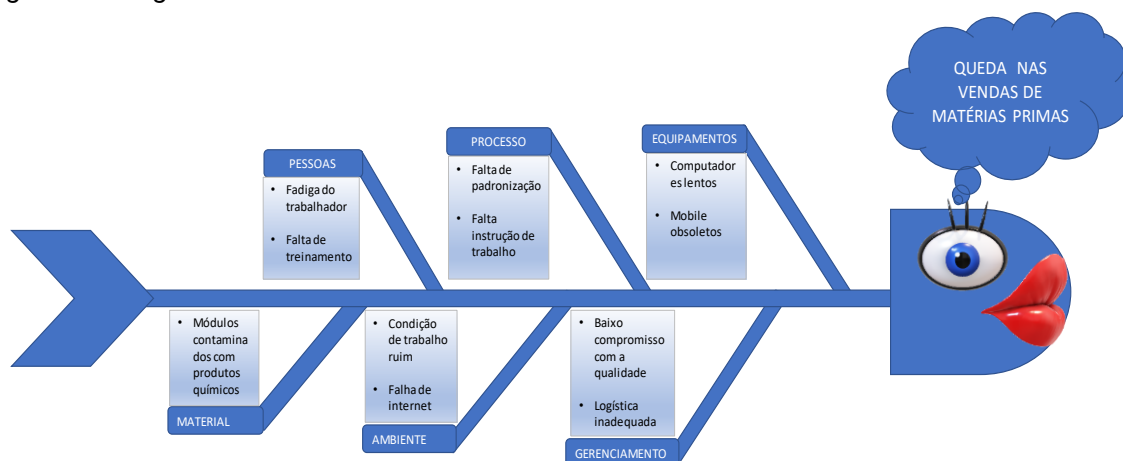
O principal objetivo dessa ferramenta é descobrir quais são os fatores que impactam negativamente nos processos produtivos que impedem a empresa de produzir com qualidade prejudicando sua posição no mercado.

O diagrama de Ishikawa traz vários benefícios para a organização e para toda a equipe que o utiliza, os principais são:

- Os problemas a serem enfrentados passa a ter uma melhor visibilidade;
- Identificação das possíveis causas com exatidão e de forma rápida;
- Ordem de priorização das causas identificadas;
- Registro visual de fácil entendimento facilitando a interpretação das análises;
- Aperfeiçoamento dos processos e melhoria contínua.

Nessa pesquisa a ferramenta foi aplicada e adaptada para identificar possíveis causas que podem vir a interferir nas receitas da empresa, uma vez que a empresa não possui uma diversificação na arrecadação, portanto é de extrema importância mitigar as falhas nos processos buscando sempre melhoria contínua.

