

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CARLA CRISTIANE SOKULSKI**

**INVESTIMENTO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL NO AGRONEGÓCIO  
COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**CARLA CRISTIANE SOKULSKI**

**INVESTIMENTO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL NO AGRONEGÓCIO  
COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR**

**Investment in renewable energy systems in agribusiness based on the  
principles of the circular economy**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco.

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**CARLA CRISTIANE SOKULSKI**

**INVESTIMENTO EM SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL NO AGRONEGÓCIO  
COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco.

Data de aprovação: 31/maio/2023

---

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Antonio Augusto De Paula Xavier  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Dra. Eliane Pinheiro  
Universidade Estadual de Maringá

---

Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Wesley Vieira da Silva  
Universidade Federal de Alagoas

**PONTA GROSSA**

**2023**

Dedico este trabalho à minha família, que esteve ao meu lado durante essa longa jornada, em especial, a minha filha Letícia e meu marido André, razões do meu viver.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha gratidão a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me concederem força, sabedoria e orientação durante essa longa jornada do doutorado e em toda a minha vida. As bençãos constantemente recebidas foram fundamentais para alcançar mais esse objetivo. Mesmo com muitos vivendo e convivendo diariamente ao nosso lado, apenas Deus sabe a realidade de tudo e nos dá suporte e razões pra seguir.

Ao meu estimado orientador Professor Dr. Antonio Carlos de Francisco, sou imensamente grata por me aceitar como orientanda, pelo seu apoio, dedicação, orientação e, principalmente, paciência ao longo deste trabalho. Suas contribuições valiosas e seu conhecimento foram essenciais para meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço por compartilhar seu tempo, experiência e sabedoria, me guiando com paciência e encorajamento. Obrigada por todo suporte além da pesquisa, naqueles momentos nebulosos, que infelizmente a vida nos faz passar, mas nunca estamos preparados. Você é uma pessoa singular, distinta, porém nenhuma palavra vai ser suficiente pra expressar minha eterna gratidão e o carinho sentido.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade de cursar e obter o título de doutora. Obrigada ao corpo docente e funcionários que direta ou indiretamente contribuíram durante esse período. Principalmente aos professores do Laboratório de Estudos Sustentáveis (LESP), sempre disponíveis e dispostos a ajudar, principalmente o Professor Dr. Fábio Neves Puglieri pelas orientações sobre o assunto abordado nesta pesquisa, elas foram fundamentais e norteadoras para a conclusão da tese.

Aos meus colegas de laboratório, com quem convivi durante todos esses anos, trocando não apenas conhecimentos, mas compartilhando momentos de tensão e alegria. Moisés, obrigada pelos altos papos “muito e nada cabeça”, sua ironia sarcástica que te diferencia, mas ao mesmo tempo te mantém leve, sua amizade é do tipo essencial na vida de uma pessoa. Eliane, minha amiga, a pessoa mais querida que conheci no LESP, a qual o ENEGEP aproximou e trouxe pra minha vida, obrigada por tudo e principalmente pela sua amizade.

Não posso deixar de agradecer ao pessoal da “5ª série” do LESP: Cleiton, Micaela, Diego e Vinícius. Obrigada por trazerem leveza aos meus dias durante toda

a turbulência que é o período final do doutorado. Em especial, agradeço ao Vini por todo auxílio na etapa final da tese, e também a Mica, não somente pelo auxílio nas pesquisas, mas principalmente pela sua amizade.

Agradeço à minha família, avó Lídia, irmãos Patrícia e Lucas e sobrinho Matheus. Meus pais Amauri (*in memoriam*) e Marilda que nunca mediaram esforços para me dar o melhor possível em tudo, tenho muito orgulho de vocês e da educação que recebi. Pai, perder você foi o que de mais triste aconteceu na minha vida.

Ao meu amado esposo André, você sem dúvidas é meu suporte, meu alicerce, a pessoa que desperta em mim o melhor que posso ser. Seu carinho e amor incondicional são razões do meu viver, se cheguei até aqui e consegui concluir é porque você esteve ao meu lado. Te amo!

À minha maravilhosa, flor do meu jardim, que trouxe de volta minha razão de viver, minha filha Letícia. Seu jeito encantador, sua inteligência e o carinho que recebo diariamente traz luz aos meus dias e faz tudo valer a pena.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro concedido durante a realização deste trabalho por meio do processo 157556/2019-0.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a conclusão de mais essa etapa, seja por meio de orientações acadêmicas, trocas de conhecimentos, palavras de incentivo e até mesmo apoio e encorajamento.

## RESUMO

O objetivo desta tese é desenvolver uma ferramenta de auxílio na decisão de investimentos em sistemas de energia renovável no agronegócio baseada nos princípios da economia circular. Sendo assim, no referencial teórico foram abordados os seguintes tópicos: economia circular, energia renovável, análise de projeto de investimento e tomada de decisão. Os procedimentos metodológicos foram compostos por três fases. A primeira fase consistiu em uma revisão sistemática da literatura e antecedentes sobre o tema, identificando os modelos de tomada de decisão para investimento em energia renováveis e os desembolsos necessários para esse tipo de investimento. Foram analisadas as considerações da economia circular nessas decisões e a identificação dos modelos de medida de circularidade disponíveis. Na fase dois ocorreu o delineamento e estruturação da ferramenta. Foram definidos os indicadores de viabilidade econômica (Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Payback e Análise de Cenários) e os indicadores de medida de circularidade para empresas produtoras de energia (ativos imobilizados, água e energia) com base na ferramenta Circulytics. A integração dos rankings dos indicadores (viabilidade e circularidade) é feita a partir do método TOPSIS, considerando pesos iguais para os dois indicadores. A terceira fase compreendeu a aplicação da ferramenta para validação e ajustes necessários. Como resultado principal, a ferramenta possibilita ao investidor identificar a melhor opção para tomada de decisão considerando tanto a viabilidade econômica quanto a circularidade do projeto.

Palavras-chave: Energia Renovável; Economia Circular; Análise de Viabilidade Econômica; Circularidade; Tomada de decisão.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to develop a tool to aid in the decision of investments in renewable energy systems in agribusiness based on the principles of circular economy. Therefore, in the theoretical framework, the following were considered: circular economy, renewable energy, investment project analysis and decision making. The methodological procedures were composed of three phases. The first phase consisted of a systematic review of the literature and background on the subject, identifying the decision-making models for investment in renewable energy and the necessary disbursements for this type of investment. Circular economy considerations were maintained in these decisions and the identification of available circularity measurement models was maintained. In phase two, the design and structuring of the tool took place. Economic viability indicators were defined (Net Present Value, Internal Rate of Return, Payback and Scenario Analysis) and circularity measurement indicators for energy producing companies (fixed assets, water and energy) based on the Circulytics tool. The integration of the rankings of the indicators (feasibility and circularity) is carried out using TOPSIS, considering equal weights for the two indicators. The third phase comprised the application of the tool for validation and necessary adjustments. As a main result, the tool enables the investor to identify the best option for decision making considering both the economic viability and the circularity of the project.

**Keywords:** Renewable Energy; Circular Economy; Economic Feasibility Analysis; Circularity; Decision making.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da tese .....	22
Figura 2 – Princípios da Economia Circular – BS 8001:2017 .....	26
Figura 3 – Diagrama borboleta: Economia Circular .....	27
Figura 4 – Repartição de “outras renováveis” .....	35
Figura 5 – Processos de conversão da biomassa em energia .....	37
Figura 6 – Etapas para a revisão sistemática da literatura e antecedentes sobre o tema.....	49
Figura 7 – Produção científica anual .....	68
Figura 8 – Principais documentos por citação .....	69
Figura 9 – Afiliação dos autores .....	70
Figura 10 – Revistas mais proeminentes no tema abordado .....	71
Figura 11 – Palavras-chave mais frequentes .....	72
Figura 12 – Documentos por área de pesquisa .....	73
Figura 13 – Custos para análise de viabilidade de investimento em energia renovável.....	87
Figura 14 – Modelo de ferramenta proposto.....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramentas de avaliação da economia circular .....	29
Quadro 2 – Categorias do Circulytics e seus respectivos temas .....	32
Quadro 3 – Relação das fases da pesquisa com os objetivos específicos .....	48
Quadro 4 – Conjuntos de buscas nas bases de dados.....	50
Quadro 5 – Pesos básicos para produção de energia com fluxos de água.....	53
Quadro 6 – Pesos básicos para empresas produtoras de energia sem fluxo de água.....	54
Quadro 7 – Ponderação do Tema 8. Ativos Imobilizados .....	55
Quadro 8 – Cálculo de massa por categoria de ativos .....	56
Quadro 9 – Categorias de ativos da empresa.....	57
Quadro 10 – Ativos imobilizados adquiridos no exercício .....	57
Quadro 11 – Cálculo de massa por categoria de ativos .....	59
Quadro 12 – Categorias de ativos da empresa.....	60
Quadro 13 – Políticas ou acordos para a recirculação dos ativos imobilizados .....	60
Quadro 14 – Questão ‘a’ e ‘b’ para ponderação do Tema 9. Água.....	61
Quadro 15 – Primeira parte das informações de ponderação para o Tema 10. Energia.....	63
Quadro 16 – Segunda parte das informações de ponderação para o Tema 10. Energia.....	63
Quadro 17 – Documentos comprobatórios de regularidade ambiental.....	89
Quadro 18 - Circularidade por tipo de energia .....	96
Quadro 19 – Viabilidade econômica circular .....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Total de fornecimento de energia global a partir de fontes primárias .....	34
Tabela 2 – Geração global de eletricidade renovável .....	35
Tabela 3 – Cálculo Payback Simples .....	42
Tabela 4 – Cálculo Payback Descontado e VPL .....	43
Tabela 5 – Análise de viabilidade econômica empresa Alpha .....	94
Tabela 6 – Circularidade das energias hidrelétrica e biogás na empresa Alpha .....	97
Tabela 7 - Circularidade das energias eólica e solar na empresa Alpha.....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BLC	Biodigestor Lagoa Coberta
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CH <sub>4</sub>	Metano
CMPC	Custo Médio Ponderado de Capital
CSTR	<i>Biodigestor Continuous Stirred Tank Reactor</i>
CTI	<i>Circular Transition Indicators</i>
EC	Economia Circular
EIA	Energy Information Administration
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
EMF	<i>Ellen MacArthur Foundation</i>
ER	Energias Renováveis
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FC	Fluxo de Caixa
FPSC	<i>Florida Public Service Commission</i>
FSSC	<i>Food Safety System Certification</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GIS	Sistemas de Informações Geográficas
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
HOMER	<i>Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources</i>
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IFS	<i>International Feature Standarts</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kW	Quilowatt
kWH	Quilowatt-hora
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>

MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
MNC	Modelo de Negócios Circular
MW	MegaWatt
NAMI	<i>North American Meat Institute</i>
NBR	Normas Brasileiras
NGCC	Ciclo Combinado a Gás Natural
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
Pb	<i>Payback</i>
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PEW	Projeto Elétrico Web
POC	Prova de Conceito
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SMAA	Análise de Aceitabilidade Multicritério Estocástica
SMARTS	<i>Simple Multi Attribute Rating Technique</i>
SRI	<i>Social Responsibility Investment</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TWh	Terawatt-hora
UHE	Usinas Hidrelétricas de Energia
UHT	<i>Ultra High Temperature</i>
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
1.1.1	Objetivos Específicos .....	18
<b>1.2</b>	<b>Justificativa da Pesquisa</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Economia Circular</b> .....	<b>23</b>
2.1.1	Princípios da Economia Circular .....	25
2.1.2	Indicadores de circularidade .....	28
<u>2.1.2.1</u>	<u>Circulytics</u> .....	<u>31</u>
<b>2.2</b>	<b>Energias Renováveis</b> .....	<b>33</b>
2.2.1	Biomassa .....	36
<u>2.2.1.1</u>	<u>Biogás</u> .....	<u>37</u>
2.2.2	Energia Hídrica ou hidrelétrica .....	38
2.2.3	Energia Eólica .....	39
2.2.4	Energia Solar .....	40
<b>2.3</b>	<b>Análise de Projeto de Investimento</b> .....	<b>41</b>
<b>2.4</b>	<b>Tomada de Decisão</b> .....	<b>45</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Fase 1 – Revisão da Literatura e Antecedentes Sobre o Tema</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Fase 2 – Métodos para a Estruturação da Ferramenta</b> .....	<b>52</b>
3.2.1	Ponderação do Tema 8. Ativos Imobilizados .....	54
3.2.2	Ponderação do Tema 9. Água .....	60
3.2.3	Ponderação do Tema 10. Energia .....	62
3.2.4	TOPSIS .....	63
<b>3.3</b>	<b>Fase 3 – Métodos para a Aplicação e Teste da Ferramenta</b> .....	<b>65</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise Bibliométrica</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2</b>	<b>Levantamento das ferramentas para tomada de decisão no investimento em energias renováveis</b> .....	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>Investimentos Necessários para a Produção de Energia Renovável no Setor Do Agronegócio</b> .....	<b>86</b>
<b>4.4</b>	<b>Circularidade na Produção de Energia Renovável</b> .....	<b>91</b>

4.5	Proposição do Modelo .....	92
4.6	Aplicação da ferramenta na Empresa Alpha.....	94
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	99
5.1	Conclusões .....	99
5.2	Limitações da pesquisa .....	100
5.3	Oportunidade de estudos futuros .....	100
	REFERÊNCIAS.....	102
	APÊNDICE A - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA - ENERGIA EÓLICA.....	112
	APÊNDICE B - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA - ENERGIA SOLAR.....	114
	APÊNDICE C - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – PCH.....	116
	APÊNDICE D - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – BIOGÁS .....	118
	APÊNDICE E - CIRCULARIDADE ENERGIA HIDRELÉTRICA.....	120
	APÊNDICE F - CIRCULARIDADE ENERGIA BIOGÁS .....	126
	APÊNDICE G – CIRCULARIDADE ENERGIA EÓLICA.....	132
	APÊNDICE H – CIRCULARIDADE ENERGIA SOLAR.....	137
	APÊNDICE I – APLICAÇÃO MÉTODO TOPSIS .....	142

## 1 INTRODUÇÃO

Para suprir a demanda energética, o consumo de recursos vem aumentando constantemente ao longo dos anos. Esse fato tornou-se tema de inúmeros debates e questionamentos por conta da geração e emissão excessiva de gases tóxicos na atmosfera (por exemplo, o dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>), que acabam intensificando os níveis de poluição atmosférica e mudanças climáticas (INEEL, 2009). De acordo com o Bruckner *et al.* (2014), o setor de fornecimento de energia é o maior responsável pela geração de Gases de Efeito Estufa (GEE), o qual, em 2010, foi responsável por emitir cerca de 35% do total de GEE originados de atividades antropogênicas.

Durante o período histórico de 1850 a 2020, aproximadamente 30% das emissões históricas foram provenientes de mudanças no uso da terra, enquanto 70% foram provenientes de emissões de combustíveis fósseis. No entanto, as emissões de combustíveis fósseis aumentaram significativamente desde 1960, enquanto as emissões provenientes de mudanças no uso da terra não cresceram. Portanto, a contribuição das mudanças no uso da terra para o total de emissões antropogênicas foi menor nos períodos recentes (17% durante o período de 1960 a 2020 e 10% durante o período de 2011 a 2020) (FRIEDLINGSTEIN, 2022).

Dentre os fatores influenciadores da demanda por energia, está o crescimento populacional e econômico que demanda energia proveniente principalmente de recursos fósseis, como o petróleo, carvão mineral e gás natural (BELTRÁN-TELLES *et al.*, 2017). A escassez desses recursos naturais, diretamente afetada pelo aumento na necessidade energética, e também atrelada à preocupação ambiental, provocou aumento na busca por fontes alternativas de energia (GOMES *et al.*, 2018).

Além disso, ressalta-se que o 7º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), das Nações Unidas, é garantir serviços de energia de forma sustentável, moderna, confiável e acessível, o qual é definido como uma importante meta global para 2030 (UNITED NATIONS, 2023). Portanto, diante da escassez dos recursos fósseis e aumento da demanda por energia, ressalta-se a importância na diversificação da matriz energética, principalmente no desenvolvimento e investimento em Energias Renováveis (ER). Garantindo assim, qualidade de vida sem maiores danos ao meio ambiente.

Apesar de fontes de ER como a água, o sol e os ventos estarem disponíveis na natureza, outros recursos naturais úteis na produção de energias renováveis



provêm do agronegócio. Por exemplo a biomassa, muitas vezes considerada um rejeito, se devidamente tratada visando circularidade no processo, evita o descarte indevido, assim como, impactos ambientais.

A aplicação da sustentabilidade ao agronegócio, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), envolve o manejo e a conservação dos recursos naturais, bem como a orientação das mudanças tecnológicas e institucionais. O objetivo é garantir a obtenção e a satisfação contínua das necessidades humanas tanto para as gerações presentes quanto para as futuras, abrangendo o contexto geral do setor agrícola (KAMIYAMA, 2011).

Devido a características sociais, mercadológicas e de capital natural, o Brasil apresenta um cenário apropriado para o desenvolvimento da EC. Tais condições se dão pela diversidade de fauna e flora, a produção agrícola, a proximidade entre mercados consumidores em crescimento e centros de produção industrial, certificações ambientais adotadas, uso de práticas como compostagem, rotação de colheitas, cultivo de cobertura e do plantio direto, favorecendo assim, a inovação no setor do agronegócio (ELLEN MACARTHUR, 2017).

Conforme identificado em Sokulski *et al.* (2022), a produção de energia a partir de fontes renováveis não é exclusividade apenas de países desenvolvidos. Considerando o Grupo dos 20 (G20), o Brasil é o principal neste quesito, o qual apresentou em 2020 uma matriz elétrica 75,1% originária de fontes renováveis, oriundas principalmente de plantas hidrelétricas (63,8%), seguidas por plantas eólicas (9,18%), solar (1,73%) e resíduos (0,37%). Isso confirma que o país pode melhorar ainda mais o percentual renovável com o investimento e desenvolvimento dessas fontes menos exploradas.

Em complemento, o estudo "*The circular economy as a de-risking strategy and driver of superior risk-adjusted returns*" (ZARA *et al.*, 2021) investigou se a transição para uma Economia Circular (EC) pode ser vista como uma estratégia de redução de riscos para as empresas e um impulsionador de retornos ajustados ao risco superiores. A pesquisa analisou a performance financeira de 104 empresas que adotaram modelos de negócios circulares em relação a empresas comparáveis que não adotaram esses modelos, usando dados de 2007 a 2017.

Os resultados indicam que as empresas que adotam a EC podem apresentar uma menor volatilidade de lucros e um menor risco de falência, em comparação com

as empresas tradicionais. Além disso, as empresas que adotaram a EC tiveram um melhor desempenho em termos de retornos ajustados ao risco, o que sugere que a adoção de modelos circulares de negócios pode ser uma estratégia de redução de riscos e um impulsionador de retornos financeiros (ZARA *et al.*, 2021). Reforçando assim, a importância de os investidores considerarem a EC no investimento em ER.

Considerando o exposto, a presente tese procura responder à seguinte questão de pesquisa: “Como priorizar o investimento em energia renovável no agronegócio a partir dos princípios da economia circular”?

## **1.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma ferramenta de auxílio na decisão de investimentos em sistemas de energia renovável no agronegócio baseada nos princípios da economia circular.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Identificar os modelos de tomada de decisão existentes sobre investimento em energia renovável;
- Identificar os investimentos necessários para a produção de energia renovável no setor do agronegócio;
- Identificar os modelos de circularidade na produção de energia;
- Estruturar um modelo de ferramenta de auxílio na decisão de investimentos em sistemas de energia renovável no agronegócio baseada nos princípios da economia circular.
- Testar a ferramenta proposta.

## **1.2 Justificativa da Pesquisa**

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO define a sustentabilidade aplicada ao agronegócio como sendo o manejo e a conservação da base dos recursos naturais e a orientação da mudança tecnológica e institucional. Isso assegura a obtenção e a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras (KAMIYAMA, 2011).

O desenvolvimento tecnológico na agropecuária contribuiu para o aumento na produção de alimentos e oportunidades de ocupação e renda no meio rural. A

aplicação de ferramentas de avaliação de sustentabilidade pode ajudar a identificar os desafios relacionados ao impacto ambiental, econômico e social, no desenvolvimento de sistemas de produção (OLDE *et al.*, 2016).

Dentro desse contexto está a crescente preocupação com o meio ambiente, com destaque ao consumo de combustíveis fósseis, que além de finitos, influenciam na mudança climática do planeta. Isso posto, ressalta-se a importância de energias mais limpas e renováveis, com menores impactos ambientais, garantindo a sustentabilidade global.

A energia alimentada por fontes renováveis é um dos princípios fundamentais da EC, pois leva a consideráveis reduções do consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, nas emissões de gases do efeito estufa (HASS *et al.* 2015; MORAGA *et al.*, 2019).

Alguns investidores, pertencentes ao setor do agronegócio, não possuem conhecimento, ou até mesmo, informações acessíveis sobre o assunto, o que leva os mesmos a descartar o investimento em sistemas de ER, principalmente dentro do contexto da EC. Na opção por investimentos em outras energias, que as não renováveis, perde-se a possibilidade de reduzir impactos ambientais, os quais conseqüentemente influenciam na saúde de vida humana, além dos fatores financeiros e logísticos relacionados.

A importância desta tese consiste no fato de que a mesma servirá de suporte aos atores do setor de agronegócios, pois o uso de ER alinhadas ao conceito de EC irá favorecer a tomada de decisão quanto ao desenvolvimento da capacidade inovadora dos mesmos, a competitividade dos empreendedores do setor, impactando significativamente os três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e auxiliando no desenvolvimento tecnológico do país.

Frente ao exposto, as relevâncias concernentes a presente pesquisa são:

- **Relevância Operativa:** a inserção de alternativas em prol da EC na geração de uso de ER no agronegócio possibilita reduzir custos com matéria-prima, ganhos ambientais a partir do uso de substâncias anteriormente consideradas lixo para descarte, ciclos de vida gerenciáveis visando o favorecimento da inovação e competitividade no mercado.
- **Relevância Social:** a partir do investimento em ER baseadas na EC nos processos de agronegócios, a população terá por benefícios a redução da

poluição devido a reutilização de recursos e redução nas emissões de GEE, além de possíveis empregos a partir de novos processos que sejam necessários para tal investimento.

- **Relevância Acadêmica:** a presente tese visa contribuir significativamente no meio acadêmico a partir dos princípios da EC que favoreçam o investimento em ER, reforçando assim, a possibilidade de replicação da pesquisa e utilização em outros setores.

