

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS  
PRODUTIVOS

LEONARDO AUGUSTO DE CAMPOS

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: APLICAÇÃO  
EM UMA EMPRESA DO RAMO DE INFRAESTRUTURA FLEXÍVEL

SÃO PAULO

2021

LEONARDO AUGUSTO DE CAMPOS

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: APLICAÇÃO  
EM UMA EMPRESA DO RAMO DE INFRAESTRUTURA FLEXÍVEL

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob orientação do Prof. Dr. António César Galhardi.

SÃO PAULO

2021

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA  
FATEC-SP / CPS CRB8-8281

Campos, Leonardo Augusto de

C198d      Desenvolvimento de produto e inovação sustentável: aplicação em uma empresa do ramo de infraestrutura flexível / Leonardo Augusto de Campos. – São Paulo: CPS, 2021.

118 f. : il.

Orientador : Prof. Dr. Antônio César Galhardi

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2021.

1. Inovações sustentáveis. 2. Competitividade. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Diversificação. 5. Processo de desenvolvimento de produtos. 6. Infraestruturas flexíveis. I. Galhardi, Antônio César. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

LEONARDO AUGUSTO DE CAMPOS

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: APLICAÇÃO  
EM UMA EMPRESA DO RAMO DE INFRAESTRUTURA FLEXÍVEL

BANCA EXAMINADORA

DocuSigned by:

*Antonio Cesar Galhardi*

9459560C89854A8...

---

Prof. Dr. António César Galhardi

DocuSigned by:

*Ana Grazielle Lourenço Toledo*

15AAB3C037FE4C8...

---

Profa. Dra. Ana Grazielle Lourenço Toledo

DocuSigned by:

*Silvia Pierre Irazusta*

235D1C7FF5Z444C...

---

Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta

São Paulo, 09 de março de 2021.

Dedico a todos que se empenham no desenvolvimento sustentável, como forma de promover o atendimento de necessidades atuais, sem comprometer as gerações futuras, otimizando a utilização dos recursos naturais e objetivando uma sociedade mais justa e responsável.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, a Deus por me guiar, sustentar e me conduzir pelos melhores caminhos, amparando-me nos momentos mais difíceis e dando-me a sabedoria e a motivação necessária para seguir em busca de meus objetivos.

Estendo os agradecimentos à minha esposa Bianca que me apoiou e incentivou durante toda a jornada, me dando a paz e a confiança necessária para a realização do mestrado.

Aos meus filhos Gabriel, Pedro e Thiago, que são a principal fonte de motivação para qualquer coisa que eu decida fazer.

Aos meus pais e demais familiares pela torcida e por terem sido compreensivos nos momentos em que precisei estar mais distante, estudando e me dedicando à construção do presente trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. António César Galhardi pela paciência, dedicação, incentivo e profissionalismo tão essenciais. Por me desafiar, mas, também, por me acolher, orientar, ensinar e contribuir de forma tão significativa ao meu desenvolvimento. Amplio, ainda, os agradecimentos aos membros da banca, Profa. Ana Grazielle Lourenço Toledo e Profa. Silvia Pierre Irazusta pelas importantes correções, contribuições e sugestões que tanto agregaram a este trabalho.

Agradeço também a todos os funcionários e professores da Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza que fazem com que o Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos tenha as melhores condições à formação de seus alunos.

Aos meus colegas de turma com os quais tive o prazer de compartilhar conhecimentos, algumas angústias e principalmente as conquistas e sucessos inerentes a este estudo. Sou grato, também, a todos os meus amigos que tanto torcem por mim.

Por fim, e não menos importante, agradeço à empresa Tópico Locação de Galpões e Equipamentos para Indústrias S.A e seu corpo de diretores que valorizaram meu crescimento intelectual, acreditaram no potencial de entregáveis deste trabalho e fizeram os investimentos necessários ao desenvolvimento dos produtos propostos. Também reconheço todo o apoio de minhas equipes das áreas industrial e de qualidade e processos que me suportaram em todos os momentos, me dando a tranquilidade necessária durante a realização do mestrado.

"A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento".  
(Platão)

## RESUMO

CAMPOS, L. A. **Desenvolvimento de produto e inovação sustentável: aplicação em uma empresa do ramo de infraestrutura flexível.** 118f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2021.

Para obterem maior competitividade, as empresas têm buscado modelos de negócios baseados não somente em inovação, mas que também reduzam custos e atendam às demandas ambientais. No âmbito dos recursos utilizados nos processos de manufatura, por exemplo, a geração de energia representa parcela significativa na composição dos custos. Atualmente, visto que a matriz energética brasileira está baseada na energia hidrelétrica que, apesar de limpa, gera impactos ambientais significativos e possui alto custo para implantação, outras fontes de energia têm sido exploradas, dentre as quais se destaca a fotovoltaica, cujo aproveitamento é uma alternativa viável ao desenvolvimento econômico, social e cultural sustentável de uma sociedade. Considerando esse contexto, subsidiado nos pressupostos teóricos relacionados à inovação e competitividade, inovação sustentável e modelagem de negócio, desenvolvimento e ciclo de vida de produtos e geração de energia fotovoltaica, este estudo demonstra como a utilização da energia fotovoltaica pode atuar na competitividade do negócio no segmento de infraestrutura flexível, caracterizado como de baixa diferenciação e alta concentração de mercado. As soluções desenvolvidas propõem a utilização de coberturas para geração de energia fotovoltaica por meio de um sistema gerador de fácil fixação e manutenção. O objetivo geral foi compreender como ocorre o desenvolvimento de produto voltado para a inovação sustentável e de que modo esta inovação pode influenciar a competitividade da empresa. Neste sentido, o método investigativo utilizado foi o *Design Science Research* – DSR, aplicável no campo de Engenharia, porque se ocupa do desenvolvimento de soluções baseadas no conhecimento. Para a execução do projeto, desenvolveu-se, junto à empresa Tópico Locação de Galpões e Equipamentos para Indústrias S.A, quatro protótipos de fixação de placas para geração de energia fotovoltaica, utilizando-se dos galpões de infraestrutura flexível. Esses protótipos tiveram o desempenho testado em relação à captação de raios solares para geração de energia e à avaliação da agregação de valor para a empresa com a inclusão dos produtos no seu portfólio de negócio, diferenciando-a tanto das concorrentes quanto para os clientes que os adquirem. Além das soluções que envolvem diretamente a energia fotovoltaica, o estudo

também desenvolveu um protótipo para proteger parte do sistema gerador de energia de intempéries, minimizando os custos com manutenção. Têm-se, portanto, cinco produtos gerados pela pesquisa e para os quais foram pedidos e encaminhados ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI – os registros de patente. Além dos produtos tangíveis, o estudo também apresentou uma heurística para a tomada de decisão acerca da adoção da inovação sustentável, no sentido de induzir mudanças organizacionais relacionadas ao redirecionamento estratégico da empresa que incluiu inovação e sustentabilidade como diferenciais competitivos. As soluções desenvolvidas foram as primeiras diversificações incorporadas no *mix* de produtos e, apesar de recentes, já se mostraram como catalizadores da mentalidade empresarial que, a partir de então, tem focado na utilização das inovações sustentáveis, aumento da competitividade empresarial, otimização dos resultados financeiros e benefícios ambientais.

**Palavras-chave:** Inovações Sustentáveis. Competitividade. Geração de energia fotovoltaica. Diversificação. Processo de Desenvolvimento de Produtos. Infraestruturas Flexíveis.

## ABSTRACT

CAMPOS, L. A. **Product development and sustainable innovation: theory application in a company within the flexible infrastructure segment.** 118f. Dissertation: (Master's in Production Systems Management and Technology). University Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2021.

To get greater competitiveness, companies have, increasingly, sought business models based not only on innovation, but also based on cost reduction and meeting environmental demands. Within the scope of resource and transformation, for example, power generation represents the main factor in the composition of costs. Currently, considering that the Brazilian energy matrix is based, above all, on hydroelectric energy which, although clean, generates significant environmental impacts, in addition to the high costs for implementation, other energy resources have been explored, among which photovoltaic energy stands out, whose use of energy generated by the sun, it can provide electricity necessary for the sustainable economic, social and cultural development of a society. Considering, therefore, this context, supported by theoretical assumptions related to innovation and competitiveness, sustainable innovation and business shaping, development and life cycle of products and photovoltaic power generation, thus, demonstrating by this study how the usage of photovoltaic energy can participate in business competitiveness in the segment of flexible infrastructure, characterized as low differentiation and high market concentration. The elaborated solutions propose the use of the structure's roofing to produce photovoltaic energy through a power generator system that presents easy fixation and maintenance. The general objective was to comprehend how the development of products focused on sustainable innovation occurs and how this innovation can influence the company's competitiveness. In this regard, the investigative method used was Design Science Research – DSR, applicable in the field of Engineering, because it deals with the development of knowledge-based solutions. For the project execution, it was developed in junction with the company Tópico Locação de Galpões e Equipamentos para Indústrias S.A, four fixating power generating board prototypes for generation of photovoltaic energy, utilizing flexible infrastructure warehouses. These prototypes had their performance tested in relation to the capture of sun rays for energy generation and the value-added assessment for the business with the addition of these products to the company portfolio, distinguishing the company from both the competitors and the clients that purchase them. In addition to the solutions involved

directly with the photovoltaic energy, the study also developed a prototype to protect a part of the power generation system from weather elements, lowering maintenance costs. There are, therefore, five products derived from the research and for which it was requested and sent to the Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI – a patent registry. In addition to the tangible products, the study also presented a heuristic for decision making concerning the adoption of the sustainable innovation process in the sense of inducing organizational changes in relation to the strategic redirection of the company that included innovation and sustainability as competitive differentials. The solutions developed were the first diversifications incorporated in the mix of products and, despite being recent, they have shown to be catalysts of the business mentality that, since then, have focused on utilization of sustainable innovation, increased business competitiveness, optimization of financial results and environmental benefits.

**Keywords:** Sustainable Innovation, Competitiveness, Photovoltaic power generation, Diversification, Product Development Process, Flexible Infrastructure.

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Definições de eco inovação e inovação sustentável.....   | 27 |
| Quadro 2 - Elementos do modelo de negócios Canvas .....   | 31 |
| Quadro 3 - Modelos de processos de desenvolvimento de produto .....   | 36 |
| Quadro 4 - A influência climatológica das regiões brasileiras na geração da energia solar fotovoltaica .....          | 48 |
| Quadro 5 – Aspectos positivos e negativos do sistema solar fotovoltaico distribuído.....                              | 51 |
| Quadro 6 - Comparativo entre o Design Science Research, o Estudo de Caso e a Pesquisa-Ação.....                       | 60 |
| Quadro 7 - Operacionalização do DSR .....   | 62 |
| Quadro 8 - Abordagem multimétodo empregada para a realização do DSR e a relação com o modelo de PDP de Rozenfeld..... | 66 |
| Quadro 9 - Elementos do processo decisório .....  | 76 |
| Quadro 10 - Síntese dos resultados do DSR e PDP.....  | 96 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Rendimento médio em células e módulos fotovoltaicos .....    | 54 |
| Tabela 2 - Estatísticas descritivas da energia gerada pelo sistema..... | 90 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Incremento de energia fotovoltaica por país em 2019 (GW).....                                  | 19 |
| Figura 2 - Potência de energia fotovoltaica instalada por país até 2019 (MW) .....                        | 20 |
| Figura 3 - Estrutura sintética da Dissertação .....   | 22 |
| Figura 4 – O processo evolutivo de inovação verde disruptiva.....   | 31 |
| Figura 5- Representação conceitual do Modelo de Negócios de três dimensões.....                           | 33 |
| Figura 6 - Estrutura do uso de valor não capturado para a inovação sustentável do modelo de negócios..... | 34 |
| Figura 7 - Processo de Desenvolvimento de Produtos .....  | 37 |
| Figura 8 – Dinâmica de estratégias para inovação .....  | 41 |
| Figura 9 - Variabilidade do fotoperíodo ao longo do ano para diferentes latitudes .....                   | 42 |
| Figura 10 - A geometria Sol-Terra .....   | 43 |
| Figura 11 - Componentes da irradiância solar.....   | 44 |
| Figura 12 - Média anual de irradiação Global Horizontal.....  | 45 |
| Figura 13 - Médias mensais de irradiação global horizontal.....   | 46 |
| Figura 14 - Curva de potência característica do painel fotovoltaico .....                                 | 47 |
| Figura 15 – Potencial de geração solar fotovoltaica.....  | 49 |
| Figura 16 - Projeção de potência por classe de consumo.....   | 50 |
| Figura 17 - Projeção da capacidade instalada da micro e minigeração distribuída.....                      | 51 |
| Figura 18 - Ilustração dos modelos de placas fotovoltaicas .....  | 53 |
| Figura 19 - Composição de custos de um sistema fotovoltaico no sistema on-grid.....                       | 55 |
| Figura 20 - Desenho esquemático de um sistema on-grid.....  | 56 |
| Figura 21 - Desenho esquemático de um sistema off-grid .....  | 56 |
| Figura 22 - Modelo de Negócio.....  | 68 |
| Figura 23 - Exemplo de Galpão Beta (Estrutura Metálica Tubular) .....                                     | 69 |
| Figura 24 - Exemplo de Galpão Gama (Estrutura Metálica Treliçada).....                                    | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25 - Exemplo de Galpão Zeta (Quatro águas).....  | 70 |
| Figura 26 - Exemplo de Galpão Delta (Projetos Especiais) .....  | 71 |
| Figura 27 - Participação Relativa de Mercado (%) .....  | 71 |
| Figura 28 - Matriz SWOT .....   | 73 |
| Figura 29 - Matriz BCG .....  | 74 |
| Figura 30 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....   | 74 |
| Figura 31 - Potência de energia fotovoltaica total instalada por país até 2018 (MW) .....                 | 75 |
| Figura 32 - Evolução do preço da fonte solar fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulado ..... | 75 |
| Figura 33 - Heurística para tomada de decisão estratégica sobre inovação sustentável.....                 | 77 |
| Figura 34 - Teste da heurística para tomada de decisão sobre inovação sustentável .....                   | 77 |
| Figura 35- MVP.....   | 80 |
| Figura 36 - Fluxo para criação de protótipos.....   | 81 |
| Figura 37 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica em escala reduzida.....                         | 82 |
| Figura 38 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com velcro .....                                | 83 |
| Figura 39 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com zíper .....                                 | 83 |
| Figura 40 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com Corda .....                                 | 84 |
| Figura 41 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com fita de nylon .....                         | 84 |
| Figura 42 - Placas fotovoltaicas instaladas em um galpão de escala real.....                              | 85 |
| Figura 43 - Disposição do módulo de energia no galpão .....   | 85 |
| Figura 44 - Disposição do módulo de energia no galpão .....   | 86 |
| Figura 45 - Esquema do sistema fixador do módulo fotovoltaico por Velcro .....                            | 87 |
| Figura 46 - Esquema do sistema fixados do módulo fotovoltaico por zíper .....                             | 87 |
| Figura 47 - Esquema do sistema fixados do módulo fotovoltaico por corda .....                             | 88 |
| Figura 48 - Esquema do sistema fixador do módulo fotovoltaico por fita de nylon .....                     | 88 |
| Figura 49 - Desempenho dos protótipos.....  | 89 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 50 - Estatística descritiva da geração de energia fotovoltaica do sistema..... | 91 |
| Figura 51 - Método protetor do módulo fotovoltaico.....                               | 92 |
| Figura 52 - Resumo sintético para a decisão por inclusão de novo produto .....        | 93 |
| Figura 53 - Depósito da patente 1.....  | 94 |
| Figura 54 - Depósito da patente 2.....  | 94 |
| Figura 55 - Publicação de matéria na Revista Tecnologia .....                         | 95 |
| Figura 56 - Publicação de matéria na Revista Valor Setorial.....                      | 95 |

## LISTA DE SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ABSOLAR | Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica  |
| BCG     | Boston Consulting Group  |
| CAPES   | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior                                      |
| CVP     | Ciclo de Vida do Produto   |
| DSR     | <i>Design Science Research</i>   |
| INPI    | Instituto Nacional de Propriedade Industrial   |
| MVP     | <i>Minimum Viable Product</i> (Mínimo produto viável)  |
| P&D     | Pesquisa e Desenvolvimento   |
| ODS     | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável   |
| PDP     | Processo de Desenvolvimento de Produto   |
| SWOT    | <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças) |

## SUMÁRIO

|   |            |
|---|------------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>17</b>  |
| <b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                   | <b>23</b>  |
| 1.1 Inovação e competitividade .....                  | 23         |
| 1.2 Inovação sustentável e modelagem de negócio ..... | 26         |
| 1.3 Desenvolvimento e ciclo de vida de produtos ..... | 35         |
| 1.4 Geração de energia fotovoltaica.....              | 41         |
| <b>2 MÉTODO .....</b>                                 | <b>58</b>  |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                 | <b>68</b>  |
| <b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                    | <b>97</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                              | <b>103</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>                                 | <b>113</b> |

## INTRODUÇÃO

A demanda por produtos sustentáveis aumenta à medida que crescem os efeitos da globalização, o compartilhamento de tecnologias e a conscientização quanto aos impactos ambientais e a finitude e escassez de recursos. Estes efeitos pressionam as corporações no sentido de buscar inovações de produtos, serviços e processos como elementos essenciais à melhoria da competitividade, já que essas inovações reduzem os custos, ampliam o valor agregado em produtos e serviços, somados à excelência no atendimento e a proposição colaborativa de soluções operacionalizadas junto de fornecedores e clientes. Sendo assim, cabe à Engenharia criar mecanismos que aumentem o valor agregado para o desempenho econômico dos negócios e direcione seus recursos no desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis.

A gestão da inovação aliada aos ganhos de eficiência, custo e qualidade tornou-se elemento central na dinâmica competitiva. Neste cenário, as inovações sustentáveis apresentam-se como diferenciais que agregam valor ao negócio, aos clientes e à sociedade.

Severo, Guimarães e Dorion (2016) afirmam que inovações sustentáveis estão associadas à concepção de produtos novos ou melhorados que considerem os aspectos ambientais. São inovações que reduzem a necessidade de utilização de recursos naturais e/ou os impactos humanos no meio ambiente. No contexto da manufatura, esses benefícios minimizam os desperdícios, conduzem à utilização racional dos recursos, integram a concepção de novos produtos e se materializam, por exemplo, pelas práticas *lean and green* (VERRIER; ROSE; CAILLAUD, 2015; FRANCESCHINI; FARIA; JUROWETZKI, 2016).

Carvalho *et al.* (2017) destacam que as inovações sustentáveis ajudam as empresas a melhorar suas imagens e desenvolver novos mercados que as permitam ampliar a vantagem competitiva. Dados da consultoria Nielsen (2019) mostram que, no Brasil, 42% dos

consumidores buscam consumir produtos que diminuam o impacto ambiental e 30% buscam informações sobre a composição dos produtos que adquirem. Assim, entende-se como estratégica a busca por soluções verdes neste setor.

No caso das empresas que operam no ramo de infraestrutura flexível, por exemplo, em que há uma baixa diferenciação entre as concorrentes, as referidas inovações aumentam a competitividade, visto que a composição dos galpões faz uso dos mesmos materiais, diferenciando-se no tipo de cobertura – lona ou zinco – e no número de águas do telhado. Os projetos desses galpões se adequam às necessidades dos clientes, os quais são indústrias diversas abrangendo desde o agronegócio ao comércio eletrônico.

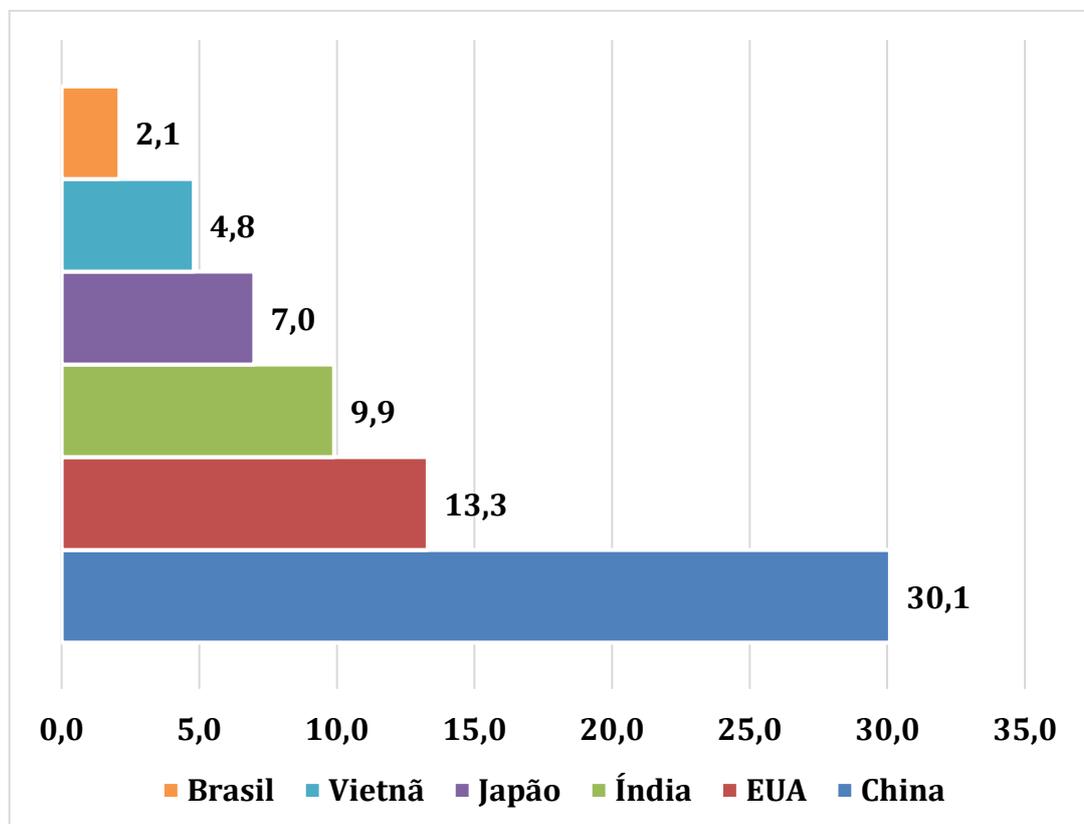
As estruturas de armazenagem flexíveis são soluções economicamente viáveis: o custo é cerca de 15% menor quando comparado às estruturas fixas. Esta característica decorre principalmente do aço utilizado nas colunas de sustentação do galpão que é mais eficiente do que as soluções em concreto, por exemplo. Ainda, o aço possui vantagens como flexibilidade, precisão e resistência mecânica, economia no uso de energia e matéria-prima em seu processo produtivo o que, além de garantir maior retorno econômico, diminui o impacto ambiental (MATOS, 2013). A lona utilizada para o revestimento é de alta resistência, antimofa e possui proteção contra raios ultravioleta, podendo ser reciclada e utilizada para outras finalidades (MECALUX, 2017).

O setor de infraestrutura flexível possui potencial para agregar maior valor a partir da inclusão de elementos sustentáveis na configuração de produto, como tecnologias que viabilizem geração de energia, por exemplo. Assim, as alterações no modelo de negócios que incorporem tais tecnologias possibilitam uma maior diversificação no *mix* de produtos que passam a ser concebidos de forma a reduzir ou minimizar impactos ambientais na medida em que maximizam o desempenho econômico, social e ambiental.

A utilização de coberturas de armazéns para geração de energia fotovoltaica ou solar é uma possibilidade para o desenvolvimento de produtos no setor. Aplicados à necessidade de geração de energia, estes novos produtos estão voltados para as necessidades de clientes que possuem operações em locais com dificuldade para acessar a rede de distribuição de energia elétrica. Estas possibilidades agregam maior valor ao produto mediante custos relativamente baixos de implantação e manutenção.

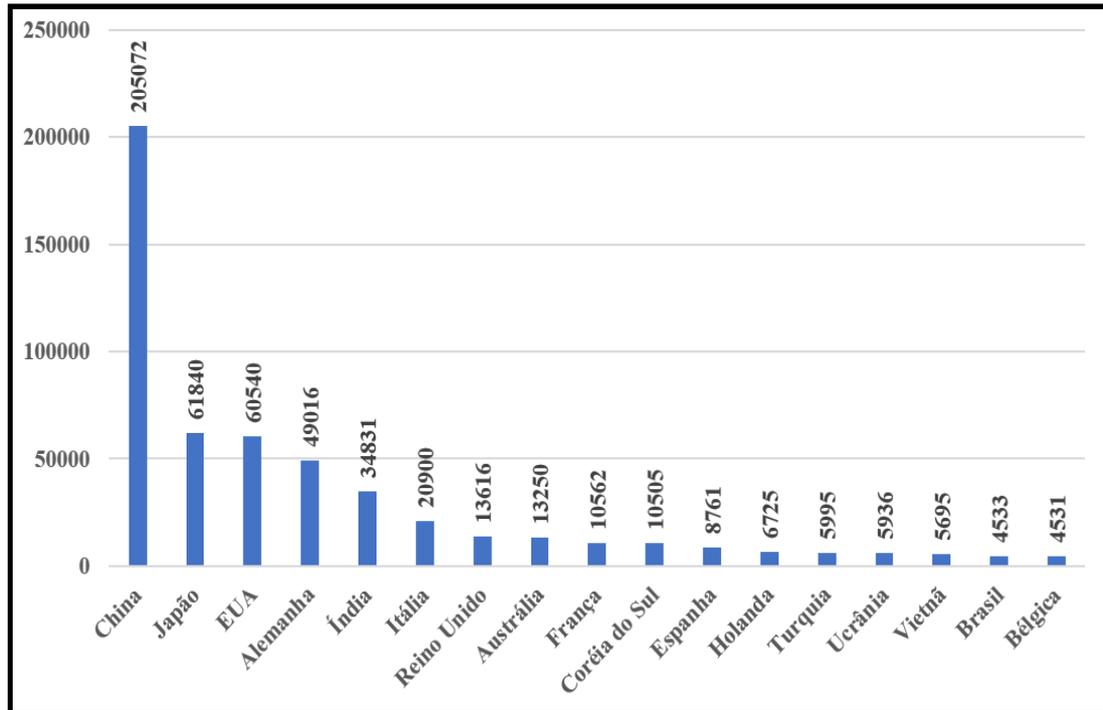
A energia fotovoltaica é a que mais cresce no país, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR: o Brasil instalou 2,1 GW em 2019, acumulando 4,5 GW no potencial de geração. Em oito anos, a potência instalada evoluiu de 7MW em 2012 para 7.470 MW em 2020. A partir dos dados da ABSOLAR, apresenta-se o incremento de capacidade de geração de energia fotovoltaica (Figura 1) e a potência de energia fotovoltaica total instalada por país em 2019 (Figura 2).

Figura 1 – Incremento de energia fotovoltaica por país em 2019 (GW)



Fonte: ABSOLAR (2020)

Figura 2 - Potência de energia fotovoltaica instalada por país até 2019 (MW)



Fonte: ABSOLAR (2019)

Dois situações se colocam neste contexto: a microgeração, definida pela potência instalada ser menor ou igual à 75KW; e a minigeração, cuja potência instalada é maior que 75KW e menor ou igual à 3MW para fontes hídricas e menor ou igual à 5MW para cogeração qualificada ou para as demais fontes renováveis de energia, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Estas duas possibilidades somam 1.588,9MW, enquanto a geração centralizada é responsável por 2.453,9MW, totalizando-se, portanto, 4.042,8MW (ABSOLAR, 2020).

Considerando esse contexto e tomando como ponto de partida a importância do desenvolvimento de novos produtos para a competitividade da empresa do ramo de infraestrutura flexível, este estudo se orienta a partir da seguinte questão: “como a utilização da energia fotovoltaica pode atuar na competitividade do negócio no segmento de infraestrutura flexível?”

Assim, o objetivo geral da pesquisa está em compreender como ocorre o Processo de Desenvolvimento de Produto – PDP – voltado para a inovação sustentável e de que modo esta

inovação pode atuar na competitividade da empresa. Os objetivos específicos deste estudo contemplam: i) explorar as principais discussões teóricas que envolvem sustentabilidade ambiental e desenvolvimento de produtos; ii) apresentar o atual modelo de negócio no setor de infraestruturas flexíveis; iii) apresentar os diferenciais competitivos das soluções associadas à energia fotovoltaica; iv) construir uma heurística que demonstre o processo decisório que envolve o desenvolvimento de produtos que resultem em soluções sustentáveis; v) incorporar o uso da energia fotovoltaica em produtos de infraestrutura flexível; vi) registrar junto ao INPI as soluções desenvolvidas.

O estudo se justifica pela contribuição que traz ao setor de infraestrutura flexível que é, por suas características, carente e demandador de inovações sustentáveis e de desenvolvimento de novos produtos.

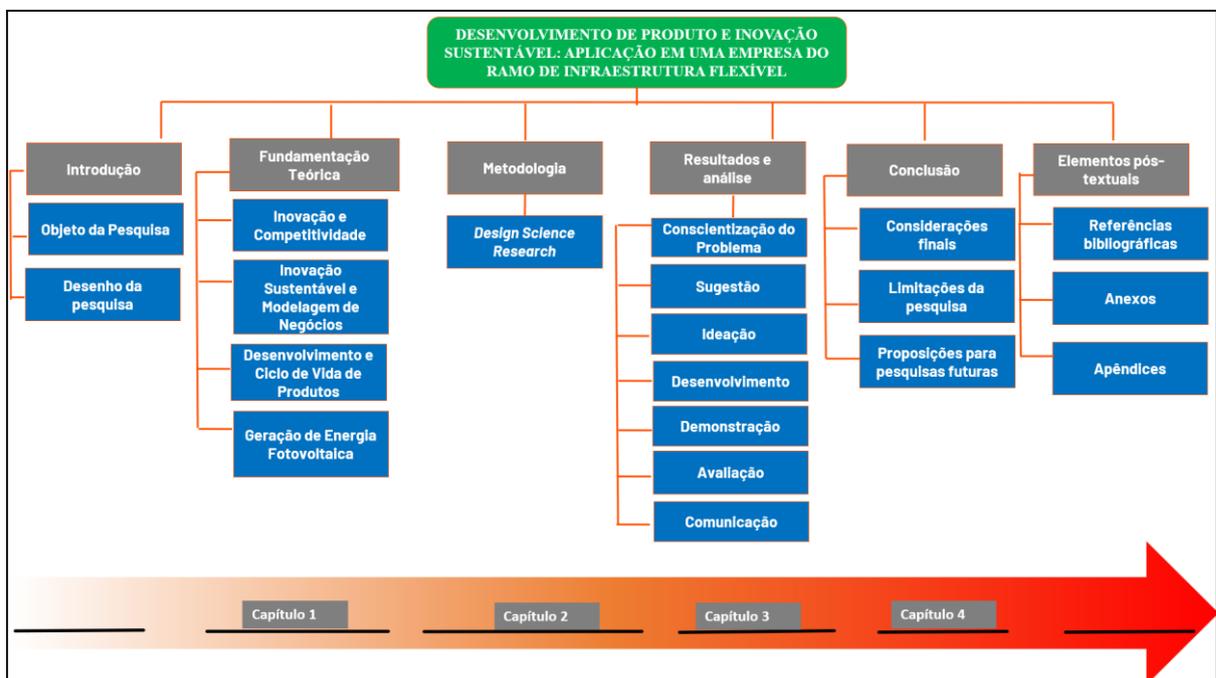
O método de investigação utilizado na pesquisa é o *Design Science Research* – DSR, aplicável no campo da Engenharia e que se ocupa do desenvolvimento de soluções baseadas no conhecimento e aprendizagem humana. Caracteriza-se como um método de pesquisa misto, pois coaduna estratégias qualitativas e quantitativas: a pesquisa bibliográfica foi utilizada para a composição do referencial teórico; a observação participante, levantamento de campo e pesquisa documental foram utilizados para a coleta de dados; a análise de conteúdo e análise descritiva foram as estratégias utilizadas para analisar os dados coletados.

A partir de um levantamento bibliométrico utilizando como palavra-chave “*sustainable innovation*”, buscou-se na base de dados *Web of Science* (coleção principal), na Plataforma de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), a produção acadêmica no período entre 2015 e 2019. Considerando somente textos identificados como artigos, encontraram-se 218 trabalhos que continham a palavra-chave no título, resumo ou palavra-chave. Contudo, na leitura e análise dos textos não foram identificados estudos cujo

objeto de pesquisa fosse a inovação sustentável no setor de infraestrutura flexível, sugerindo uma lacuna de pesquisas relacionadas ao tema aplicado a esta unidade de pesquisa.

O DSR foi combinado com a metodologia de PDP de Rozenfeld (2006) e, neste sentido, instrumentos complementares foram utilizados para executar o projeto: análise SWOT, matriz BCG, heurística, *design thinking*, mínimo produto viável – MVP – e prototipação completaram o conjunto de instrumentos utilizados no estudo. A Figura 3 apresenta os principais tópicos e subtópicos abordados nos capítulos que compõe esta dissertação.

Figura 3 - Estrutura sintética da Dissertação



Fonte: o autor (2020)

## **1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A fundamentação teórica desta pesquisa está baseada em estudos das áreas de Engenharia e Inovação, sobretudo, nos conceitos relacionados à inovação e competitividade, inovação sustentável e modelagem de negócio, desenvolvimento e ciclo de vida de produtos e geração de energia fotovoltaica.

### **1.1 Inovação e competitividade**

A inovação tem sido considerada um dos principais fatores responsáveis por ganhos de concorrência empresarial num contexto econômico cada vez mais globalizado. A competitividade, por seu turno, é um processo que envolve decisões quanto à definição de produtos, serviços, clientes, segmentos e a maneira como uma empresa se posiciona frente aos concorrentes. Para alcançar níveis elevados de competitividade, empresas precisam combinar e integrar recursos e capacidades internas. Estes movimentos de combinação e integração fazem com que o posicionamento competitivo de uma empresa seja revisitado constantemente na busca por diferenciação. O propósito é produzir bens e serviços diferenciados da concorrência e com a percepção de maior valor agregado. Para isso, a inovação é uma prática essencial (CHANG; FERNANDO; TRIPATHY, 2015).

Se, por um lado, a competitividade está associada às inovações incrementais ou radicais empregadas pela organização (KODAMA, 2017), as inovações radicais modificam as indústrias com melhores produtos e modelos de negócio de baixo custo (CORTEZ, 2014). A inovação incremental aprimora competências e sistemas já existentes (CHRISTENSEN; RAYNOR; MCDONALD, 2015).

A consecução da prática inovadora ocorre por diferentes mecanismos, como as parcerias empresariais nas quais as organizações envolvidas compartilham recursos na busca do

atingimento de objetivos comuns. Contudo, consequências indesejáveis também podem surgir dessas parcerias, a exemplo do que ocorre com as práticas de imitação (MADSEN; LEIBLEIN, 2015; BIGELOW; NICKERSON; PARK, 2019).