Figura 16- Diagrama de Ishikawa



Fonte elaboração própria

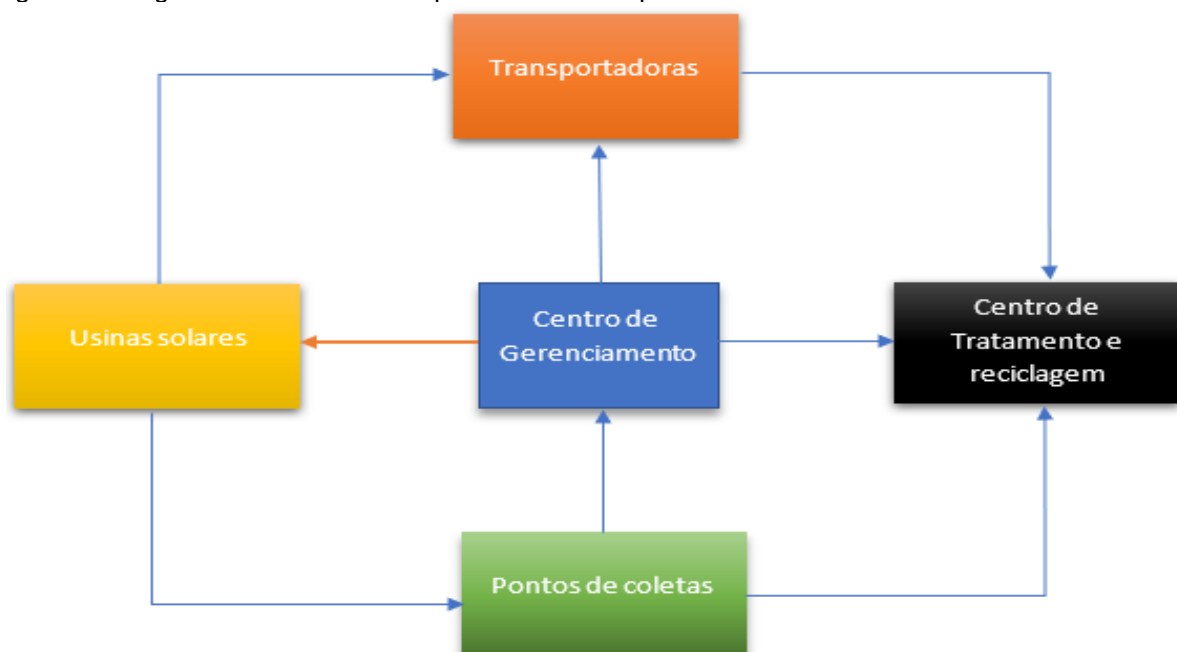
## 12 FUNCIONAMENTO ESTRATÉGICO DA EMPRESA

Para que as atividades de gerenciamento, monitoramento e reciclagem funcionem corretamente, é necessário fazer parcerias com o poder público, transportadoras, e usinas solares principalmente as que estão localizadas na região Nordeste, nessa região há uma grande concentração de usinas fotovoltaicas em funcionamento.

O centro de gerenciamento é o local onde são realizados o planejamento estratégico, tático e operacional. A partir C.G é possível monitorar todos os pontos de coletas, e a localização dos módulos fotovoltaicos que serão descartados em cada usina solar, o controle eficiente de todo o processo favorece a logística reversa diminuindo os custos com transportes e aumentando eficiência dos processos.

O Diagrama a seguir mostra o funcionamento operacional da empresa.

Figura 17-Diagrama funcionamento operacional da empresa



Fonte: Elaboração própria

As usinas solares parceiras disponibilizam os módulos que serão descartados nos pontos de coletas, não havendo ponto de coleta as usinas entram em contato com o centro de gerenciamento solicitando a retirada dos materiais, o C.G envia solicita às transportadoras cadastradas no sistema Mob2b informando a quantidade a ser recolhida e a localização exata, após a recolha, a transportadora leva o material para o centro de tratamento e reciclagem.

A partir desse momento os módulos passam pelo processo de reciclagem onde são extraídos os componentes metálicos que serão vendidos para metalúrgicas e siderúrgicas, e os materiais de silício são triturados e exportados para diversos países.

### **13 SISTEMA DE MONITORAMENTO E RASTREAMENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DANIFICADOS**

O Mob2b é um sistema de gerenciamento desenvolvido para o monitoramento de algumas rodovias do estado de São Paulo, seu objetivo é informar em tempo real a situação das estradas, possui um sistema de inteligência artificial composto por câmeras em todo o trecho rodoviário na qual está sendo monitorado. Qualquer acidente, trânsito lento, carro em acostamento, animais na pista é detectado automaticamente e informado em tempo real a uma central de monitoramento controlada pelo concessionária administradora do trecho.

Figura 18- Mob2b Sistema de monitoramento de módulos solares danificados



Fonte: Elaboração própria.

Por ser um sistema de fácil transição e adaptação, algumas empresas vêm implantando esse sistema de monitoramento em suas atividades aumentando sua produtividade e diminuindo seus custos operacionais.