A inovação e ineditismo consistem no fato de que estudos vinculados a viabilidade de uso de ER no agronegócio, baseados nos princípios da EC, ainda são incipientes, se considerada a interpelação de tais variáveis, o que reforça uma lacuna de pesquisa a ser explorada. Além disso, após devidos levantamentos de dados e análises, esta tese propõe uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão para investimentos no uso de ER baseados nos princípios da EC, a qual possa ser utilizada tanto no setor do agronegócio como replicada para outros setores produtivos.

Os impactos do projeto em Ciência, Tecnologia e Inovação refletirão nas pesquisas científicas de âmbito nacional e internacional englobando o uso de energias renováveis no agronegócio. Os conhecimentos gerados a partir da pesquisa possibilitam o desenvolvimento de novos métodos e teorias na área abordada, gerando novas ações, ferramentas e práticas, com influência direta na inovação da empresa analisada e de outras unidades de negócio que usem o estudo como base para seu próprio desenvolvimento.

O impacto científico ocorrerá por meio da publicação de artigos científicos que englobam a análise dos dados coletados a partir do projeto, influenciando e atualizando a literatura existente. Quanto ao impacto tecnológico, será analisada a possibilidade de redução, reuso e/ou reciclagem de diversos resíduos gerados. Tal fato possibilita melhorias nos processos, produtos e serviços, como por exemplo, redução na emissão de poluição, redução nos impactos ambientais e diminuição de custos produtivos.

No que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, os impactos a partir da execução do presente projeto são apresentados a seguir:

**a) Impactos sociais:**

- Melhoria na saúde humana a partir da redução no uso de combustíveis poluentes;

- Ampliação da possibilidade de aumento de renda.

**b) Impactos econômicos:**

- Novos modelos de negócios baseados no contexto de ER;
- Possibilidade de aumento na competitividade do agronegócio;
- Possibilidade de ações de intercooperação na troca de informações e insumos que favoreçam a inovação em conjunto.

**c) Impactos ambientais:**

- Redução de resíduos descartados no ambiente por meio da utilização dos mesmos na geração de ER;
- Impactos na educação ambiental das unidades de agronegócio a partir do reconhecimento da importância de utilização da ER e impactos positivos dessas ações;
- Possibilidade da geração de ER pelos cooperados e plantas industriais da cooperativa.
- Redução nas emissões de GEE a partir do uso de fontes ER.

Todos esses fatores estão alinhados aos objetivos de trabalho do LESP – Laboratório de Estudos em Sistemas Sustentáveis de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), berço de desenvolvimento desta tese. Por fim, esta pesquisa visa inovar os processos de energia no agronegócio, possibilitando que os atores desse setor atuem de maneira sustentável e aumentem seu potencial competitivo no mercado.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Esta tese encontra-se estruturada em 5 capítulos. O primeiro, já apresentado, introduz as considerações gerais acerca do tema e problema de pesquisa, objetivo geral e objetivos específicos, justificando sua relevância, inovação e ineditismo, finalizando com a estrutura do trabalho. O segundo capítulo corresponde à fundamentação teórica, onde são apresentadas as principais abordagens da literatura existentes sobre o tema, servindo de suporte e justificando o desenvolvimento da ferramenta proposta. O terceiro capítulo corresponde aos procedimentos metodológicos utilizados a fim de contemplar os objetivos propostos. O capítulo quatro corresponde aos resultados, apresentando a ferramenta proposta. Por fim, o quinto capítulo corresponde às considerações finais da presente tese.

A Figura 1 apresenta, de forma resumida, cada capítulo da estrutura citada e seu respectivo conteúdo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme a Figura 1, o próximo Capítulo apresenta o referencial teórico, o qual serve de alicerce para o entendimento dos assuntos discutidos nesta tese.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar um embasamento teórico para auxiliar na compreensão dos temas de interesse desta tese.

### 2.1 Economia Circular

As estratégias de desenvolvimento sustentável, proteção ambiental, produção limpa, consumo ecológico, regeneração e reutilização de resíduos tornaram-se gradualmente integrados numa estratégia circular (LIU; XIAO, 2015). A EC consiste em promover um modelo de produção de ciclo fechado para aumentar a eficiência de uso dos recursos, reduzir os níveis de poluição e as quantidades de resíduos geradas pelos processos produtivos. Esse modelo envolve aspectos econômicos, ambientais e sociais por meio de uma reconfiguração do sistema produtivo orientada para a conservação e melhor utilização dos resíduos (SCHEEPENS; VOGTLÄNDER; BREZET, 2015).

O consumo de insumos brutos na EC é reduzido para otimizar o uso de subprodutos, resíduos ou reciclagem de produtos descartados. Esses tornam-se fontes primárias de materiais, reduzindo a poluição gerada no processo produtivo (PINJING *et al.*, 2013).

No aspecto econômico, o modelo circular contribui para uma maior competitividade por meio do aumento da eficácia de alocação de recursos, utilização de recursos e produtividade. Ambientalmente, reduz as externalidades negativas principalmente pelo redesenho da estrutura industrial de forma ecológica. Socialmente, cria oportunidades de emprego e melhora o bem estar dos indivíduos (SU *et al.*, 2013).

EC tem potencial para entender e implementar padrões radicalmente novos, contribuindo com as indústrias no alcance da sustentabilidade e bem-estar a partir de baixos custos materiais, energéticos e ambientais. Assim, a abordagem circular não só requer conceitos inovadores, mas também atores inovadores. De fato, devido à complexidade da visão de desenvolvimento sustentável, na maioria das vezes, sua implementação precisa ser apoiada pela inovação no desenvolvimento e processos de produtos para mudanças radicais apropriadas nas práticas, políticas e ferramentas de tomada de decisão (GOLINSKA *et al.*, 2015).

Mudanças substanciais nas práticas de projeto, produção, consumo, uso, desperdício e reuso são necessárias em toda a cadeia produtiva (HOBSON, 2015). Desta forma, a EC alcança um melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A EC promove um uso mais apropriado e ambientalmente saudável de recursos destinados à implementação de uma economia mais ecológica, caracterizada por um novo modelo de negócios inovadores e oportunidades de empregos. Ainda, centra-se no alinhamento cuidadoso e no gerenciamento de recursos em toda a cadeia de valor, integrando logística reversa, ecossistema colaborativo e inovação de modelo de negócios. Isso requer a criação de um ecossistema de disponibilidade prolongada de recursos, impulsionado pela redução de uso, reutilização e reciclagem de recursos (ELLEN MACARTHUR, 2017).

O conceito de EC tornou-se uma das propostas mais recentes para abordar a sustentabilidade. Isto é feito por meio da abordagem do crescimento econômico, ao mesmo tempo em que considera a escassez de matérias-primas e energia, bem como uma nova construção de negócios em crescimento (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Os princípios da EC são vistos por empresas e outras organizações como fatores orientadores da inovação, com potencial comprovado de criação de valor e como uma oportunidade de se diferenciar no mercado, mesmo em tempos de turbulência econômica e limitações orçamentárias (ELLEN MACARTHUR, 2017).

No Brasil, a discussão sobre a Economia Circular (EC) ganhou destaque a partir do lançamento do Programa CE100 Brasil em outubro de 2015 pela Ellen MacArthur Foundation (EMF). A EMF foi estabelecida em 2010 com o objetivo de impulsionar a transição para a EC, tornando-se a principal impulsionadora na disseminação dos conceitos da EC e inserindo-os na agenda de tomadores de decisão nos setores empresarial, governamental e acadêmico. O CE100 é um programa de inovação que promove a colaboração entre concorrentes. Ele reúne empresas, governos e instituições acadêmicas e apresenta uma visão inicial das atividades de EC já existentes no Brasil, buscando identificar oportunidades para ampliar essas iniciativas. O programa concentra-se em três setores importantes para a economia brasileira: agricultura e biodiversidade, construção e edificações, e equipamentos eletroeletrônicos (ELLEN MACARTHUR, 2017).



Em 2018, outro passo importante foi dado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a criação do Comitê de Estudo Especial sobre EC, o ABNT/CEE-323. O comitê abrange as ODS 1 (Erradicação da Pobreza), 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 3 (Saúde e Bem-Estar), 4 (Educação de Qualidade), 6 (Água Potável e Saneamento), 7 (Energia Limpa e Acessível), 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 9 (Indústria, Inovação e Estrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), 14 (Vida na Água), 15 (Vida Terrestre). Esse tipo de comitê é criado para as situações em que o tema não é abordado na atuação de outro Comitê Brasileiro ou Organismo de Normalização Setorial existente. O escopo do ABNT/CEE-323 é normalizar a EC a partir da compreensão do desenvolvimento de estruturas, orientações e ferramentas que forneçam suporte aos projetos de EC, tanto em questões de terminologia, requisitos, diretrizes e generalidades (ABNT, 2023).

Dentro desse contexto, está a crescente preocupação com o meio ambiente, com destaque ao consumo de combustíveis fósseis, que além de finitos, influenciam na mudança climática do planeta. Isso posto, ressalta a importância de energias mais limpas e renováveis, com menores impactos ambientais, garantindo a sustentabilidade global.

### 2.1.1 Princípios da Economia Circular

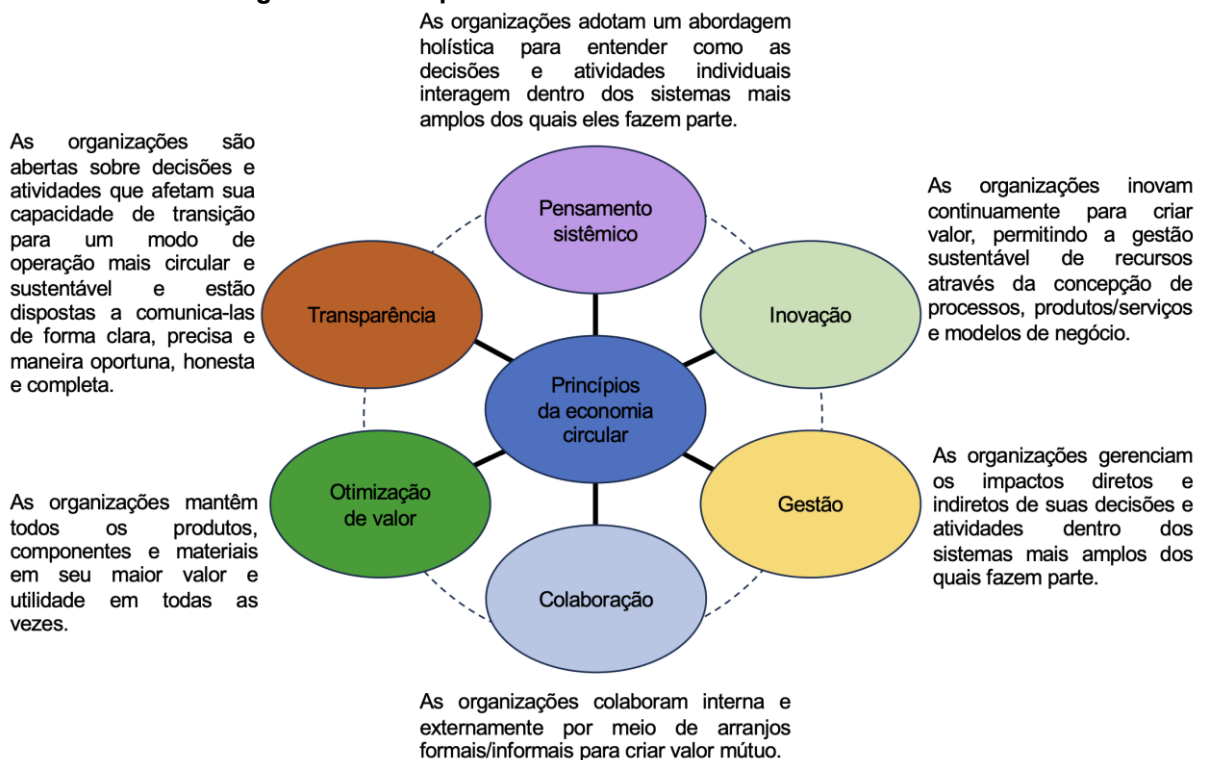
Em âmbito mundial, a primeira orientação direcionada para uma economia circular foi a Norma BS 8001:2017 desenvolvida no Reino Unido, visando relacionar as pretensões da EC com as rotinas de curto e médio prazo dos negócios. O guia da norma apresenta os princípios gerais da EC e uma estrutura de gestão da mesma nas organizações, considerando tanto questões ambientais quanto de design, marketing e de aspecto legal. O objetivo da implementação dos princípios da EC nas organizações, de acordo com o Guia, é criar valor de longo prazo mediante a adoção de uma gestão sustentável (BSI, 2017).