A inovação de produtos, serviços e modelos de negócios, por sua vez, dinamiza o posicionamento de uma organização empresarial. Argyres, Mahoney e Nickerson (2019) argumentam que, ao se confrontarem com a inovação, as empresas são forçadas a se posicionar ou a se reposicionar quanto à maneira de competir em um determinado mercado.

Introduz-se um novo modelo de negócios com expectativas específicas, muitas vezes, baseadas nos modelos mentais dos tomadores de decisão (POLÁKOVÁ *et al.*, 2016). Quando este modelo é baseado em inovação de produto, um dos efeitos produzidos na competitividade é a diversificação, que proporciona crescimento e redução de riscos na medida em que amplia o portfólio de produtos da empresa, particularmente em economias com mercados de capitais pouco desenvolvidos (GYAN; BRAHMANA; BAKRI, 2017).

Ao ampliar o *mix* de produtos da empresa, evidencia-se uma relação com o investimento e a intensidade de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Níveis maiores de P&D são notados em empresas que se dedicam a propor soluções que estejam relacionadas àquelas comercializadas no atual portfólio de negócio, ou seja, aquelas em que há o aproveitamento dos recursos e capacidades existentes para desenvolver produtos (DANG; HOUANTI; BONNAND, 2016).

A inovação, portanto, pode resultar em produtos relacionados ou não-relacionados com o *mix* de soluções que a empresa oferece aos clientes e esta situação interfere na competitividade: a intensidade competitiva está mais associada com a diversificação relacionada do que com a não-relacionada. Empresas que enfrentam maior intensidade competitiva têm melhor desempenho quando optam pela diversificação não-relacionada, e as com menor intensidade competitiva tendem a ter uma performance melhor com a diversificação relacionada (LJUBOWNIKOW; ANG, 2020).

Dois pontos-chave na análise sobre o caminho para o desenvolvimento do *mix* de produtos são: o ambiente no qual a empresa opera e os aspectos internos como recursos, ativos, capacidades e gestão (GUERRAS-MARTIN *et. al.*, 2020).

Adotar um novo *mix* de produtos é uma decisão que, geralmente, ocorre após a análise das fases finais dos ciclos de vida dos produtos comercializados por uma empresa. Entretanto, há evidências de que, quando um novo portfólio de produtos é implantado nas fases iniciais do ciclo, apesar de ser prejudicial para a eficiência, traz benefícios para a sobrevivência organizacional, em especial em modelos de negócio que abrangem demandas não-mercado, como aquelas ligadas à problemáticas sociais e ambientais (MENDOZA-ABARCA; GRAS, 2019). Os efeitos da adoção de um diferente *mix* de produtos sobre o desempenho dependem dos recursos e capacidades individuais da empresa, além do contexto no qual ela opera (MACKEY; BARNEY; DOTWON, 2017).

Schommer, Richter, Karna (2019) verificaram que, ao longo do tempo, empresas investiram recursos em inovações cujo resultado se concentra em desenvolvimento de produtos relacionados. Uma explicação para este comportamento competitivo pode ser obtida a partir da análise de medidas de mercado de capitais, como valor de mercado e retornos de mercado ajustados ao risco e indicadores contábeis. Esses prognósticos confirmam que o risco do investimento em inovação possui um efeito negativo relativamente pequeno no desempenho das empresas e que os ganhos de mercado obtidos são maiores (PIDUN *et. al.*, 2019).

Empresas também podem optar por desenvolver novos produtos de forma ambidestra, ou seja, obtendo inovações de produto relacionadas e não-relacionadas de forma concomitante, buscando garantir a sobrevivência em momentos de turbulência. Neste caso, a inovação que resulta em um novo *mix* de produtos é vista como uma capacidade dinâmica cujo objetivo é manter a competitividade (LIN *et.al.*, 2020).

Ressalta-se que apesar dos ganhos na competitividade que surgem do aprendizado organizacional inerente ao processo inovador, a empresa também se torna mais complexa em termos de coordenação. Assim, é preciso que o processo de desenvolvimento de produtos gerencie de forma adequada os recursos para que não ocorram ineficiências à empresa (CHEN; KAUL; WU, 2019).

Em geral, as organizações buscam oportunidades de negócios em mercados potenciais, dentre as quais, por meio de inovações sustentáveis, diversificando o *mix* de produtos (WICKI, 2015). Competir com base em sustentabilidade é uma decisão que considera diferentes aspectos da empresa, incluindo o perfil empreendedor que envolve planejamento, orquestração de recursos, modos de entrada e capacidade de inovação (SHEPHERD; SOUITARIS; GRUBER, 2020).

Deve-se considerar, ainda, que as regulações ambientais também pressionam as empresas a desenvolverem recursos e habilidades que as levam a investir em inovações sustentáveis. Neste sentido, as empresas precisam analisar as reservas de recursos e o dinamismo do ambiente competitivo: investir em desenvolvimento de produtos relacionados tem-se evidenciado como o principal comportamento inovador das empresas que buscam o caminho da competitividade sustentável (WICKI, 2015; HU; WANG; YANG, 2019).

## **1.2 Inovação sustentável e modelagem de negócio**

Chen (2016) destaca que a inovação atua sobre o desenvolvimento das organizações e, em ambientes de concorrência acirrada, é necessária à existência. O desenvolvimento de novas tecnologias tem sido protagonizado por organizações líderes de mercado, as quais deixam tangíveis nestes desenvolvimentos o objetivo explícito da competitividade (BOSSLE *et. al.*, 2016). Neste sentido, destacam-se as inovações sustentáveis, que possuem o potencial para

reduzir riscos ambientais e os respectivos impactos negativos associados ao uso intensivo de recursos naturais.

Embora haja uma quantidade representativa de definições, Quadro 1, para esta pesquisa adota-se a definição de Carrillo-Hermosilla *et. al.* (2009): novas tecnologias que melhoram o desempenho econômico e ambiental são consideradas inovações sustentáveis.

Quadro 1- Definições de eco inovação e inovação sustentável

|   |   |
|---|---|
| 1 | “Eco inovação é qualquer forma de inovação que visa a um progresso significativo e demonstrável em direção à meta de sustentabilidade através da redução de impactos no meio ambiente ou do uso mais responsável dos recursos naturais, inclusive energia” (Comissão Europeia, 2007).   |
| 2 | Inovação ambiental é a inovação que serve para prevenir ou reduzir os encargos antropogênicos ao meio ambiente, limpar danos já causados ou diagnosticar e monitorar problemas ambientais” (VINNOVA, 2001)  |
| 3 | “A eco inovação é a criação de bens, processos, sistemas, serviços e procedimentos novos e com preços competitivos, projetados para satisfazer as necessidades humanas e proporcionar uma melhor qualidade de vida para todos, com um uso mínimo do ciclo de vida dos recursos naturais (materiais, incluindo energia e área de superfície) por unidade de produção e uma liberação mínima de substâncias tóxicas” (Europa INNOVA, 2006). |
| 4 | “Eco inovação é o processo de desenvolvimento de novos produtos, processos ou serviços que fornecem aos clientes e negócios valor, mas diminuem significativamente o impacto ambiental” (Fussler e James, 1996).  |
| 5 | “Eco inovação é a Inovação capaz de atrair rendas verdes no mercado” (Andersen, 2002).  |
| 6 | A inovação “orientada para a sustentabilidade” é “a criação de novos espaços de mercado, produtos e serviços ou processos conduzidos por questões ambientais ou de sustentabilidade” (Little, 2005).  |
| 7 | “Inovação sustentável como um processo em que considerações de sustentabilidade (ambiental, social, financeira) são integradas nos sistemas da empresa, da geração de ideias à pesquisa e desenvolvimento (P&D) e comercialização. Este se aplica a produtos, serviços e tecnologias, bem como a novos modelos de negócios e organização” (Charter e Clark, 2007).  |
| 8 | Inovações ambientais são processos, equipamentos, produtos, técnicas e sistemas de gestão novos e modificados que evitam ou reduzem impactos ambientais prejudiciais (Kemp e Arundel, 1998; Rennings e Zwick, 2003).  |
| 9 | “Eco inovação é a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou gerenciamento ou método comercial inovador para a organização (desenvolvendo ou adotando) e que resulta, ao longo de seu ciclo de vida, em redução do risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo uso de energia) em comparação com alternativas relevantes” (Kemp e Pearson, 2008).        |

Fonte: Adaptado de Carrillo-Hermosilla *et. al.* (2009)

Quadro 1- Definições de eco inovação e inovação sustentável (continuação)

|    |  |
|----|--|
| 10 | Eco inovações são “processos de inovação em direção ao desenvolvimento sustentável.”. Inovações ambientais são “Medidas de todos os atores relevantes (firmas, domicílios particulares) que:<br>(i) desenvolvem novas ideias, comportamentos, produtos e processos, aplicam ou os introduz, e<br>(ii) contribuem para a redução dos encargos ambientais ou para metas de sustentabilidade especificadas ecologicamente” (Rennings, 2000).  |
| 11 | Em um sentido amplo, inovações ambientais podem ser definidas como inovações que consistem em processos novos ou modificados, práticas, sistemas e produtos que beneficiam o meio ambiente e, portanto, contribuem para a sustentabilidade ambiental (Oltra e Saint Jean, 2009).   |
| 12 | As eco inovações são todas as medidas dos setores relevantes (empresas, políticos, sindicatos, associações, igrejas, residências particulares) que desenvolvam novas ideias, comportamentos, produtos e processos, os apliquem ou os introduzam e que contribuem para a redução de encargos ambientais ou metas de sustentabilidade especificadas ecologicamente (Klemmer <i>et al.</i> , 1999).   |
| 13 | As tecnologias ambientais incluem todas aquelas cujo uso é menos prejudicial ao meio ambiente do que as alternativas relevantes (Comissão Europeia, 2004).   |
| 14 | Inovação é “a implementação de um produto novo ou significativamente melhorado (bem ou serviço), ou processo, um novo marketing ou um novo método organizacional em práticas de negócios, organização do local de trabalho ou relações externas” (OCDE, 2005).   |
| 15 | As inovações ambientais tecnológicas (TEIs) podem ajudar a reduzir as quantidades de recursos e sumidouros utilizados, sejam eles medidos como intensidade ambiental específica por unidade de produção ou como consumo médio per capita ou mesmo em condições absolutas. Contudo, é dada prioridade absoluta à melhoria das qualidades e à alteração das estruturas da indústria. Em vez de fazer menos, as TEIs são projetadas para tornar o ambiente mais limpo e melhor, implementando novas estruturas, em vez de tentar aumentar a eco produtividade de uma estrutura sub ótima que já existente. TEIs referem-se ao uso de tecnologias novas e diferentes, em vez de usar tecnologias antigas de maneira diferente. TEIs podem ser caracterizados como sendo a montante e não a jusante, ou seja, a montante na cadeia de fabricação ou na cadeia de produtos, respectivamente, bem como a montante no ciclo de vida de uma tecnologia (Huber, 2004). |
| 16 | A eco inovação é geralmente a mesma que outros tipos de inovação, mas com duas distinções importantes: 1) Eco inovação representa o resultado de uma redução do impacto ambiental, sendo esse efeito intencional ou não; 2) O escopo da eco inovação pode ir além dos limites organizacionais convencionais da empresa inovadora e envolve arranjos sociais mais amplos que desencadeiam comunidade depende das normas socioculturais e estruturas institucionais existentes (OCDE, 2009a, b).   |
| 17 | Eco inovação é “a produção, assimilação ou exploração de uma novidade em produtos, processos de produção, serviços ou em métodos de gestão e negócios, que visam, ao longo de todo o seu ciclo de vida, impedir ou reduzir substancialmente risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo energia)” (Comissão Europeia, 2008).   |

Fonte: Carrillo-Hermosilla *et. al.* (2009)

Lv, Tian, Wei e Xi (2018) destacam que as inovações sustentáveis são mais complexas que as inovações convencionais, pois precisam considerar um conjunto de incertezas relativas à sociedade, ao meio ambiente e à economia.

Assim, identificam-se alguns elementos que afetam a relação entre inovação sustentável e competitividade:

- Os recursos dinâmicos ligados às inovações sustentáveis resvalam em capacidades organizacionais e gerenciais (MOUSAVI; BOSSINK, 2017);
- Políticas e regulamentos afetam o padrão de consumo determinando, de certa forma, a trajetória das inovações sustentáveis (BLOK *et.al.*, 2015);
- A transição para uma sociedade mais sustentável também provoca a colaboração entre empresas e estimula o desenvolvimento de novas tecnologias (NIESTEN *et. al.*, 2016);
- O desenvolvimento de produtos verdes deve maximizar o desempenho organizacional, promovendo resultados econômicos e sociais (MEDEIROS; RIBEIRO, 2016);
- A resiliência é elemento determinante às inovações sustentáveis à medida que a estabilidade e a adaptabilidade são requeridas (MAIER *et. al.*, 2019);
- Em ambientes de alta concorrência, a cultura organizacional voltada às inovações sustentáveis é essencial ao incremento da competitividade (AIMIN, 2019).

Observa-se que diferentes fatores conduzem à inovação verde, de acordo com a fase na qual se encontra o desenvolvimento. Na fase de inicialização, há um grande esforço por parte da empresa em alavancar as vendas, pois é o momento de fomentar um novo mercado resistente às novidades para o qual a segmentação é importante para entender às necessidades dos potenciais clientes. Posteriormente, a inovação verde tende a se aperfeiçoar, melhorando em desempenho e atraindo novos clientes a partir das suas funcionalidades e benefícios. Dessa forma, além da ampliação do volume de vendas, intensifica-se o nível de concorrência.

Já na fase de ajuste, a inovação verde está adaptada às necessidades do mercado e, a partir do maior volume de vendas, os custos diminuem. Consumidores do mercado convencional interessados nos benefícios e valores adicionais são atraídos, fazendo com que o mercado não convencional se transforme no mercado principal.

Finalmente, na fase madura, a inovação verde já agregou aprendizagem do mercado, recebeu contribuições das áreas de pesquisa e de desenvolvimento e, eventualmente, de universidades, ampliando a performance do produto. Assim, por meio de estratégias de marketing, a empresa guiará os consumidores mais sofisticados para mudar as preferências de compras para produtos com inovação disruptiva verde.

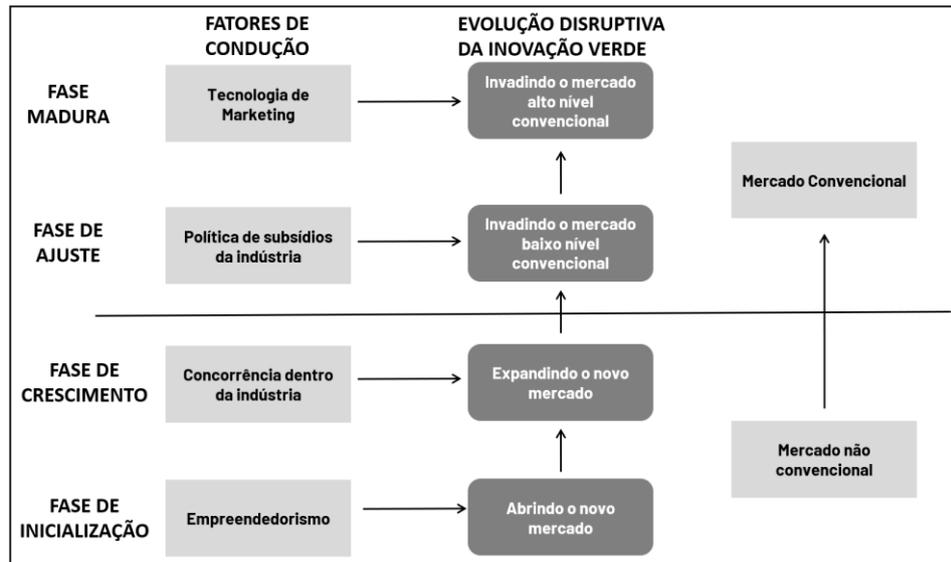
Aliado ao ciclo de vida de produto, a análise desse processo evolutivo conduz ao entendimento de que as inovações sustentáveis afetam a competitividade em um setor na fase da maturidade, diante do qual se passa a competir, inclusive, por recursos para difundir os desenvolvimentos tecnológicos.

Assim, faz-se necessário que, ao investir em P&D voltado para inovação sustentável, a empresa repense o modelo de negócio, ou seja, a abordagem holística no nível de sistema que explica como as empresas fazem negócios.

Trata-se de uma ferramenta importante do ponto de vista da competitividade, pois pode ser a fonte de retornos acima da média, representando uma nova dimensão da inovação e possibilitando às empresas o desenho de ações que conduzam à obtenção da vantagem competitiva em novas oportunidades. O modelo de negócios é cada vez mais utilizado para desenhar negócios baseados em inovações que beneficiem o meio ambiente (MASSA; TUCCI; AFUAH, 2017).

Diante desses elementos, compreende-se que para o alcance de inovações verdes disruptivas orientadas ao mercado, há um caminho evolutivo que precisa ser percorrido, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – O processo evolutivo de inovação verde disruptiva



Fonte: traduzido de Shang *et.al.* (2020 p.8)

Dentre as ferramentas utilizadas para a modelagem de negócios, citamos, neste estudo, o Canvas, que facilita o entendimento das principais alavancas e interações, na medida em que favorece a compreensão de questões fundamentais à sua operacionalização (OSTERWALDER, 2004). Seus elementos e respectivas descrições são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Elementos do modelo de negócios Canvas

| Elemento             | Descrição   |
|----------------------|---|
| Segmentos de mercado | Uma empresa atende sua (s) proposição (ões) de valor a um ou mais segmentos de clientes                     |
| Proposta de valor    | Uma empresa oferece uma combinação de produtos / serviços para criar valor para cada segmento de clientes   |
| Canais               | Uma empresa comunica e entrega sua proposta de valor a cada cliente segmento por meio de vários canais      |
| Relação com clientes | Uma empresa estabelece e mantém relacionamentos com cada segmento de cliente                                |
| Receitas             | Uma empresa gera fluxos de receita a partir da entrega de valor a cada segmento de clientes                 |
| Recursos chaves      | Uma empresa requer recursos (por exemplo, pessoas) para criar e entregar os elementos do modelo de negócios |
| Atividades chaves    | Uma empresa realiza um conjunto de atividades para criar e entregar os elementos do modelo de negócios      |
| Parceiras chaves     | Uma empresa pode terceirizar algumas atividades para sua rede de fornecedores / parceiros                   |
| Custos               | Cada elemento do modelo de negócios de uma empresa tem um componente de custo                               |

Fonte: traduzido de Keane *et. al.* (2018 p.5)

O Canvas pode ser aplicado tanto para ajudar a desenvolver novos modelos de negócios quanto para atualizar modelos já existentes. O emprego desta ferramenta auxilia na gestão estratégica e no mapeamento adequado de recursos e alavancas que caracterizam um determinado negócio (AUSTIN, 2020). É uma ferramenta abrangente, analítica e flexível que favorece a visualização do negócio como um todo (SIMBEROVÁ; KITA, 2020).

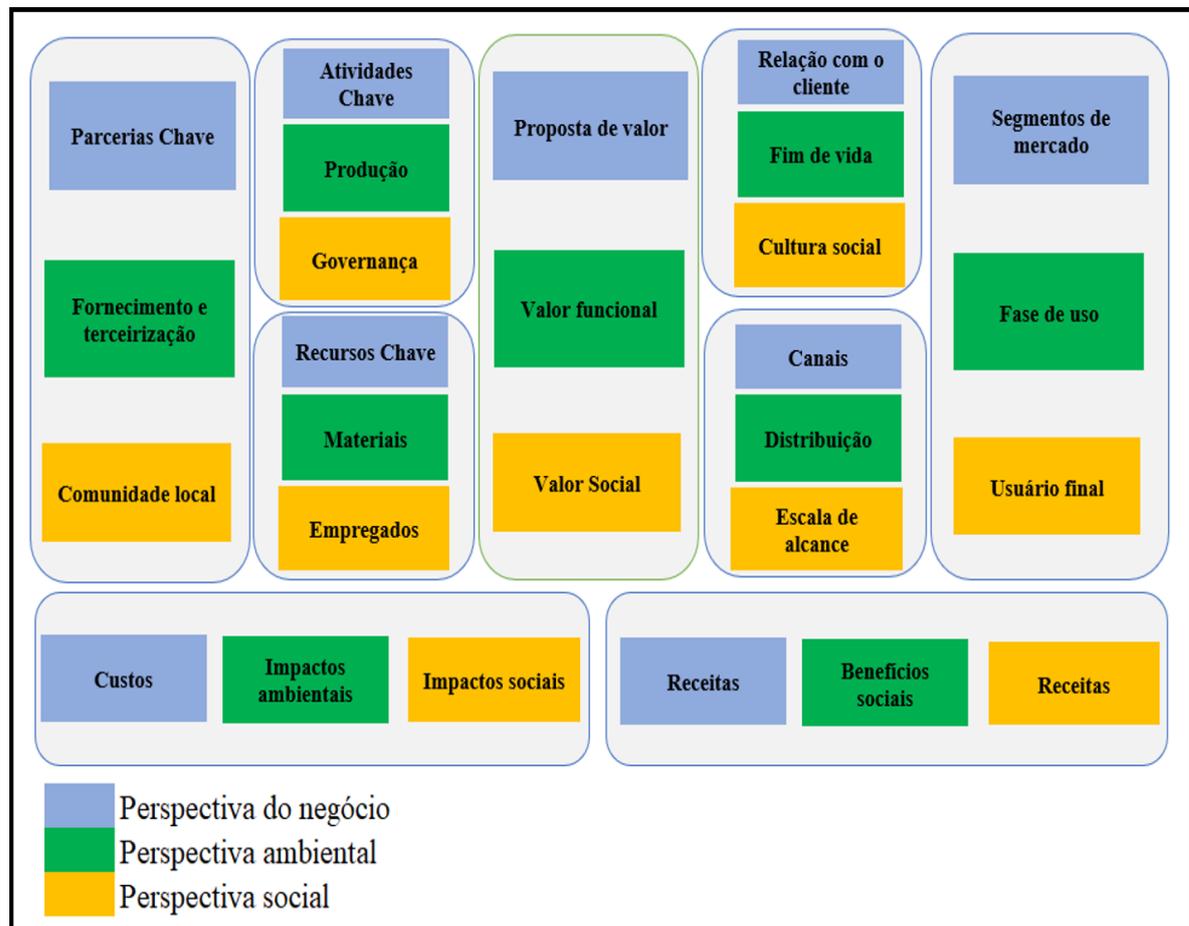
Essa abordagem também pode ser utilizada para modelos de negócios orientados a inovações sustentáveis, ampliando as dimensões propostas por Osterwalder às perspectivas ambientais e sociais (JOYCE; PAQUIN, 2016). Neste sentido, o modelo proposto por Joyce e Paquin (2016), além de colocar em perspectiva a dimensão de negócios e respectivas alavancas econômicas, acrescenta duas camadas: uma sob a ótica do ciclo de vida de produtos que revela a adição de valor por meio de uma perspectiva ambiental; outra que enfatiza os *stakeholders* objetivando um olhar às questões sociais.

O modelo de negócios de três camadas (Figura 5) integra as visões econômica, ambiental e social, amplia os valores de uma organização e apoia a inovação criativa de negócios mais sustentáveis (JOYCE; PAQUIN, 2016).

A modelagem de negócios guarda uma relação com a competitividade da empresa à medida que reflete os resultados da capacidade de inovação. Oferta de valor, pesquisa e desenvolvimento, construção do desenvolvimento e da responsabilidade social, meios de capitalização de recursos em educação e conhecimento são algumas das capacidades utilizadas para pensar na formulação do negócio (BATTISTELLA *et. al.*, 2017).

Em uma estrutura convencional a proposição, captura, criação e entrega de valor são elementos norteadores à definição do modelo de negócios de uma empresa. Em contrapartida, existem valores não capturados nos modelos de negócios e essa identificação pode promover o mapeamento de novas oportunidades de valor que levam à inovação, conforme ilustra a Figura 5 (YANG *et. al.*, 2017).

Figura 5- Representação conceitual do Modelo de Negócios de três dimensões



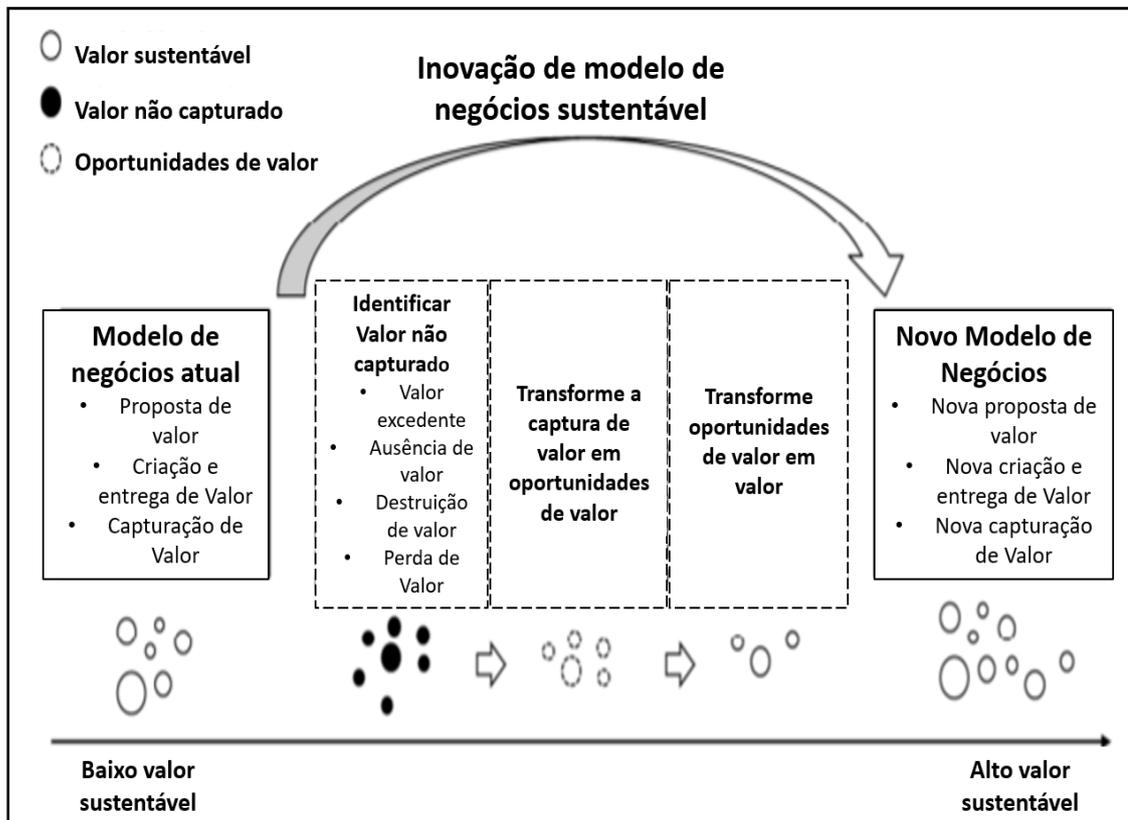
Fonte: adaptado de Joyce e Paquin (2016)

Observa-se que, ao gerar oportunidades, o valor não capturado é que propicia a geração de um novo modelo de negócios. Ao propor soluções que transitem no campo da sustentabilidade, a empresa deve ser capaz de analisar os problemas e identificar as fontes de dissipação de valor que podem causar a perda, destruição ou ausência do mesmo, mas também o que é oferecido e que excede as expectativas dos clientes de forma a provocar o desinteresse pelo produto, por exemplo.

Desta feita, modelos de negócios sustentáveis incorporam conceitos, princípios e metas de sustentabilidade, integrando-as às atividades de criação e entrega. Nestes modelos, ultrapassa-se a lógica do ciclo de vida original do produto: amplia-se o nível de desempenho à medida que se reduz o desperdício. Para fazer este tipo de entrega, é necessário que se reavalie

o produto, bem como as mudanças nos padrões de uso, prolongando o ciclo de vida. Trata-se de uma mudança organizacional, para que, por meio da melhoria no desempenho ambiental, também ocorra um aumento nos resultados financeiros da empresa, conforme Figura 6 (SLOWAK; REGENFELDER; 2017).

Figura 6 - Estrutura do uso de valor não capturado para a inovação sustentável do modelo de negócios



Fonte: Adaptado de Yang *et. al.* (2017)

Ressalta-se, ainda, que a complexidade de lidar com negócios sustentáveis é maior se comparada aos negócios tradicionais quando se consideram os diferentes interesses dos *stakeholders* envolvidos. Ao incorporar a gestão proativa de múltiplas partes interessadas, o objetivo é criar valor financeiro e não-financeiro para todos os participantes (GEISSDOERFER; SAVAGET; EVANS, 2018).

Contudo, os interesses desses *stakeholders* impõem desafios, como as frequentes mudanças regulatórias provocadas pelo governo e as exigências de mercado. No caso específico de soluções que atendam problemas relacionados ao consumo de energia, por exemplo, observa-se que, apesar da alta demanda por instalações fotovoltaicas, situações como redução da tarifa de alimentação, declínio nas taxas de adoção e rotatividade decrescente por instalação do sistema fotovoltaico pode provocar rápida diminuição na receita, levando a empresa a se reinventar, mesmo que de forma incremental. Ao que parece, o modelo de negócios sustentáveis requer reinvenções sistemáticas e que envolve uma análise contínua do ciclo de vida dos produtos (KARAKAYA; NUUR; HIDALGO, 2016).

### **1.3 Desenvolvimento e ciclo de vida de produtos**

O desenvolvimento de produtos integra o processo de gestão da inovação e refere-se aos procedimentos e métodos utilizados para obter novos produtos e comercializá-los. Tais procedimentos abrangem atividades relativas à concepção mental do produto, ao projeto de produto propriamente dito, bem como a manufatura e comercialização. Estas atividades devem, além de criar produtos, reduzir o tempo de desenvolvimento e gerenciar os riscos do projeto (UNGER; EPPINGER, 2011).

A literatura apresenta diferentes modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto – PDP – e que estão citados no Quadro 3.

Dos modelos aqui mencionados, o de Rozenfeld é considerado um dos mais utilizados, pois enxerga no PDP a conexão entre empresa e mercado por meio da identificação das necessidades dos clientes e possibilidades tecnológicas em todas as fases do ciclo de vida e do desenvolvimento de produtos solucionadores das necessidades de forma ágil e passível de fabricação menos custosa e com mais qualidade (AMARAL *et.al.*, 2017).

Ao planejar a oferta de um determinado produto ao consumidor, a organização deve pensar em quais expectativas, desejos e necessidades aquele item deve alcançar.

Quadro 3 - Modelos de processos de desenvolvimento de produto

| PERÍODO        | MODELO   |
|----------------|--|
| Década de 1960 | - Asimow (1962)<br>- Archer (1968)   |
| Década de 1970 | - Kotler (1974)<br>- Jones (1976)<br>- Pahl e Beitz (1977)<br>- Bonsiepe (1978)  |
| Década de 1980 | - Crawford (1983)<br>- Back (1983)<br>- Park e Zaltman (1978)<br>- Andreasen e Hein (1978)<br>- Suh (1988)   |
| Década de 1990 | - Clark e Fujimoto (1991)<br>- Weelwright e Clarck (1992)<br>- Burdek (1994)<br>- Roozenburg e Eekel (1995)<br>- Prasad (1997)<br>- Dickson (1997) |
| Década de 2000 | - Kaminski (2000)<br>- Ulrich e Eppinger (2000)<br>- Pahl (2005)<br>- Rozenfeld (2006)   |

Fonte: Jung (2008)

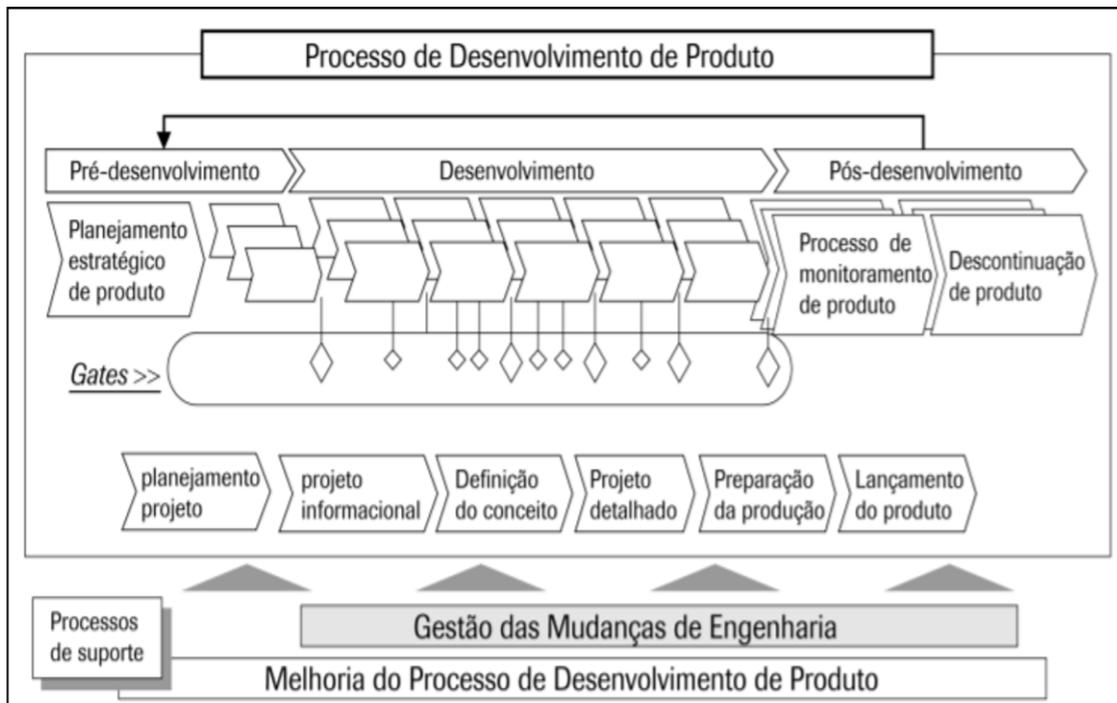
Neste sentido, Rozenfeld *et al.* (2006) propuseram um modelo baseado em três macroprocessos – pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento – conforme representado na Figura 7.

O PDP inicia-se pelo planejamento do projeto, definindo e delimitando o escopo e o produto. Ainda nesta fase, é estipulado o cronograma, avaliados os riscos, e analisada a viabilidade econômica.

Na sequência, na fase de projeto informacional, definem-se as metas e respectivas especificações qualitativas do produto; em seguida, na fase de definição conceitual, são propostas soluções que habilitem o atendimento das metas do projeto. A fase de projeto

detalhado tem a finalidade de minudenciar a concepção do produto, obtendo-se, portanto, as especificações finais dele. Já na fase de preparação para a produção, definem-se os processos de fabricação e, por fim, o produto é lançado (ROZENFELD *et.al.*, 2006).