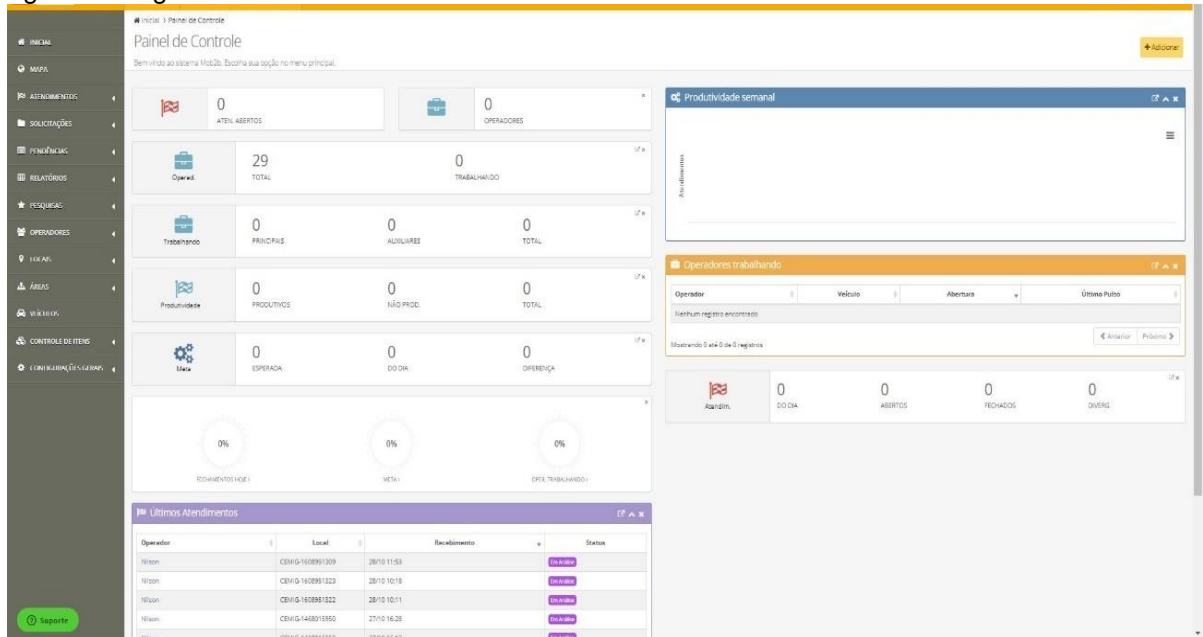
Por ser um sistema flexível e de fácil adaptação, poder ser utilizado no monitoramento e rastreamento de módulos fotovoltaicos danificados. É possível monitorar o status a geolocalização de cada módulo solar facilitando a logística reversa reduzindo custos e eficiência logística.

### 13.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Para ter acesso ao sistema Mob2b a empresa contratante paga mensalmente um valor para a empresa desenvolvedora, além disso toda a adaptação feita pelos desenvolvedores para atender a demanda de cada empresa é cobrado a parte. Uma vez adquirido o sistema, a empresa tem acesso a plataforma Mob2b podendo configurar o sistema de acordo com sua necessidade, o painel de controle é a tela principal, através dele é possível monitorar a quantidade de operadores que estão fazendo as coletas no dia, a quantidade de módulos danificados que foram recolhidos também pode ser identificada no painel de produtividade semanal.



Figura 19- Figura 20-Painel de controle



Fonte Elaboração própria

## 13.2 PONTOS DE COLETAS

Uma das estratégias adotada pela empresa é fazer parcerias como poder público principalmente com as prefeituras das cidades onde estão localizadas as usinas solares.

A prefeituras são responsáveis por disponibilizarem pontos estratégicos de coletas dos módulos fotovoltaicos danificados ou em fim da sua vida útil, cada ponto disponibilizado passa a ser monitorado pelo sistema.

Toda vez que um determinado ponto de coleta atinge a sua capacidade de armazenamento, o sistema avisa que os módulos precisam ser recolhidos e destinados para a empresa reciclagem.

Figura 20- Ponto de coleta disponibilizado pela prefeitura



Fonte: Elaboração própria

### 13.3 RASTREAMENTO DOS MÓDULOS DANIFICADOS

O sistema Mob2b pode monitorar e rastrear os módulos que serão descartados, para a sua correta localização utiliza uma base de dados com georreferenciamento muito preciso através da latitude e longitude, a imagem a seguir representa uma usina solar, cada ponto inserido no recorte do mapa da usina representa um módulo fotovoltaico com suas respectivas potencias. Cada vez que um módulo é substituído por outro de melhor eficiência, o sistema atualiza o ícone modernizado por uma cor diferente da potência do módulo antigo que estava instalado.

Podemos observar a modernização dos módulos de cor rosa de 55W substituindo os módulos verdes de 100W.