As organizações, de acordo com a Norma 8001:2017, devem se orientar nos seguintes princípios (Figura 2):

- Pensamento sistêmico: deve ser feita uma abordagem holística visando entender a interação das decisões e atividades individuais no sistema ao qual pertencem.

- Inovação: é necessária a ponto de gerar criação de valor contínua, possibilitando uma gestão sustentável dos recursos a partir do design de processos, produtos/serviços e modelos de negócios.
- Gestão: as organizações devem gerenciar os impactos diretos e indiretos das decisões e atividades individuais dentro do contexto/ambiente geral ao qual pertencem.
- Colaboração: deve-se colaborar interna e externamente mediante acordos formais e/ou informais a fim de criar valor mútuo.
- Otimização de valor: garantir continuidade na geração de valor em todos os produtos, componentes e materiais.
- Transparência: abrir-se acerca das decisões e atividades que afetam a capacidade de transição para um sistema circular e sustentável de operação, comunicando-as de forma clara, precisa, oportuna, honesta e completa.

**Figura 2 – Princípios da Economia Circular – BS 8001:2017**

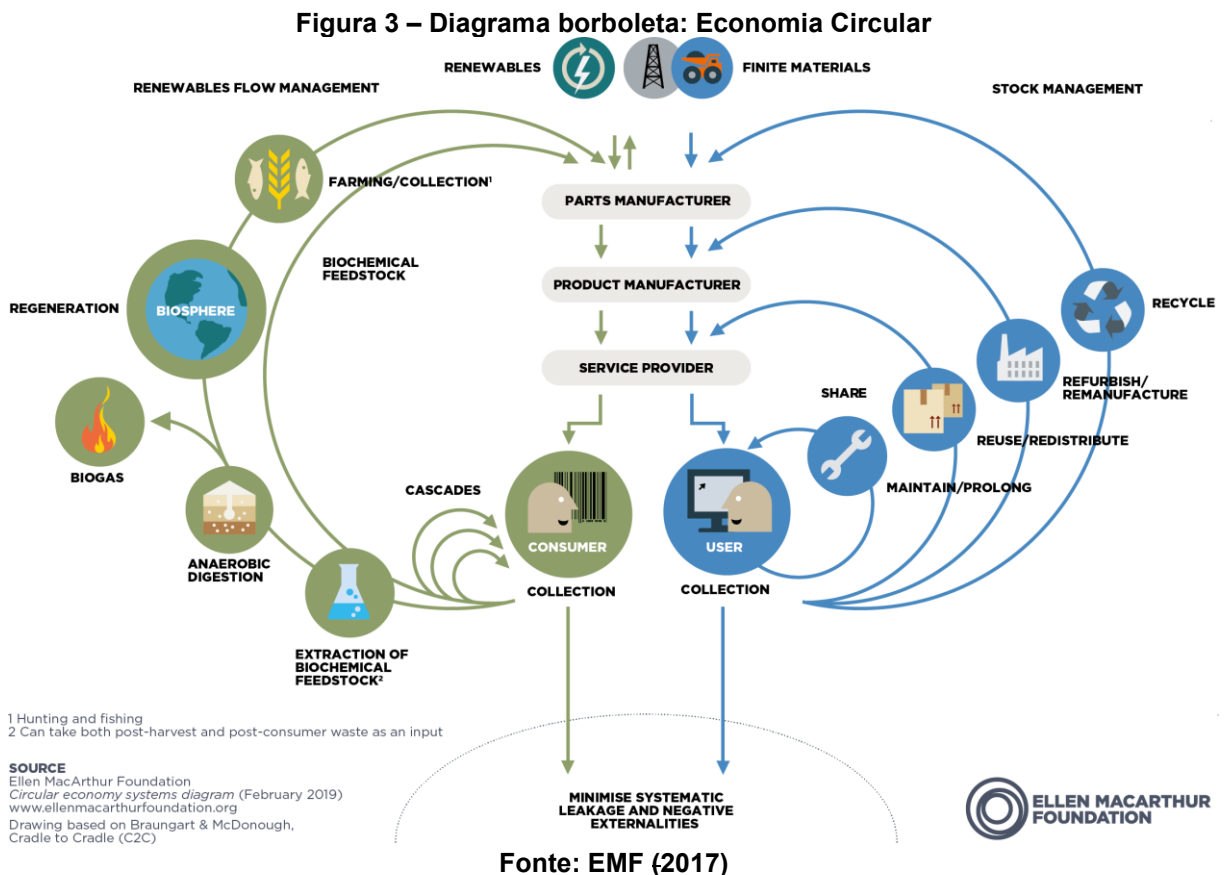


Fonte: Adaptado de BSI (2017)

Em outra abordagem feita pela Ellen MacArthur Foundation (2017), a EC se orienta com base em três princípios:

- 1) Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis. Relacionado a este princípio são considerados valores como de regenerar, substituir materiais, virtualizar e restaurar, visando assim, otimização dos recursos utilizados.
- 2) Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico, quanto no biológico. Isso deve ser considerado, tanto quando se trata da fabricação de produtos quanto da prestação de serviços. Dessa forma, todo processo deve ser bem especificado e analisado.
- 3) Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio. O que se dá a partir do controle minucioso de todo o processo, evitando perdas que interfiram na etapa a que pertencem e também no desempenho final.

O Diagrama Borboleta (Figura 3), auxilia no entendimento das definições da EC em relação aos seus princípios.



O diagrama de borboleta, que representa o sistema da economia circular, é utilizado para ilustrar o fluxo contínuo de materiais nesse modelo. Ele é composto por dois ciclos principais: o ciclo técnico e o ciclo biológico. No ciclo técnico, os produtos e materiais são mantidos em circulação por meio de práticas como reutilização, reparo, remanufatura e reciclagem. Essas ações garantem que os recursos sejam utilizados de forma mais eficiente e prolonguem sua vida útil. No ciclo biológico, os nutrientes presentes em materiais biodegradáveis são devolvidos ao solo, promovendo a regeneração da natureza. Essa abordagem holística visa minimizar o desperdício e promover a sustentabilidade ao permitir que os recursos sejam utilizados de forma mais circular e resiliente (EMF, 2017).

A implementação da EC, apesar de mostrar inúmeros benefícios econômicos, sociais e ambientais, é considerada como um desafio, visto a predominância do conceito de estrutura linear dominante nas organizações e na sociedade. Além disso, requer investimentos financeiros, habilidades técnicas, um modelo de negócio estruturado, mudanças de comportamento dos consumidores, além da implantação de um novo modelo de governança (LIEDER; RASHID, 2006; MAAß; GRUNDMANN 2018; BOTEZAT *et al.*, 2018).

A falta de incentivos institucionais e governamentais, legislações de apoio e controle dificultam a implantação do conceito de EC. O desenvolvimento de estudos científicos que comprovem a efetividade do conceito dentro dos âmbitos sustentáveis – principalmente o econômico que é possuidor de maior importância na gestão de muitas organizações – podem servir de incentivo na expansão da sua implementação.

### 2.1.2 Indicadores de circularidade

Por meio da implementação dos princípios de EC é possível tornar as organizações mais sustentáveis, além de ser uma das formas para alcançar os ODS. Para tanto, é preciso ferramentas de apoio às decisões circulares mediante instrumentos de medição que vêm sendo desenvolvidos e, junto deles, uma diversidade de indicadores (SAIDANI; YANNOU; LEROY; CLUZEL; KENDALI, 2019).

ER distribuída e autoconsumo são soluções prósperas e sustentáveis na transição energética para uma EC. Neste esquema futuro, espera-se que os prossumidores ocupem papel de liderança no mercado de energia sustentável

encarando os novos desafios técnicos, econômicos e financeiros como produtores de energia (GIMENO; LLERA-SASTRESA; SCARPELLINI, 2020).

Com intuito de medir a circularidade, algumas ferramentas vêm sendo desenvolvidas. Valls-val *et al.* (2023) realizaram um levantamento de ferramentas que propõem medir a circularidade de empresas qualitativamente (Quadro 1).

**Quadro 1 – Ferramentas de avaliação da economia circular**

Ferramenta EC	Desenvolvido por	Ano	Formato	Nº de questões
CE-Diagnosis	Escola de Engenharia da Universidade de Navarra (Espanha)	2017	Formulários do Google	20–38
Circulytics	Ellen McArthur Foundation em colaboração com 13 parceiros estratégicos e empresas associadas	2020	Plataforma Qualtrics	40
CircularTRANS	Escola Superior Politécnica da Universidade de Mondragon (Espanha) e com a colaboração de outras organizações	2020	Web	132–172
INEDIT	Inedit Innova	2020	Web	12–22
CM-FLAT	Fraunhofer Italia Research, Centro de Engenharia de Inovação e Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Livre de Bozen-Bolzano (Itália)	2021	Ferramenta suportada por computador	27–45
MATChE	Universidade Técnica da Dinamarca	2021	Web	37
CAS2.0	Circular Business Academia em cooperação com Interreg Alpine Space Project Circular 4.0	2021	Web	29

**Fonte: Adaptado de Valls-val *et al.* (2023)**

Ao selecionar e comparar sete ferramentas, Valls-val *et al.* (2023) identificaram que o desenvolvimento das mesmas é recente, apresentam grande variação no número de indicadores considerados, e por consequência, de questões. Destacam ainda a ausência de uniformidade, regularidade e singularidade na avaliação da EC, resultando em diferentes avaliações e ponderação dos indicadores. Além das ferramentas consideradas no estudo, há outras disponíveis que consideram os princípios da EC na busca por circularidade.

O Material Circularity Indicator, desenvolvido pela EMF em parceria com o Granta Design, permite às empresas identificarem o valor circular a nível de produto,

mitigando os riscos do preço, volatilidade e oferta dos materiais. Está relacionada às decisões internas relacionadas ao design do produto em si (EMF, 2023).