Figura 7 - Processo de Desenvolvimento de Produtos



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Questões emergentes se colocam como desafio no desenvolvimento de produtos. O crescimento populacional aumenta a demanda por produtos e amplia a escassez de materiais, pressionando as comunidades industriais, acadêmicas e políticas a repensarem o modelo linear de produção e consumo – extrair, transformar e descartar. Evidencia-se a proeminência de um modelo regenerativo de recursos que garanta o atendimento de necessidades futuras através da sustentabilidade (GHISELLINI *et.al.*, 2018; SKENE, 2017).

Igualmente, a importância do fluxo de informações ao longo dos estágios do *design* de projetos (PARRAGUEZ; EPPINGER; MAIER, 2015), a discussão sobre a realização de testes do início ao final do projeto em face da emergência das metodologias ágeis (TAHERA *et. al.*, 2019), as barreiras que impedem o desenvolvimento de produtos sustentáveis como restrições

financeiras, capacitação da mão de obra, má qualidade de insumos, ausência da cultura de melhoria contínua (KUMAR *et.al.*, 2016) e a utilização de *big data* no processo de desenvolvimento de produto se apresentam como alternativas para vencer esses desafios (JOHNSON; FRIEND; LEE, 2017).

Segundo Salari e Bhuiyan (2018), até 80% do custo total dos produtos se origina de decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento. Portanto, é necessário avaliar o efeito que essas decisões têm no ciclo de vida, qualidade e sustentabilidade, que são dimensões, frequentemente, configuradas como *trade-offs*. A análise de casos como o da manufatura aditiva, que é considerado um processo limpo porque somente utiliza a quantidade de material necessário para a produção e limita a geração de resíduos, pode auxiliar o tomador de decisão a escolher opções de projeto de produto, combinando avaliação ambiental, técnica e econômica (YOSOFI; KERBRAT; MOGNOL, 2018).

Embora, em curto prazo, a implementação de conceitos de sustentabilidade possa aumentar os custos relativos a testes, validações e de fabricação, Gialos *et. al.* (2018) apontam que o emprego de tais práticas pode influenciar positivamente o desempenho financeiro e a obtenção de vantagem competitiva a longo prazo. Ao considerar práticas sustentáveis no desenvolvimento de produtos, as organizações podem reduzir os custos de operacionalização com a otimização de matéria-prima, consumo de água e de energia além de melhorar a gestão de resíduos (PINHEIRO *et. al.*, 2018). Para tanto, é necessário analisar a performance do produto no decorrer do seu ciclo de vida.

O ciclo de vida do produto é um elemento chave nos estudos de inovação e determinante para a tomada de decisões estratégicas (WINDRUM; BIRCHENHALL, 1998). Do ponto de vista de gestão, os produtos terão vida limitada, passarão por estágios distintos durante o desenvolvimento e, portanto, irão requerer estratégias de produção, financeira, de marketing, de compras e de recursos humanos adequadas a cada etapa.

Em relação à Engenharia, o projeto e o desenvolvimento de produtos sustentáveis provocam mudanças nas práticas de *design*, que passa a focar no desempenho do produto ao longo do período que estiver sofrendo transformações até chegar ao seu resultado. Desta forma, projeta-se não um produto, mas o ciclo de vida de uma solução (TAO; YU, 2018). Então, o projeto de produto e as capacidades requeridas para o *design* focadas em seu ciclo são as principais fontes para alcançar a maior competitividade na manufatura no nível global (HE; LI; CAO; LI, 2020).

O desenvolvimento de produtos sustentáveis surge, pois, como alternativa à medida que preconiza o crescimento econômico, ambiental e social de forma equilibrada (JI; MA; LI, 2015). Produtos sustentáveis minimizam a utilização de recursos, otimizando e ampliando a aplicação, extraindo o máximo de valor dos materiais. Ao aplicar a sustentabilidade no desenvolvimento de produtos, processos ou serviços, a Engenharia deve enxergar as múltiplas interações entre os fatores de criação e valor, os estágios do ciclo de vida e princípios básicos de Engenharia (TAO; YU, 2018). Neste sentido, novos produtos precisam ser projetados e concebidos de forma a reduzir seus impactos ao longo de seu ciclo de vida (LUIZ *et al.*, 2016).

O ciclo de vida ainda atua como um instrumento para mensuração do valor sustentável de um produto, podendo ser utilizado em complemento ao modelo do tripé da sustentabilidade (econômica, social e ambiental) e à sua própria engenharia, que inclui os aspectos técnico e funcional do projeto de produto (RODRIGUEZ *et al.*, 2020).

Neste ponto é necessário reforçar que este estudo considera como ciclo de vida a trajetória de um produto do início ao final pelo seu desempenho em vendas e é caracterizado pela existência de quatro momentos distintos: introdução, crescimento, maturidade e declínio. Há também os ciclos de vida tecnológicos – baseados em patentes que consideram os estágios tecnológicos: introdução ou emergência, *bug*, crescimento, maturidade e declínio/saturação – de mercado – que descreve a situação de mercado de acordo com o nível de maturidade de

tecnologia: em crescimento, maduro, em declínio e no fim da vida (SHAHMARICHATGHIEH *et. al.*, 2015).

Umeda *et al.* (2012) destacam que a promoção de práticas sustentáveis nas indústrias está estreitamente ligada ao conceito de engenharia do ciclo de vida de produtos. O planejamento e a determinação de sistemáticas aplicadas às fases deste ciclo são essenciais para a obtenção de maior aproveitamento de sua jornada. Assim, o desenvolvimento de produtos “verdes” é estratégico na medida em que amplia a competitividade e ajuda as organizações a manterem a participação relativa de mercado, seja pela maior eficiência nos processos, pela maior lucratividade ou ambos (JULIÃO; GASPAR; TIAHJONO, 2016).

Haanstra, Toxopeus e Gerrevink (2017) argumentam que a implementação dos princípios de sustentabilidade tende a extrapolar as empresas individualmente. Destaca-se que a otimização da utilização dos recursos inerentes ao negócio precisa ocorrer de forma colaborativa ao longo da cadeia de valor.

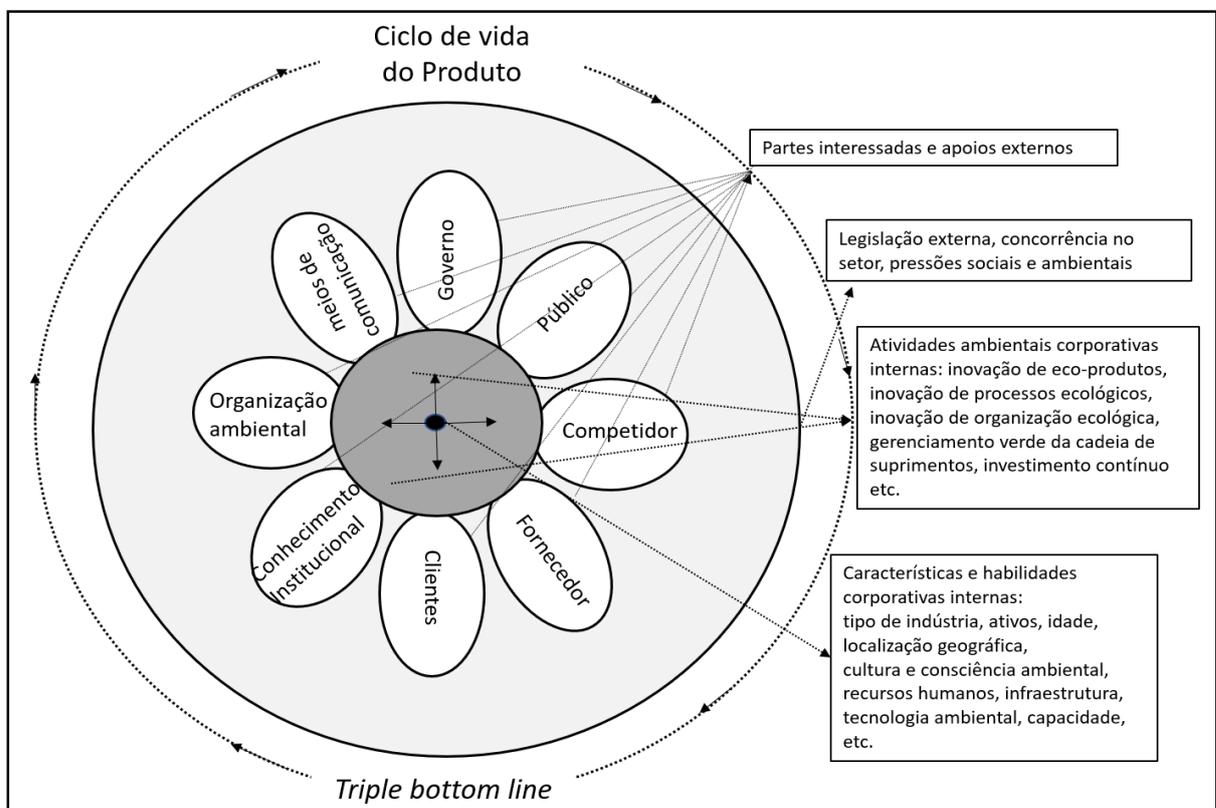
Segundo He *et al.* (2018) o desenvolvimento de inovações sustentáveis está relacionado a uma série de atores internos e externos à organização, sendo influenciado por diversos *stakeholders*. Fatores organizacionais como o tipo de indústria, cultura corporativa, infraestrutura interna, recursos humanos, além de fatores externos como legislação, ambiente da concorrência e pressões sociais e ambientais afetam a adoção do desenvolvimento de produtos e de serviços sustentáveis pelas organizações que buscam beneficiar seu desempenho corporativo e obter vantagem competitiva.

A concepção de produtos que racionalizem a utilização de recursos naturais e de consumo de energia nos respectivos processos de fabricação e de utilização é uma via para o desenvolvimento sustentável (MARCELINO-SÁDABA *et al.*, 2015). Entretanto, a complexidade do processo de desenvolvimento de produtos aumenta na mesma medida em que as organizações precisam considerar os aspectos ambientais, econômicos e sociais (CLUZEL,

2016) e se tornam cada vez mais responsáveis pelo produto em toda a cadeia de valor (RINGEN; WELO, 2018).

A obtenção de vantagem competitiva a partir de inovações sustentáveis deve contemplar conjuntamente fatores internos e externos. Nesse sentido, a associação do ciclo de vida do produto ao *triple bottom line* qualifica a empresa a obter este diferencial, conforme representado na Figura 8 (HE *et al.*, 2018).

Figura 8 – Dinâmica de estratégias para inovação



Fonte: traduzido de He *et al.* (2018 p.5)

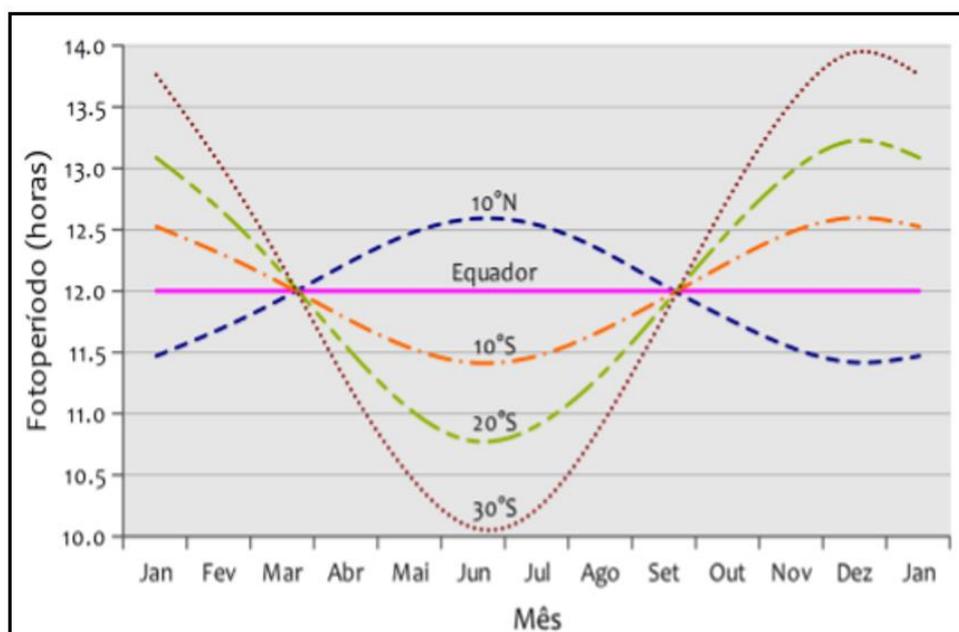
#### 1.4 Geração de energia fotovoltaica

O contexto da geração de energias renováveis, particularmente a fotovoltaica, está, entre outros fatores, associado ao crescimento populacional e conseqüente aumento da demanda energética, além das questões de sustentabilidade impostas pela sociedade e regulações

(PEREIRA *et.al.*, 2017). A geração de energia limpa é vista como importante solução para o futuro, mas as tecnologias para obtenção dessas fontes encontram-se em diferentes níveis de maturidade, complexidade de implementação e de integração, além de serem altamente dependentes de condições climáticas, o que torna a equação ainda mais desafiadora (BLAABJERG; IONEL, 2015).

A partir do desenvolvimento científico e tecnológico, a energia provida pelo Sol beneficia a sociedade a partir do aquecimento solar, da geração de eletricidade ou pela climatização de ambientes. Neste contexto, o aproveitamento fotovoltaico para geração de energia elétrica vem assumindo, nas últimas décadas, um crescimento significativo na matriz energética mundial. A taxa de energia emitida pelo Sol é constante à ordem de  $3,86 \cdot 10^{26} \text{W}$ . Cerca de 81% dessa energia chega ao sistema Terra-Atmosfera e é capaz de alimentar os processos térmicos, dinâmicos e químicos, produzidos natural ou artificialmente pelo homem (PEREIRA *et.al.*, 2017). Essa fonte pode ser aproveitada de duas maneiras, sendo denominada energia solar aquela que usa o calor do sol para aquecimento e a energia fotovoltaica a que converte a luz do sol em energia elétrica (ABSOLAR, 2020).

Figura 9 - Variabilidade do fotoperíodo ao longo do ano para diferentes latitudes



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

A posição relativa entre o Sol e a Terra determina a disponibilidade e variabilidade do recurso energético solar. A Terra orbita o Sol a uma distância média de 150 milhões de quilômetros em um ciclo de 365,25 dias solares. Como sua trajetória é elíptica, há uma variação na distância ao longo do trajeto e, portanto, o fluxo de radiação solar (irradiância solar) oscila ao longo das estações do ano, assumindo um valor médio igual a  $1.366\text{W/m}^2$  (PEREIRA, 2017).

Conforme Pereira *et al.* (2017), a quantidade de energia proveniente do Sol incidente em um determinado ponto da Terra é função da duração do dia que apresenta variabilidade temporal característica dos ciclos anual e diário. O primeiro é consequência da inclinação de  $23,45^\circ$  do eixo axial da Terra com relação ao plano orbital do planeta em torno do Sol; o segundo está relacionado às estações do ano, como demonstra a Figura 10.

Figura 10 - A geometria Sol-Terra



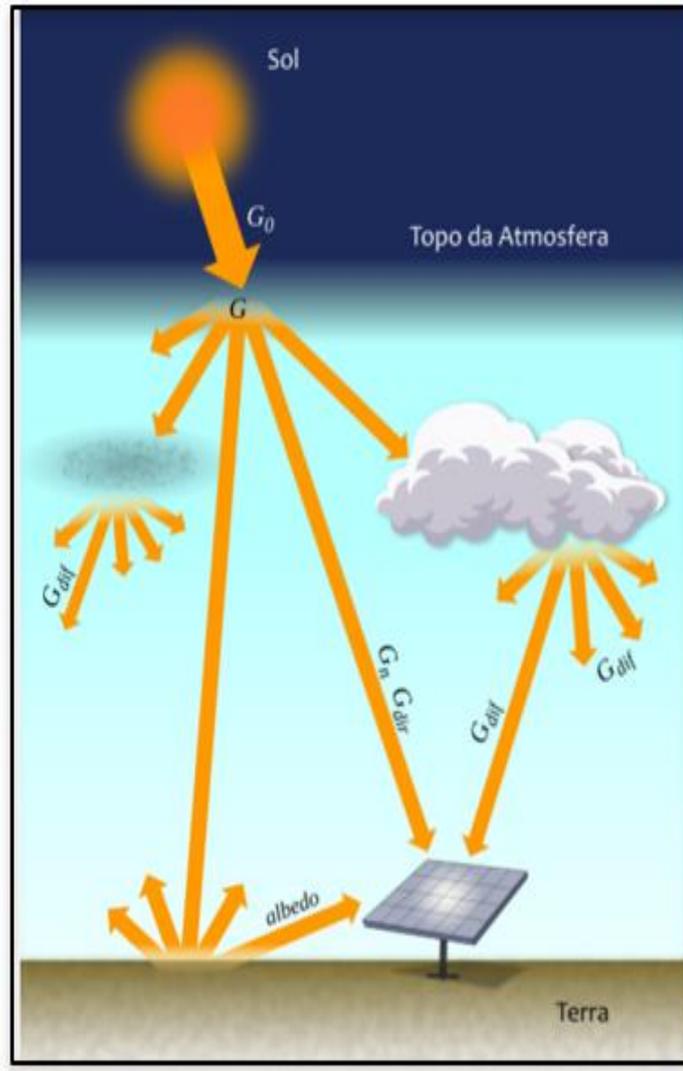
Fonte: Pereira *et al.* (2017)

Além disso, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera terrestre é capaz de absorver radiação infravermelha e manter parte da energia do sistema Terra-Atmosfera, afetando a estabilidade da temperatura terrestre (IPCC, 2015).

A irradiância solar é o resultado das radiações direta e indireta. A radiação que incide na linha imaginária entre o Sol e a superfície da Terra e que não foi absorvida ou espalhada pela atmosfera é denominada como direta. A proveniente das demais direções, que são decorrentes

do espalhamento oriundo da atmosfera, é denominada difusa (PEREIRA *et al.*, 2017). A Figura 11 representa as componentes da irradiância solar:

Figura 11 - Componentes da irradiância solar



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

Onde:

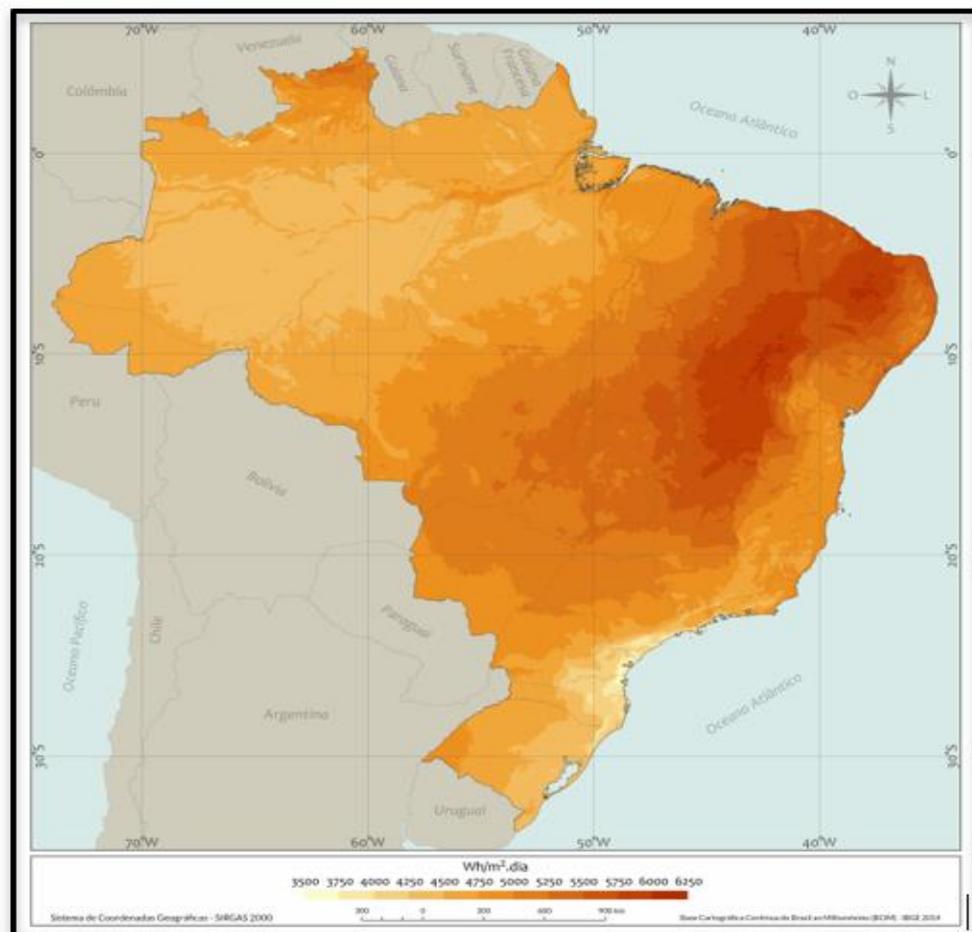
- $G_0$ : irradiância terrestre (energia incidente em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera);
- $G_n$ : irradiância direta normal (aquela que incide perpendicularmente entre o Sol e a superfície);

- Gdif: energia incidente sobre a superfície horizontal decorrente do espalhamento da radiação provocado pela atmosfera;
- Gdir: feixe solar direto em uma superfície horizontal;
- G: energia incidente em uma superfície horizontal que é calculada pela expressão:

$$G = G_{dif} + G_{dir}$$

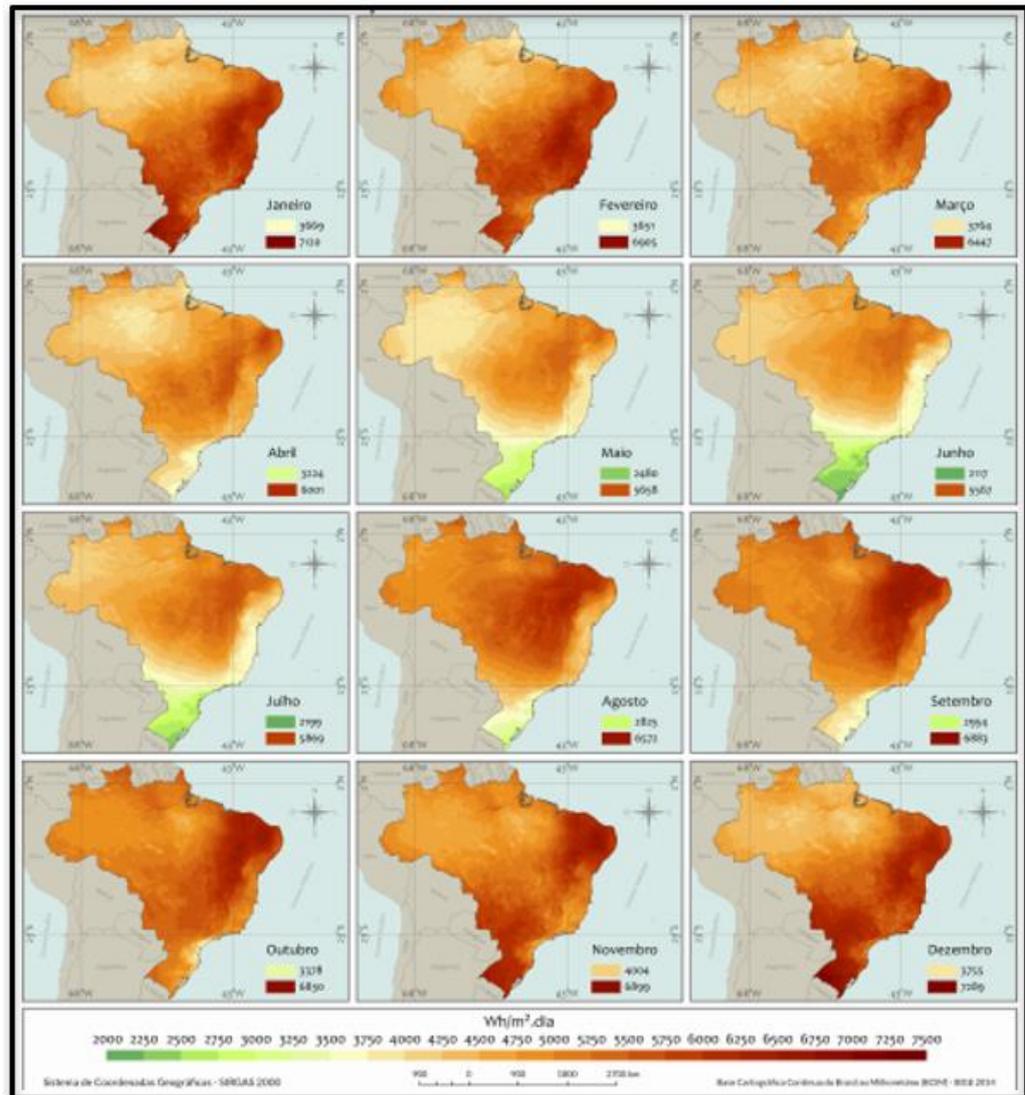
O Brasil é privilegiado quanto à irradiação solar e, mesmo nos lugares menos ensolarados, como na região Sul do país, o potencial de geração de energia fotovoltaica ainda seria maior que na Alemanha, que é o país europeu líder na geração desse tipo de energia (ABSOLAR, 2017). A irradiação solar global horizontal média anual e mensal são apresentadas nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Média anual de irradiação Global Horizontal



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

Figura 13 - Médias mensais de irradiação global horizontal



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

As Figuras 12 e 13 representam, ainda, as diferenças de intensidades de irradiação solar no território brasileiro, sendo seus níveis influenciados por aspectos climáticos, pela posição que a região ocupa no globo terrestre e pelos efeitos da trajetória do planeta em torno do Sol. As faixas representadas pela cor laranja mais escuras são predominantes no Nordeste, Centro-oeste e parte do Sudeste, apresentando, assim, o maior potencial de geração de energia fotovoltaica.

Embora a irradiação solar seja um dos fatores da intermitência da geração de energia fotovoltaica, outros elementos como refletividade, temperatura das células fotovoltaicas,

eficiência do inversor de potência, entre outros, também contribuem (WAN *et al.* 2015). Assim, a potência máxima obtida por um sistema fotovoltaico (Figura 14) pode ser representada pela equação:

$$P = \eta SI[1 - 0,05(t_0 - 25)]$$

Onde:

P = potência

$\eta$  = eficiência de conversão (%)

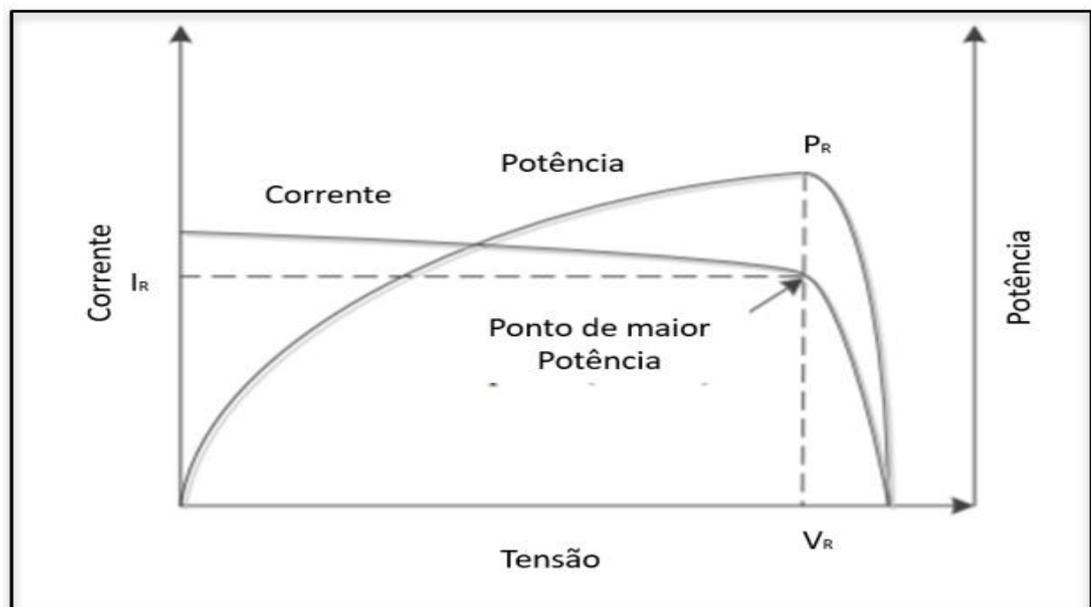
S= área (m<sup>2</sup>)

I= irradiação solar (KW/m<sup>2</sup>)

t<sub>0</sub>= temperatura do ar externo (°C)

Nota-se que o aumento da temperatura interfere na potência do sistema fotovoltaico, sendo que a partir de 25°C, perde-se 5% por grau adicionado.

Figura 14 - Curva de potência característica do painel fotovoltaico



Fonte: Wan *et al.* (2015)

Sabe-se que a geração de energia fotovoltaica é influenciada pelo clima nas diferentes regiões do país e que a qualidade dessa energia é um aspecto importante dadas as flutuações de tensão e de frequência. A variabilidade de recursos renováveis e intermitências causadas pelas

condições climáticas e de harmônicas que são introduzidas pelos dispositivos eletrônicos de potência são inerentes à geração de energia renovável (LIANG, 2017).

O Quadro 4 demonstra como a geração de energia fotovoltaica é influenciada pelo clima nas diferentes regiões do país.

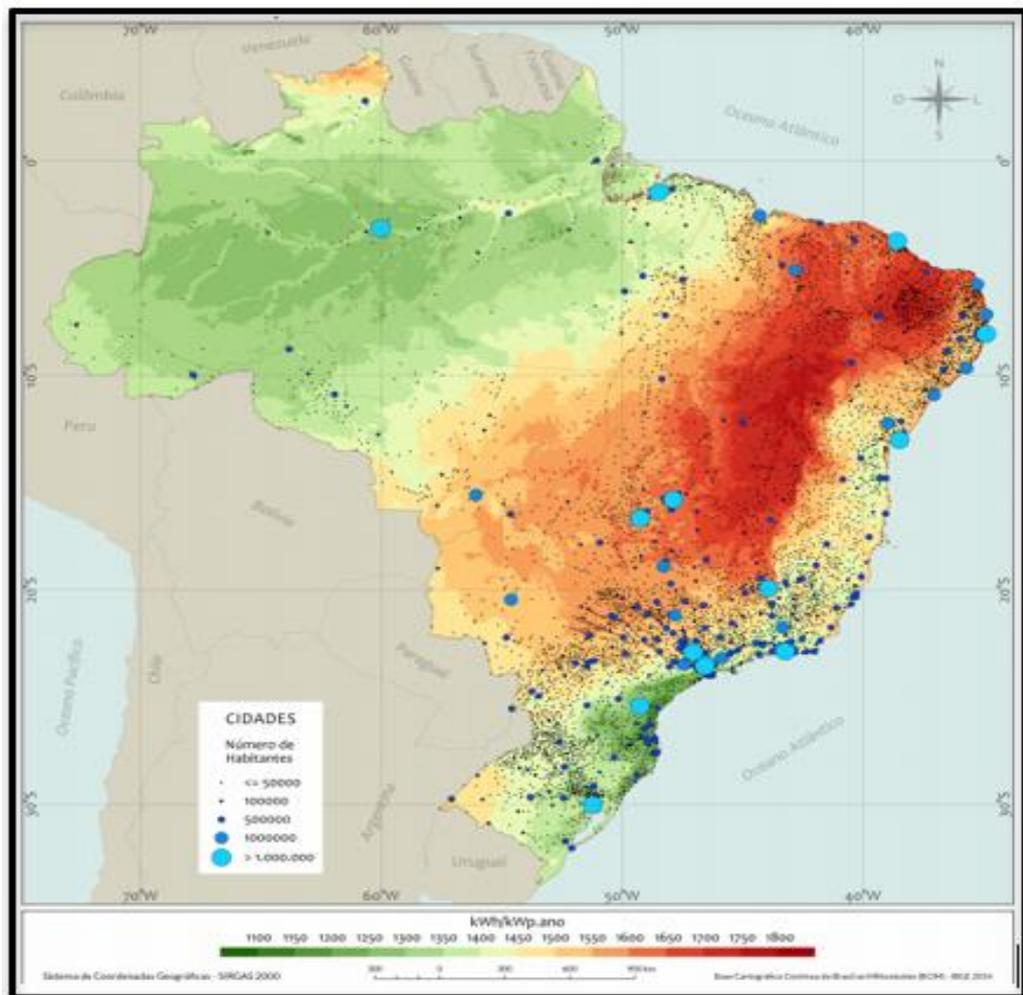
Quadro 4 - A influência climatológica das regiões brasileiras na geração da energia solar fotovoltaica

| Regiões      | Aspectos   |
|--------------|--|
| Nordeste     | A Região Nordeste apresenta climas equatorial, tropical e tropical semiárido. É também uma das regiões que recebe maior radiação solar do Brasil, possuindo temperaturas ao longo do ano entre 20° e 28° C, com um índice de precipitação anual de 300 a 2000 mm, que dura poucos meses dando vazão a longos períodos de estiagem, sendo considerada a região mais seca do país. É, também, uma das mais quentes e, dessa forma, a eficiência dos módulos fotovoltaicos para a geração de energia solar pode ser afetada apesar do potencial de radiação (MATTOS, 2018). |
| Norte        | A região Norte apresenta um clima equatorial, o mais úmido do País, em virtude da floresta amazônica, com temperaturas anuais entre 24° e 26° C e precipitação anual de chuva de aproximadamente 2000 a 3000 mm. Apesar desses fatores, a região recebe radiação solar com potencial para geração de energia fotovoltaica, embora, em virtude da grande quantidade de chuvas, as eficiências dos módulos possam ser afetadas. (PEREIRA, 2017).   |
| Centro-oeste | A região Centro-oeste, de acordo com dados climatológicos, é de clima quente, com lugares de temperaturas semelhantes à da Região Nordeste. Durante o verão, a região acumula até 70% dos totais pluviométricos, com inverno demasiadamente seco. Para a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) a região é propícia para a geração de energia solar fotovoltaica graças à combinação de vários fatores dentre eles os climatológicos.  |
| Sudeste      | A Região Sudeste se caracteriza por apresentar transição de clima quente de baixas latitudes com clima temperado das médias latitudes subtropical, com fatores intrínsecos associados à formação de granizo. Assim como na região Centro-Oeste, nesta região ocorre, no verão, acúmulo de até 70% dos totais pluviométricos com inverno demasiadamente seco. Alguns desses fatores podem interferir negativamente no desempenho de módulos fotovoltaicos, como concentração de nuvens e chuvas de granizo (PEREIRA, 2017).   |
| Sul          | O clima na Região Sul é de influência subtropical, tropical e temperado, as estações do ano são bastante diferenciadas e a temperatura média anual varia entre 16° e 22° C. Esses fatores podem interferir positivamente no aumento da eficiência dos módulos de geração de energia solar fotovoltaica devido às temperaturas amenas (LIMA, 2015). No entanto, é a região com menor incidência média de radiação devido à sua latitude.  |

Fonte: Pereira (2019)

A Figura 15 apresenta o potencial de geração solar fotovoltaica relacionando a concentração populacional às condições regionais de irradiação por região do país. Evidenciam-se as oportunidades de implementação dessa fonte de energia no Brasil.