Figura 21- Monitoramento módulos danificados



Fonte: Elaboração própria

O ponto em destaque de vermelho representa um módulo danificado que deve ser substituído por outro equivalente, após a substituição o módulo danificado deve ser descartado no ponto de coleta representado no mapa pelo pin de cor preta, não havendo disponibilidade do ponto de coleta os módulos devem-se ser armazenados em um local próximo da usina solar por um prazo curto para que a transportadora parceira da empresa recicladora recolha o material e leve até o centro de tratamento e reciclagem.

## 13.4 ANÁLISE DOS ATENDIMENTOS POR MÓDULOS MODERNIZADOS E DANIFICADOS

Cada modulo recolhido ou modernizado é chamado de atendimento e deverá ser identificado no sistema, para isso o operador que irá efetuar a troca, realizar o descarte ou fazer a recolha, deverá utilizar o Mob2b desenvolvidos para aparelhos smartphones evidenciando que as ações realizadas para destinação final foram feitas de forma correta. Na tela do mobile, o operador devera identificar qual é o modulo que está manuseando e resolver as ações solicitadas pelo sistema.

Os atendimentos realizados ficam disponíveis no sistema para que a empresa possa gerenciar e tomar decisões de acordo com cada atendimento ou modulo recolhido, cabendo a recusa ou aceitar dos módulos danificados que não estão em conformidades com os contratos assinados pelas partes interessadas.

Figura 22- Atendimentos realizados

	Código	C. Externo	Abertura	Prazo	Operador	Área	Local	TA	SLA	Tempo Restante	S	Início	Término
<input type="checkbox"/>	0002460401		27/10/2022 14:25	27/10/2022 14:40	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1469175000			4h			
<input type="checkbox"/>	0002460504		27/10/2022 15:24	27/10/2022 15:39	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1469200821			5h		27/10/2022 15:24	
<input type="checkbox"/>	0002460533		27/10/2022 15:34	28/10/2022 15:34	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015646			5h			
<input type="checkbox"/>	0002460529		27/10/2022 15:35	27/10/2022 15:56	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015646			6h		27/10/2022 15:35	
<input type="checkbox"/>	0002460533		27/10/2022 15:39	27/10/2022 15:54	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015786			6h		27/10/2022 15:39	
<input type="checkbox"/>	0002460539		27/10/2022 15:43	27/10/2022 15:58	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015646			6h		27/10/2022 15:43	
<input type="checkbox"/>	0002460569		27/10/2022 16:00	27/10/2022 16:15	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015680			6h		27/10/2022 16:00	
<input type="checkbox"/>	0002460577		27/10/2022 16:06	27/10/2022 16:21	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015650			6h		27/10/2022 16:06	
<input type="checkbox"/>	0002460569		27/10/2022 16:11	27/10/2022 16:26	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1468015650			6h		27/10/2022 16:11	
<input type="checkbox"/>	0002461258		28/10/2022 09:53	28/10/2022 09:58	Nilson	MINAS LED - ...	CEMIG-1608951322			-48m			

Fonte: Elaboração própria

Cada linha na imagem acima representa no sistema um módulo recolhido, é possível acompanhar a quantidade absoluta através de relatórios disponibilizado no Mob2b, nos relatórios constam informações como potência do módulo, localização, data, horário em que foi recolhido, fotos do estado em que se encontra entre outras. Portanto a empresa consegue gerenciar e monitorar todo o processo logístico e de reciclagem via sistema em qualquer localidade do Brasil.

## **14 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A utilização de módulos fotovoltaicos para a geração de eletricidade no Brasil possui um grande potencial de crescimento devido a todas as boas condições climáticas e territoriais que favorecem a sua expansão. As projeções aguardadas envolvendo a inflexão do uso desta tecnologia garantem oportunidades para a descentralização da matriz energética, atendimento as crescentes demandas por eletricidade e excelentes oportunidades de negócios que busquem um futuro mais sustentável. Conforme as tecnologias vão se aprimorando espera-se uma redução significativa nos valores desses equipamentos, estabelecendo uma relação entre sua expansão e redução de custos para sua aquisição.