O ResCom Project, compreende 12 organizações de pesquisa, indústria e tecnologia, incluindo a EMF, sendo que cada uma contribui nos temas do qual é especializada, promovendo uma abordagem mais integrada. Auxilia designers e produtores no entendimento de práticas comerciais mais lucrativas, eficientes frente aos recursos utilizados e resilientes à manufatura linear (RESCOM, 2023).

O Circular Transition Indicators (CTI) foi iniciado pela Circle Economy e EMF, sendo desenvolvido posteriormente com a colaboração de 30 organizações membros do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), a fim de medir a circularidade das empresas e fornecer apoio na transição para uma EC. Os indicadores estão agrupados em quatro áreas principais: (i) design de produtos e materiais; (ii) cadeia de suprimentos e produção; (iii) consumo e uso; (iv) gestão de resíduos e recursos (WBCSD, 2023).

Desenvolvido pela organização sem fins lucrativos Cradle to Cradle Products Innovation Institute, o Cradle to Cradle Certified é um sistema de certificação que avalia a circularidade de produtos com base em cinco critérios: materiais saudáveis, reciclagem de materiais, energia renovável, gestão da água e justiça social (C2C, 2023).

O Global Reporting Initiative (GRI) é uma organização sem fins lucrativos que fornece diretrizes para relatórios de sustentabilidade corporativa. Embora o GRI não tenha uma ferramenta específica para medir a circularidade, seus indicadores de desempenho ambiental e social podem fornecer informações valiosas sobre o progresso de uma empresa em direção à EC e ajuda-la a desenvolver estratégias para melhorar seu desempenho (SECCO *et al.*, 2020).

Em 2020 a EMF lançou uma nova ferramenta chamada Circulytics, que apesar de compartilhar objetivos semelhantes às ferramentas desenvolvidas anteriormente pela própria EMF, existem algumas diferenças relevantes. Das ferramentas anteriores, a MCI mede a circularidade principalmente a nível de produto, com projeções para tomada de decisões relacionadas ao design do produto. O ResCom Project, por meio da medição dos recursos, auxilia na identificação de oportunidades de mudança para uma EC. Assim, essas ferramentas foram projetadas

em função de aspectos específicos da estratégia de EC e desenvolvimento de produtos (MARTINETTI; HAVAS, 2021).

A Circulytics é uma ferramenta de avaliação de circularidade mais abrangente, avalia o desempenho de uma empresa em relação a várias métricas circulares, incluindo design de produtos, cadeia de suprimentos, uso de energia e recursos e reciclagem. Fornece uma visão mais completa do desempenho da empresa em relação à EC, além de orientações mais detalhadas sobre melhorias. Além disso, é uma ferramenta de acesso gratuito e disponibiliza todo o detalhamento de desenvolvimento e funcionamento (MARTINETTI; HAVAS, 2021).

#### 2.1.2.1 Circulytics

Para definição da metodologia do Circulytics a EMF considerou os princípios da EC, como o design de produtos para durar mais tempo, o uso de materiais renováveis e a reciclagem de materiais, identificando várias áreas-chave de atuação, como design de produtos, cadeia de suprimentos, uso de energia e recursos e, reciclagem. Para cada área-chave de atuação, foram desenvolvidos indicadores específicos visando medir o desempenho das empresas em relação à economia circular. Os indicadores incluem medidas quantitativas, como a quantidade de resíduos gerados e a eficiência energética, bem como medidas qualitativas, como a inovação em design e a colaboração na cadeia de suprimentos (EMF, 2022<sup>a</sup>).

Com base nos indicadores desenvolvidos foi criada a ferramenta Circulytics, uma plataforma online de avaliação de circularidade, permitindo às empresas avaliarem seu desempenho em relação à EC em várias áreas-chave de atuação e receberem feedback sobre onde podem melhorar. A metodologia utilizada na construção da ferramenta é baseada no feedback contínuo de usuários e especialistas em EC. A atualização é anual, garantindo relevância e utilidade para as empresas que desejam melhorar seu desempenho em relação à EC (EMF, 2022<sup>a</sup>).

Conforme descreve a EMF (2022<sup>a</sup>), a medição é feita em duas categorias: viabilizadores e resultados (Quadro 2). A categoria “viabilizadores” abrange indicadores de mensuração da capacidade da empresa em estabelecer um ambiente favorável para a EC. Esses indicadores avaliam a clareza na estratégia da empresa e o compromisso com a EC, a liderança da empresa no engajamento com o tema, o

fomento à inovação em EC e a colaboração com outras organizações para desenvolver o conceito.

Por outro lado, a categoria “resultados” inclui indicadores de mensuração do desempenho real da empresa em relação à EC. Identifica a geração de valor com seus produtos e serviços de maneira circular, a redução da quantidade de resíduos gerados, o uso eficiente dos recursos naturais, a disseminação da circularidade na cadeia de suprimentos e o fechamento dos ciclos de materiais.

**Quadro 2 – Categorias do Circulytics e seus respectivos temas**

<b>Categoria: <u>Viabilizadores</u></b>	<b>Categoria: <u>Resultados</u></b>
<p><b>Tema 1 – Estratégia e Planejamento</b> Você colocou a economia circular no centro da sua estratégia?</p> <p><b>Tema 2 – Inovação</b> Existem condições para apoiar o desenvolvimento de produtos e serviços circulares inovadores? Você inova com produtos, sistemas ou serviços de economia circular?</p> <p><b>Tema 3 – Pessoas e Competências</b> Você apoia seus colaboradores? Você empregou pessoas para desenvolver as competências necessárias para fazer a transição para um modelo de negócios circular?</p> <p><b>Tema 4 – Operações</b> Você investiu o suficiente em seus sistemas digitais e ativos imobilizados para apoiar a mudança?</p> <p><b>Tema 5 – Engajamento Externo</b> Você está promovendo suas iniciativas de economia circular e influenciando as pessoas da sua esfera comercial, como clientes ou pessoas envolvidas na cadeia de abastecimento?</p>	<p><b>Tema 6 – Produtos e Materiais</b> Os materiais que você adquire e os produtos que você projeta apoiam a economia circular?</p> <p><b>Tema 7 – Serviços</b> Os serviços que você oferece apoiam a economia circular?</p> <p><b>Tema 8 – Ativos Imobilizados</b> Você adquire e desativa ativos imobilizados de forma a apoiar a economia circular?</p> <p><b>Tema 9 – Água</b> Se você opera em um setor com uso intensivo de água, está usando a água de forma circular?</p> <p><b>Tema 10 – Energia</b> Você adquire energia renovável e (se for um fornecedor de energia) produz energia renovável para apoiar a economia circular?</p> <p><b>Tema 11 – Finanças</b> Se for uma instituição financeira, você financia, de forma intencional, empresas e projetos que apoiam a economia circular?</p>

Fonte: EMF, 2022<sup>a</sup>

Resumidamente, a categoria “viabilizadores” avalia a capacidade da empresa em estabelecer um ambiente propício para a EC, enquanto a categoria “resultados” avalia o desempenho real da empresa em relação à circularidade de seus produtos, serviços e operações. As duas categorias abrangem indicadores agrupados em 11 temas (EMF, 2022<sup>a</sup>).

A seleção dos indicadores ocorreu de acordo com o alinhamento junto aos princípios da EC, que consistem na eliminação de resíduos e poluição, manutenção



de produtos e materiais em uso e regeneração dos sistemas naturais. Além disso, os criadores da ferramenta buscaram o maior grau viável de alinhamento em relação aos indicadores e definições abordados (como por exemplo, GRI, CDP ou WBCSD) (EMF, 2022<sup>a</sup>).

## **2.2 Energias Renováveis**

Com destaque de uso nas últimas décadas, principalmente devido às preocupações ambientais e de sustentabilidade, as ER vêm substituindo fontes não renováveis como carvão, gás e óleo combustível. Essas preocupações estão relacionadas a emissão de CO<sub>2</sub>, provenientes principalmente pela combustão de combustíveis, emissões essas que entre os anos de 1990 e 2013 apresentaram um crescimento de 56,1%. Atrelado a esse fator está o crescimento da oferta e demanda por energia, reforçando a importância e necessidade da exploração de fontes renováveis, auxiliando assim, na redução dos impactos ambientais, da emissão de resíduos e GEE, além de promover diversificação nos sistemas de fornecimento de energia garantindo a sustentabilidade (HARALAMBOPOULOS; POLATIDIS, 2003; PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011).

ER são provenientes de fontes abundantes que concedem uma exploração ilimitada, ou seja, o recurso disponível não se esgota à medida que for sendo utilizado, desde que o uso seja de forma correta e responsável, como no caso da água e da biomassa. Os principais exemplos de recursos naturais renováveis são a luz solar (fotovoltaica), os ventos (eólica), a água (hidrelétrica), as marés (maremotriz), o calor da terra (geotérmica) e a biomassa (SILVEIRA *et al.*, 2013).

De importância fundamental para a rotina diária, desde seu uso doméstico até na manufatura e nos transportes, as fontes de energia impactam significativamente as políticas estratégicas de um país. Atualmente diversas são as fontes de ER e não renováveis. Diante da necessidade de manutenção da vida do planeta, é de fundamental importância o uso predominante de fontes de energia seguras e ambientalmente sustentáveis (ILBAHAR, 2019). Porém, os combustíveis fósseis ainda lideram o abastecimento mundial de energia. O fornecimento de energia global a partir de fontes primárias, ao longo dos anos, é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Total de fornecimento de energia global a partir de fontes primárias**

	Total	Carvão	Óleo	Gás	Nuclear	Renováveis	Renováveis (%)
2000	420	96,9	154	86,5	28,3	53,7	13%
2005	481	125	168	30,2	30,2	58,3	12%
2010	537	153	173	30,1	30,1	66,3	12%
2015	569	161	182	28,1	28,1	75,1	13%
2020	585	157	172	29,2	29,2	88,0	15%

\*Valores em Exajoule (EJ), onde 1 EJ = 1,0x10<sup>18</sup> Joule (J).

**Fonte: WBA (2022)**

Os dados da Tabela 1 mostram que, apesar da produção de ER ter aumentado em quantidade de EJ, até o ano de 2015, o mesmo não aconteceu em termos proporcionais à produção total. Na composição global, em 2020, combustíveis fósseis representaram 80% do total de fornecimento de energia primária (carvão 27%, petróleo 29% e gás 24%), 5% foi a partir da energia nuclear e as ER integravam 15% do total (0,9% de aumento em relação ao ano anterior e 2% em relação a 2015) (WBA, 2022).

Em termos globais, a Ásia liderou a produção mundial com 43% do total de geração de ER, em 2019. As Américas, a Europa e a África apresentaram, respectivamente, 30%, 24% e 2,4% da produção mundial de ER no mesmo ano. Grande destaque desse percentual nos continentes asiático e americano, correspondem à disponibilidade de energia hidrelétrica na China e no Brasil, a segunda fonte renovável de maior uso nos continentes é a eólica, seguida pelas demais fontes de energia conforme apresentam a Tabela 2 (WBA, 2022).