Figura 15 – Potencial de geração solar fotovoltaica

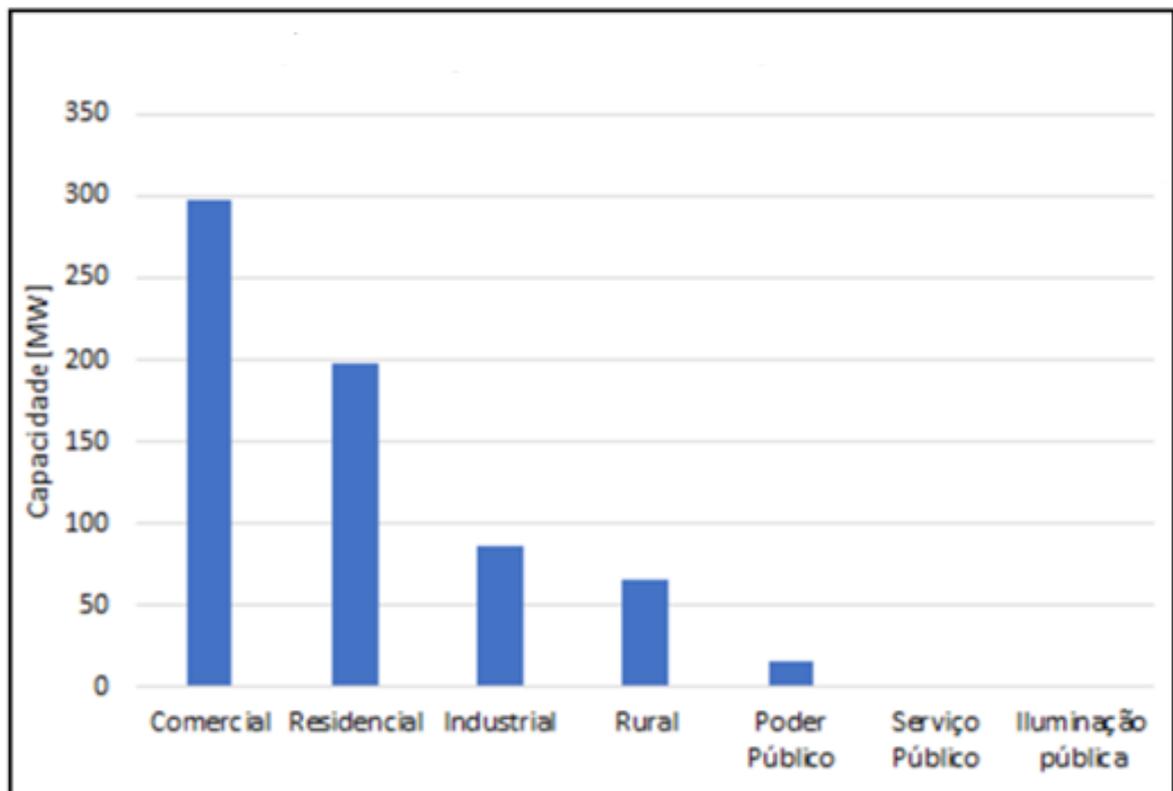


Fonte: Pereira *et al.* (2017)

A geração de energia fotovoltaica distribuída é tipicamente caracterizada por ser a energia gerada por usinas de menor porte e próximas ao centro de consumo (NAKABAYASHI, 2014). Geralmente, é instalada em coberturas de edificações, sendo pulverizada no território brasileiro. Sua atratividade é aumentada em função da irradiação solar anual da região e amplia a viabilidade, principalmente, em localidades com altas tarifas de eletricidade convencional das distribuidoras locais (PEREIRA *et al.*, 2017).

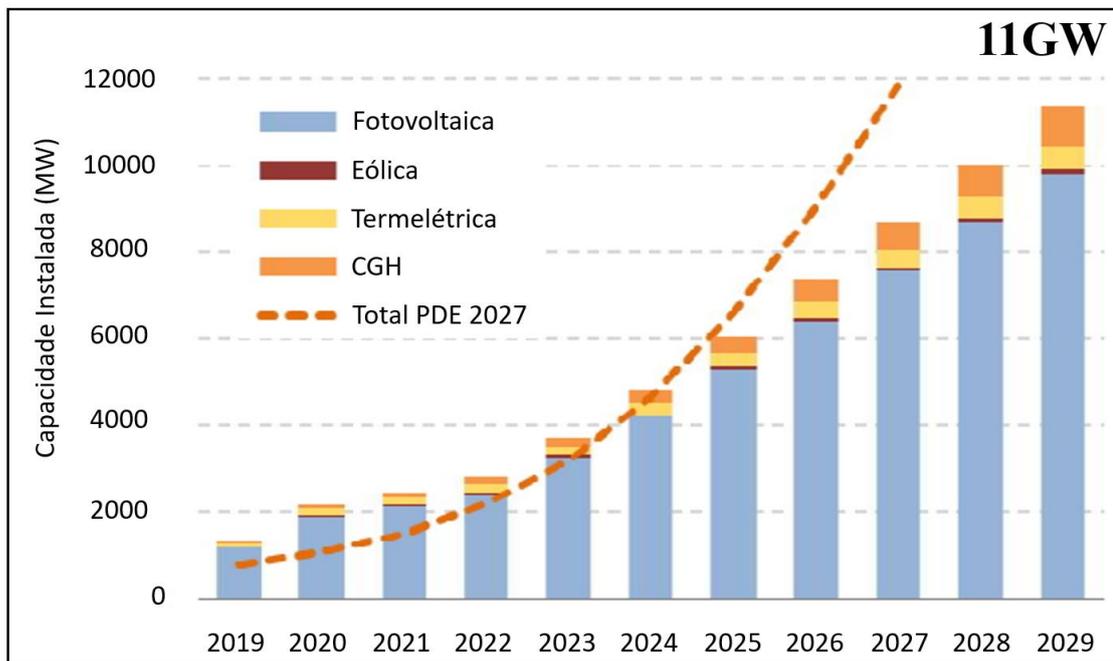
Os recursos de geração de energia distribuída são empregados por meio de tecnologias que permitem a produção e armazenagem, reduzindo o consumo de concessionárias de distribuição, à medida que promovem a autoprodução e normalmente o autoconsumo por meio de micro e minigeração de energia. Essa modalidade de geração de energia elétrica, dentre suas vantagens, minimiza os investimentos em linhas, além de reduzir as perdas de energia elétrica (MME; EPE, 2019). Os investimentos necessários à aquisição de geradores solares fotovoltaicos vêm decrescendo nos últimos anos, fazendo com que essa modalidade crescesse exponencialmente a partir de 2016, se tornando cada vez mais representativa (PEREIRA *et.al.*, 2017). Em junho de 2019 a micro e minigeração distribuída atingiu 1GW, superando todas as expectativas para o setor (MME; EPE, 2019). A Figura 16 apresenta a projeção de micro geradores por classe de consumo, enquanto a Figura 17 ilustra o crescimento projetado da capacidade instalada até 2029.

Figura 16 - Projeção de potência por classe de consumo



Fonte: ePowerBay (2019)

Figura 17 - Projeção da capacidade instalada da micro e minigeração distribuída



Fonte: MME, EPE (2019)

As perspectivas para a geração distribuída são promissoras. Estima-se que em 2029 haverá mais de 1,3 milhão de adotantes desse sistema, o que totalizará 11,4 GW de energia gerada por essa fonte e que demandará mais de R\$ 50 bilhões de investimentos (MME; EPE, 2019).

Embora se evidencie o potencial do sistema de geração de energia fotovoltaica, existem aspectos negativos que devem ser considerados. O Quadro 5 contém algumas potencialidades e debilidades relativas a essa modalidade.

Quadro 5 – Aspectos positivos e negativos do sistema solar fotovoltaico distribuído

| <b>Aspectos positivos</b>   | <b>Aspectos negativos</b>  |
|---|--|
| Redução nos Custos de Geração, Transmissão e Distribuição: Esse sistema pode contribuir para a redução de gastos públicos em obras relacionadas às construções de usinas, manutenções, substituições de equipamentos e das linhas de transmissão (BARRETO, 2018). | Custos do sistema: o sistema de geração distribuída fotovoltaica ainda é considerado caro, dentre os motivos estão os atrasos das regulamentações, custos de implementação e gastos adicionais em pesquisas dentre outros (BERGER e INIEWSKI, 2015). |
| Através do sistema off-grid, a energia solar fotovoltaica pode chegar a áreas remotas, distantes dos perímetros urbanos ou das linhas de transmissão de energia (MAIA, 2018).   | No sistema off-grid é necessário o uso de baterias para o armazenamento dos excedentes de energia que poderão ser usados quando os equipamentos não estiverem operando, porém, a vida útil de uma bateria varia de 4 a 5 anos (GUIMARÃES, 2018).     |

Fonte: Pereira (2019)

Quadro 5 - Aspectos positivos e negativos do sistema solar fotovoltaico distribuído (continuação)

| <b>Aspectos positivos</b>  | <b>Aspectos negativos</b>  |
|--|--|
| Redução do Fornecimento de Energia na Rede durante os Picos de Carga: com a geração distribuída, o consumidor contribui para minimizar a demanda elétrica usando a própria geração (NARUTO, 2018).   | A inserção da energia distribuído na rede pode provocar problemas de alteração dos procedimentos (NETO, 2016)  |
| A geração distribuída não necessita de grandes extensões de terra ou de água para a geração de energia, podendo ser produzida em perímetros urbanos em coberturas ou fachadas dos empreendimentos (PEREIRA, 2017).   | O sistema de geração solar fotovoltaica distribuída tem como impactos os perigos associados às instalações, a remoção e a manutenção de sistemas, além da geração de resíduos e riscos de incêndio (OTTINGER, 1994).   |
| Diminuição das Perdas no Sistema Elétrico - como a energia é gerada próxima aos pontos de consumo, não há a necessidade de grandes linhas de transmissão que são as principais causadoras de perdas elétricas (MANÇO, 2017).   | Fluxo de Potência Reverso - o sistema elétrico foi projetado para operar de forma unidirecional, no entanto com a geração distribuída interligada a rede, pode acarretar fluxo de potência em direções contrárias comprometendo a funcionalidade (PALUDO, 2014). |
| As Smart grid - são sistemas inteligentes de controle da rede que podem fornecer energia de forma estável e robusta, através dos sistemas de comunicação que são capazes de aumentar a previsibilidade e a flexibilizarem dos parâmetros de controle de geração (PEREIRA, 2017). | Apesar dos estudos e dos avanços na pesquisa das “smart grid”, os preços desta tecnologia ainda são elevados e o seu desenvolvimento depende de subsídios e incentivos do governo e da iniciativa privada para o aprimoramento da tecnologia (BARRETO, 2018).    |
| As Micro redes - operam em pequenas escalas auxiliando no monitoramento de sistema de geração distribuídas off-grid podendo fornecer uma energia mais confiável, resiliente e estável (NARUTO, 2017).  | O Ilhamento ocorre no sistema <i>on-grid</i> quando o sistema elétrico principal que porventura deveria estar desenergizado por algum problema técnico recebe tensão do sistema de geração distribuído (SGUAÇABIA, 2015).  |

Fonte: Pereira (2019)

Um sistema de geração fotovoltaica é constituído basicamente por:

- Painéis com módulos fotovoltaicos, que convertem a energia da irradiação solar em energia elétrica com corrente contínua;
- Inversores que transformam a corrente contínua em alternada, compatível em termos de frequência e tensão da rede elétrica;
- Painel elétrico para o circuito de instalação elétrica;
- Estruturas metálicas para suportar os painéis fotovoltaicos e respectivos elementos de elementos de fixação.

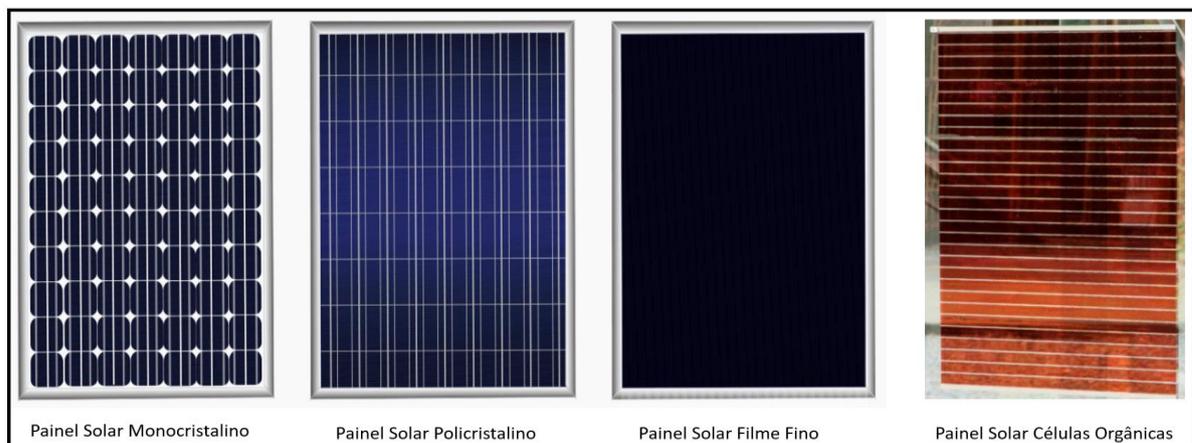
Segundo Gomes *et al.* (2019), os painéis fotovoltaicos convertem a radiação solar em energia elétrica sendo, portanto, os responsáveis pela geração de energia. Há modelos construtivos com características diferentes e ilustrados na Figura 18:

- Placas de silício monocristalino: embora sejam mais caras, são as mais eficientes pela pureza obtida a partir de seu processo de fabricação;
- Placas de silício policristalino: embora sejam menos eficientes que as placas de silício monocristalino, são baratas e, por esta razão, as mais utilizadas;
- Placas de filmes finos: é a placa de menor peso próprio. Requerem menores custos de matéria-prima e de energia na fabricação, porém são menos eficientes que as anteriores;
- Placas de células orgânicas ou poliméricas: ainda em fase de desenvolvimento e, portanto, com pequena escala de produção.

Podem, ainda, ser classificadas de acordo com o respectivo material empregado na fabricação:

- Silício amorfo (a-Si);
- Tolueno de cádmio (CdTe);
- Cobre, índio e gálio seleneto (CIS/ CIGS);
- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV).

Figura 18 - Ilustração dos modelos de placas fotovoltaicas



Fonte: adaptado de Solar Magazine (2020)

A Tabela 1 apresenta o rendimento médio das células e módulos fotovoltaicos por tipo de material/ tecnologia.

Tabela 1 - Rendimento médio em células e módulos fotovoltaicos

| <b>MATERIAIS E/ OU TECNOLOGIAS</b>      | <b>CÉLULAS</b> | <b>MÓDULOS</b> |
|---|----------------|----------------|
| Silício monocristalino – m-Si           | 14% a 25%      | 14% a 21%      |
| Silício policristalino – p-Si           | 20%            | 13% a 16,5%    |
| Orgânicas                               | 12%            | 7 a 12%        |
| Filmes finos                            | 9% a 16%       | 7% a 13%       |
| Silício amorfo – a-Si                   | 9%             | 6% a 9%        |
| Telureto de Cádmio - CdTe               | 22%            | 10% a 12%      |
| Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS | 22%            | 10% a 12%      |
| Híbrido - HJT                           | -              | 23%            |

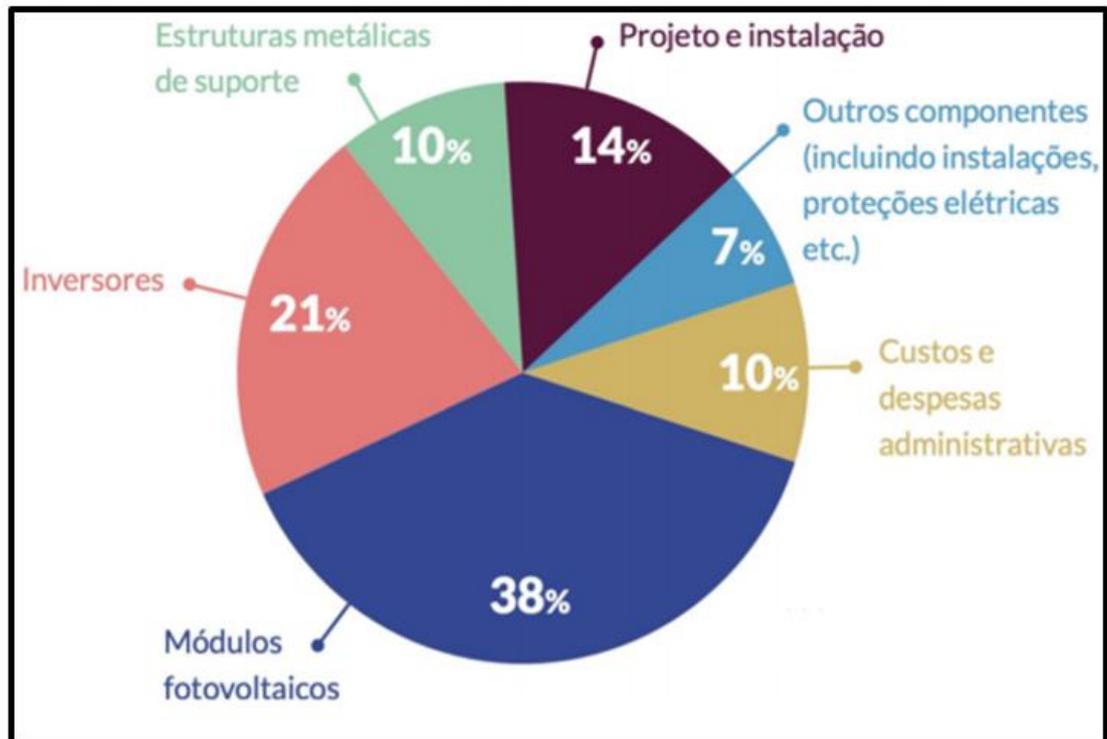
Fonte: Almeida (2016)

Os inversores são equipamentos eletrônicos que convertem a energia elétrica em corrente contínua para alternada. Também são responsáveis por ajustar a frequência e nível de tensão gerada de forma compatível às das redes de distribuição elétrica. Os controladores ou reguladores de carga são empregados normalmente em sistemas *off grid* (aqueles isolados da rede de distribuição de energia elétrica) que dispõem de sistemas de armazenamento de energia. A principal função deste equipamento é proteger as baterias de sobrecarga de tensão e prevenir que elas sejam completamente descarregadas, além de assegurar que o sistema opere com a máxima eficiência. As baterias ou acumuladores são dispositivos responsáveis pela armazenagem de energia elétrica produzida pelas placas fotovoltaicas. Estes equipamentos representam um importante papel no suprimento de energia em períodos noturnos ou em momento de baixa radiação solar e, portanto, quando a geração de energia elétrica é reduzida (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas de micro e minigeração de energia distribuída se apresentam de duas maneiras distintas: o sistema denominado *on-grid* é aquele em que a geração e consumo estão

conectados à rede; o *off-grid* é caracterizado pelo isolamento da rede de distribuição (BORTOLOTO *et. al.*, 2017). A composição de custos de um sistema fotovoltaico é apresentada na Figura 19.

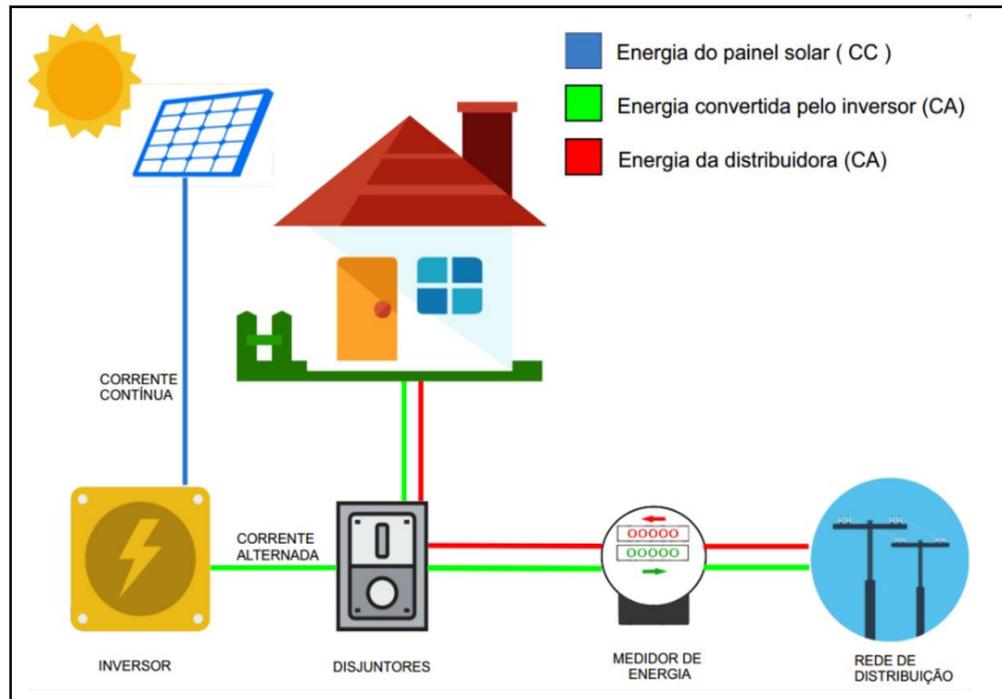
Figura 19 - Composição de custos de um sistema fotovoltaico no sistema *on-grid*



Fonte: IEA SP (2019)

A fonte geradora dispensa a armazenagem de energia, pois estando conectado à rede, é possível demandar energia da concessionária de distribuição quando não houver geração de energia elétrica fotovoltaica ou, ainda, injetar o excedente de energia gerada pelo sistema e que não for consumida pela fonte geradora à rede. Para este método, o sistema basicamente é constituído por placas fotovoltaicas, que convertem a irradiação solar em energia elétrica para corrente contínua, e os inversores que convertem esta corrente contínua em corrente alternada, com frequências compatíveis com a rede elétrica, conforme representado na Figura 20 (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

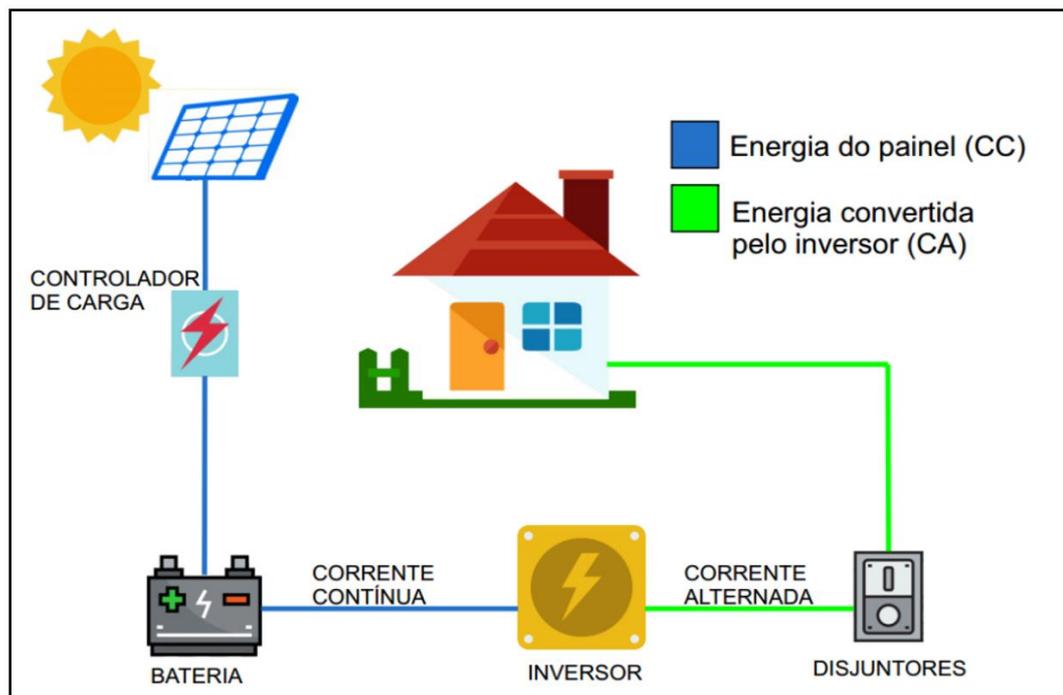
Figura 20 - Desenho esquemático de um sistema *on-grid*



Fonte: Energy Tec (2020)

Já o sistema *off-grid* (FIGURA 21) é autônomo e isolado da rede, dependente da geração de energia fotovoltaica.

Figura 21 - Desenho esquemático de um sistema *off-grid*



Fonte: Energy Tec (2020)

Neste caso, o sistema normalmente é constituído por placas fotovoltaicas, controladores de carga, inversores de frequência e banco de baterias. É um sistema utilizado por propriedades distantes de redes de distribuição e em áreas rurais (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

O emprego de sistemas autônomos que geram e armazenam energia renovável em áreas remotas e sem acesso à rede elétrica é uma alternativa à obtenção de energia de forma contínua e confiável (MA *et. al.*, 2015; AKINYELE; RAYUDU; NAIR, 2015).

Por ser um sistema desconectado da rede de distribuição, as baterias são um recurso para armazenagem de energia. O excedente de energia elétrica gerado pelo sistema fotovoltaico é armazenado no banco de baterias para consumo no período noturno em que não há irradiação solar (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

Além disso, os dispositivos de armazenamento atuam quando as condições climáticas não são favoráveis à geração de energia. O excedente gerado e não consumido é armazenado para compensar a ineficiência da geração de energia causada nestas situações (IWAFUNE *et al.*, 2015; LIU *et. al.*, 2017).

Outro aspecto positivo à armazenagem de energia está associado à volatilidade de seu preço. As baterias garantem a disponibilidade da corrente gerada para utilização em momentos de pico de demanda onde os preços são extremos. Contudo, o armazenamento de energia pode promover receitas adicionais à medida que é possível comercializar o excedente gerado e não consumido ou promover economia significativa de custos (WU; XIA, 2015; MCCONNELL; FORCEY; SANDIFORD, 2015; WANG; LIN; PEDRAM, 2016).

O alto potencial de fontes renováveis adicionado à boa qualidade dos recursos energéticos brasileiros e às altas tarifas de eletricidade tornam os investimentos nessa modalidade rentáveis e, portanto, atrativos a grandes varejistas, bancos, indústrias locais e aquelas localizadas em áreas remotas (MME; EPE, 2019).

## 2 MÉTODO

Este capítulo descreve o método de pesquisa empregado detalhando protocolos, procedimentos e etapas de execução.

Em relação à natureza e objetivo, este estudo é classificado como aplicado e exploratório, visto que não há precedentes teóricos ou empíricos que tratam do objeto de pesquisa analisado – desenvolvimento de produto via inovação sustentável em empresa no setor de infraestrutura flexível – e espera-se gerar conhecimentos que possibilitem a resolução de problemas específicos, com aplicações práticas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

O desenho metodológico de um estudo deve considerar, prioritariamente, os indicativos dados pela questão de pesquisa. Dada a problematização apresentada, destacam-se elementos como:

- O reconhecimento de que produtos dotados de sustentabilidade ambiental aumentam a competitividade empresarial;
- O alcance da inovação sustentável via um processo rigoroso de desenvolvimento de produto;
- A caracterização do setor de infraestruturas flexíveis como componente de cadeias de valores que buscam maximização da eficiência pela diminuição de custos e disponibilização de recursos logísticos *em tempo integral*;
- As possibilidades que a energia fotovoltaica proporciona para os clientes da empresa analisada em relação à diminuição da dependência da companhia distribuidora de energia elétrica, garantindo menos recursos e maior disponibilidade.

Ao desenvolver produtos a partir da energia fotovoltaica busca-se um desenho metodológico voltado para a resolução pragmática de problemas. Identificado como um intermediário entre as concepções filosóficas positivista e interpretativista, o pragmatismo foca na compreensão do problema vivenciado por uma organização e em como desenvolver soluções

para saná-lo. Na medida em que se coloca o desafio de maximizar a receita a partir da inovação sustentável em uma empresa que se apresenta como um negócio tradicional, tem-se a possibilidade da utilização de métodos que viabilizem o estudo meticoloso e ao mesmo tempo parcimonioso da realidade organizacional, utilizando instrumentos que mesclam abordagens qualitativa e quantitativa de pesquisa (CRESWELL, 2010).

Neste sentido, possibilidades como o estudo de caso e a pesquisa-ação, mesmo apresentando-se como estratégias de pesquisa possíveis e com características associadas ao pragmatismo, se mostram inadequadas para a busca das descobertas objetivadas por este estudo. Assim, opta-se pela utilização do *Design Science Research* – DSR – como estratégia metodológica condutora desta pesquisa.

Embora haja elementos comuns entre os métodos de estudo de caso, pesquisa-ação e DSR, esse último foi escolhido pela adequação de seus procedimentos ao objeto de estudo, uma vez que se trata de uma pesquisa de campo por meio da observação e da interação que resulta em produto para posterior avaliação dos artefatos gerados pela pesquisa.

O DSR, cuja principal missão é desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefatos (AKEN, 2004), é amplamente utilizado em áreas do conhecimento que se caracterizam pela necessidade de respostas a problemas cotidianos, particularmente aqueles de origem organizacional. De forma notória, sua aplicação se verifica em campos como a Engenharia, visto que esse método é passível de conceber sistemas que ainda não existem por meio de criação, recombinação ou alteração de produtos, processos ou métodos para melhorar situações existentes (ROMME, 2003).

Hevner (2004) se ocupa de justificar o uso do DSR em face da existência de condições como:

- O objeto do estudo constitui-se como um artefato, ou seja, trata-se de uma criação humana;

- A existência de um problema relevante, denotando a utilidade do conhecimento que será gerado;
- A utilização de procedimentos com o devido rigor científico para avaliar os artefatos produzidos;
- O artefato produzido representar uma contribuição significativa para o campo do conhecimento ao qual se relaciona;
- O rigor da revisão da literatura que embasa e fundamenta o desenvolvimento de propostas que resultam no artefato representativo da solução;
- A eficiência no uso dos recursos empregados para o desenvolvimento da solução;
- A comunicação das soluções desenvolvidas bem como dos resultados alcançados.

As principais características comparáveis entre os métodos são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Comparativo entre o Design Science Research, o Estudo de Caso e a Pesquisa-Ação

| Características       | <i>Design Science Research</i>  | Estudo de Caso Tradicional   | Pesquisa-ação tradicional   |
|-----------------------|---|--|---|
| Objetivos             | Desenvolver artefatos que permitam soluções satisfatórias aos problemas (prescrever e projetar).  | Auxiliar na compreensão de fenômenos sociais complexos (explorar, descrever e explicar).   | Resolver ou explicar problemas de um determinado sistema, gerando conhecimento para a prática e para a teoria (explorar, descrever e explicar).   |
| Principais atividades | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conscientizar;</li> <li>• Sugerir;</li> <li>• Desenvolver;</li> <li>• Avaliar</li> <li>• Concluir</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir estrutura conceitual;</li> <li>• Planeja o(s) caso (s);</li> <li>• Conduzir piloto;</li> <li>• Coletar dados;</li> <li>• Analisar dados;</li> <li>• Gerar relatório (MIGUEL, 2007 P.221)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejar a ação;</li> <li>• Coletar dados;</li> <li>• Analisar dados e planejar ações;</li> <li>• Implementar ações;</li> <li>• Avaliar resultados;</li> <li>• Monitorar (TURRIONI; MELLO, 2010).</li> </ul> |

Fonte: LACERDA *et. al.* (2013)

Quadro 6- Comparativo entre o Design Science Research, o Estudo de Caso e a Pesquisa-Ação (continuação)

| Características                    | Design Science Research  | Estudo de Caso Tradicional   | Pesquisa-ação tradicional   |
|------------------------------------|--|--|---|
| Resultados                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Artefatos (constructos, modelos, métodos, instanciações)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Constructos, hipóteses, descrições, explicações.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Constructos, hipóteses, descrições, explicações, ações.</li> </ul> |
| Tipo de conhecimento               | Como as coisas deveriam ser.   | Como as coisas são ou como se comportam.   | Como as coisas são ou como se comportam.  |
| Papel do pesquisador               | Construtor e avaliador do artefato.  | Observador.  | Múltiplo, em função do tipo de pesquisa-ação.   |
| Base empírica                      | Não obrigatória.   | Obrigatória.   | Obrigatória.  |
| Colaboração pesquisador-pesquisado | Não obrigatória.   | Obrigatória.   | Obrigatória.  |
| Implementação                      | Não obrigatória.   | Não se aplica.   | Obrigatória.  |
| Avaliação dos resultados           | Aplicações, simulações, experimentos.  | Confronto com a teoria.  | Confronto com a teoria.   |
| Abordagem                          | Qualitativa e/ou quantitativa.   | Qualitativa.   | Qualitativa.  |

Fonte: LACERDA *et. al.* (2013)

Na existência destas condições, o DSR investiga produtos da criação humana, bem como, seu comportamento nas esferas científica e organizacional, projetando artefatos dedicados à resolução de problemas, tanto do ponto de vista acadêmico quanto do técnico (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011).

Uma forma de planejar e organizar a execução do DSR é visualizá-lo como um processo composto por diferentes e subseqüentes etapas que produzem artefatos específicos.

O Quadro 7 sumariza procedimentos e expectativas de artefatos que podem ser gerados em cada etapa do método.

Quadro 7 - Operacionalização do DSR

| ETAPA                       | DESCRIÇÃO   |
|-----------------------------|---|
| Conscientização do problema | Descrever de forma relevante e ampla o problema de pesquisa, traçando interfaces e relações com o contexto, inclusive externo   |
| Ideação                     | Desenvolver uma ou mais alternativas de artefato (solução) para solucionar o problema, bem como selecionar um deles através de protocolos para validade interna (as escolhas que foram feitas, os critérios e as justificativas para as escolhas); evidenciar que não existe solução para o problema e o que está sendo proposto é satisfatório e não “ótimo” |
| Desenvolvimento             | Construir ambiente interno do artefato, algoritmos, modelos gráficos, maquetes, e o próprio artefato em estado funcional; nível piloto  |
| Demonstração do artefato    | Analisar como o artefato se comporta no ambiente para o qual foi projetado, mostrando a relevância teórica e prática  |
| Avaliação                   | Mostrar todas as etapas da pesquisa, processo de condução, justificativa das escolhas feitas, como avança o conhecimento e melhora dos sistemas organizacionais   |
| Comunicação                 | Apresentar os resultados para a comunidade (o que foi feito, como foi realizado, implicações da pesquisa)   |

Fonte: adaptado de Dresch, Lacerda e Miguel (2015)

Seguindo a operacionalização proposta, passa-se a uma descrição de como estas etapas ocorrem, os instrumentos utilizados e os *outputs* gerados e que subsidiam as etapas subsequentes.