Gráfico 9- Projeção do crescimento da capacidade instalada e redução dos custos até 2050



Fonte: <[https://www.researchgate.net/figure-2-Projecao-do-crescimento-da-capacidade-e-custos-ate-2050-BRASIL\\_fig2\\_316733125](https://www.researchgate.net/figure-2-Projecao-do-crescimento-da-capacidade-e-custos-ate-2050-BRASIL_fig2_316733125)> acesso em 02 nov.2022

Ao analisar estudos e pesquisas que avaliam o potencial econômico e riscos ambientais envolvendo o setor fotovoltaico nacional, nitidamente fica transparente que mesmo com as ações empenhadas em estabelecer modelos de gerenciamentos de resíduos fotovoltaicos no país, ainda há muito a ser feito. Observa-se um retrato do presente que necessita de soluções para garantir-se o futuro, exigindo a ampliação das discussões para implantar e implementar soluções sábias para temas que abordem questões de infraestrutura para operacionalidade de boas práticas de logística reversa de REEEs.

Avaliando os fluxos de resíduos ao horizonte 2050, percebe-se que seus valores são potencialmente altos, tornando-se um excelente cenário para um mercado lucrativo. A implantação de empresas recicladoras de módulos inservíveis oferece boas práticas de gestão e rentável modelo de negócio, permitindo a aquisição de receitas, benefícios socioeconômicos e contribuição ambiental. Entretanto, na ausência de ações efetivas ou gestões ineficientes voltadas a recuperação de elementos nocivos existentes nos módulos, refletirá em retrocessos nas iniciativas ambientais.

A presença de agentes contaminantes e tóxicos incorporados na composição dos módulos representa uma ameaça eminente aos seres vivos e precisam de

medidas específicas para seu tratamento e descarte, exigindo estruturas especializadas para seu manuseio, além de mão de obra especializada e regulamentações. Com o histórico negativo para tratamentos de resíduos no país, encontrar soluções imediatas para as volumosas quantidades de módulos fotovoltaicos requer propostas imediatas.

O tema unanimemente pautado como o mais preocupante no cenário fotovoltaico nacional por todos os órgãos que acompanham seu crescimento é a falta de regulamentações específicas ao setor de geração centralizada, representada pelas grandes usinas fotovoltaicas que são os produtores de energia elétrica com fins comerciais. Algumas dessas usinas acumulam em suas plantas a quantidade de milhares ou milhões de unidades de módulos fotovoltaicos. Como um caráter de exemplo cita-se a Usina Fotovoltaica de São Gonçalo de Gurgueia no Piauí, que quando completamente finalizada incorporará em sua estrutura a quantidade de dois milhões e duzentos mil módulos.

Figura 23- Usina Fotovoltaica de São Gonçalo de Gurgueia - Piauí



Fonte: <<http://3sprojetos.com.br/2018/10/29/piaui-parque-solar/>> acesso em 02 nov.2022

O setor fotovoltaico brasileiro abre precedentes para a importância de gerenciamentos de fim de vida de módulos fotovoltaicos, que abordam uma ampla gama de ações envolvendo políticas sustentáveis, legislações ambientais e gestão de resíduos. Os desafios do seu crescimento ampliam a necessidade de criação de medidas e soluções tangíveis envolvendo processos futuros de reciclagem.

É observada a necessidade de projetos envolvendo a construção de empresas especializadas no setor de reciclagem fotovoltaica, assim como, medidas governamentais de incentivo financeiro e tributário para apoio desses empreendimentos, para que se consolide uma estrutura forte voltada à gestão de fim de vida dos bilhões de módulos que inevitavelmente surgirão.

O tema sobre reciclagem de módulos fotovoltaicos ainda é muito recente no mundo todo, existem poucas empresas atuando nesse seguimento, no Brasil apenas uma empresa faz reciclagem dos módulos fotovoltaicos.

Os resultados das análises de mercado foram favoráveis para a implantação da empresa de reciclagem, a matriz Swot apresentou mais forças e oportunidades 64% do que fraquezas e ameaças 36%. Na viabilidade econômica a TIR, VPL, Payback e o ponto de equilíbrio apresentaram valores satisfatório, somente no cenário pessimista que esses valores ficaram abaixo do esperado, mas ainda sim apresentou tendência de crescimento.