Tabela 2 – Geração global de eletricidade renovável

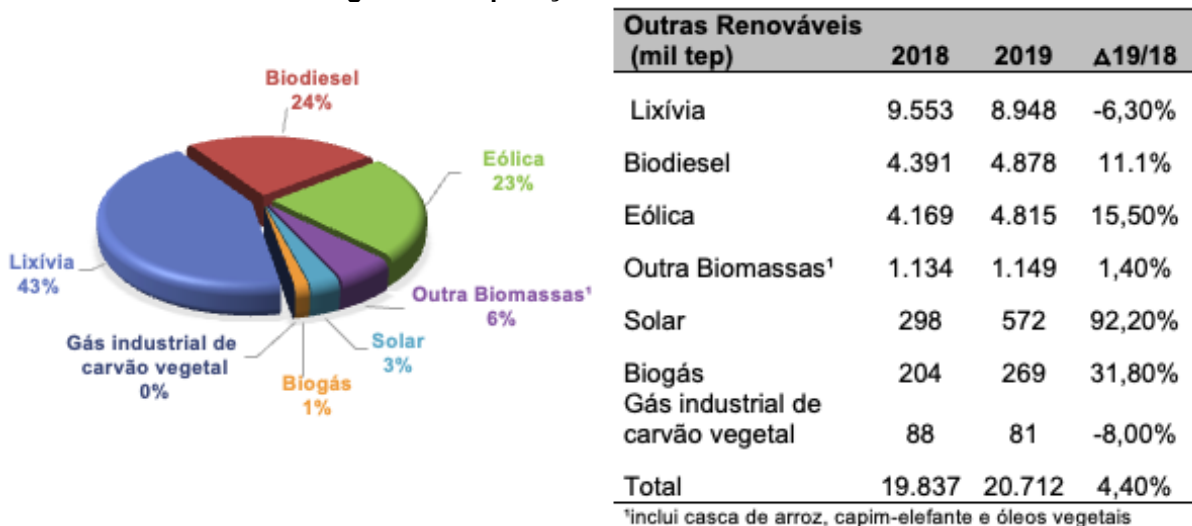
	Total	Bioenergia	Hidroelétrica	Solar	Eólica	Geotérmica	Maré
2000	2.943	162	2.696	1,30	31,4	52,2	0,55
2005	3.413	228	3.018	4,29	104	58,3	0,52
2010	4.342	362	3.536	33,7	342	67,7	0,51
2015	5.661	509	3.981	254	834	81,0	1,01
2020	7.669	685	4.453	837	1.598	94,9	0,99

\*Valores em Terawatt-hora (TWh), onde 1 TWh = 1,0 x 10<sup>12</sup> Watt-hora (Wh).

Fonte: WBA (2022)

No cenário Brasileiro, o percentual aumenta para 46,1% em 2019 em termos de uso de fontes renováveis presentes na matriz energética, resultado esse influenciado pelo incremento da geração hidráulica e eólica, aumento da oferta da biomassa da cana e biodiesel e redução da oferta de carvão mineral, este último devido a queda de 9% na produção de aço no ano considerado (BEM, 2020). Porém, a predominância de fontes hidrelétricas desperta a atenção quanto a sensibilidade ambiental, o que leva a necessidade de diversificação dessa matriz a partir da exploração de outras alternativas renováveis. O uso dessas outras fontes renováveis no cenário brasileiro pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Repartição de “outras renováveis”



Fonte: BEM (2020)

É visível o aumento entre os anos de 2018 e 2019 para o uso de energia eólica (15,5%), Biogás (31,8%) e o principal destaque para a solar (92%) que quase dobrou de um ano para outro.

Diante da grande diversidade de ER, o foco desta tese está direcionado às energias solar (fotovoltaica), eólica, hidrelétrica e, dentro da categoria de biomassas, o biogás.

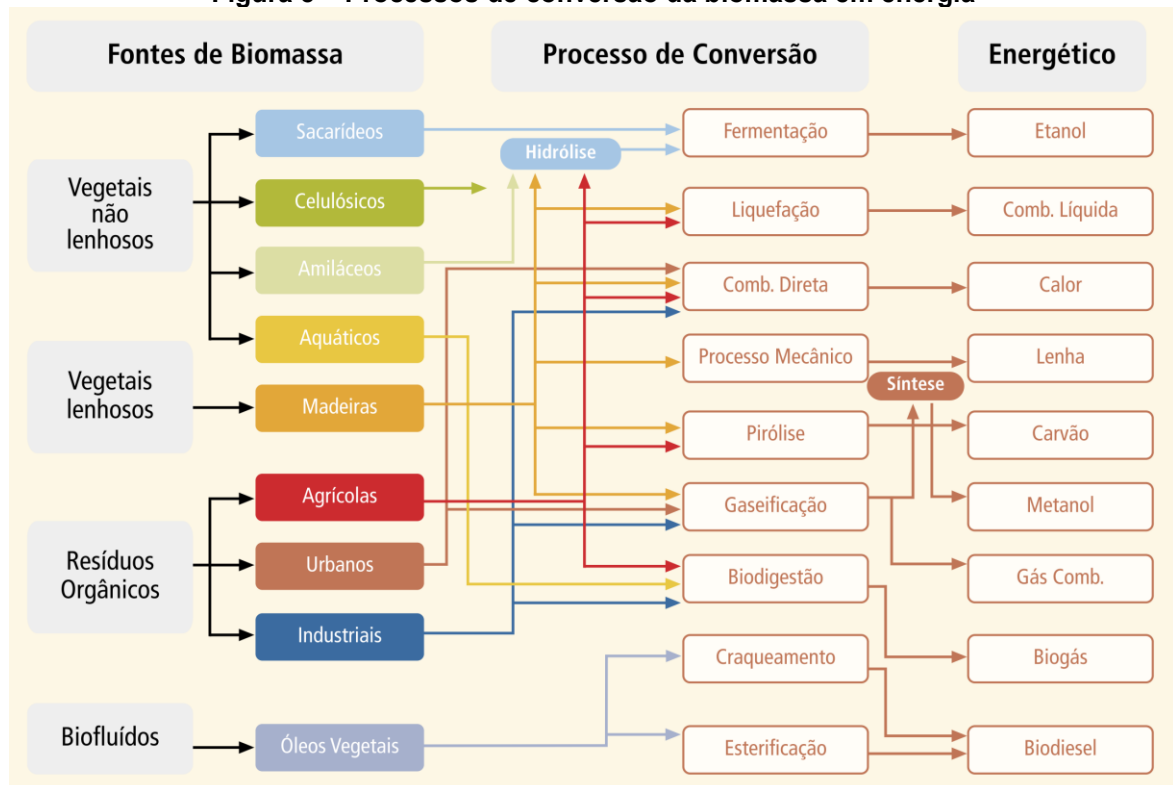
### 2.2.1 Biomassa

Como destaque entre as ER, Monlau *et al.* (2015) citam a biomassa, disponível no cenário brasileiro em quantidade considerável e de baixo custo. Em complemento, a atividade agropecuária vem crescendo consideravelmente no Brasil (USDA, 2017), gerando, com isso, biomassa tanto dos restos de colheitas quanto dos dejetos de animais. Esse fator agrega ao Brasil uma grande possibilidade na geração de ER.

Biomassa é o conceito correspondente aos tipos de plantas e derivados possíveis de conversão em ER, como é o caso da madeira, resíduos urbanos e florestais, caules/troncos, grãos, óleos vegetais e lodo gerado a partir do tratamento biológico de efluentes. Por esse motivo é chamada também de “energia verde” ou “bioenergia”. Assim, é considerada biomassa toda matéria orgânica capaz de se transformar em energia mecânica, térmica ou elétrica (ANEEL, 2020).

Diferentes são as rotas de transformação da biomassa. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2020) o aproveitamento pode ocorrer mediante combustão direta, processos termoquímicos ou biológicos. Os diferentes processos de conversão da biomassa em fonte energética são ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – Processos de conversão da biomassa em energia



Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional – BEM. Brasília: MME, 1982 por ANEEL (2005)

Considerando a utilização para o tratamento de resíduos orgânicos, o processo de biodigestão decompõe o material mediante ação de bactérias na ausência de oxigênio, gerando como produto final o biogás (ANEEL, 2020), o qual é uma das ER foco de estudo desta tese.

### 2.2.1.1 Biogás

Para se obter o biogás é necessário um biodigestor, ou seja, um reator capaz de fazer a biodigestão dos materiais nele inseridos. Consiste basicamente em uma câmara de fechamento hermético para que ali ocorra a formação de metano devido a ausência de oxigênio e retenção de calor. Findada a digestão, recolhe-se o biogás e o digestato, sendo inseridas novas matérias orgânicas (KARLSSON *et al.*, 2014). A partir do refino e purificação do biogás é obtido o biometano, possuindo 95% de metano na sua composição quando realizados processos de dessulfurização, remoção do gás carbônico e secagem. Isso aumenta seu poder calorífico e possibilita o uso em substituição ao gás natural (BRASIL, 2015).

O biodigestato, também obtido durante o processo, é um material sólido ou semi-sólido que ao invés de descartado, pode ser utilizado na agricultura como um

biofertilizante. Seus compostos químicos são favoráveis ao solo, porém menos agressivos ambientalmente frente aos fertilizantes industriais. As vantagens são o baixo custo de produção, menor impacto ambiental, menor salinização e maior fixação ao solo (CIBIOGÁS, 2022). A utilização do biogás pode reduzir as emissões de GEE em diversos setores, como agricultura, energia, transporte e disposição de resíduos (LYNG *et al.*, 2018).

Composto basicamente de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o biogás é feito a partir da fermentação anaeróbia de diferentes matérias orgânicas (WBA, 2022), entre elas as culturas energéticas e resíduos da agroindústria. Seu uso pode ser tanto para eletricidade quanto aquecimento e transporte (OLIVEIRA, 2006).

Em 2020, o continente com maior produção de biogás foi a Europa, responsável por mais da metade do fornecimento global de biogás, tendo em segundo lugar a Ásia, seguida pelas Américas, África e Oceania, respectivamente. Porém no panorama geral da biomassa de 2020, o biogás corresponde somente a aproximadamente 2% do total (WBA, 2022), mas ainda pouco explorado.

Desta forma, o biogás por meio da digestão anaeróbia, pode ser de grande valia ao setor do agronegócio, visto que este possui material de alimentação para a biodigestão, em muitos casos descartadas como resíduos.

### 2.2.2 Energia Hídrica ou hidrelétrica

Quando se fala em energia por via hídrica, há necessidade da instalação de uma usina hidrelétrica, composta basicamente, segundo a ANEEL (2008), de barragem, sistemas de captação e adução de água, casa de força e vertedouros.

Cada uma dessas partes demanda obras e instalações que devem ser projetadas para um funcionamento conjunto. No Brasil, em termos de tamanho e potência a ANEEL as classifica como: Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH (potência instalada até 3 MW), Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH (superior a 3 MW e igual ou inferior a 30 MW) e Usinas Hidrelétricas de Energia – UHE (com potência instalada superior a 30 MW). No Brasil, as UHEs correspondem a aproximadamente 93% da capacidade hidrelétrica do país, do restante 6% são PCHs e 1% CGHs, com maior concentração de instalação, nas regiões sul e sudeste (TOMASQUIM, 2016).

No contexto deste estudo, para o agronegócio, as PCH se mostram mais relevantes devido ao porte e ao objetivo de autoprodução ou produção independente no setor. Esse aproveitamento é considerado mesmo que não atenda ao limite total do reservatório, visando o proveito das características hídricas disponíveis geograficamente, respeitando sempre os limites de potência e conservação. Quando o aproveitamento hidrelétrico é menor que o considerado para uma PCH (menor que 3.000 kW), ainda assim podem ser instaladas as chamadas microcentrais (potência igual ou inferior a 100 kW) ou minicentrais (potência entre 100 kW e 3.000 kW). Entretanto, apesar da energia hidrelétrica ser uma fonte considerada renovável, também se caracteriza pelo alto investimento de capital necessário, este variando de acordo com as características de cada local e suas questões técnicas (TOMASQUIM, 2016).