Na etapa de Conscientização do Problema, que possui caráter exploratório, deve haver uma descrição do problema de pesquisa a partir da compreensão dos contextos interno e externo da organização. Essa compreensão é realizada mediante a busca por informações sobre as características competitivas do setor de infraestrutura flexível em relação a produtos, cadeia produtiva, demandas dos clientes, diferenciação entre concorrentes, participação de mercado, fornecedores e parceiros.

A análise de SWOT (acróstico das palavras do idioma inglês, *strenghts, weaknesses, opportunities, threats*, que se referem a forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, em português), é uma das ferramentas utilizadas nesta etapa do DSR, por ser adequada para analisar situações que culminam em competitividade. A identificação de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças é utilizada no meio acadêmico e técnico, podendo ser combinada com outras ferramentas como a análise BCG (HELMS; NICKSON, 2010; PANDYA, 2017). As

informações constantes na SWOT são analisadas criticamente, buscando a decomposição de conteúdo para identificar categorias de análise, de acordo com as orientações de Bardin (1977) para a análise de conteúdo.

A análise BCG, por sua vez, é uma ferramenta desenvolvida pelo Boston Consulting Group – BCG, cuja premissa aponta para que as organizações equilibrem produtos em seu portfólio em torno de quatro categorias: produtos com alto crescimento e baixa participação de mercado; alto crescimento e alta participação; baixo crescimento e alta participação de mercado; baixos crescimento e participação. Mediante essa categorização, que considera a participação de mercado e o potencial para aumentá-la, têm-se as decisões de investimento, alocando recursos em produtos de forma eficiente (MOHAJAN, 2017).

Ainda com relação à conscientização, há uma heurística que demonstra a tomada de decisão sobre a adoção da inovação sustentável pela empresa. Seguindo as orientações de Severino (2016), optou-se, neste estudo, pela utilização de três caminhos metodológicos: pesquisa bibliográfica, observação participante e um levantamento com os participantes do processo decisório na empresa Tópico Locação de Galpões:

- A partir da pesquisa bibliográfica, que recupera as contribuições dos autores e estudos analíticos, foram identificados os elementos que conectam o desenvolvimento de produtos com a inovação sustentável e competitividade e como esses elementos influenciam o processo decisório nas organizações;
- A observação participante ocorreu mediante a interação entre o pesquisador e funcionários envolvidos com o processo decisório da empresa Tópico Locação de Galpões e Equipamentos Industriais. Com o acesso aos fenômenos estudados, esta técnica permitiu capturar elementos não identificados na literatura, mas presentes na realidade da empresa;

- O levantamento por meio de amostragem intencional (quatorze participantes) e feito com questões objetivas, fechadas e com opções de resposta pré-definidas pelo pesquisador, intencionou conhecer as tomadas de decisão e a opinião dos sujeitos pesquisados, assim como, explorar como pode ocorrer o desenvolvimento de produto, objetivando a inovação sustentável.
- A observação participante fez parte de todas as etapas do DSR. Registraram-se em um diário de bordo as observações coletadas, as quais, posteriormente, foram submetidas à análise de conteúdo, comparando-as com o referencial teórico, de modo que os elementos utilizados na formulação da heurística inicial pudessem ser extraídos.

Na sequência, foi elaborada uma série de assertivas a partir da observação participante e da revisão da literatura. Utilizando-se da ferramenta Google Formulários, as assertivas foram organizadas em uma escala de intensidade, na qual os respondentes apontaram maior ou menor nível de concordância ou de discordância. Acresceu-se, ainda, no instrumento de coleta de dados, questões quanto ao perfil do respondente.

Na etapa da Ideação, as atividades de pesquisa concentram-se em desenvolver protótipos a partir do mínimo produto viável (*Minimum Viable Product* - MVP) e da análise de dados secundários obtidos na literatura técnica relacionada ao sistema de energia fotovoltaico. Para tanto, utiliza-se de uma metodologia legitimada que estimula a inovação e criatividade a partir do compartilhamento de conhecimentos, que é o *design thinking*. Esta ferramenta emprega recursos e linguagens diversas para elaborar artefatos e processos, por meio de fases que abrangem a pesquisa, análise e compreensão dos dados, experimentação e invenção. Os resultados esperados ocorrem quando diversos campos do conhecimento e suas especificidades convergem, fazendo emergir a solução de problemas (RAZZOUK; SHUTE, 2012).

Aliado ao *design thinking*, o MVP é outra metodologia que proporciona o desenvolvimento de produtos. O MVP é uma versão não definitiva do produto, mas capaz de demonstrar o valor que a solução representa a partir da demonstração de recursos básicos. Este pré-produto é testado por experimentos que confirmam ou refutam as expectativas no momento da ideação do produto (MOOGK, 2012).

O MVP pode ser incluso no conjunto de metodologias ágeis que atualmente se dissemina nas organizações, em particular nas *startups*, pois operam com poucos recursos e pressão de tempo. A lógica do pré-produto é otimizar a utilização do tempo: mesmo tendo projetado todas as características da solução final, optou-se por incluir apenas as principais, para poder aprimorá-las por meio do teste, frente ao usuário que fornece novos *inputs* pela experiência de uso (HOKKANEN; KUUSINEN; VAANANEM, 2016).

A etapa de Desenvolvimento dedica-se a duas atividades: o teste das soluções idealizadas para coleta de dados e posterior análise de desempenho; a busca na base mundial de patentes sobre soluções já registradas e que tivessem o mesmo escopo do projeto.

Para a prototipação, utilizou-se uma abordagem na qual o objeto observado – no caso, as soluções propostas – é colocado em condições técnicas de observação e manipulação, determinando quais variáveis serão controladas (SEVERINO, 2016).

A busca de patentes se deu com a utilização da pesquisa documental que identifica, categoriza, organiza e explora os objetos de análise, registrando os dados obtidos a partir dos documentos de patente (SEVERINO, 2016). Trata-se da principal estratégia de pesquisa quando se trata de estudos de prospecção tecnológica para o desenvolvimento de produtos (SANTOS; MARTINEZ; JUIZ, 2019).

A etapa de Demonstração do Artefato consiste em aplicar as soluções testadas e observar os padrões de desempenho. Neste momento, podem ser identificadas necessidades de adaptação do projeto. Para a análise dos padrões de desempenho são utilizadas estatísticas descritivas que

incluem as medidas de tendência central e de variação, das quais se consegue inferir a distribuição dos dados (HAIR JR; BABIN; MONEY; SAMOUEL, 2005).

A partir dos dados coletados no teste, tem-se a etapa de avaliação das soluções, durante a qual os desempenhos das mesmas são comparados com desempenhos das soluções atualmente existentes, com a finalidade de comprovar a efetividade do projeto. Esta avaliação se consolida utilizando a análise de cenários, que consiste em elaborar enredos distintos compostos, cada qual por uma sequência de eventos que contém a relação entre si, informações sobre *stakeholders*, locais, tempo e demais elementos que possam torná-lo mais realista possível. Parte-se de um conjunto de proposições por meio das quais é possível avaliar e mapear vários resultados de uma determinada situação (HASSANI; HASSANI, 2016).

Por fim, na etapa de Comunicação é definida e executada a comunicação dos resultados do projeto, abrangendo frentes distintas: divulgação científica com artigos acadêmicos, divulgação comercial em periódicos do setor e encaminhamento do pedido de registro de patente. O Quadro 8 sintetiza os procedimentos de coleta e análise de dados utilizados para a condução do DSR e relaciona as etapas da metodologia com o modelo de desenvolvimento de produto sugerido por Rozenfeld (2006) e utilizado nesta pesquisa.

Quadro 8 - Abordagem multimétodo empregada para a realização do DSR e a relação com o modelo de PDP de Rozenfeld

| <b>Etapa</b>                | <b>Procedimentos utilizados</b>   | <b>Etapas do PDP de Rozenfeld</b> |
|-----------------------------|---|-----------------------------------|
| Conscientização do problema | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reuniões multidisciplinares de brainstorming</li> <li>- Análise SWOT</li> <li>- Matriz BCG</li> <li>- Elaboração de heurística (pesquisa bibliográfica, observação participante e levantamento de campo)</li> <li>- Análise de conteúdo</li> </ul> | Pré-desenvolvimento               |
| Ideação                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reuniões técnicas</li> <li>- <i>Design thinking</i></li> <li>- MVP</li> <li>- Análise de conteúdo</li> </ul>   | Desenvolvimento                   |

Fonte: o autor (2020)

Quadro 8 – Abordagem multimétodo empregada para a realização do DSR e a relação com o modelo de PDP de Rozenfeld (continuação)

| <b>Etapa</b>             | <b>Procedimentos utilizados</b>   | <b>Etapas do PDP de Rozenfeld</b> |
|--------------------------|---|-----------------------------------|
| Desenvolvimento          | - Prototipação<br>- Pesquisa documental (patentes)<br>- Análise de conteúdo | Desenvolvimento                   |
| Demonstração do Artefato | - Análise descritiva dos dados de geração de energia                        | Desenvolvimento                   |
| Avaliação                | - Avaliação da viabilidade das soluções propostas pela análise de cenários  | Desenvolvimento                   |
| Comunicação              | - Artigos científicos<br>- Encaminhamento do pedido de patente              | Pós-Desenvolvimento               |

Fonte: o autor (2020)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do método descrito, bem como, a discussão dos resultados.

Dentre as modelagens para negócio apresentadas na revisão da literatura, optou-se pela estratégica-sistemática elaborada por Osterwalder e Pigneur (2005), assumindo que, por suas características, esta abordagem está mais alinhada com a fase do pré-desenvolvimento do modelo de PDP de Rozenfeld. Assim, a Figura 22 ilustra o modelo de negócio da Tópico Locação de Galpões e Equipamentos Industriais.

Figura 22 - Modelo de Negócio



Fonte: o autor (2020)

Seguindo a metodologia descrita no item 2 deste trabalho, na primeira etapa do DSR há a necessidade de se conscientizar acerca do problema que deve ser resolvido. Esta conscientização abrange dois conjuntos distintos de informação:

- a) Análise setorial;

b) Análise sobre o potencial da energia fotovoltaica.

Os dados para essas análises foram coletados a partir de reuniões multidisciplinares de *brainstorming*, pesquisa bibliográfica e observação participante.

Na análise setorial, tem-se que o produto do setor de infraestruturas flexíveis é caracterizado por um conjunto de soluções modulares de estruturas metálicas galvanizadas a fogo e acabamento em perfis de alumínio. São cobertas por lonas vinílicas ou telhas de zinco que assumem as mais diversas configurações, se adequando às variadas especificidades de aplicações e de setores. Esse setor também é caracterizado pela locação de estruturas que cobrem desde matérias-primas a produtos acabados, em diversos segmentos e regiões do Brasil.

As estruturas modulares possibilitam ampliar ou reduzir comprimentos, largura e altura de forma a adequar-se à demanda dos clientes. Além disso, as estruturas são facilmente montadas ou desmontadas, aumentando a flexibilidade de aplicação e de adequação às necessidades impostas pelo mercado. As Figuras 23, 24, 25 e 26 ilustram os produtos típicos do setor e da empresa na qual este estudo foi desenvolvido.

Figura 23 - Exemplo de Galpão Beta (Estrutura Metálica Tubular)



Fonte: Tópico Galpões (2020)

Figura 24 - Exemplo de Galpão Gama (Estrutura Metálica Treliçada)



Fonte: Tópico Galpões (2020)

Figura 25 - Exemplo de Galpão Zeta (Quatro águas)



Fonte: Tópico Galpões (2020)

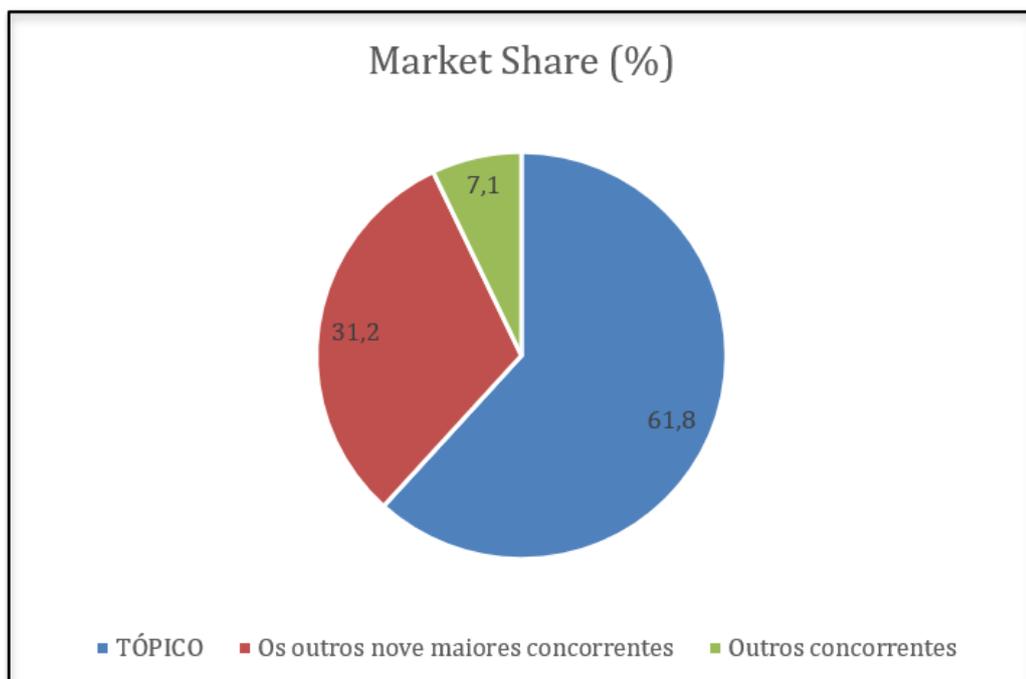
Figura 26 - Exemplo de Galpão Delta (Projetos Especiais)



Fonte: Tópico Galpões (2020)

Embora o setor de infraestruturas flexíveis seja composto por empresas de pequeno porte, existem empresas com participação relativa de mercado, de maior representatividade e líder do setor, como é a Tópico Locação de Galpões e Equipamentos Industriais, detendo aproximadamente 62% desse mercado, conforme representado na Figura 27.

Figura 27 - Participação Relativa de Mercado (%)



Fonte: Tópico Locações de Galpões e Equipamentos para Industriais S.A (2018)

A Tópico Locação de Galpões e Equipamentos Industriais está estabelecida no setor há 41 anos, segundo dados informados pela direção. Atua provendo soluções para segmentos como os de açúcar, fertilizantes, industrial, logística, construção civil, papel e celulose. As atividades da empresa possuem abrangência nacional, contando com trezentos e oitenta funcionários divididos em filiais, sendo seu escritório corporativo na capital paulista. A fábrica e centro de distribuição também estão sediadas no estado de São Paulo, na cidade de Embu das Artes, e conta, ainda, com escritórios comerciais e base para equipes de montagem nos estados de Minas Gerais, Bahia e Pará.

A distribuição geográfica da empresa permite tanto a prestação do atendimento técnico e de pós-venda, quanto atende ao desenvolvimento de novos clientes e mercado. Embora a empresa possua abrangência nacional, seus negócios concentram-se mais na região Sudeste, seguida pelas regiões Sul, Centro-Oeste e Nordeste e com menor representatividade na região Norte do país. Os estados com maior número de galpões locados são: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso e Goiás.

Nota-se o baixo nível de diferenciação entre os produtos, o que torna o setor mais competitivo: os *players* do mercado oferecem produtos e serviços semelhantes em termos tecnológicos.

Também há pouca diferenciação no modelo de negócios das empresas desse setor, sendo a locação de galpões o mais comum. Em seu ciclo de vida, o produto pode atender diversos clientes, assumindo configurações de acordo com as dinâmicas, necessidades e especificidades de aplicação. As lonas de infraestruturas flexíveis duram em média dez anos e as estruturas metálicas galvanizadas em torno de vinte anos, podendo ser regalvanizadas e, portanto, ampliando sua duração.

A característica do produto relacionada à sustentabilidade está no fato de que, sendo os galpões modulares montáveis e desmontáveis, não há resíduo ao final da obra. Ainda, visto que

as estruturas são fabricadas em aço e alumínio e as coberturas são de zinco ou polímeros, todos os resíduos inerentes ao processo de fabricação das estruturas são recicláveis.

Diante destas informações, o pesquisador elaborou as matrizes SWOT e BCG, ilustradas nas Figuras 28 e 29.

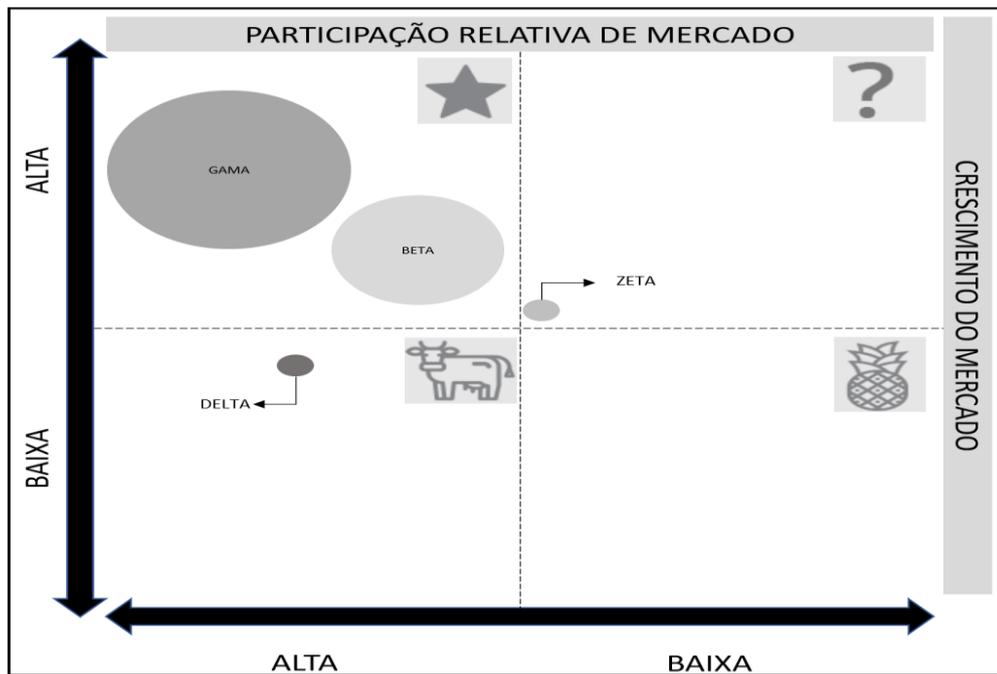
Figura 28 - Matriz SWOT



Fonte: o autor (2020)

Na análise sobre o potencial da energia fotovoltaica observa-se a crescente utilização de recursos renováveis e, particularmente, de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo. Também crescem os investimentos em tecnologia que amplia a eficiência na geração e na capacidade de armazenagem de energia.

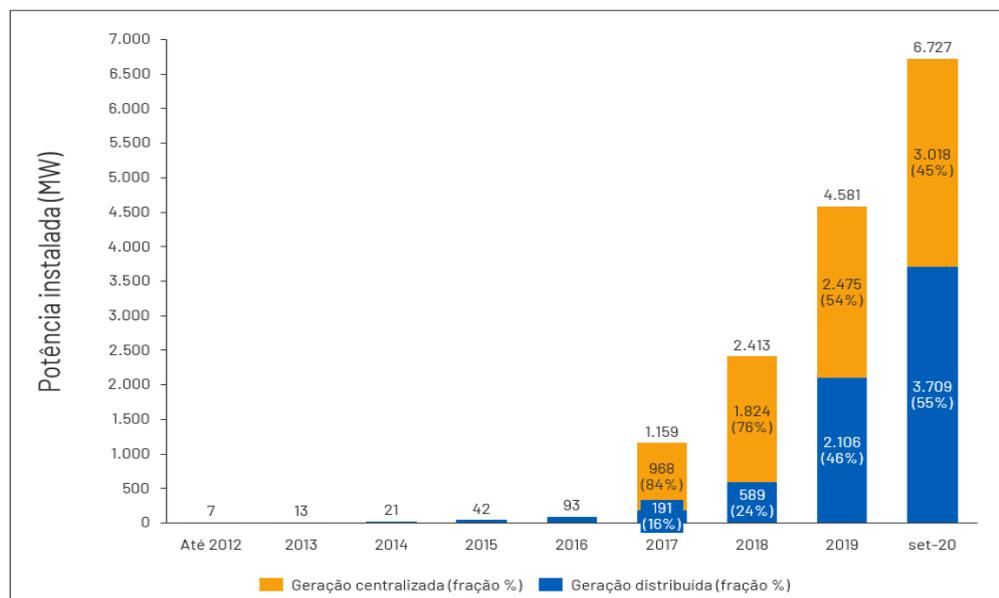
Figura 29 - Matriz BCG



Fonte: o autor (2020)

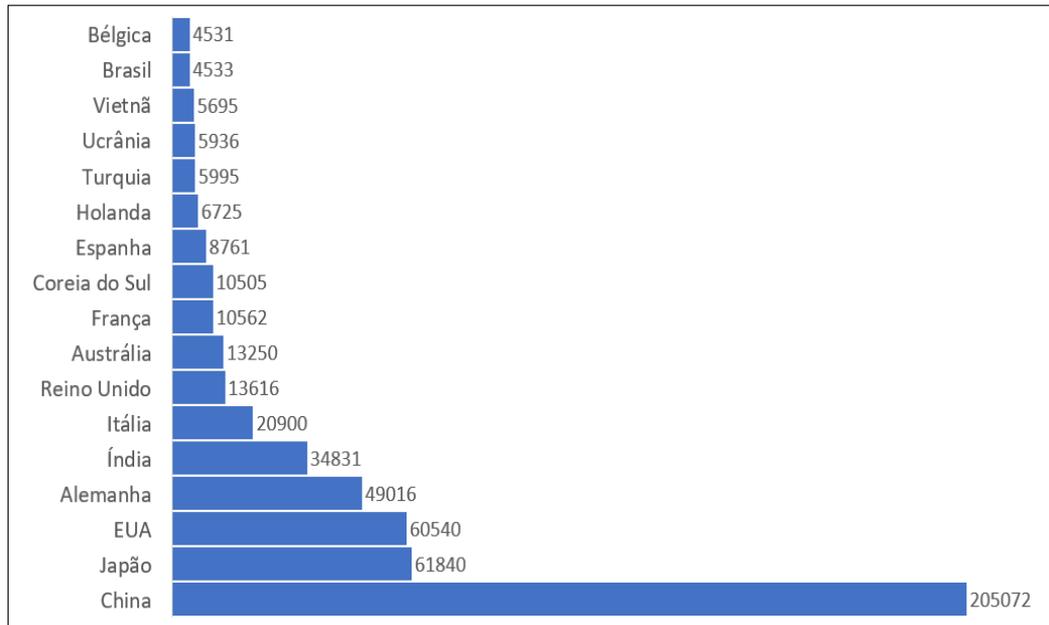
Segundo levantamento da Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica – ABSOLAR, o Brasil instalou 2,1 GW em 2019, acumulando 4,5 GW. Os investimentos em instalação de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo também são crescentes, conforme apresentado nas Figuras 30 e 31.

Figura 30 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2020)

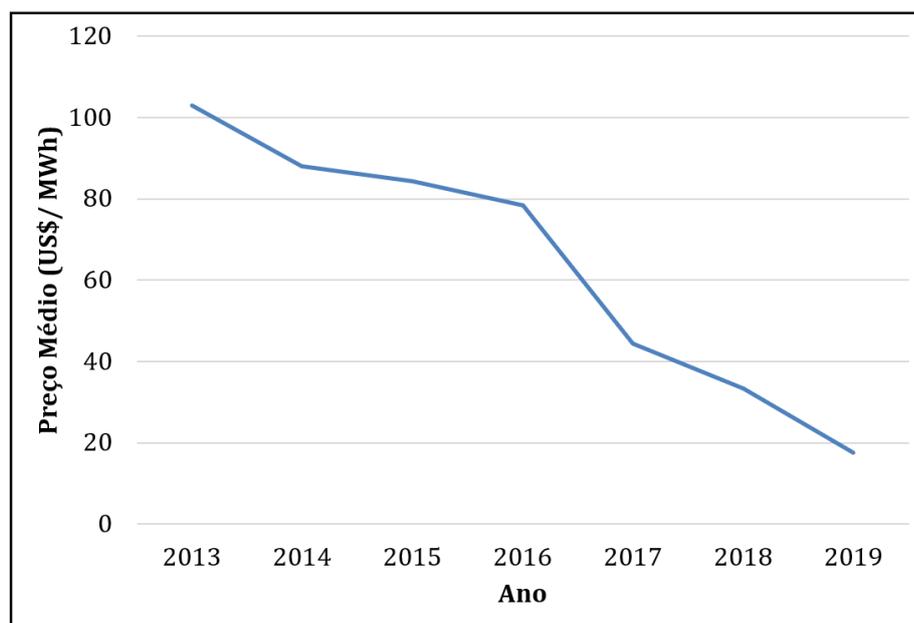
Figura 31 - Potência de energia fotovoltaica total instalada por país até 2018 (MW)



Fonte: ABSOLAR (2019)

À medida que os investimentos em instalações de energia fotovoltaica crescem, a tecnologia se incrementa e o preço médio da fonte solar fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulado diminui, conforme representado na Figura 32.

Figura 32 - Evolução do preço da fonte solar fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulado



Fonte: CCEE/ ABSOLAR (2019)

De acordo com a observação participante e a revisão da literatura que relaciona elementos do processo decisório e envolvem desenvolvimento de produto e a inovação sustentável, o pesquisador elaborou uma heurística para compreender a decisão da empresa, a qual possui os elementos que constam no Quadro 9.

Quadro 9 - Elementos do processo decisório

| ELEMENTO |   | FONTE   |
|----------|---|---|
| 1        | objetivos e metas definidos no planejamento estratégico               | Hoskisson, Ireland e Hitt (2015)                        |
| 2        | ambiente interno; recursos, capacidades, competências                 | Krielow e Santos (2014)                                 |
| 3        | ambiente externo  | Hoskisson, Ireland e Hitt (2015)                        |
| 4        | diversificação; parceria estratégica; imitação                        | Observação participante                                 |
| 5        | inovação como estratégia para a competitividade                       | Chang; Fernando; Tripathy, (2015)                       |
| 6        | revisão do modelo de negócios   | Osterwalder e Pigner (2010);<br>observação participante |
| 7        | tipos de inovação (tradicional e sustentável)                         | Carrilo-Hermosilla <i>et. al.</i> (2009)                |
| 8        | componentes perceptíveis do valor agregado pela inovação sustentável  | Rosca, Arnold e Bendul (2017)                           |
| 9        | proposta de valor como elemento diferenciador da inovação sustentável | Rosca, Arnold e Bendul (2017)                           |
| 10       | investimentos na linha de produção e no <i>mix</i> de marketing       | Observação participante                                 |
| 11       | indicadores de viabilidade para investimentos                         | Observação participante                                 |

Fonte: o autor (2020)

A heurística do processo decisório contém seis etapas e cada etapa está relacionada a um dos elementos identificados na Figura 33. Compreende-se que a decisão pela adoção da inovação sustentável na empresa se inicia pela análise do desempenho da atual estratégia empresarial, utilizando, para isso, resultados e indicadores de desempenho. Na sequência, determinam-se as situações que causaram o desempenho observado do qual se abstrai que a inovação é a principal competência para se melhorar os resultados.

Adotando-se a premissa da inovação, o próximo passo da heurística é a definição da nova proposta de valor para a empresa, seguida da determinação dos novos níveis de desempenho que almejam ser alcançados. Por fim, realizam-se os estudos de viabilidade que fornecem as informações necessárias para a tomada de decisão.

Figura 33 - Heurística para tomada de decisão estratégica sobre inovação sustentável

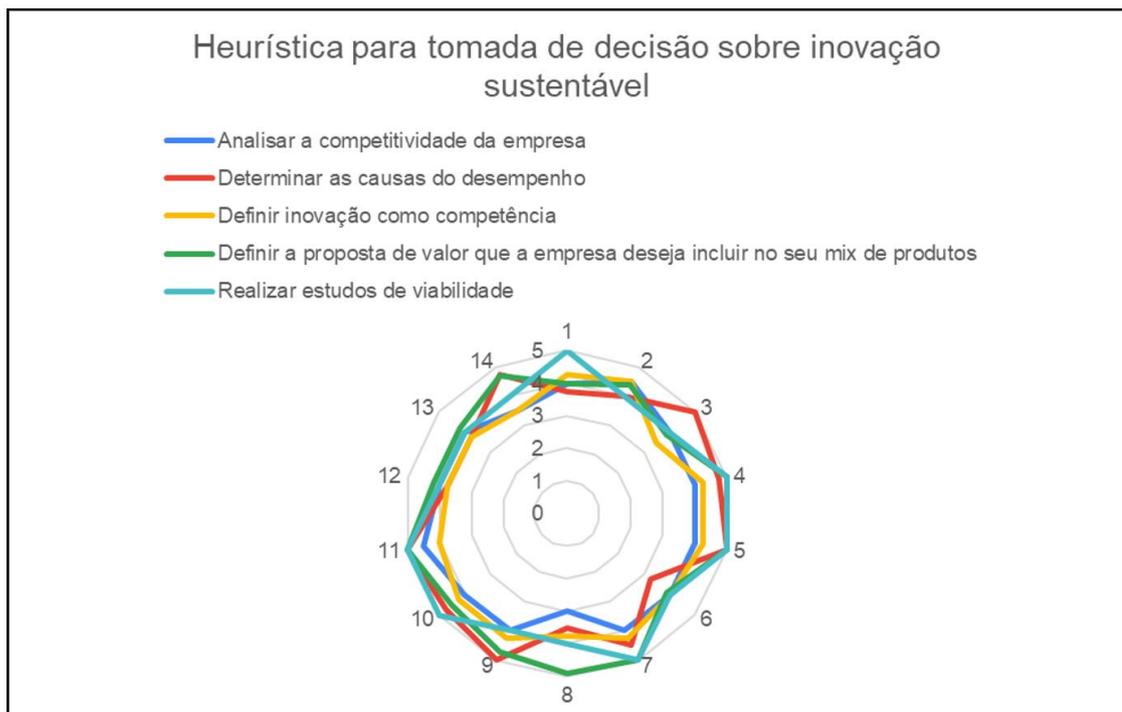
| ETAPAS DA HEURÍSTICA   | ELEMENTO RELACIONADO |
|--|----------------------|
| Analisar a competitividade da empresa  | 1                    |
| ↓  |                      |
| Determinar as causas do desempenho   | 2; 3; 4              |
| ↓  |                      |
| Definir inovação como competência  | 5; 6; 7              |
| ↓  |                      |
| Definir a proposta de valor que a empresa deseja incluir no seu <i>mix</i> de produtos | 8; 9                 |
| ↓  |                      |
| Realizar estudos de viabilidade  | 10; 11               |

Fonte: o autor (2020)

O teste empírico da heurística proposta se deu com a aplicação de um levantamento aos quatorze participantes do processo decisório na empresa estudada. O instrumento de coleta de dados consta no capítulo 02 deste trabalho, Quadro 8.

Os resultados deste teste são apresentados na Figura 34, considerando os valores médios para cada etapa que foram obtidos a partir da média simples dos valores de resposta para os respectivos grupos de assertivas.

Figura 34 - Teste da heurística para tomada de decisão sobre inovação sustentável



Fonte: o autor (2020)

O perfil dos participantes do levantamento se configura da seguinte forma: 93% possuem grau de escolaridade igual ou superior ao Ensino Superior completo e mais de 10 anos de experiência profissional; 70% dos respondentes atuam na empresa há 2 anos ou menos, no entanto, um dos participantes possui 14 anos de atuação na organização; 2 participantes do processo decisório são do nível operacional, 5 pertencem ao nível tático e 7 ao nível estratégico. Em relação à experiência dos respondentes com o desenvolvimento de inovação sustentável, metade afirmou possuí-la e a outra metade se identificou como inexperiente neste tipo de atuação.

Pela Figura 34 pode-se observar que a análise da competitividade da empresa, das causas do desempenho e da definição da inovação como competência são as etapas que pontualmente tiveram a concordância menos consensual entre os tomadores de decisão participantes. Assim, compreende-se que o entendimento dos participantes corrobora com os elementos trazidos pela literatura, ou seja, todas as etapas da heurística são importantes para a tomada de decisão envolvendo a inovação sustentável.

De acordo com os dados coletados, verificou-se a exequibilidade da heurística proposta e foram observados dois pontos-chave: i) A necessidade que a inovação sustentável possui em demonstrar o progresso social, econômico e ecológico deve ser percebida pelo cliente para que ele compreenda o valor agregado pela solução proposta e isso se materialize em lucro para a empresa. Esta característica é única e própria da inovação sustentável quando comparada a outros tipos de inovação (ROSCA; ARNOLD; BENDUL, 2017); ii) A proposta de valor da inovação sustentável altera o processo decisório tradicionalmente aplicado porque provoca desafios para a empresa que outros tipos de inovação não causam, podendo, ainda, conduzi-la para a decisão sobre o tipo de diversificação que será adotada, se relacionada ou não-relacionada. Desta forma, ao assumir a inovação sustentável, a empresa deve possuir ou

desenvolver competências, conhecimentos e recursos específicos para adequar a cadeia à nova proposta de valor (ROSCA; ARNOLD; BENDUL, 2017).

Conforme apontam os dados coletados a partir da pesquisa bibliográfica, da observação participante e após a aplicação da heurística, a empresa está disposta a investir na inovação sustentável, executando-a a partir de propostas que envolvam a energia fotovoltaica. Evidencia-se, portanto, o aproveitamento dos recursos e capacidades existentes para o desenvolvimento de produtos (DANG; HOUANTI; BONNAND, 2016).