O sistema de monitoramento por geolocalização é uma tecnologia nova nesse seguimento, e, portanto, um diferencial no mercado colocando a empresa em vantagem competitiva, por outro lado os investimentos para entrar no mercado é muito elevado podendo ser uma barreira até mesmo para a implantação da empresa.

As receitas analisadas nos 3 cenários apresentaram valores maiores do que as despesas, mostrando ser é uma empresa lucrativa no médio e longo prazo, e, portanto, o projeto deve ser implantado.



## 15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário envolvendo o crescimento do setor fotovoltaico em paralelo com a produção de seus resíduos é um tema incipiente no país, logo, fatores precisam ser avaliados com o objetivo de se instaurar medidas legais que tratem o tema com sua devida importância. As tecnologias fotovoltaicas estão em ascensão no mercado nacional como uma forma limpa e sustentável para a produção de eletricidade. Seu exponencial crescimento ao horizonte 2050 proporcionará quantidades expressivas de módulos inservíveis que atingirão o número de bilhões, requerendo um olhar mais atento a seus resíduos devido a substâncias tóxicas existentes em sua fabricação.

O surgimento de grandes quantidades de resíduos provenientes do uso dessa tecnologia é algo inevitável no Brasil. Soluções empenhadas em gerenciá-los de forma a reverter à problemática de um desastre ambiental em projetos de reciclagem que resultarão em desenvolvimento econômico e social, certamente tornar-se-á uma medida necessária para garantir a manutenção de ações sustentáveis.

Ao reunir os resultados das análises quantitativas citadas pelas publicações e referências para a construção deste trabalho, constatou-se que o cenário fotovoltaico brasileiro permite um amplo crescimento e conseqüentemente resíduos com alto valor de mercado. Assim, conclui-se que estruturar projetos eficazes que visem promover a gestão de resíduos e reciclagem de módulos fotovoltaicos, principalmente para as usinas fotovoltaicas onde percebesse uma fragilidade nas regulamentações que a rege, um excelente modelo de empreendimento que reduzirá impactos ambientais e promoverá arrecadação de capital.

Uma boa gestão empenhada em atingir metas ambientais e proteção do meio ambiente proporcionará receitas significativas para o Brasil em curto prazo. Certamente, promovê-las e incentivá-las será o melhor caminho para que haja uma colaboração plena por todas as partes que se beneficiarão com estas ações extremamente importantes e relevantes para a sustentabilidade.

## 16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- .ABSOLAR. **Infográfico.** Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> acesso em 19 set. 2022.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**, 2006. 5ª ed. – Bookman
- BRASIL. Decreto nº 10.240 de 12 de fevereiro de 2020. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/norma/31943255#:~:text=Regulamenta%20o%20inciso%20VI%20do,seus%20componentes%20de%20uso%20dom%C3%A9stico.>> Acesso em 07 de set. 2022.
- BRASIL. **Decreto nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)> Acesso em: 07 de set. 2022.
- BRASIL. **Decreto nº 9.177 de 23 de outubro de 2017.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20152018/2017/decreto/d9177.htm#:~:text=DECRETA%3A,sujeitos%20%C3%A0%20log%C3%ADstica%20reversa%20obrigat%C3%B3ria.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20152018/2017/decreto/d9177.htm#:~:text=DECRETA%3A,sujeitos%20%C3%A0%20log%C3%ADstica%20reversa%20obrigat%C3%B3ria.)> Acesso em: 07 set. 2022.
- BRASKEM. **Descarte de Painéis Solares pode ser Problema no Futuro.** Disponível em: <<https://bluevisionbraskem.com/inovacao/descarte-de-paineis-solares-pode-ser-problema-no-futuro-proximo/#:~:text=Ainda%20de%20acordo%20com%20a,ser%C3%A1%20de%20US%24%2015%20bilh%C3%B5es.>> Acesso em 15 ago. 2022.
- BRITTO, M. P., DEKKER, R. - Reverse Logistics a Framework. **Econometric Institute Report**, 2002.
- CANALTECH. Cientistas Criam Pannel Solar de Perovskita Capaz de se Auto Consertar. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/inovacao/cientistas-criam-pannel-solar-de-perovskita-capaz-de-se-autoconsertar-205546/>> acesso em 13 set.2022.
- Eletrônica de Potência. **Células Fotovoltaicas.** Disponível em: <<https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica>> Acesso em: 20 set. 2022.
- ENERGES. **Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos é Possível?** Disponível em: <<https://energes.com.br/reciclagem-de-modulos-fotovoltaicos-e-possivel/>> Acesso em 01 out. 2022.
- EPE. **Plano Nacional de Energia 2050.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes/dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>> Acesso em: 07 set. 2022.
- FORENO N et all. **Development of a Monitoring System for a PV Solar Plant. Energy Conversion and Management.** Astra, 2006.