### 2.2.3 Energia Eólica

A ANEEL (2018, p.93) define a energia eólica como “a energia cinética retida nas massas de ar em movimento (vento) e seu aproveitamento acontece através da transformação da energia de translação em energia de rotação, por meio de turbinas eólicas”. Sendo, portanto, uma promissora fonte de energia por ser perene e renovável.

Em termos de investimento, para a obtenção de energia eólica é necessária a instalação de turbinas, essas basicamente compostas por um eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não-flexível. Quanto ao porte, as turbinas podem ser classificadas como pequenas (potência menor que 500 kW), médias (potência entre 500 kW e 1000 kW) e grandes (potência maior que 1 MW). Podem ser conectadas à rede elétrica ou reservadas ao suprimento do local instalado (ANEEL, 2018).

No cenário brasileiro foi criado em 2001 o Programa Emergencial de Energia Eólica – PROEÓLICA, sendo o primeiro programa de apoio aos projetos de investimento em geração de energia eólica no país, com objetivo de instalar turbinas com capacidade de 1.050 MW até o final de 2003. Mesmo com grande procura, o curto prazo de implementação do projeto (dois anos) auxiliou para o não alcance do objetivo (FERREIRA, 2008; SIMAS; PACCA, 2013). Com isso, em 2002 o Governo Federal criou o PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

Elétrica, visando diversificar a matriz energética nacional incentivando o investimento em fontes renováveis por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. O PROINFA foi responsável pelo crescimento da energia eólica no país, que apesar de uma tênue participação, se consolidou como opção energética no cenário nacional (KILEBER; PARENTE, 2015; SIMAS; PACCA, 2013).

O setor eólico brasileiro investiu entre 2011 e 2018 mais de US\$31 bilhões nesse tipo de energia. Os crescentes investimentos são considerados pelo Plano Decenal de Expansão de Energia (2019), como uma possível ampliação para cerca de 17% da capacidade instalada de energia eólica no Sistema Interligado Nacional em 2029. Isso, segundo Diógenes *et al.* (2019), reflete o desenvolvimento do país frente às ER por meio da diversificação da matriz energética, diminuindo a sujeição às fontes de energias tradicionais.

#### 2.2.4 Energia Solar

Os painéis fotovoltaicos são os equipamentos necessários para converter a energia solar em eletricidade, compostos por células fotovoltaicas provenientes de materiais semicondutores, como o silício e o selênio. Quando os fótons resultantes da luz solar atingem essas placas, os elétrons das células fotovoltaicas são deslocados, gerando assim a corrente elétrica (MEKHILEF; SAIDUR; SAFARI, 2011).

São divididos basicamente em dois grupos: *off-grid* e *on-grid*. O sistema *off-grid* é autônomo e não precisa estar conectado à rede de distribuição, como por exemplo os domésticos. A principal vantagem é a possibilidade de instalação em regiões remotas, atendendo as populações rurais. Já os sistemas *on-grid* necessitam de acesso à rede de distribuição e estão presentes nas regiões urbanas, além de possibilitarem a obtenção de créditos de energia ao consumidor (TIMILSINA *et al.*, 2012).

A constante redução dos custos com placas solares nos últimos anos, atrelada ao aumento dos incentivos governamentais (BURTT; DARGUSCH, 2015), torna esse mercado promissor dentro do setor de ER. De acordo com Chaianong e Pharino (2015), diversos países ao redor do mundo estão promovendo os sistemas fotovoltaicos por serem alternativas na geração de energia que apresentam baixo custo de manutenção e operação, além de contribuírem para a descarbonização dos setores elétricos.



Uma característica importante das tecnologias dos painéis fotovoltaicos é o fato destas não contribuírem para intensificação de alguns problemas ambientais, como chuva ácida, poluição do ar e aquecimento global (CHOUDHARY; SRIVASTAVA, 2019). Além disso, apresentam algumas características vantajosas frente a outros sistemas de ER, são mais sustentáveis se comparados às plantas hidrelétricas que causam danos ambientais ao redor de suas instalações e são mais silenciosos se comparados aos sistemas de energia eólica (SAMPAIO; GONZÁLES, 2017).

No contexto nacional, as usinas solares representavam 1,68% da matriz elétrica brasileira, em 2020. Tendo em vista a localização e o clima propício do país, o Brasil apresenta um alto potencial de captação e aproveitamento da energia fotovoltaica, sendo assim, percebe-se que ainda há grande espaço para a promoção e desenvolvimento desta tecnologia (ABSOLAR, 2020).

### **2.3 Análise de Projeto de Investimento**

Ao analisar um investimento se deve considerar várias informações fazendo as interrelações possíveis, isso possibilita identificar opções mais atrativas ao investimento do capital, seja ele próprio ou de terceiros. Nas informações devem constar o plano de investimento com o respectivo planejamento, o fluxo de caixa, as informações sobre o setor a ser investido, regulamentações fiscais e custos tributários, operacionais e financeiros. Independente à decisão de investir ou não, para ser considerado viável, um projeto além de clareza nas informações, deve apresentar principalmente retorno financeiro aos investidores. O fluxo de caixa (FC) é a técnica inicial quando se realiza a análise de um investimento, por meio dele é possível conhecer as entradas e saídas dos recursos durante determinado período de tempo. Considerando a movimentação passada, presente e futura, auxilia nas tomadas de decisões financeiras, possibilitando a realização de estimativas do investimento (ASSAF NETO; LIMA, 2017).

Em seguida, deve-se definir um parâmetro a ser utilizado no retorno esperado pelo investimento, ou seja, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Por meio dela é possível comparar se o projeto trará o mínimo de retorno esperado durante determinado período de tempo. Tendo em mãos o FC e definida a TMA, é feito o cálculo de alguns indicadores que auxiliam no processo decisório, são eles: Payback

(Pb), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) (REBELATTO, 2004).

O Pb ou prazo de retorno, corresponde ao tempo para recuperar o valor investido (anos, meses e dias) e pode ser calculado de duas formas, Pb simples ou Pb descontado. O cálculo do Pb simples consiste em somar as entradas líquidas de caixa até que o valor corresponda ao investimento inicial. O cuidado está relacionado aos valores residuais do último ano, portanto, deve-se dividir o valor do FC do último ano por 360 para obter o valor diário de entrada de caixa. Após isso, divide-se o valor residual pelo valor diário a fim de saber a quantidade de dias correspondentes (MEGLIORINI; VALLIM, 2009). A Tabela 3 exemplifica o cálculo do Pb de um projeto fictício com investimento inicial de R\$ 340.000,00 e suas respectivas entradas de caixa líquidas anuais.

**Tabela 3 – Cálculo Payback Simples**

Ano	Entrada (R\$)	Saldo (R\$)
0	(340.000)	(340.000)
1	75.700	(264.300)
2	86.900	(177.400)
3	102.500	(74.900)
4	83.900	9.000
5	98.400	107.400

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para encontrar o Pb simples do exemplo apresentado na Tabela 3, primeiro divide-se 83.900 (Entrada FC4) por 360 (dias), obtendo entradas diárias de R\$ 233,06. Em seguida, divide-se 74.900 (valor residual) por R\$ 233,06, resultando em 321,38. Com isso, o valor investido será recuperado no prazo de 3 anos e 322 dias. Porém a desvantagem desse cálculo é não considerar a influência do tempo no valor do dinheiro.

Frente a isso, o Pb descontado é considerado mais acertado se comparado ao Pb simples. A diferença no cálculo é que as parcelas são consideradas no valor presente descontada uma taxa de juros (PUCCINI, 2011) normalmente baseada na taxa Selic (a taxa de juros básica da economia brasileira) ou qualquer outra definida pelo investidor. Ao considerar a taxa de juros, os valores são corrigidos de acordo com

a sua valorização ou desvalorização da moeda durante o período considerado. Os valores do payback descontado podem ser encontrados a partir do cálculo do VPL.

O objetivo do VPL é retornar ao valor presente todo o fluxo de valores futuros do FC, considerando no cálculo a TMA como referência para a taxa de juros. O cálculo do VPL, segundo Megliorini e Vallim (2009), é feito pela seguinte equação:

$$VLP = -I.I + \frac{FC1}{(1+k)^1} + \frac{FC2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1+k)^n}$$

onde:

- VPL = Valor presente líquido
- I.I. = Investimento inicial do projeto
- FC = Fluxo de caixa em cada ano do projeto
- k = taxa mínima de atratividade, corresponde ao custo de capital
- n = período de tempo do projeto

Se o resultado obtido for maior que zero, significa que o investimento terá um retorno maior que a TMA. Se o resultado for igual a zero, significa que o projeto será suficiente para retornar o esperado pela TMA. Em ambos os casos ( $VPL \geq 0$ ) o projeto é considerado viável. Quando o resultado do VPL é menor que zero o projeto é considerado inviável pois não atende a TMA estipulada (MEGLIORINI; VALLIM, 2009).

Usando o mesmo exemplo de investimento da Tabela 3 e considerando uma TMA de 12% ao ano, tem-se os resultados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Cálculo Payback Descontado e VPL**

Ano	FC (R\$)	FC descontado da TMA (R\$)	Saldo (R\$)
0	(340.000,00)	(340.000,00)	(340.000,00)
1	75.700,00	67.589,29	(272.410,71)
2	86.900,00	69.276,15	(203.134,56)
3	102.500,00	72.957,48	(130.177,08)
4	83.900,00	53.319,97	(76.857,11)
5	98.400,00	55.834,80	(21.022,31)
6	87.500,00	44.330,22	23.307,91

Fonte: Autoria própria (2023)

O Pb descontado deve ser calculado utilizando os valores do fluxo de caixa descontados da TMA, por fim, faz-se o mesmo cálculo do Pb simples. O valor R\$ 87.500,00 (FC6) dividido por 360, o resultado é o valor diário de R\$ 123,14. Em seguida, divide-se o valor residual de R\$ 21.022,31 pelo valor diário (R\$123,14), obtendo o resultado de 170,7 ou 171 dias. Com isso, o Pb descontado corresponde a 5 anos e 171 dias. E o VPL positivo de R\$ 23.307,91.

A TIR é uma taxa de desconto que iguala o VPL a 0. Portanto, para um projeto ser atrativo precisa apresentar uma TIR maior ou igual a TMA, caso contrário o projeto deve ser rejeitado (MEGLIORINI; VALLIM, 2009). O cálculo da TIR, segundo Megliorini e Vallim (2009), é feito pela seguinte equação:

$$0 = -I.I + \frac{FC1}{(1+k)^1} + \frac{FC2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1+k)^n}$$

A diferença da equação do VPL para a equação da TIR é que esta última é igualada a zero. Ao utilizar os mesmos valores exemplificados na Tabela 3, obtém-se uma TIR igual a 14,32% a.a. Se considerar que a TMA base do investidor são os 12% a.a. utilizados para o cálculo do VPL e PB descontado, o projeto do exemplo apresenta uma rentabilidade maior que a TMA considerada.

Dados obtidos a partir do Pb, VPL e TIR são estáticos, não consideram eventuais variações nos valores planejados, desconsiderando os riscos associados à projeção do investimento (CORREIA NETO, 2009). Projetos de investimento a longo prazo, como é o caso das ER, contêm incertezas frente à dinâmica do mercado. Valores previamente determinados (receita ou custos) podem ocorrer diferentes do pressuposto, assim como em qualquer outro setor.