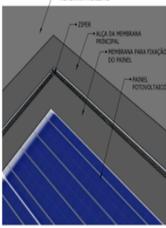
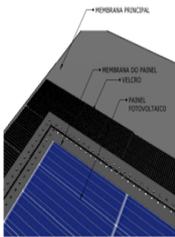
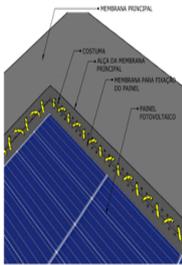
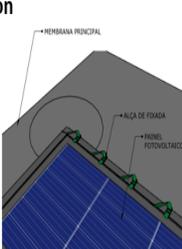
De acordo com o modelo de PDP de Rozenfeld (2006), a fase de desenvolvimento de produto compreende a definição de metas e especificações do produto para que sejam propostas soluções para o projeto. A partir das soluções propostas, detalha-se a concepção do produto e obtêm-se as especificações finais que são utilizadas para preparar a área operacional para a produção. No DSR, esta fase é representada pelas etapas da Ideação, Desenvolvimento, Demonstração do Artefato e Avaliação.

Na etapa da Ideação apresentou-se o desafio de identificar e selecionar tecnologias, fornecedores e meios de fixação de placas fotovoltaicas às estruturas existentes. O desenvolvimento se deu em dois momentos:

- 1) Identificar opções tecnológicas para placas fotovoltaicas, controladores e inversores de potência, baterias e demais insumos necessários ao sistema de potência. Para o cumprimento dessa etapa, foram pesquisadas diversas opções de fabricantes e de sistemistas, além de realizações de reuniões técnicas. Estabeleceram-se configurações básicas de potência requeridas a partir de dimensões típicas de galpões para dimensionamento do sistema;
- 2) Sugerir meios de fixação das placas fotovoltaicas, utilizando-se das práticas de *design thinking* e análise de dados obtidos na literatura técnica.

Para tanto, o pesquisador se reuniu com os demais membros da empresa com o propósito de estabelecer opções de fixação de placas fotovoltaicas de filme fino em lonas flexíveis de coberturas de galpões. A Figura 35 mostra o MVP que se utilizou como base para produção dos protótipos.

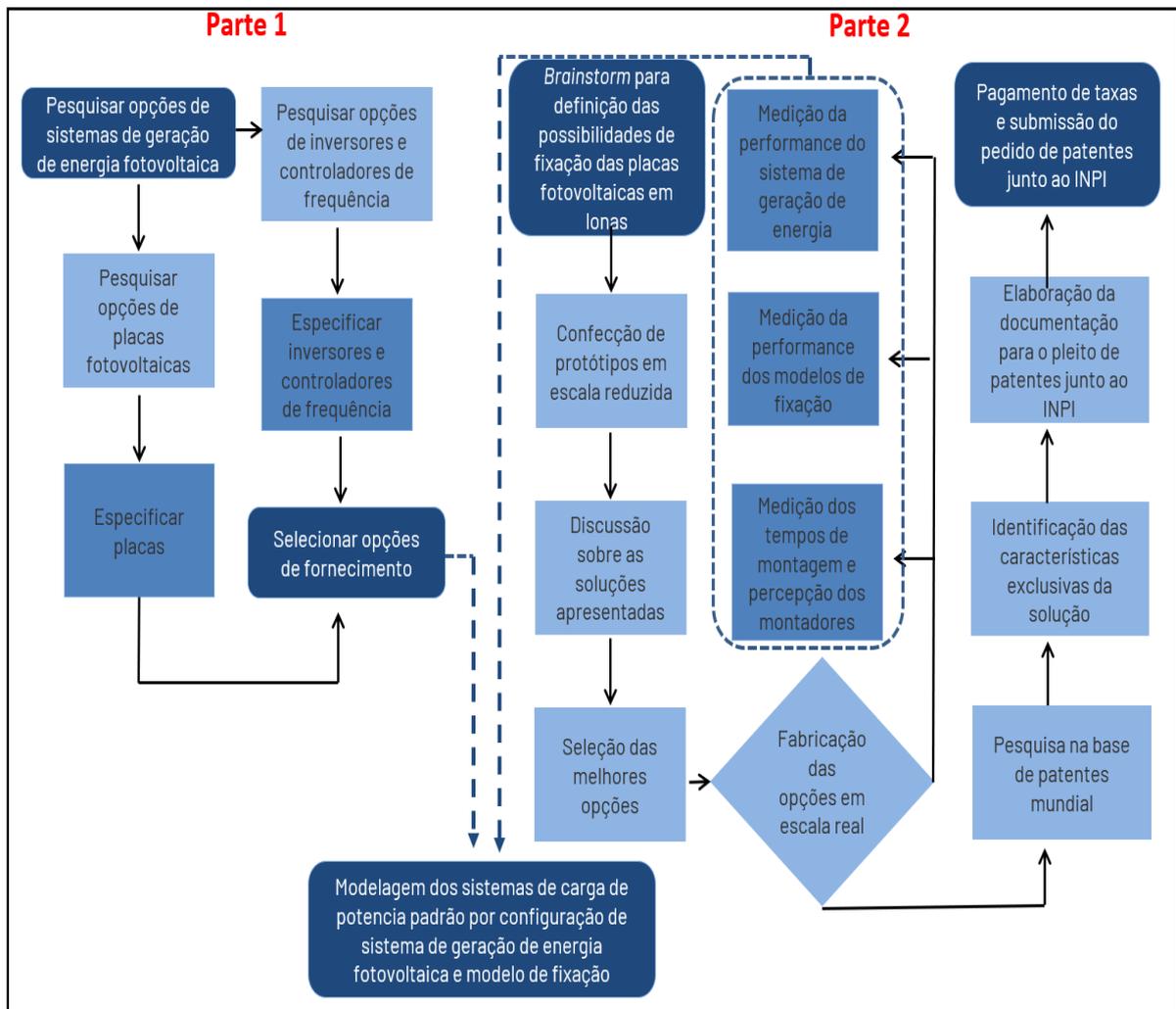
Figura 35- MVP

| MACRO OBJETIVOS  | PROTÓTIPOS  | RECURSOS NECESSÁRIOS  |
|--|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Placas Fotovoltaicas fixadas nas lonas de coberturas de galpões;</li> <li>2) Fixação resistente à intempéries climáticas;</li> <li>3) Sistema fotovoltaico gerando energia elétrica</li> </ol>   | <p><b>Zíper</b></p>  <p><b>Velcro</b></p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Placas Fotovoltaicas;</li> <li>- Lonas vinílicas;</li> <li>- Adesivo;</li> <li>- Velcro, zíper, tiras de nylon, ilhós metálicos, corda;</li> <li>- Máquina de solda;</li> <li>- Máquina de costura;</li> <li>- Operadores de produção;</li> <li>- Montadores;</li> <li>- Equipe de desenvolvimento.</li> </ul> |
| REQUISITOS MÍNIMOS   | <p><b>Corda</b></p>  <p><b>Alça de Nylon</b></p>    | ESTRATÉGIAS PARA TESTAR   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- O método de fixação deve ser capaz de suportar as intempéries climáticas;</li> <li>- O meio de fixação deve ser de fácil montagem/desmontagem;</li> <li>- O meio de fixação deve minimizar eventuais necessidades de modificação dos produtos bases (placas fotovoltaicas e lonas de cobertura de galpões);</li> <li>- O meio de fixação precisa ser concebido de forma a permitir montagens e desmontagens na lona de cobertura de galpões;</li> <li>- O meio de fixação não deve influenciar no nível de estanqueidade atual dos galpões;</li> <li>- O sistema fotovoltaico deve gerar energia elétrica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquirir insumos necessários à produção dos protótipos;</li> <li>- Programar a fabricação dos protótipos;</li> <li>- Programar equipe de montadores para montar os protótipos em lonas de cobertura de galpões;</li> <li>- Montar a cobertura que contem os protótipos em galpão;</li> <li>- Fazer a interligação elétrica dos protótipos ao sistema de potência;</li> <li>- Medir resultados</li> </ul> |   |

Fonte: o autor (2020)

Com base no MPV, a próxima fase do DSR elaborou os protótipos de produtos. A Figura 36 ilustra o fluxo de atividades que foi desenhado para obter estes protótipos na etapa do Desenvolvimento.

Figura 36 - Fluxo para criação de protótipos



Fonte: o autor (2020)

Após uma rodada de *brainstorming*, dez alternativas foram propostas e, em seguida, cada uma delas foi analisada, observando-se critérios para operacionalização da produção, complexidade para montagem em campo, resistência às intempéries e custos de matéria-prima e de execução.

De forma concomitante, realizou-se a pesquisa na base mundial de patentes com a finalidade de encontrar soluções já existentes e que eventualmente tivessem a propriedade intelectual reconhecida. Para tanto, contratou-se um escritório jurídico especializado em processos que envolvem proteção à propriedade industrial.

Após a referida pesquisa, embora tivessem sido encontradas patentes que tratavam do tema (os códigos das patentes encontradas são JP 5363925, PT 2773826, WO 01/94719), nenhuma delas possuía as mesmas características e proposições para solução do problema, constatando-se, portanto, o caráter inovativo do referido invento.

Em seguida, aplicando-se os mesmos critérios descritos anteriormente, definiram-se oito protótipos em tamanho reduzido e realizada uma nova seção de discussões, observando-se os mesmos requisitos mínimos nas peças teste, conforme a Figura 37.

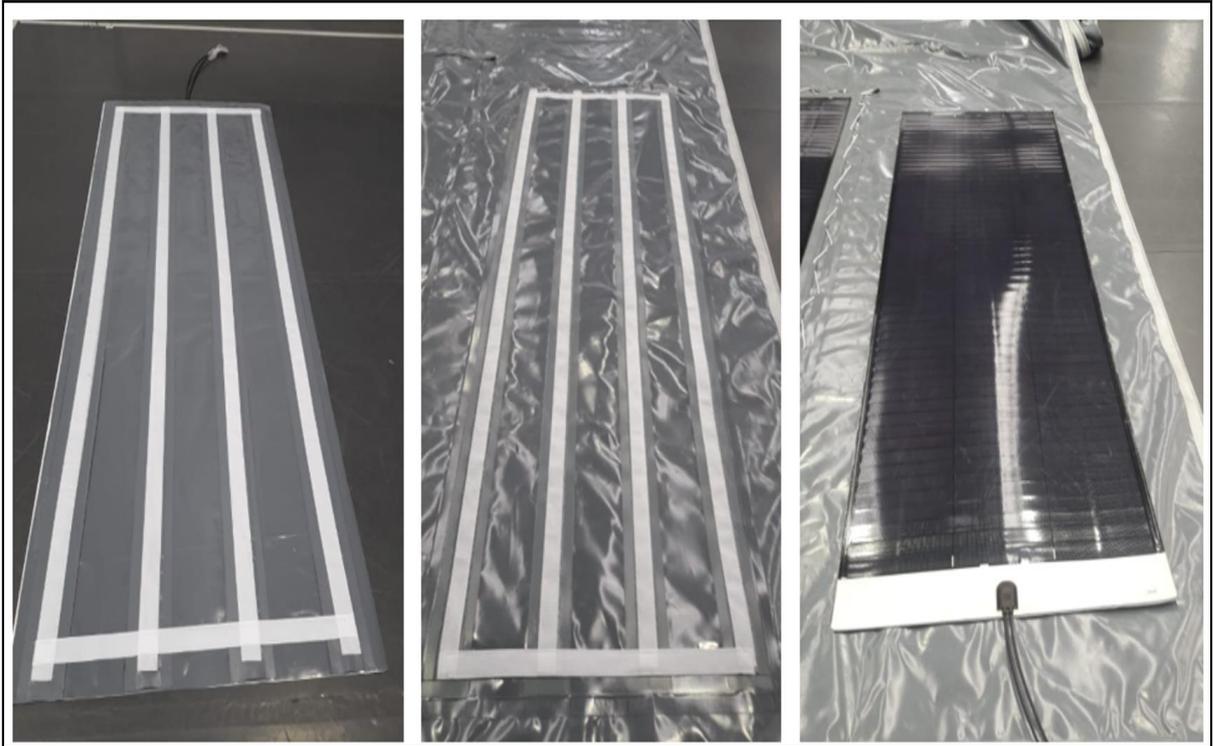
Figura 37 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica em escala reduzida



Fonte: o autor (2020)

Quatro modelos foram estabelecidos como mais promissores e produziram-se as soluções propostas em escala real, o que abrange a etapa da Demonstração do Artefato. A finalidade era a de observar desde a produção à montagem do sistema em um galpão para que todo o processo pudesse ser criticado, testado e avaliado. As Figuras 38, 39, 40 e 41 representam os protótipos em escala real referentes à fixação por velcro, zíper, Corda e Alça/Fita de Nylon respectivamente. A Figura 42 mostra a aplicação dos protótipos em um galpão.

Figura 38 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com velcro



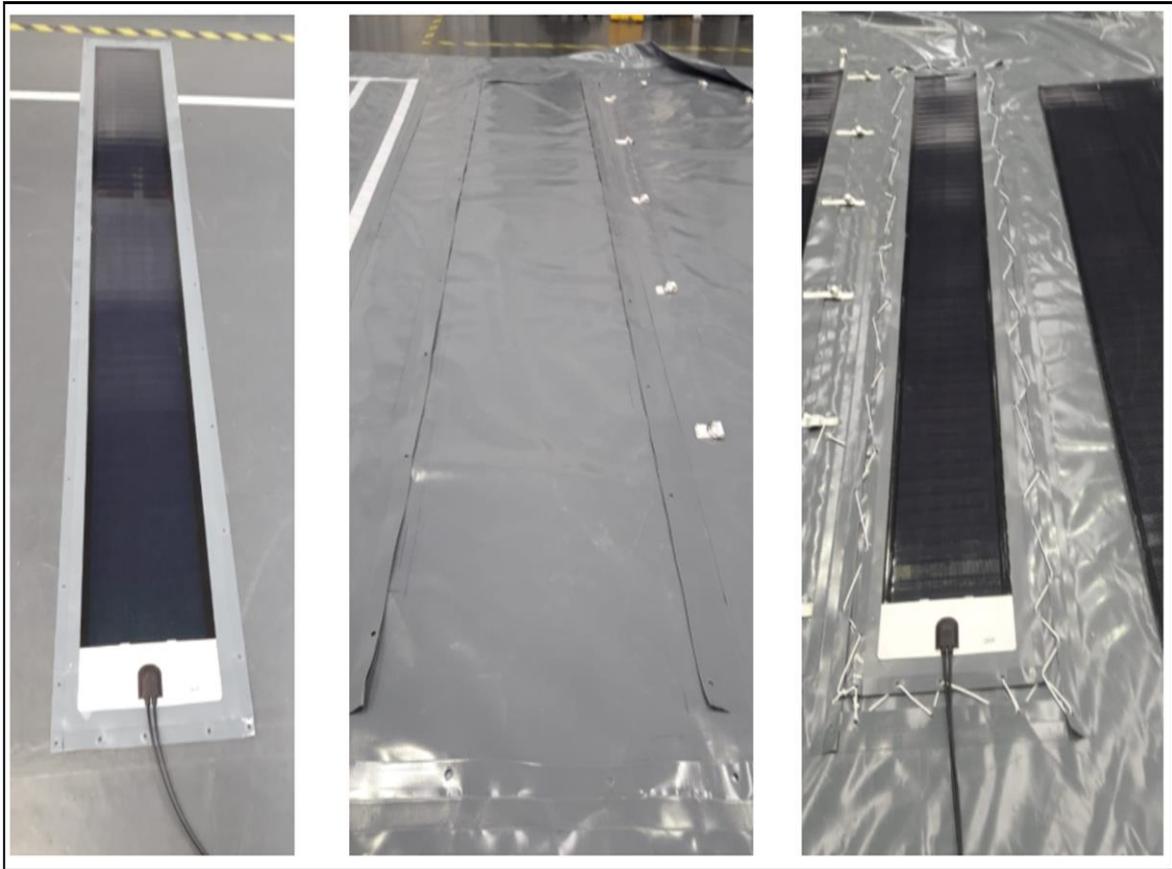
Fonte: o autor (2020)

Figura 39 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com zíper



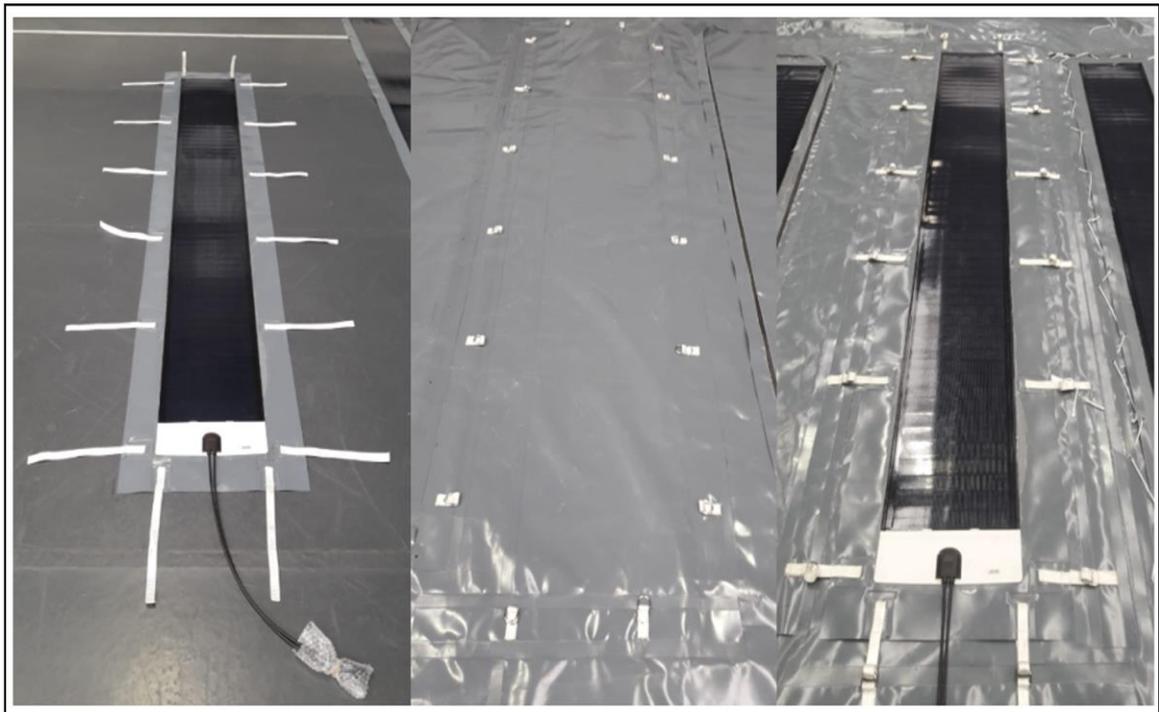
Fonte: o autor (2020)

Figura 40 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com Corda



Fonte: o autor (2020).

Figura 41 - Protótipos para fixação da placa fotovoltaica com fita de nylon



Fonte: o autor (2020)

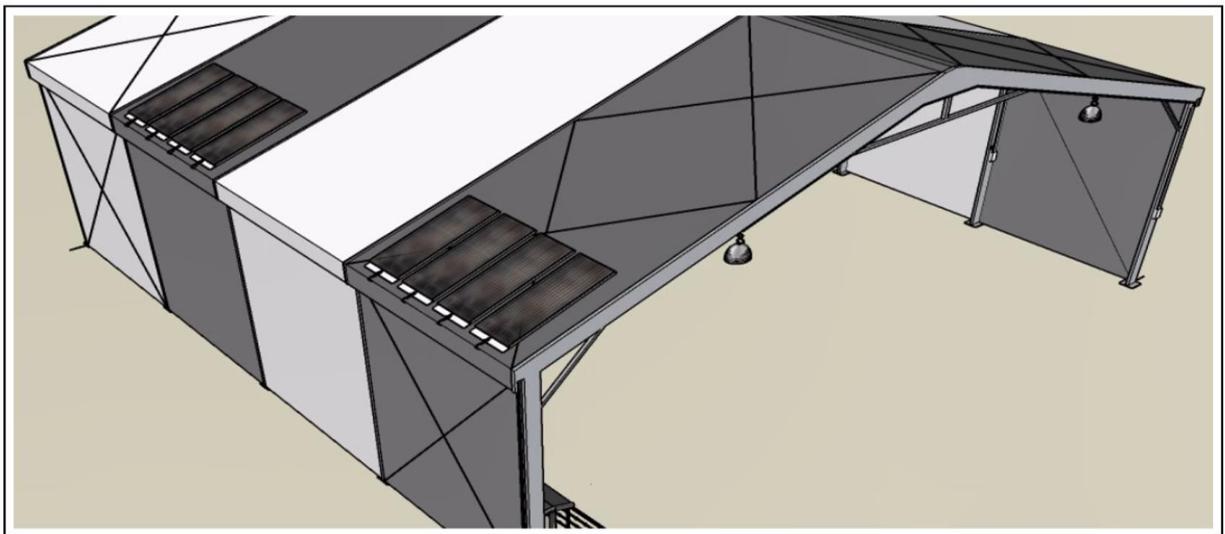
Figura 42 - Placas fotovoltaicas instaladas em um galpão de escala real



Fonte: o autor (2020)

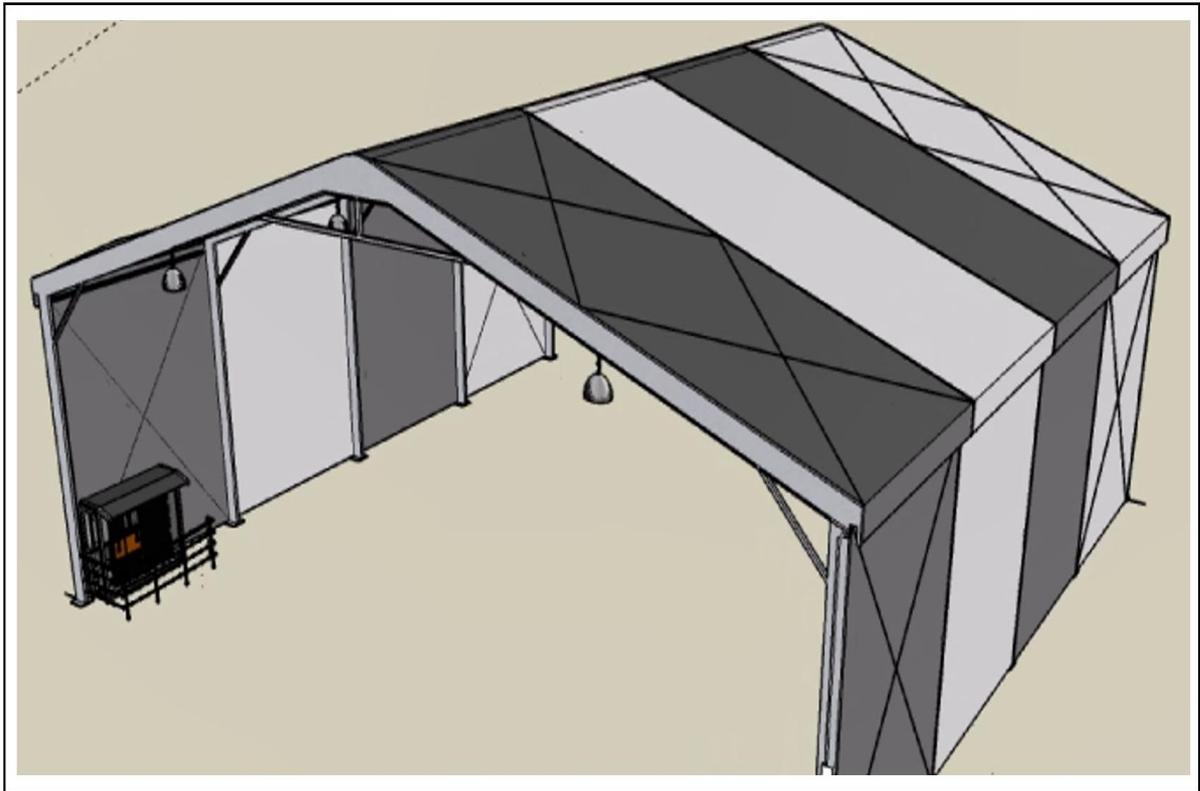
As Figuras 43 e 44 ilustram uma possibilidade para disposição do módulo de energia no galpão.

Figura 43 - Disposição do módulo de energia no galpão



Fonte: o autor (2020)

Figura 44 - Disposição do módulo de energia no galpão



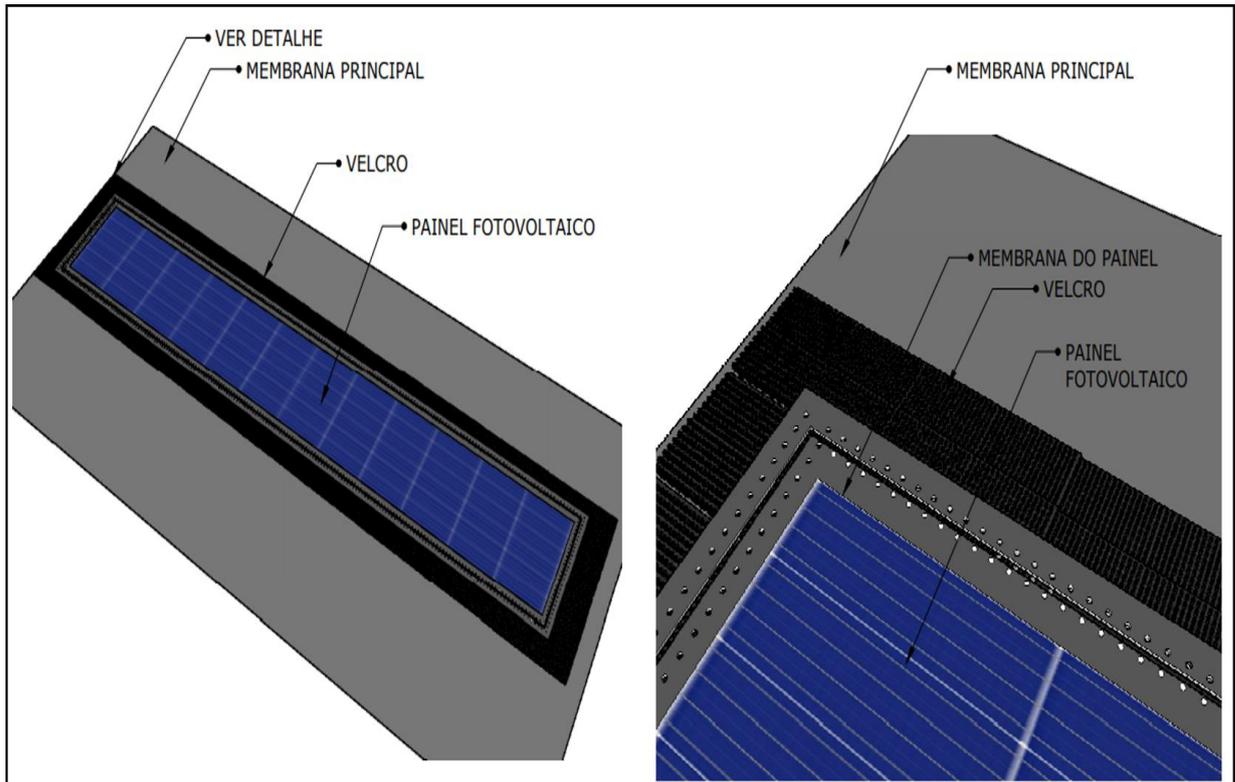
Fonte: o autor (2020)

Após a realização dos testes de aplicação, as quatro propostas escolhidas para testes apresentaram-se eficientes nos requisitos mínimos estabelecidos no MVP e, portanto, as especificações e desenhos técnicos foi formalizada. Seus respectivos desenhos esquemáticos são apresentados nas Figuras 45, 46, 47 e 48.

Na etapa da Avaliação observou-se que a implantação das soluções propostas transcorreu sem nenhuma implicação significativa de variabilidade de processos, de qualidade ou de necessidade de inclusão de máquinas ou de sistemas adicionais para obtenção dos produtos projetados.

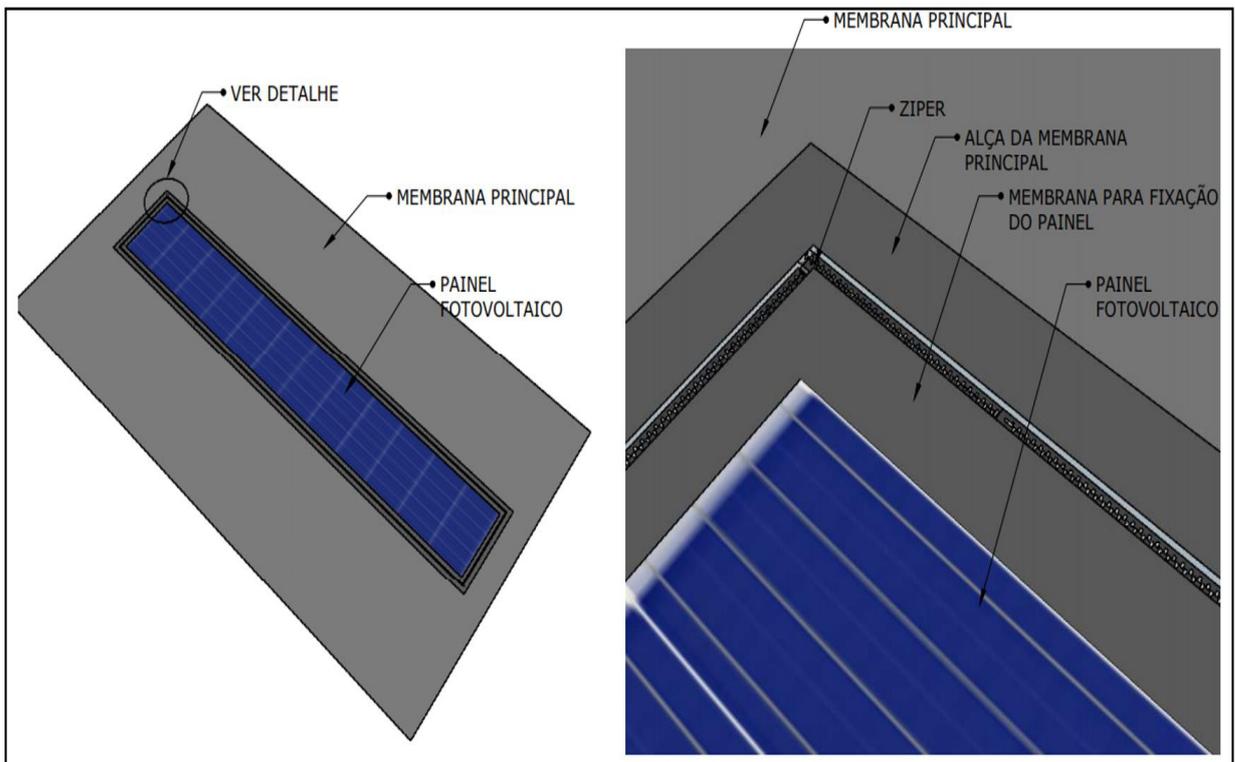
Os processos de montagem das placas em lonas flexíveis de tetos obtiveram resultados satisfatórios em termos de tempos de execução. Não se adicionaram acréscimos significativos no tempo total de montagem de galpões, pois se aproveitou do tempo ocioso de algumas atividades para o processo de montagem das placas fotovoltaicas.