Green Eletron. **Resíduos Eletrônicos no Brasil**. Disponível em: <<https://greeneletron.org.br/pesquisa>> Acesso em 15 ago. 2022.

INMETRO. **Efeitos Toxicológicos dos Metais Cádmio e Chumbo**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/efeitostoxicologicosdosmetaiscadmioechumbo>> acesso em 19 set.2022.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Células Solares Flexíveis. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=celulas-solares-flexiveis-envelopar-edificios-zero-energia&id=010115160705#.Y3Qus73MLDc>> Acesso em 02 nov.2022

IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Agency Photovoltaic Power Systems. **End of Life Management Solar Photovoltaic Panels**. Abu Dhabi: IRENA, 2016.

LACERDA, Leonardo. **Logística Reversa: Uma Visão sobre os Conceitos Básicos e as Práticas Operacionais**. Sargars **Competência Logística**. Disponível em: <[http://www.sargas.com.br/site/artigos\\_pdf/artigo\\_logistica\\_reversa\\_leonardo\\_lac erda.pdf](http://www.sargas.com.br/site/artigos_pdf/artigo_logistica_reversa_leonardo_lac erda.pdf)> Acesso em 20 set. 2022.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa – Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo, Pearson Prentica Hall, 2003.

LME. **Cotação London Metal Exchange**. Disponível em: <<https://sanfra.com.br/lme>> Acesso em: 09 set. 2022.

MIGUEZ, Paulo. **Repertório de Fontes sobre Economia Criativa**. Estudos Multidisciplinares em Cultura, UFBA, 2007.

MME. Ministério de Minas e Energia. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2020: ano base 2019. Relatório Final**. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

MME. Ministério de Minas e Energia. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

MOLINA et all. **Modeling and Control of Grid-Connected Photovoltaic Energy Conversion System Used as a Dispersed Generator**, IEEE, 2008.

MOSCHEM, J. ; GONÇALVES, P. – **Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares**. UFES, 2020.

OPERSAN. **Diferenças de Impacto na Economia Circular e Linear**. Disponível em: <<https://info.opersan.com.br/diferencas-impactos-economia-circular-e-linear>> Acesso em: 22 set. 2022.

POMÍLIO, J. A. **Eletrônica de Potência**. Florianópolis, ed. autor, 2010.

Portal Solar. **Filmes Finos GIGS uma Alternativa ao Silício Cristalino**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino>> Acesso em: 20 set. 2022.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em 20 set. 2022.

SASIL SrL. **Minerari Integrati Alle Thematiche Ambientali.** Disponível em: <<https://Sasil-life.com/Sasil.Srltratamentiminerariintegratiallethematicheambientali>> Acesso em 30 out. 2022.

SCHMIDT, Jannick H. **Documentation of the contribution analysis and uncertainty assessment:** Results interpretation identifying priority material flows and wastes for waste prevention, recycling and choice of waste treatment options. Policy recommendations. In: FRAME WORK PROGRAMME PRIORITY, 6. Denmark, 2009. p. 1 - 58.

UFES. **Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares.** Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/healthandbiosciences/article/View/31629>> acesso em 20 set. 2022.

UNIPAMPA. **Portal de Periódicos da Unipampa – guri.uipampa.edu.br seer\_18296.pdf.** Disponível em: <<https://unipampa.edu.br/portal/portal-de-periodicos-da-unipampa>> Acesso em 19 set. 2022.

VÉRONIQUE MONIER (France). European Commission. **Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive.** Paris, 2011.