Figura 45 - Esquema do sistema fixador do módulo fotovoltaico por Velcro



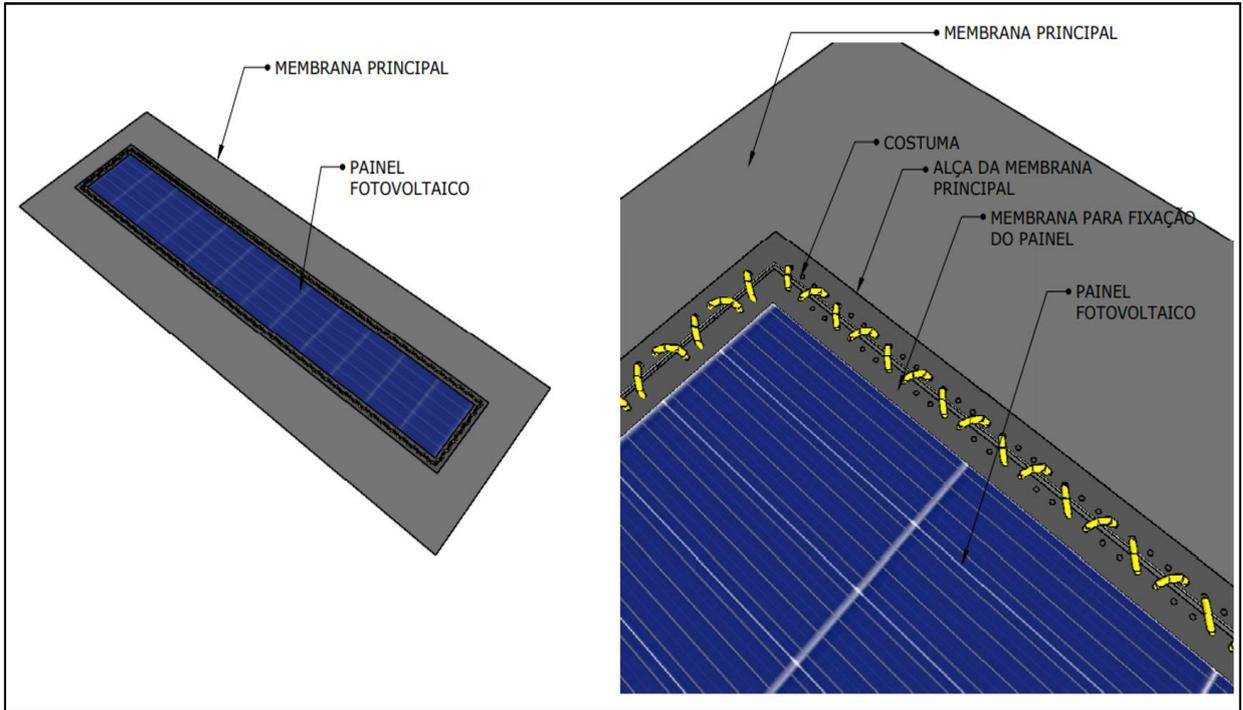
Fonte: o autor (2020)

Figura 46 - Esquema do sistema fixados do módulo fotovoltaico por zíper



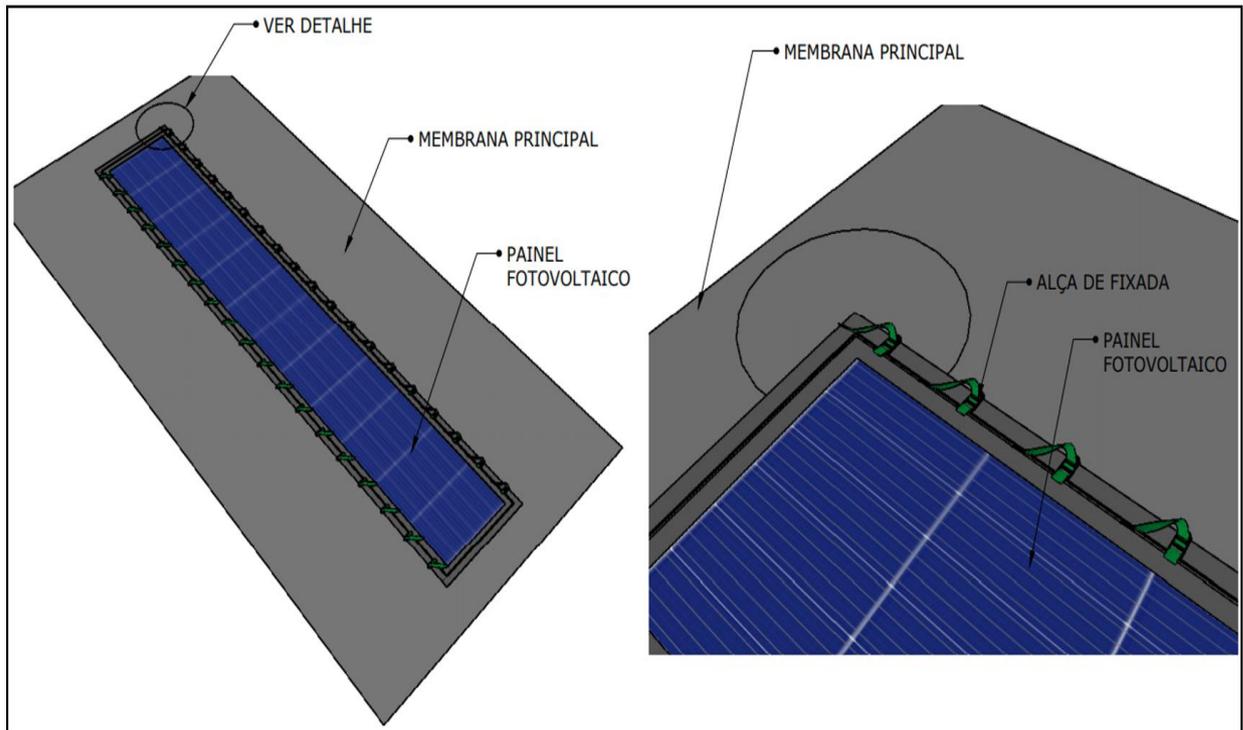
Fonte: o autor (2020)

Figura 47 - Esquema do sistema fixados do módulo fotovoltaico por corda



Fonte: o autor (2020)

Figura 48 - Esquema do sistema fixador do módulo fotovoltaico por fita de nylon



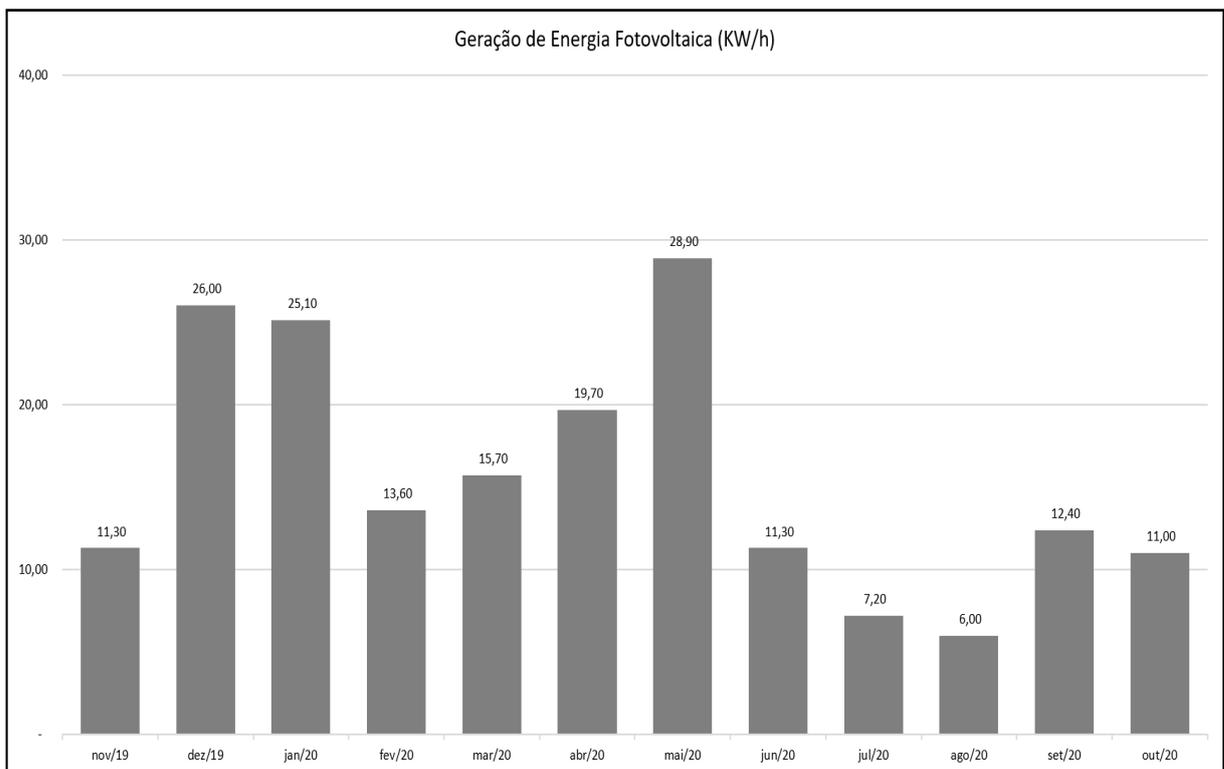
Fonte: o autor (2020)

O tempo de montagem de um galpão depende da configuração – vão livre e o comprimento – do mesmo. Além disso, as especificidades de configuração, inclusão de acessórios (iluminação, sistemas de aterramento, conforto térmico, entre outros), terreno e condições climáticas também podem influenciar o tempo de montagem.

De acordo com a observação participante, a produtividade de uma equipe de montagem composta por seis profissionais varia de 180 a 280 metros quadrados de galpão montado/homem/dia e a inclusão da montagem das placas fotovoltaicas não alterou significativamente as médias anteriores à adição deste produto.

O sistema de geração de energia elétrica por meio da instalação das placas fotovoltaicas e respectivos sistemas de potência geraram a potência projetada de forma que o sistema pudesse ser validado. Dados ilustrativos da energia gerada pelo sistema teste podem ser observados por meio da Figura 49.

Figura 49 - Desempenho dos protótipos



Fonte: o autor (2020)

Os dados sobre a energia gerada pelo sistema foram coletados no período entre 21/11/2019 e 05/11/2020, totalizando 351 observações, sendo que cada observação compreende a quantidade de energia gerada por dia. Em uma análise preliminar, notou-se haver 81 observações caracterizadas como dados perdidos. Este evento decorre de situações nas quais houve interrupção na mensuração, ocasionadas por necessidade de limpeza das placas fotovoltaicas ou por falhas de leitura por parte do software OPTICSRE que monitora o sistema gerador de energia fotovoltaica. Assim, foram consideradas para a análise descritiva 270 observações.

A escala de mensuração utilizada é de proporção: a geração de energia é medida em kilowatts por hora (KW/h), uma variável contínua. As estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 2.

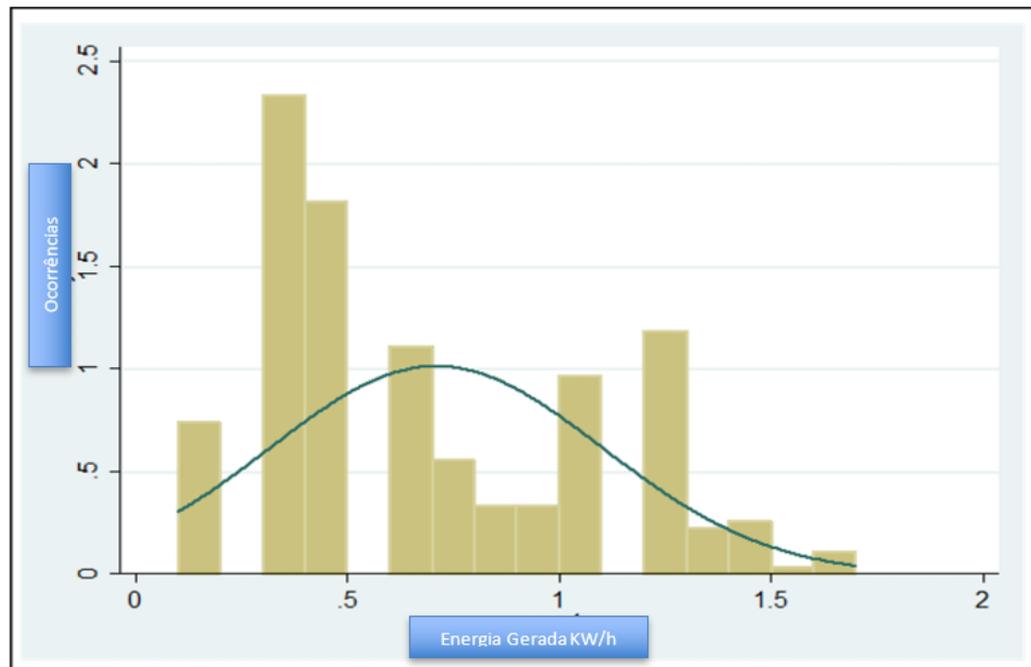
Tabela 2 - Estatísticas descritivas da energia gerada pelo sistema

| <b>Estatísticas</b>  | <b>Energia gerada (KW/h)</b> |
|----------------------|------------------------------|
| Média                | 0,71                         |
| Mediana              | 0,6                          |
| Moda                 | 0,5                          |
| Desvio padrão        | 0,39                         |
| Variância da amostra | 0,16                         |
| Curtose              | -0,83                        |
| Assimetria           | 0,54                         |

Fonte: o autor (2021)

Considerando os valores do desvio padrão, assimetria e curtose, infere-se que a distribuição dos dados seja caracterizada como normal, pois nenhum dos valores é superior a 1,0. Contudo, observa-se pela Figura 50 que a assimetria é positiva, dado os valores da moda e mediana serem inferiores ao da média. A distribuição normal dos dados se caracteriza com o teste Shapiro-Wilk cujo resultado é 0,94 e valor p de 0,00.

Figura 50 - Estatística descritiva da geração de energia fotovoltaica do sistema



Fonte: o autor (2021)

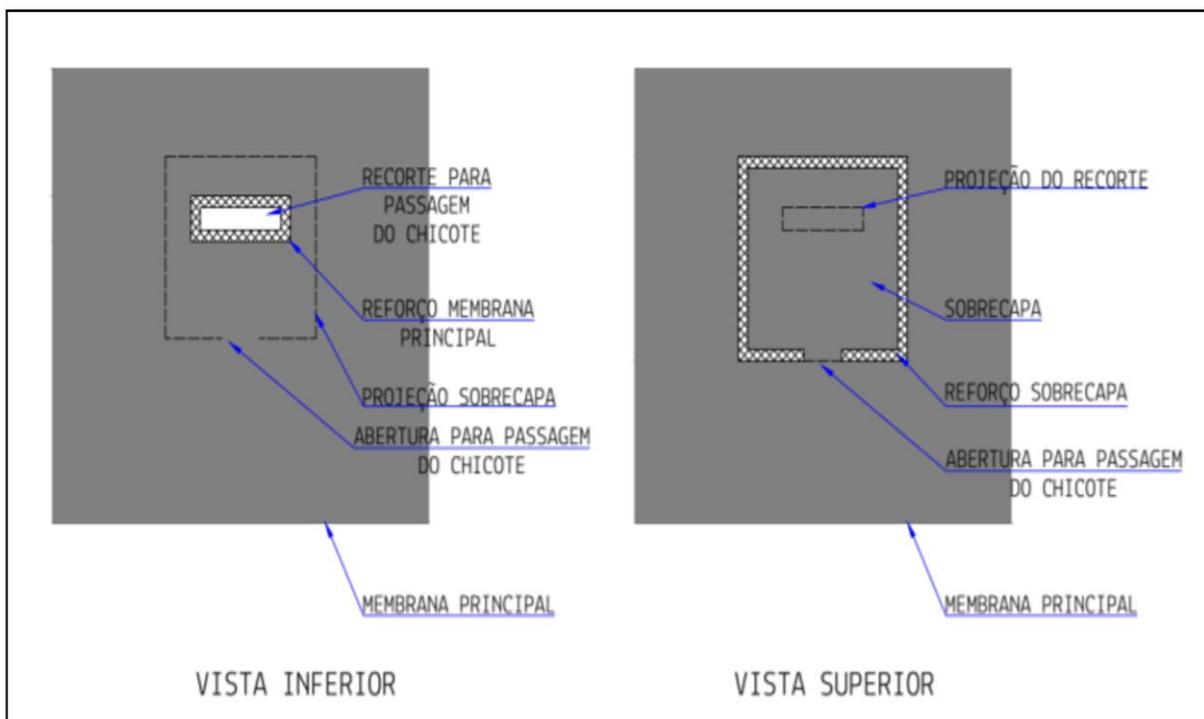
Durante a realização do teste funcional das soluções propostas, identificou-se que os cabos elétricos das placas fotovoltaicas atuavam como canais de água à parte interna do galpão. Esta situação traz inconvenientes às aplicações e representa interferências negativas no sistema de potência.

Esse problema gerou a necessidade do desenvolvimento de uma solução complementar para acesso dos cabos elétricos das placas fotovoltaicas ao sistema de potência instalado na área interna do galpão (FIGURA 51). Esta solução foi denominada Método Protetor do Sistema Fotovoltaico, o qual é composto por um recorte na lona vinílica de teto, de modo a permitir a passagem do conector do cabo da placa fotovoltaica para a área interna ao galpão. Adicionou-se um reforço da membrana principal por meio de uma costura que contorna o perímetro do referido recorte de forma a minimizar a possibilidade de a lona rasgar a partir do recorte de acesso do cabo.

Sobre o recorte de acesso do cabo da placa fotovoltaica inclui-se uma sobrecapa, soldada na membrana principal (lona do teto) e com pequena abertura na parte inferior para passagem

do conector. O desenho esquemático da solução é ilustrado na Figura 51. Este desenvolvimento foi testado com um protótipo produzido em escala real e instalado no galpão teste. A solução apresentou-se de forma eficiente, não tendo sido evidenciado acesso de água à área interna do galpão pelos cabos das placas fotovoltaicas.

Figura 51 - Método protetor do módulo fotovoltaico

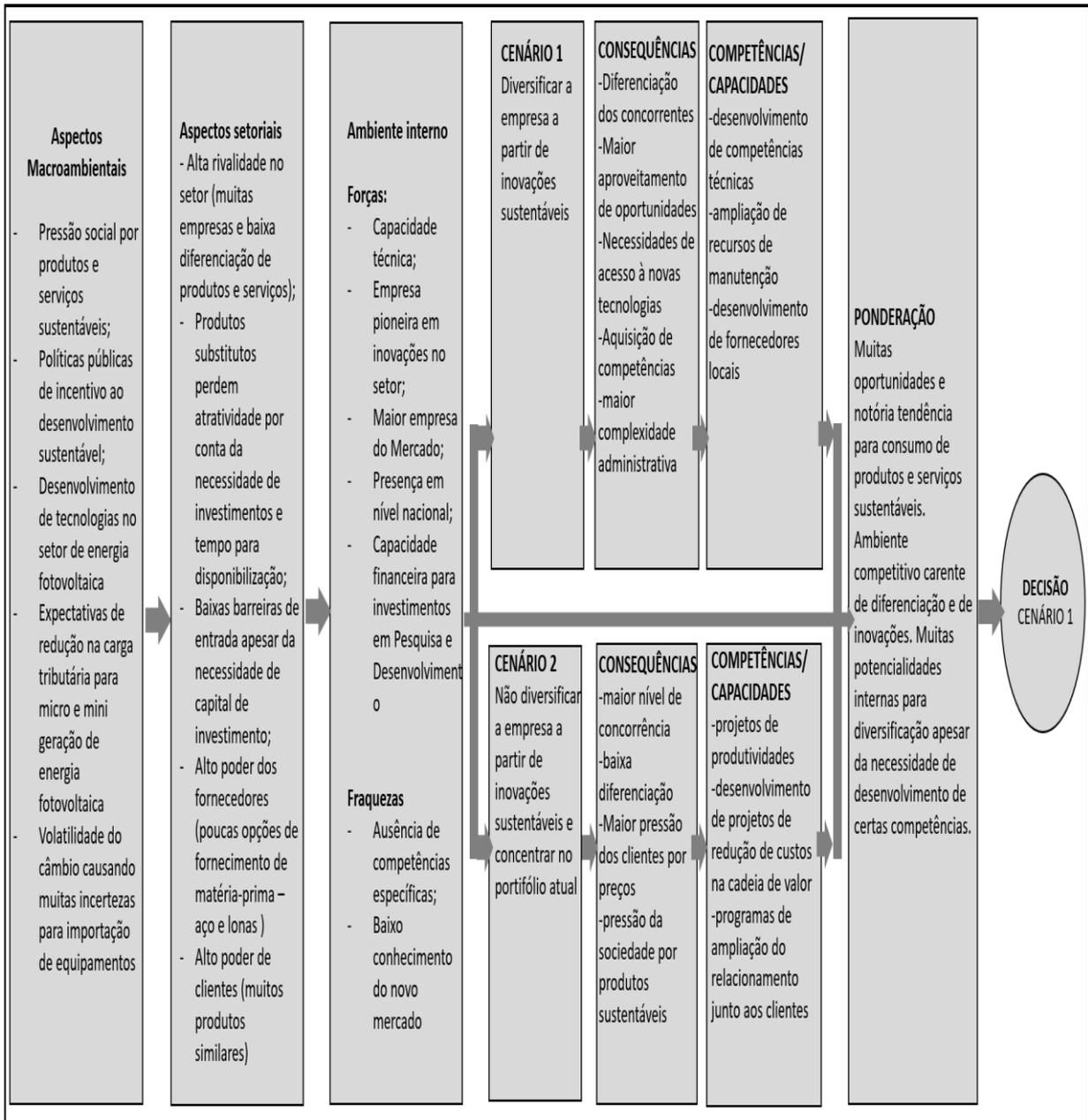


Fonte: o autor (2020)

Após a constatação da eficácia das soluções desenvolvidas, acionou-se novamente o escritório jurídico especializado em processos de proteção à propriedade intelectual. Não tendo sido identificadas soluções semelhantes, realizou-se o depósito do pedido de patente de invenção junto ao INPI.

Após realização de todos os testes estabelecidos, as soluções foram aceitas pela empresa como satisfatórias e o produto foi incluído ao portfólio de negócios. Foi registrada, ainda, junto ao INPI uma marca para as campanhas próprias de marketing e canais de venda do produto. O resumo sintético dessa análise é ilustrado na Figura 52.

Figura 52 - Resumo sintético para a decisão por inclusão de novo produto



Fonte: o autor (2020)

Na fase final do PDP tem-se o lançamento do produto, o que corresponde na DRS às comunicações dos resultados do estudo. Estas comunicações são realizadas em duas frentes, conforme ilustram as Figuras 53 e 54. Para realizar a primeira frente e garantir a exploração comercial das inovações, depositaram-se dois pedidos de patente junto ao INPI, utilizando o trâmite prioritário de patentes que estão relacionadas às tecnologias verdes.

Figura 53 - Depósito da patente 1

| Dados do Pedido   |   |
|---|---|
| <b>Natureza Patente:</b>  | 10 - Patente de Invenção (PI)   |
| <b>Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):</b>  | "MÓDULO FOTOVOLTAICO, SISTEMA FIXADOR DE MÓDULO FOTOVOLTAICO, MÉTODO FIXADOR DE MÓDULO FOTOVOLTAICO"  |
| <b>Resumo:</b>  | A presente invenção refere-se a uma solução de infraestrutura flexível, que permite o uso de placas fotovoltaicas flexíveis de maneira adequada à necessidade do usuário, e com uma dinâmica de montagem tal que permite uma pluralidade de configurações. A solução é composta de uma pluralidade de módulos fotovoltaicos que são fixados em superfícies flexíveis, como lonas, a um método de fixação desses módulos e às estruturas que compreendem tais módulos. |
| <b>Figura a publicar:</b>   | 1   |
|   |   |
|   |   |
| <b>Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT</b><br>Número do Processo: BR 10 2020 001274 6   |   |
| Dados do Depositante (71)   |   |
| Depositante 1 de 1  |   |
| <b>Nome ou Razão Social:</b> TOPICO LOCAÇÕES DE GALPÕES E EQUIPAMENTOS PARA INDUSTRIAS S.A.<br><b>Tipo de Pessoa:</b> Pessoa Jurídica<br><b>CPF/CNPJ:</b> 08259544000184<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Jurídica:</b> Pessoa Jurídica<br><b>Endereço:</b> AV. JORGE ALFREDO CAMASME, 122, LOTE 20 QUADRA C, PQ.INDL RAMOS DE FREITAS<br><b>Cidade:</b> Embu das Artes<br><b>Estado:</b> SP<br><b>CEP:</b> 05816-050<br><b>País:</b> Brasil<br><b>Telefone:</b><br><b>Fax:</b><br><b>Email:</b> brunner@brunner.com.br |   |
| Dados do Inventor (72)  |   |
| Inventor 1 de 3   |   |
| <b>Nome:</b> LEONARDO AUGUSTO DE CAMPOS<br><b>CPF:</b> 27120424840<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Fiscal:</b> Engenheiro, arquiteto e afins<br><b>Endereço:</b> Av. Dr. Altino Arantes, 669, ap 11 Vila Clementino<br><b>Cidade:</b> São Paulo<br><b>Estado:</b> SP<br><b>CEP:</b> 04042-033<br><b>País:</b> BRASIL<br><b>Telefone:</b><br><b>Fax:</b><br><b>Email:</b>   |   |
| Inventor 2 de 3   |   |
| <b>Nome:</b> ANTONIO CESAR GALHARDI<br><b>CPF:</b> 03182265881<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Fiscal:</b> Engenheiro, arquiteto e afins<br><b>Endereço:</b> Av. Nove de Julho, 3315, ap 22, Bairro Anhangabau<br><b>Cidade:</b> Jundiaí   |   |

Fonte: o autor (2020)

Figura 54 - Depósito da patente 2

| Dados do Pedido   |   |
|---|---|
| <b>Natureza Patente:</b>  | 10 - Patente de Invenção (PI)   |
| <b>Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):</b>  | "MÓDULO FOTOVOLTAICO COM REGIÃO PROTETORA E MÉTODO DE PROTEÇÃO DE MÓDULO FOTOVOLTAICO"  |
| <b>Resumo:</b>  | A presente invenção refere-se a uma solução de infraestrutura flexível, que permite a proteção dos cabos de placas fotovoltaicas flexíveis. A solução é composta de um recorte para inserção das extremidades dos cabos e de uma sobrecapa sobre a região do recorte, protegendo assim as extremidades dos cabos. |
| <b>Figura a publicar:</b>   | 1   |
|   |   |
|   |   |
| <b>Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT</b><br>Número do Processo: BR 10 2020 001381 5   |   |
| Dados do Depositante (71)   |   |
| Depositante 1 de 1  |   |
| <b>Nome ou Razão Social:</b> TOPICO LOCAÇÕES DE GALPÕES E EQUIPAMENTOS PARA INDUSTRIAS S.A.<br><b>Tipo de Pessoa:</b> Pessoa Jurídica<br><b>CPF/CNPJ:</b> 08259544000184<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Jurídica:</b> Pessoa Jurídica<br><b>Endereço:</b> AV. JORGE ALFREDO CAMASME, 122, LOTE 20 QUADRA C, PQ.INDL RAMOS DE FREITAS<br><b>Cidade:</b> Embu das Artes<br><b>Estado:</b> SP<br><b>CEP:</b> 06816-050<br><b>País:</b> Brasil<br><b>Telefone:</b><br><b>Fax:</b><br><b>Email:</b> brunner@brunner.com.br |   |
| Dados do Inventor (72)  |   |
| Inventor 1 de 3   |   |
| <b>Nome:</b> LEONARDO AUGUSTO DE CAMPOS<br><b>CPF:</b> 27120424840<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Fiscal:</b> Engenheiro, arquiteto e afins<br><b>Endereço:</b> Av. Dr. Altino Arantes, 669, ap 11 Vila Clementino<br><b>Cidade:</b> São Paulo<br><b>Estado:</b> SP<br><b>CEP:</b> 04042-033<br><b>País:</b> BRASIL<br><b>Telefone:</b><br><b>Fax:</b><br><b>Email:</b>   |   |
| Inventor 2 de 3   |   |
| <b>Nome:</b> ANTONIO CESAR GALHARDI<br><b>CPF:</b> 03182265881<br><b>Nacionalidade:</b> Brasileira<br><b>Qualificação Fiscal:</b> Engenheiro, arquiteto e afins<br><b>Endereço:</b> Av. Nove de Julho, 3315, ap 22, Bairro Anhangabau<br><b>Cidade:</b> Jundiaí   |   |

Fonte: o autor (2020)

Para a realização da segunda frente, houve a divulgação em veículos de mídia impressa e digital dos novos segmentos de atuação da empresa desenvolvidos neste estudo, conforme ilustram as Figuras 55 e 56.

Figura 55 - Publicação de matéria na Revista Tecnologia

**A HISTORY OF THE FUTURE** **100 STILL** **STILL**

Terça-feira, 24 de março de 2020 - 14h46

**Tópico apresenta galpão flexível com tecnologia de energia solar**

O Tópico Solar é capaz de reduzir em até 100% o consumo de energia elétrica

COMPARTILHAR 0 | TWEETAR | EMAIL | PRINT

A Tópico, empresa que atua no mercado de estruturas flexíveis para cobertura e armazenagem, apresenta o primeiro galpão sustentável com tecnologia de energia solar da América Latina. Chamada Tópico Solar, a solução é capaz de reduzir em até 100% o consumo de energia elétrica em galpões para armazenagem, dependendo do tamanho do sistema.

Placas captam os raios solares e os transformam em corrente elétrica, que é controlada e transferida para sistemas de baterias especialmente projetadas para isso. As baterias são conectadas a um sistema de proteção e distribuição que alimenta cargas. Todo o sistema de integração da placa ao galpão e o sistema de passagem de cabos são patenteados pela Tópico. A estimativa de vida útil das baterias é entre cinco e dez anos e as placas de captação dos raios solares podem durar até 20 anos.

"A maior vantagem está na independência energética, uma vez que o sistema pode prover energia a galpões desconectados da rede elétrica ou alimentados precariamente

**LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS**  
 ▶ Empilhadeiras  
 ▶ Plataformas  
 ▶ Paletesiras  
**MANUTENÇÃO**  
 ▶ Assistência Técnica

**A ENTREGA MAIS EFICIENTE E RÁPIDA NO CENTRO-OESTE E NORTE**

**PORTAL DE EMPREGOS EXCLUSIVO PARA AS ÁREAS DE LOGÍSTICA, TRANSPORTE E SUPPLY CHAIN**

Fonte: Revista Tecnologia (2020)

Figura 56 - Publicação de matéria na Revista Valor Setorial

**Valor Setorial** **LOGÍSTICA**

Março 2020 | www.valorsetorial.com.br

**À ESPERA DE BONS LANCES**  
 Governo quer atrair parcerias com regras mais claras para os leilões de 2020

**Deficit crônico**  
 Investimentos em armazenagem logística no Brasil em milhões de toneladas

| Ano  | Investimentos (milhões de toneladas) |
|------|--------------------------------------|
| 2013 | 500                                  |
| 2014 | 550                                  |
| 2015 | 600                                  |
| 2016 | 650                                  |
| 2017 | 700                                  |
| 2018 | 750                                  |
| 2019 | 800                                  |
| 2020 | 850                                  |

com uma ocupação próxima de 100% da capacidade, "as expectativas de crescimento das operações no último trimestre de 2019 e com as perspectivas para este ano".

Santa Catarina tem uma economia diversificada e pode ser tomada como um microcosmo da indústria brasileira. Com setores como a metalurgia (aço e alumínio), o de frutas (uva, maçã, laranja), o de celulose, o de madeira, o de papel e o de alimentos (açúcar, leite, café), a logística é essencial para a movimentação de mercadorias e serviços. Nos diferentes setores, há uma cultura de inovação e melhoria contínua. Há uma cultura de verticalização, de ser de ponta a ponta e, por isso, ainda há espaço para inovações logísticas.

Da falta dos fornecedores de equipamentos para o setor, há também expectativas de boas negociações. Na Mabeff, empresa especializada em soluções para manutenção de materiais instalados em Porto Ceres (SC), o diretor operacional, André Queiroz, prevê um crescimento de 7% para o mercado em 2020. Nos últimos anos, a produção tem acompanhado a do PIB, segundo ele.

Libera as indústrias locais - cobertas por um mercado de 10 milhões de toneladas - para vender no Brasil. Isso é um crescimento de receita de 12% em 2019. "Não é uma recuperação da nível iniciada em 2014", afirma André Lacerda, CEO da Tópico. "Não esperamos uma aceleração do crescimento nos próximos meses".

Essa expectativa se baseia na quantidade de projetos para a construção. Foram mais de um milhão de metros e já foram iniciados 500 a 600 projetos ao longo do ano. É um grande mercado, segundo Lacerda, com demanda de engenharia, sinal de decisão firme de investimento.

Para atender ao mesmo estímulo a expansão dos negócios, a Tópico acaba de lançar galpões com automação energética. "Tratam de otimização e de agenciamento, com instalações em regiões remotas, trabalhadores de maneira pontual, com distribuição de capacidade entre o de empilhadeiras", afirma Lacerda.

Com a tecnologia de fornecedores alemães, a Tópico desenvolveu o novo tipo de galpão sustentável para a armazenagem. Realiza o uso de baterias de lítio. Com isso, é possível alimentar iluminação, câmeras de segurança, alarme, controle de acesso. Também é possível garantir cinco dias de autonomia, caso não haja luz solar por período, algo muito importante de acontecer no Brasil. Além disso, o sistema permite, em 90%, o mesmo tamanho de todo o galpão por célula, em qualquer lugar do mundo.

Outro campo que começa a ser mais explorado pelas brasileiras é a distribuição, tendo em vista a necessidade de quem se conecta a clientes e produtores. É o caso da Pallas, multinacional brasileira, há 24 anos no mercado, especializada em soluções de logística. A empresa desenvolveu uma solução inovadora para carregar pallets de um ponto a outro, com capacidade de até uma tonelada por veículo motorizado. O tipo de galpão está só no nível de R&D, fabricado por terceiros, mas também no software de toda a operação. Na tecnologia americana, o código combina o nome de um cliente, o nome do produto, o nome do agente, mas se com autonomia por setores, com uma rede de distribuição. "Não é uma mesma cidade, o centro ou o exterior", explica Carlos Castro, diretor executivo da empresa.

A solução já está sendo utilizada por uma empresa líder da região de Brusque (SC), para investimentos de distribuição de produtos. Carlos Castro explica, a cargo de conduzir por meio de um sistema de quatro andares especialmente construído. Os produtos entram no depósito, descem no andar programado e

Fonte: Revista Valor Setorial (2020)

O Quadro 10 sintetiza os resultados da aplicação do DSR para o Projeto e Desenvolvimento de Produto, visando obter soluções sustentáveis de energia fotovoltaica para aplicação em infraestruturas flexíveis neste estudo.

Quadro 10 - Síntese dos resultados do DSR e PDP

| FASE DE PDP         | ETAPA DA DSR                | RESULTADOS OBTIDOS   |
|---------------------|-----------------------------|--|
| Pré-desenvolvimento | Conscientização do problema | Identificação da necessidade de revisar o modelo de negócios da empresa frente à dinâmica competitiva<br>Elaboração de uma heurística para o processo decisório da empresa |
| Desenvolvimento     | Ideação                     | Proposição de soluções para agregação de valor ao negócio utilizando energia fotovoltaica  |
|                     | Desenvolvimento             | Elaboração de dez protótipos de solução para teste   |
|                     | Demonstração do artefato    | Definição das quatro soluções mais viáveis   |
|                     | Avaliação                   | Revisão do portfólio de produtos da empresa  |
| Pós-desenvolvimento | Comunicação                 | Lançamento do produto<br>Criação de marca comercial<br>Pedidos de patentes<br>Divulgação na mídia impressa e digital do segmento   |

Fonte: o autor (2020)

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Operações logísticas são peças-chave nas cadeias de valor das indústrias. Em um contexto de globalização combinado com os avanços tecnológicos, crescem as ofertas de produtos por meio digital e as transações por *e-commerce* tornam-se cada vez mais viáveis e frequentes. Ao mesmo tempo, no Brasil, setores como o agronegócio ampliam o tamanho das operações e esta condição aumenta a demanda por soluções de armazenagem.

Os galpões de infraestrutura flexível servem a esta necessidade e emergem como alternativas economicamente mais viáveis do que estruturas de armazenagem fixas, como as de alvenaria. Diante desta demanda na qual a atratividade deste setor cresce, entrantes passam a integrá-lo, aumentando a competitividade. Contudo, ao contrário do que ocorre em movimentos de entrada, as novas empresas não têm contribuído para conferir diferenciação significativa aos produtos.

Também é crescente a demanda por soluções sustentáveis em todas as indústrias. Ao lançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, a Organização das Nações Unidas abriu um amplo debate sobre os elementos que envolvem a adoção do *triple bottom line* pelas empresas que consomem recursos naturais e impactam o meio ambiente em suas operações. De forma específica, o sétimo ODS trata da necessidade de se gerar energia de baixo custo, amplamente disponível e cujo impacto ambiental seja o menor possível. Neste contexto, Estado e sociedade pressionam as corporações por adotarem práticas mais sustentáveis que favoreçam o desenvolvimento social, econômico, ambiental.

Estas necessidades colocam-se como desafios para a Engenharia, pois os processos de desenvolvimento de produtos devem se preparar para lidar com situações que podem se configurar inicialmente como *trade-offs*, à medida que tecnologias verdes ainda estão emergindo e possuem alto custo. Entretanto, dadas as condições do setor de infraestrutura flexível – alta demanda, baixa diferenciação, custo competitivo –, a demanda por soluções

sustentáveis, a importância da energia como recurso produtivo e o potencial que o Brasil possui para geração de energia fotovoltaica, são elementos motivadores para estudos que visem oportunizar inovações sustentáveis pelas quais todos os envolvidos na cadeia produtiva sejam beneficiados.

Sabendo-se da relevância da energia nas operações das empresas, do impacto deste insumo nos custos corporativos e de problemas relacionados à matriz energética brasileira que impõe o desafio de suprir de energia os consumidores individuais e corporativos, aplicou-se na empresa Tópico Galpões, um PDP que desenvolveu soluções agregadoras de valor à infraestrutura flexível a partir da energia fotovoltaica.

O PDP utilizado neste estudo foi operacionalizado pelo método do DSR. Esta combinação de estratégias metodológicas é, por si só, diferenciada, pois executou as etapas do PDP com o uso de diversos recursos: pré-desenvolvimento (utilizando instrumentos como *brainstorming*, análises SWOT e BCG, elaboração da heurística); desenvolvimento (envolvendo reuniões técnicas, aplicação do *design thinking* e MVP, prototipação, pesquisa documental, análise descritiva e de viabilidade); e pós desenvolvimento (efetivado com o lançamento do produto, nova marca e encaminhamento do pedido de patente). Com o emprego deste método, desenvolveram-se quatro modelos de fixação de placas para viabilizar a implementação de um sistema gerador de energia fotovoltaica e uma solução para proteção deste sistema contra intempéries – especificamente a chuva – diminuindo os custos com a manutenção dele.

Os modelos de fixação foram concebidos para o emprego em placas fotovoltaicas de filme fino que possuem baixo peso próprio. Assim, o desafio estabelecido para o PDP era o de conceber sistemas de fixação das placas às coberturas de lona dos galpões, sendo que o sistema gerador, constituído por placas fotovoltaicas de filme fino, controladores, inversores e baterias foi desenvolvido com o apoio de parceiros especializados no sistema de potência, reduzindo-se

o tempo para testes e respectiva curva de aprendizado quanto ao novo produto. As soluções desenvolvidas possibilitaram agregar as placas às coberturas dos galpões sem a necessidade de mudanças estruturais nos mesmos.

As soluções concebidas são eficientes, pois, além de auxiliarem na geração de energia fotovoltaica, apresentam baixo custo de implementação. Essa característica se consolida já que as soluções não acrescentam tempo significativo de produção ou de montagem, não demandam equipamentos adicionais aos processos e foram desenvolvidas a partir de materiais já utilizados na fabricação dos itens de portfólio.

A análise dos dados coletados do sistema de geração de energia fotovoltaica evidenciou que as soluções desenvolvidas permitiram o aproveitamento da incidência da luz solar, sem necessitar de áreas extras para instalação dos painéis fotovoltaicos. Esta condição somada à autogeração de energia, diferenciam os produtos da Tópico daqueles oferecidos pela concorrência. Somada ao baixo custo de produção, o valor que pode ser capturado pela empresa nas vendas também é potencialmente maior.

Ademais, no contexto atual da sociedade do conhecimento, a ampliação da vantagem competitiva das empresas ocorre pela forma com a qual lidam com os ativos intangíveis, notadamente os dados e informações. Durante a execução do PDP, evidenciam-se a utilização de conhecimentos tácitos e explícitos da equipe envolvida no desenvolvimento das soluções. Estes conhecimentos proporcionam a criação e compartilhamento de novos conhecimentos que, acumulados, iniciaram a experiência de aprendizagem na empresa e a colocaram no caminho da busca por inovação.

Todavia, o mesmo contexto da sociedade do conhecimento conduz para a necessidade de se administrar os ativos intangíveis da empresa e, para isso, a gestão da propriedade industrial é fundamental. O registro dos inventos ou de modelos de aplicação desenvolvidos pelas empresas por meio de patentes é uma forma de realizar este gerenciamento e garantir que

os direitos econômicos sobre os inventos sejam exercidos pelas empresas investidoras em inovação. Possibilitam, também, a exploração comercial das soluções, os registros de patentes também atuam na criação de conhecimentos. Após os períodos legalmente estabelecidos, as informações sobre o desenvolvimento do produto tornam-se públicas, dando subsídios para inovações incrementais e radicais derivadas de um produto inicial.

Somado às soluções para fixação de placas fotovoltaicas e proteção de cabos de energia, concebeu-se uma heurística para a tomada de decisão acerca da adoção da inovação sustentável. Esse modelo ampliou a análise crítica da empresa quanto ao potencial estratégico das inovações sustentáveis e a necessidade de incorporação de elementos que agreguem maior valor econômico, social e ambiental ao desenvolvimento de novos produtos e processos. Essas reflexões provocaram mudanças organizacionais relacionadas ao redirecionamento estratégico da empresa que inclui inovação e sustentabilidade como diferenciais competitivos.

Neste sentido, o estudo motivou a constituição de um comitê específico para tratar de questões de sustentabilidade na empresa, além da criação de um programa de incentivos para projetos inovadores.

Diferentemente do que se evidencia na literatura, o desenvolvimento de produto na empresa estudada ocorreu na fase de maturidade do ciclo de vida do seu atual portfólio de produtos. Desta forma, espera-se que a fase do declínio, na qual, geralmente, são executados os PDPs como estratégia para evitar queda nas vendas, seja postergada, atuando, positivamente, na manutenção da participação de mercado e na competitividade da empresa.

Embora tenham sido identificados alguns desafios, todos os objetivos estabelecidos para o presente trabalho foram cumpridos e, como consequência, a questão de pesquisa que norteou sua condução foi respondida. Um dos desafios enfrentados pelo estudo está relacionado à pouca experiência da empresa em PDP voltado para a inovação sustentável e à dificuldade para obtenção de dados sobre o mercado de infraestrutura flexível, dada a ausência de um órgão que

faça confluír as informações setoriais, causando consequências na curva de aprendizagem para se chegar ao final do PDP, especificamente no processo para registro da propriedade industrial proveniente das soluções desenvolvidas. Outro desafio foi a dificuldade de se estimar o potencial de mercado para as soluções desenvolvidas. Acredita-se que esta dificuldade esteja relacionada com o período de realização da pesquisa que ocorreu durante a pandemia de Covid-19. O impacto deste desafio está no dispêndio de recursos pela empresa: caso a demanda seja subestimada, recursos adicionais deverão ser providenciados para atender aos pedidos, causando impacto no orçamento; caso a demanda seja superestimada, existe a possibilidade de acúmulo de produtos em estoque, causando impacto na lucratividade.

Contrapondo-se aos obstáculos transpostos, os resultados da pesquisa reforçaram o potencial da inovação para agregação de valor no setor a partir da sustentabilidade, promovendo benefícios econômicos e ambientais. O uso racional dos recursos naturais e, em particular, da energia solar fotovoltaica barateia o custo da energia, que é um importante recurso para as operações, e diminui a dependência do cliente em relação ao atual fornecedor de energia. Ainda, pôde-se observar que a inovação motivou uma série de mudanças organizacionais na empresa na qual o projeto foi desenvolvido, evidenciando outras oportunidades para desenvolvimento de produtos e melhoria da competitividade do negócio.

Por ora, espera-se que este estudo fomente outras pesquisas futuras que poderão, inclusive, verificar o impacto das soluções desenvolvidas nas receitas e lucratividade da empresa, já que, embora varie de acordo com a indústria, a cadeia de valor e o tipo de tecnologia adotada, a inovação sustentável tem forte relacionamento com a sustentabilidade dos resultados corporativos.

Outra possibilidade é que pesquisas se utilizem da análise estatística de diferenças-em-diferenças para identificar a efeito da energia mais eficiente no desempenho das empresas. A partir do evento da pandemia de Covid-19, podem ser analisadas as diferenças no desempenho

da empresa antes e depois da mesma, assim como antes e depois do novo portfólio de produtos com inovações sustentáveis. Pode-se, ainda, analisar o efeito da aquisição destes produtos no desempenho de clientes.

Igualmente, aliado aos conceitos de ecologia industrial e simbiose industrial e considerando que a utilização da cobertura dos galpões para produção de energia fotovoltaica é promissora alternativa para se reduzir os custos com o insumo energia, mais uma possibilidade de pesquisa futura pode ocorrer com a análise do papel do setor para fomentar a inovação sustentável nas cadeias de valor das quais participa, notadamente no agronegócio e comércio eletrônico. Pode-se analisar, por exemplo, se inovações voltadas para ao uso racional da água podem se desenvolver a partir de modificações incrementais nos galpões.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Energia limpa e atrativa**, 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-limpa-e-atrativa.html>>. Acesso em 18/10/2020.
- ABSOLAR. **Infográfico Absolar**, 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em 23/11/2020.
- AGUADO, S.; ALVAREZ, R.; DOMINGO, R. **Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation**. Journal of Cleaner Production, v. 47, p. 141-148, 2013.
- AIMIN, Q. I. **Interaction between the Sustainable Innovation Capability on Patent Based On Entrepreneurial Culture: Empirical Research from China**. Revista de Cercetare și Intervenție Socială, (66), 133-145, 2019.
- AKEN, J. E. V. **Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules**. Journal of Management Studies, 41(2), 219–246, 2004.
- AKINYELE, D. O.; RAYUDU, R. K.; NAIR, N. K. C. **Development of photovoltaic power plant for remote residential applications: The socio-technical and economic perspectives**. Applied Energy, 155, 131–149, 2015.
- ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; OLÍVIA SANTO, C. E.; SACRAMENTO, T. C. B. **Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica**. 2016.
- AMARAL, D. C.; ALLIPRANDINI, D. H.; FORCELLINI, F.A.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; SCALICE, R.K.; ROZENFELD, H. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Saraiva, 2017.
- ARGYRES, N.; MAHONEY, J.; NICKERSON, J. **Strategic responses to shocks: Comparative adjustment costs, transaction costs, and opportunity costs**. Strategic Management, 2019.
- AUSTIN, E.C. **Business survival growth model (BSGM) canvas vs business model canvas (BMC)**. European Journal of Business Innovation Research. Vol.8, N.1pp. 52-68, 2020.
- BATTISTELLA, C.; DE TONI, A. F.; DE ZAN, G.; PESSOT, E. **Cultivating business model agility through focused capabilities: A multiple case study**. Journal of Business Research, 73, 65–82, 2017.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 7 ed. Paris: Presses Universitaires de France, p. 291, 1977.
- BIGELOW, L.; NICKERSON, J.; PARK, W.Y., **When and how to shift gears: dynamic trade-offs among adjustment, opportunity, and transaction costs in response to an innovation shock**. Strategic Management, 2019.

BLAABJERG, F.; IONEL, D. M. **Renewable Energy Devices and Systems – State-of-the-Art Technology, Research and Development, Challenges and Future Trends**. *Electric Power Components and Systems*, 43(12), 1319–1328, 2015.

BLOK, V.; LONG, T. B.; GAZIULUSOY, I.; CILIZ, N.; LOZANO, R.; HUISINGH, D.; CSUTORA, M.; BOKS, C. **From best practices to bridges for a more sustainable future: advances and challenges in the transition to global sustainable production and consumption Introduction to the ERSCP stream of the Special volume**. *Journal of Cleaner Production*, 2015.

BORTOLOTO, V. A.; SOUZA, A.J.; GOIS, G.; MARTINS, M.A.; BERGHE, M.J.; MONTANHA, G.K. **GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR ON GRID E OFF GRID**. In: **JORNADA CIENTÍFICA TECNOLÓGICA**, 6, 2017, Botucatu. Anais. Botucatu: Fatec, p. 1 – 6, 2017.

BOSSLE, M. B.; DUTRA DE BARCELLOS, M.; VIEIRA, L. M.; SAUVÉE, L. **The drivers for adoption of eco-innovation**. *Journal of Cleaner Production*, 113, 861–872, 2016.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2019.

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. **Design research for cadastral systems**. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(1), 77–87, 2011.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.; DEL GONZÁLEZ, P. R.; KÖNNÖLÄ, T. **What is eco-innovation? In: Eco-innovation**. Palgrave Macmillan, London, 2009. p. 6-27.

CARVALHO, H.; GOVINDAN, K.; AZEVEDO, S. G.; CRUZ-MACHADO, V. **Modelling green and lean supply chains: An eco-efficiency perspective**. *Resources, conservation na Recycling*, 2017.

CHANG, H.; FERNANDO, G. D.; TRIPATHY, A. **An Empirical Study of Strategic Positioning and Production Efficiency**. *Advances in Operations Research*, 2015, 1–11, 2015.

CHEN, M.; KAUL, A.; WU, B. **Adaption across multiple landscape: relatedness, complexity, and the long run effects of cordination in diversified firms**. *Strategic Management*, 2019.

CHEN, S.-H. **The Influencing Factors of Enterprise Sustainable Innovation: An Empirical Study**. *Sustainability*, 8(5), 425, 2016.

CLUZEL, F.; YANNOU, B.; MILLET, D.; LEROY, Y. (2016). **Eco-ideation and eco-selection of R&D projects portfolio in complex systems industries**. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4329–4343.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. In: *Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 2010. p. 296-296.

CHRISTENSEN, Clayton M.; RAYNOR, Michael E.; MCDONALD, Rory. **What is disruptive innovation**. Harvard business review, v. 93, n. 12, p. 44-53, 2015.

CORTEZ, Nathan. **Regulating disruptive innovation**. Berkeley Tech. LJ, v. 29, p. 175, 2014.

DANG, R.; HOUANTI, L.; BONNAND, A. **Exploring the effect of diversification strategy on R&D intensity using quantile regression: evidence from France**. Applied Economics Letters, v. 23, n. 18, p. 1317-1320, 2016.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. **Uma Análise Distintiva entre o Estudo de Caso, A Pesquisa-Ação e a Design Science Research**. Revista Brasileira de Gestão de Negócios-RBGN, v. 17, n. 56, p. 1116-1133, 2015.

ENERGY TEC. **Como funciona**. Disponível em: < <http://www.energytecsolar.com.br/>>. Acesso em 08/11/2020.

FORKMANN, S.; RAMOS, C.; HENNEBERG, S. C.; NAUDÉ, P. **Understanding the service infusion process as a business model reconfiguration**. Industrial Marketing Management, 60, 151-166, 2017.

FRANCESCHINI, S.; FARIA, L. G.D.; JUROWETZKI, R. **Unveiling scientific communities about sustainability and innovation. A bibliometric journey around sustainable terms**. Journal of Cleaner Production, 2016.

GEISSDOERFER, M.; VLADIMIROVA, D.; EVANS, S. **Sustainable business model innovation: A review**. Journal of Cleaner Production, 198, 401–416, 2018.

GHISELLINI, P.; RIPA, M.; ULGIATI, S. **Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review**. Journal of Cleaner Production, 178, 618–643, 2018.

GIALOS, A. A.; ZEIMPEKIS, V.; ALEXOPOULOS, N. D.; KASHAEV, N.; RIEKEHR, S.; KARANIKA, A. **Investigating the impact of sustainability in the production of aeronautical subscale components**. Journal of Cleaner Production, 176, 785–799, 2018.

GOMES, A.C.; MATOS, V. S.; WANDERLEY, V. S. A.; GONÇALVES, G. B.; CORTES, L. R. C.; SORIANO, F. R. **Análise do potencial de geração fotovoltaica no estado da Bahia**. CEEL, 2019. Disponível em : [https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/artigos/artigo\\_426.pdf](https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/artigos/artigo_426.pdf)

GUERRAS-MARTÍN, L. Á.; RONDA-PUPO, G. A.; ZÚÑIGA-VICENTE, J. Á.; BENITO-OSORIO, D. **Half a century of research on corporate diversification: A new comprehensive framework**. Journal of Business Research, v. 114, p. 124-141, 2020.

GYAN, A. K.; BRAHMANA, R.; BAKRI, A. K. **Diversification strategy, efficiency, and firm performance: Insight from emerging market**. Research in International Business and Finance, v. 42, p. 1103-1114, 2017.

HAANSTRA, W.; TOXOPEUS, M. E.; VAN GERREVINK, M. R. **Product Life Cycle Planning for Sustainable Manufacturing: Translating Theory into Business Opportunities**. Procedia CIRP, 61, 46–51, 2017.

HAIR, J.; BABIN, B.; MONEY, A.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Bookman Companhia Editora, 2005.

HASSANI, B.; HASSANI, B. K. **Scenario analysis in risk management**. Springer International Publishing Switzerland, 2016.

HE, B.; LI, F.; CAO, X.; LI, T. **Product sustainable design: a review from the environmental, economic, and social aspects**. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 20(4), 2020.

HE, F.; MIAO, X.; WONG, C. W. Y.; LEE, S. **Contemporary corporate eco-innovation research: A systematic review**. Journal of Cleaner Production, 174, 502–526, 2018.

HELMS, M.M.; NIXON, J. **"Exploring SWOT analysis – where are we now? A review of academic research from the last decade"**. Journal of Strategy and Management, Vol. 3 No. 3, pp. 215-251, 2010.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J. **Design science in information systems research**. MIS Quarterly, 28(1), 75-10, 2004

HOKKANEN, L.; KUUSINEN, K.; VÄÄNÄNEN, K. **Minimum viable user experience: A framework for supporting product design in startups**. In: International Conference on Agile Software Development. Springer, Cham, 2016. p. 66-78.

HU, D.; WANG, Y.; YANG, X. **Trading Your Diversification Strategy for a Green One: How Do Firms in Emerging Economies Get on the Green Train?** Organization & Environment, v. 32, n. 4, p. 391-415, 2019.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. R. Pachauri and L. Meyer (editors), Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., 2015.

IEA SP. **Mini-usinas da geração distribuída de eletricidade solar ou biogás: o produtor rural como integrador**, 2019. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/usinas.pdf>>. Acesso em 08/11/2020.

IRELAND, R. D.; HOSKISSON, R. E.; HITT, M.A. **Administração Estratégica** 10° ed. Cengage Learning, 2015.

IWAFUNE, Y.; IKEGAMI, T.; FONSECA, J. G. DA S.; OOZEKI, T.; OGIMOTO, K. **Cooperative home energy management using batteries for a photovoltaic system considering the diversity of households**. Energy Conversion and Management, 96, 322–329, 2015.

JI, P.; MA, X.; LI, G. **Developing green purchasing relationships for the manufacturing industry: An evolutionary game theory perspective.** *International Journal of Production Economics*, 166, 155–162, 2015.

JOHNSON, J. S.; FRIEND, S. B.; LEE, H. S. **Big data facilitation, utilization, and monetization: Exploring the 3Vs in a new product development process.** *Journal of Product Innovation Management*, v. 34, n. 5, p. 640-658, 2017

JOYCE, A.; PAQUIN, R. L. **The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models.** *Journal of Cleaner Production*, 2016.

JULIÃO, J.; GASPAR, M.; TJAHJONO, B. **Key factors on green product development: influence of multiple elements. In Multiple Helix Ecosystems for Sustainable Competitiveness (pp. 75-90).** Springer, Cham, 2016.

JUNG, C.F.; RIBEIRO, J.L.D.; ECHEVESTE, M.E.S; CATEN, C.S. **Uma discussão de modelos de desenvolvimento de produto e suas características lineares e sistêmicas.** *Semana de engenharia de produção sul-americana*, v. 8, 2008.

KARAKAYA, E.; NUUR, C.; HIDALGO, A. **Business model Challenger: Lessons from a local solar company.** *Renewable energy*, v. 85, p. 1026-1035, 2016.

KEANE, S. F.; CORMICAN, K. T.; SHEAHAN, J. N. **Comparing how entrepreneurs and managers represent the elements of the business model canvas.** *Journal of Business Venturing Insights*, 65–74, 2018.

KODAMA, M. **Developing strategic innovation in large corporations-The dynamic capability view of the firm.** *Knowledge and Process Management*, 24(4), 221–246, 2017.

KRIELOW, A.; SANTOS, M. R. **A definição do posicionamento estratégico sob a perspectiva das competências organizacionais para obtenção de vantagem competitiva.** Enanpad, 2014.

KUMAR, S.; LUTHRA, S.; GOVINDAN, K.; KUMAR, N.; HALEEM, A. **Barriers in green lean six sigma product development process: an ISM approach.** *Productions Planning & Control*, 27(7-8), 604-620, 2016.

LACERDA, D. P., DRESCH, A., PROENÇA, A., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção.** *Gestão & Produção*, 20(4), 741–761, 2013.

LIANG, X. **Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources.** *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(2), 855–866, 2017.

LIN, H.E.; HSU, I.C.; HSU, A. W.; CHUNG, H.M. **Creating competitive advantages: Interactions between ambidextrous diversification strategy and contextual factors from a dynamic capability perspective.** *Technological Forecasting and Social Change*, v. 154, p. 119952, 2020.

LIU, C.; WANG, X.; WU, X.; GUO, J. **Economic scheduling model of microgrid considering the lifetime of batteries.** IET Generation, Transmission & Distribution, 11(3), 759–767, 2017.

LJUBOWNIKOW, G.; ANG, S. H. **Competition, diversification and performance.** Journal of Business Research, v. 112, p. 81-94, 2020.

LUIZ, J. V. R.; JUGEND, D.; JABBOUR, C. J. C.; LUIZ, O. R.; DE SOUZA, F. B. (2016). **Eco-design field of research throughout the world: mapping the territory by using an evolutionary lens.** Scientometrics, 109(1), 241–259.

LV, W.-D.; TIAN, D.; WEI, Y.; XI, R.-X. **Innovation Resilience: A New Approach for Managing Uncertainties Concerned with Sustainable Innovation.** Sustainability, 10(10), 3641, 2018.

MA, T.; YANG, H.; LU, L.; PENG, J. **Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: Modeling and techno-economic optimization.** Applied Energy, 137, 649–659, 2015.

MACKEY, T. B.; BARNEY, J. B.; DOTSON, J. P. **Corporate diversification and the value of individual firms: A Bayesian approach.** Strategic Management Journal, v. 38, n. 2, p. 322-341, 2017.

MADSEN, T. L.; LEIBLEIN, M. J. **What factors affect the persistence of an innovation advantage?** Journal of Management Studies, 52:8, December 2015.

MAIER, D.; MAFTEI, M.; MAIER, A.; BIȚAN, G.E. **A Review of Product Innovation Management Literature in the Context of Organization Sustainable Development.** Amphitheatre Economic, 21(Special No. 13), pp. 816-829, 2019.

MARCELINO-SÁDABA, S.; GONZÁLEZ-JAEN, L. F.; PÉREZ-EZCURDIA, A. **Using project management as a way to sustainability. From a comprehensive review to a framework definition.** Journal of Cleaner Production, 99, 1–16, 2015.

MASSA, L.; TUCCI, C. L.; AFUAH, A. **A critical assessment of business model research.** Academy of Management Annals, 11(1), 73-104, 2017.

MATOS, F. **Aço é solução durável e sustentável, 2013.** Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/aco-e-solucao-duravel-e-sustentavel>. Acesso em 19/01/2021.

MCCONNELL, D.; FORCEY, T.; SANDIFORD, M. **Estimating the value of electricity storage in an energy-only wholesale market.** Applied Energy, 159, 422–432, 2015.

MECALUX. Logismarket. **Galpão em lona (Alternativa Coberturas), 15 abril 2017.** Disponível em: [logismarket.ind.br/alternativa-coberturas](http://logismarket.ind.br/alternativa-coberturas)

MEDEIROS, J. F. de; RIBEIRO, J. L. D. **Environmentally sustainable innovation: Attributes expected in the purchase of green products.** Journal of Cleaner Production, 2016.

MENDOZA-ABARCA, K. I.; GRAS, D. **The performance effects of pursuing a diversification strategy by newly founded nonprofit organizations.** *Journal of Management*, 45: 984-1008, 2019.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2019.

MOHAJAN, H. K. **An Alaysis on BCG Growth Sharing Matrix.** *Noble International Journal of Business and Management Research*. Vol.2, Issue 1. Pp 1- 6, 2017.

MOOGK, D. R. **Minimum viable product and the importance of experimentation in technology startups.** *Technology Innovation Management Review*, v. 2, n. 3, 2012.

MOUSAVI, S.; BOSSINK, B. A. G. **Firms' capabilities for sustainable innovation: The case of biofuel for aviation.** *Journal of Cleaner Production*, 167, 1263–1275, 2017.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação e Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo, 106f., 2014

NIELSEN, G. **Brasileiros estão cada vez mais sustentáveis e conscientes.** 2019. Disponível em <https://www.nielsen.com/br/pt/insights/article/2019/brasileiros-estao-cada-vez-mais-sustentaveis-e-conscientes/>. Acesso em 20/01/2021.

NIESTEN, E.; JOLINK, A.; JABBOUR, A. B. L. S.; CHAPPIN, M.; LOZANO, R. **Sustainable collaboration: The impact of governance and institutions on sustainable performance.** *Journal of Cleaner Production*, 2016.

OSTERWALDER, A. **The business model ontology–A proposition in a design science approach.** Institut d'Informatique et Organisation. Dissertation 173, University of Lausanne, Switzerland, 2004.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.; TUCCI, C. L. **Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept.** *Communications of the association for Information Systems*, v. 16, n. 1, p. 1, 2005.

PANDYA, S. **Improving the learning and developmental potential of SWOT analysis: introducing the LISA framework.** *Strategic Direction*, 2017.

PARIDA, V.; WINCENT, J. **Why and how to compete through sustainability: a review and outline of trends influencing firm and network-level transformation.** *International Entrepreneurship and Management Journal*, v. 15, n. 1, p. 1-19, 2019.

PARRAGUEZ, P.; EPPINGER, S. D.; MAIER, A. M. **Information flow through stages of complex engineering design projects: a dynamic network analysis approach.** *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 62, n. 4, p. 604-617, 2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, S. L. A.; TIEPOLO, G.M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed.** -- São José dos Campos: INPE, 2017.88p.: il. (E-BOOK).

PEREIRA, N. X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída Vs Geração Centralizada.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Sorocaba, 86p., 2019.

PIDUN, U.; RICHTER, A.; SCHOMMER, M.; KARNA, A. **A new playbook for diversified companies.** MIT Sloan Manag Rev, v. 60, n. 2, p. 56-62, 2019.

PINHEIRO, M. A. P.; SELES, B. M. R. P.; DE CAMARGO FIORINI, P.; JUGEND, D.; LOPES DE SOUSA J., A. B.; DA SILVA, H. M. R.; LATAN, H. **The role of new product development in underpinning the circular economy.** Management Decision, 2018.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

POLÁKOVÁ, J.; MOULIS, P.; KOLÁČKOVÁ, G.; TICHÁ, I. **Determinants of the Business Model Change—A Case Study of a Farm Applying Diversification Strategy.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 220, p. 338-345, 2016.

PRODANOV, C. C. FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAZZOUK, R.; SHUTE, V. **What is design thinking and why is it important?** Review of educational research, v. 82, n. 3, p. 330-348, 2012.

REFICCO, E.; GUTIÉRREZ, R.; JAÉN, M. H.; AULETTA, N. **Collaboration mechanisms for sustainable innovation.** Journal of cleaner production, 203, 1170-1186, 2018.

RINGEN, G.; WELO, T. **The product development learning process and its relation to performance indicators.** Procedia Manufacturing, 26, 107–116, 2018.

RODRIGUEZ, L. J.; PEÇAS, P.; CARVALHO, H.; ORREGO, C. E. **A literature review on life cycle tools fostering holistic sustainability assessment: An application in biocomposite materials.** Journal of Environmental Management, 262, 110308, 2020.

ROMME, A. G. L. **Making a Difference: Organization as Design.** Organization Science, 14(5), 558–573, 2003.

ROSCA, E; ARNOLD, M.; BENDUL, J. C. **Business models for sustainable innovation—an empirical analysis of frugal products and services.** Journal of Cleaner Production, v. 162, p. S133-S145, 2017.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L., ALLIPRANDINI, D. H.; ESCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria dos Processos.** São Paulo: Saraiva, 2006.

SALARI, M.; BHUIYAN, N. **A new model of sustainable product development process for making trade-offs**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 94, n. 1-4, p. 1-11, 2018.

SANTOS; D. E.; MARTINEZ; F. C. C.; JUIZ, P. J. L. **A Fibra de Coco como Matéria-Prima para o Desenvolvimento de Produtos: uma prospecção tecnológica em bancos de patentes**. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 12, n. 1, p. 153-164, 2019.

SCHOMMER, M.; RICHTER, A.; KARNA, A. **Does the diversification–firm performance relationship change over time? A meta-analytical review**. Journal of Management Studies, v. 56, n. 1, p. 270-298, 2019.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2016.

SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F. de; DORION, E. C. H. **Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries**. Journal of Cleaner Production, 2016.

SHAHMARICHATGHIEH, MARZIEH, ARTO TOLONEN, AND HARRI HAAPASALO. **Product life cycle, technology life cycle and market life cycle; similarities, differences and applications**. Technology, Innovation and Industrial Management Joint International Conference. 2015.

SHANG, T.-T.; MIAO, X.-M.; LU, D.; XIN, X. **The evolutionary process of disruptive green innovation in China: evidence from the electric bicycle sector**. Technology Analysis & Strategic Management, 1–13, 2020.

SHEPHERD, D. A.; SOUITARIS, V.; GRUBER, M. **Creating New Ventures: A review and research agenda**. Journal of Management, p. 0149206319900537, 2020.

SIMBEROVÁ, I.; KITA, P. **New Business Models Based on Multiple Value Creation for the Customer: A Case Study in the Chemical Industry**. Sustainability, 2020.

SKENE, K. R. **Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work**. Sustainability Science, 13(2), 479–492, 2017.

SLOWAK, A. P.; REGENFELDER, M. **Creating value, not wasting resources: sustainable innovation strategies**. Innovation: The European Journal of Social Science Research, v. 30, n. 4, p. 455-475, 2017.

SOLAR MAGAZINE. **Tipos de painéis solares: no mercado e no laboratório**, 2020. Disponível em: < <https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/> >. Acesso em 08/11/2020.

TAHERA, K.; WYNN, D. C.; EARL, C.; ECKERT, C. M. **Testing in the incremental design and development of complex products**. Research in Engineering Design, v. 30, n. 2, p. 291-316, 2019.

TAO, J.; YU, S. **Product life cycle design for sustainable value creation: methods of sustainable product development in the context of high value engineering**. Procedia CIRP, 69, 25-30, 2018.

UMEDA, Y.; TAKATA, S.; KIMURA, F.; TOMIYAMA, T.; SUTHERLAND, J. W., KARA, S.; DUFLOU, J. R. **Toward integrated product and process life cycle planning—An environmental perspective.** CIRP Annals, 61(2), 681–702, 2012.

UNGER, D.; EPPINGER, S. **Improving product development process design: a method for managing information flows, risks, and iterations.** Journal of Engineering Design, v. 22, n. 10, p. 689-699, 2011.

VERRIER, B.; ROSE, B.; CAILLAUD, E. **Lean and Green strategy: The Lean and Green House and Maturity deployment model.** Journal of Cleaner Production, 2015.

WAN, C.; ZHAO, J.; SONG, Y.; XU, Z.; LIN, J.; HU, Z. **Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management.** CSEE Journal of Power and Energy Systems, 1(4), 38–46, 2015.

WANG, Y.; LIN, X.; PEDRAM, M. **A Near-Optimal Model-Based Control Algorithm for Households Equipped with Residential Photovoltaic Power Generation and Energy Storage Systems.** IEEE Transactions on Sustainable Energy, 7(1), 77–86, 2016.

WICKI, S. **Diversification through green innovations.** UWF UmweltWirtschaftsForum, 23(4), 197–203, 2015.

WINDRUM, P.; BIRCHENHALL, C. **Is product life cycle theory a special case? Dominant designs and the emergence of market niches through coevolutionary-learning.** Structural Change and Economic Dynamics, 9(1), 109–134, 1998.

WU, Z.; XIA, X. **Optimal switching renewable energy system for demand side management.** Solar Energy, 114, 278–288, 2015.

YANG, M.; EVANS, S.; VLADIMIROVA, D.; RANA, P. **Value uncaptured perspective for sustainable business model innovation.** Journal of Cleaner Production, 140, 1794–1804, 2017.

YOSOFI, M.; KERBRAT, O.; MOGNOL, P. **Framework to combine technical, economic and environmental points of view of additive manufacturing processes.** Procedia CIRP, v. 69, p. 118-123, 2018.

## APÊNDICE

### Aplicação da Inovação Sustentável no *Mix* de Negócio da Empresa

Este formulário destina-se à coleta de dados para uma pesquisa acadêmica, os quais, posteriormente, serão utilizados de forma agregada e não individualizada. Se desejar receber o resultado da pesquisa, demais informações ou tirar dúvidas sobre o preenchimento escreva para o e-mail: leodecampos@gmail.com.

Nesta pesquisa pede-se que o respondente manifeste o grau de concordância ou discordância em relação às afirmativas que estão relacionadas com a decisão de diversificar os negócios da empresa a partir da inovação sustentável. Para cada afirmativa, marcar 1, 2, 3, 4 ou 5, considerando que esta é uma escala de intensidade na qual os extremos são identificados como: 1 – discordo totalmente e 5 – concordo totalmente

**Concordo com a disponibilização e utilização dos dados de minhas respostas para a referida pesquisa acadêmica.**

Sim

Não

#### **Formação acadêmica**

Ensino Fundamental

Ensino Médio

Graduação

Especialização

Mestrado

Doutorado

**Tempo de experiência profissional (em anos)****Tempo de empresa (em anos)****Nível hierárquico na empresa**

Operacional

Tático

Estratégico

**Tamanho da empresa**

Microempreendedor individual

Pequena empresa

Média empresa

Grande empresa

**Quantos produtos possui o atual *mix* de negócio da empresa?**

1 produto - negócio único

De 2 a 5 produtos

De 6 a 10 produtos

Mais de 10 produtos

**A empresa possui experiência anterior com desenvolvimento de inovação sustentável?**

Sim

Não

**Você possui experiência anterior com o desenvolvimento de inovação sustentável?**

Sim

Não

- Comparar objetivos e metas definidos no planejamento estratégico com resultados obtidos (1...2...3...4...5)
- Considerar como principal indicador a lucratividade (1...2...3...4...5)
- Analisar competências da empresa (1...2...3...4...5)
- Analisar as capacidades da empresa (1...2...3...4...5)
- Analisar os conhecimentos da empresa (1...2...3...4...5)
- Analisar o ambiente externo (1...2...3...4...5)
- Considerar a necessidade de diversificação como estratégia para crescimento (1...2...3...4...5)
- Considerar a inovação como estratégia para crescimento (1...2...3...4...5)
- Considerar a parceria estratégica como estratégia para crescimento (1...2...3...4...5)
- Considerar a imitação como estratégia para crescimento (1...2...3...4...5)
- Considerar que existem duas propostas de valor distintas (inovação tradicional e inovação sustentável) (1...2...3...4...5)
- Tornar a inovação sustentável perceptível ao cliente (1...2...3...4...5)
- Determinar os segmentos cliente-alvo (1...2...3...4...5)
- Determinar com a empresa obterá a renda com a diversificação (1...2...3...4...5)
- Identificar os impactos na cadeia de valor (1...2...3...4...5)
- Determinar os canais de distribuição (1...2...3...4...5)
- Determinar as bases do relacionamento com o cliente (1...2...3...4...5)

- Determinar os parceiros envolvidos no desenvolvimento da inovação sustentável (1...2...3...4...5)
- Definir os recursos necessários para a inovação sustentável (1...2...3...4...5)
- Definir os custos envolvidos no desenvolvimento da inovação sustentável (1...2...3...4...5)
- Identificar os desafios que a empresa enfrenta para desenvolver a inovação sustentável (1...2...3...4...5)
- Necessidade de investir na linha de produção e no *mix* de marketing (1...2...3...4...5)