Com isso, quando valores se apresentam diferente do projetado afetam diretamente a rentabilidade do projeto, podendo levar até a sua inviabilidade. Dessa forma, o investidor deve considerar e associar possíveis riscos a sua decisão. O sentido de risco corresponde às possíveis ocorrências em valores médios esperados para o futuro, com possibilidade de perda (ASSAF NETO; LIMA, 2017). A literatura apresenta métodos de auxílio na avaliação dos riscos de um projeto, como a análise de sensibilidade, a análise de cenários e a simulação de Monte Carlo.

A análise de sensibilidade, considera o risco mediante a alteração de variáveis-chave a fim de identificar as variações nos resultados do VPL e na TIR. A

análise de cenários explora a sensibilidade do projeto mediante simulação de diferentes situações (cenários) capazes de acontecer futuramente, a diferença frente a análise de sensibilidade é que a de cenários pode incorporar mais de duas variáveis. Quanto à simulação de Monte Carlo, simulações de prováveis eventos futuros são feitas por computador através de algoritmos, estimando a distribuição da lucratividade e o fator de risco do projeto (WESTON; BRIGHAM, 2000).

## **2.4 Tomada de Decisão**

A tomada de decisão ocorre quando deve-se selecionar uma alternativa dentre as disponíveis para a resolução de um determinado problema. Não consiste apenas na escolha de uma alternativa de ação, porém na consideração do ponto de vista do decisor e nas diretrizes envolvidas em cada ação (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2009).

O objetivo do processo decisório, de acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2009), é examinar sincronicamente as exigências do mercado, as exigências intraorganizacionais, além dos acionistas e demais partes interessadas, prezando variáveis qualitativas e quantitativas do projeto. Por isso, é importante definir de antemão todos os atores envolvidos e suas respectivas características, para definição do modelo de negócio que se pretende obter.

Quando são projetos de longo prazo e grande investimento de capital, como é o caso das energias renováveis, as decisões são extremamente importantes para o futuro do negócio. Porém, diante da dificuldade de quantificar variáveis qualitativas, muitos decisores as deixam de lado, focando apenas em dados quantitativos (JANSEN; SHIMIZU; JANSEN, 2004).

A definição do modelo de negócio que se pretende obter propicia o entendimento das ligações da estratégia de negócio com a gestão da inovação e a teoria econômica compreendidas, a fim de definir como será gerado valor a partir desse modelo para a obtenção de lucros. Em um modelo de negócio, “modelo” caracteriza uma definição pormenorizada de um sistema complexo que necessita de empenho na sua descrição, seguido por “negócio” que está relacionado a oferta de produtos, sejam estes bens ou serviços (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010; TEECE, 2010).

Ressalta-se que métodos quantitativos e qualitativos não são excludentes, podendo realizar uma avaliação mista de acordo com os critérios a serem avaliados. Nesse contexto, a abordagem multicritério auxilia como suplemento da subjetividade e propensão dos decisores frente ao conjunto de critérios quantitativos do projeto. A utilização de métodos multicritérios são vantajosas em projetos de investimento, principalmente naqueles que envolvem variáveis qualitativas e quantitativas de complicada mensuração ou ponto de vista conflitante (KIMURA; SUEN, 2003).

Para problemas com multicritérios para análise, há diferentes métodos que podem ser utilizados, Wang *et al.* (2009) os agrupa em três categorias:

- i. Elementares. Realizados por meio de tentativa e erro, com estruturas de programação matemática multiobjetivo, como a ordenação por dominância, Maximin, Maximax, método lexicográfico e soma ponderada.
- ii. Critério único de síntese. Possibilitam descrever uma função que agregue valor em cada alternativa pertencente a cada critério. Nesta classificação estão os métodos SMARTS (*Simple Multi Attribute Rating Technique*), MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*) e AHP (*Analytic Hierarchy Process*).
- iii. Sobreclassificação. Procuram elaborar relações de sobreclassificação que demonstrem as predileções definidas pelo decisor, investigando-as posteriormente para solução do problema. Nesta classificação estão os métodos da família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*).

Frente às inúmeras possibilidades de métodos multicritérios na tomada de decisão, Pohekar e Ramachandran (2009) relatam que os métodos AHP, MAUT e ELECTRE são os mais utilizados. Strantzali e Aravossis (2014) ao revisar a literatura a respeito da tomada de decisão direcionada às ER entre 1983 a 2014, identificaram que os métodos mais aplicados no período foram a análise de custo-benefício, análise do ciclo de vida, AHP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, conjuntos *fuzzy* além de conjuntos de múltiplas técnicas.

Mais recentemente, em 2020, Mi e Liao complementam essa revisão, ao abordarem a literatura sobre o assunto no período de 2016 a 2020, identificando um total de 24 artigos. Os resultados apresentam quatro dimensões principais preferidas

pelos pesquisadores: técnica, econômica, ambiental e social. Cada uma delas apresenta subcritérios que variam de 2 a 29 de acordo com a abordagem de cada estudo, além disso, as técnicas predominantes foram TOPSIS, VIKOR, COPRAS, CODAS e ARAS.

Dessa forma, percebe-se que não há um método multicritério determinado para a tomada de decisão em ER, o método utilizado deve ser aquele que melhor se adequa as características do projeto analisado e do que se objetiva por meio dele.

### 3 METODOLOGIA

Visando atender os objetivos propostos e responder ao problema de pesquisa desta tese, os procedimentos foram divididos em três fases, conforme apresenta o Quadro 3.

**Quadro 3 – Relação das fases da pesquisa com os objetivos específicos**

<b>Fases</b>	<b>Objetivos Específicos</b>
Fase 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identificar os modelos de tomada de decisão existentes sobre investimento em energia renovável.</li> <li>– Identificar os investimentos necessários para a produção de energia renovável no setor do agronegócio.</li> <li>– Identificar os modelos de circularidade na produção de energia.</li> </ul>
Fase 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estruturar um modelo de ferramenta de auxílio na decisão de investimentos em sistemas de energia renovável no agronegócio baseada nos princípios da economia circular.</li> </ul>
Fase 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Testar a ferramenta proposta.</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A primeira fase consistiu em uma revisão sistemática da literatura e antecedentes sobre o tema, identificando os modelos de tomada de decisão para investimento em ER e os desembolsos necessários para esse tipo de investimento. Além disso, foi possível analisar se há consideração da EC nessas decisões, permitindo assim, verificar o alinhamento dos processos de produção das ER em relação aos princípios da EC propostos na literatura, além da identificação de modelos de circularidade disponíveis.

A fase dois corresponde ao delineamento e estruturação de uma ferramenta que auxilie no processo de tomada de decisão quanto ao investimento em sistemas de ER, baseada nos princípios da EC.

A terceira fase compreende a aplicação da ferramenta para assim identificar e realizar os ajustes que se fizerem necessários.

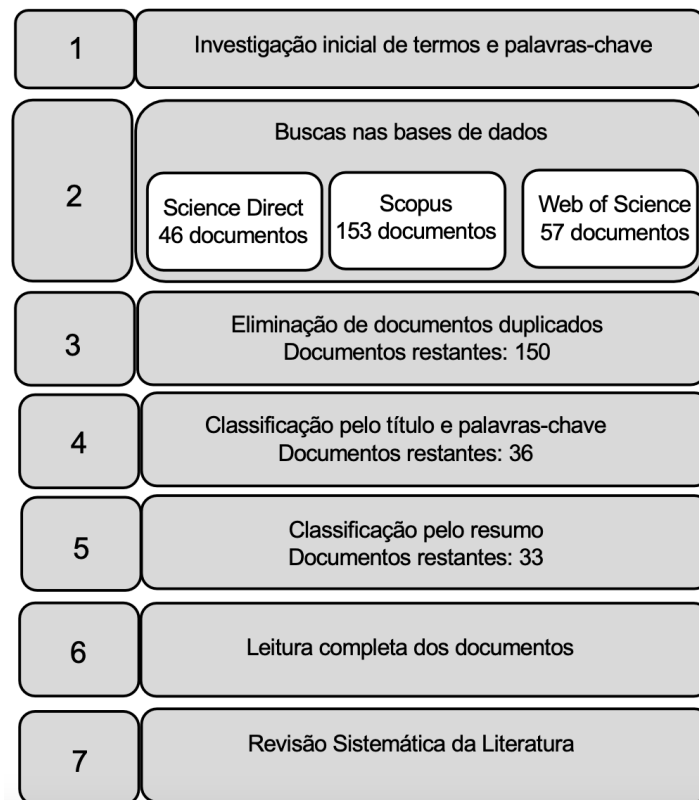
Cada uma das fases propostas possui diferentes contribuições a fim de suprir os objetivos, tanto geral quanto específicos, propostos nesta tese. Os métodos usados em cada fase são apresentados nas seções a seguir.



### 3.1 Fase 1 – Revisão da Literatura e Antecedentes Sobre o Tema

Para a revisão sistemática da literatura foi utilizado o método *Knowledge Development Process – Constructivist (Proknow-C)* (TASCA *et al.*, 2010). As etapas para conduzir a revisão, os antecedentes sobre o tema e o embasamento teórico desta tese são ilustradas na Figura 6.

Figura 6 – Etapas para a revisão sistemática da literatura e antecedentes sobre o tema



Fonte: Autoria própria (2023)

#### Etapa 1 – Investigação inicial de palavras-chave e termos de pesquisa

Nesta etapa foi definido o conjunto de palavras-chave relacionadas ao objetivo geral, compreendendo, portanto, as palavras: ferramenta (“*tool*”), tomada de decisão (“*decision making*”), investimento (“*investment*”), energia renovável (“*renewable energy*”) e economia circular (“*circular economy*”). A *query* utilizada em cada base de dados é apresentada no Quadro 4.

**Quadro 4 – Conjuntos de buscas nas bases de dados**

Base	Pesquisado em	Query	Total de Documentos
Web of Science	Título, resumo e palavras-chave	(( <i>"tool"</i> AND <i>"decision making"</i> AND <i>"investment"</i> AND <i>"renewable energy"</i> ) OR ( <i>"tool"</i> AND <i>"decision making"</i> AND <i>"investment"</i> AND <i>"renewable energy"</i> AND <i>"circular economy"</i> ))	142
Scopus	Título, resumo e palavras-chave	( <i>"tool"</i> AND <i>"decision making"</i> AND <i>"investment"</i> AND <i>"renewable energy"</i> OR <i>"circular economy"</i> )	42
Science Direct	Título, resumo e palavras-chave	(( <i>"tool"</i> AND <i>"decision making"</i> AND <i>"investment"</i> AND <i>"renewable energy"</i> ) OR ( <i>"tool"</i> AND <i>"decision making"</i> AND <i>"investment"</i> AND <i>"renewable energy"</i> AND <i>"circular economy"</i> ))	51

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Visto que cada base possui formas específicas de pesquisa, a estrutura da *query* utilizada em cada uma foi ajustada de acordo com essas exigências, porém mantendo a essência do objetivo da tese.

## **Etapa 2 – Buscas nas bases de dados**

A escolha das bases de dados corresponde ao fato de as mesmas possuírem o maior número de estudos em relação a área de pesquisa, além de serem renomadas dentro da comunidade científica.

As buscas ocorreram no dia 31 de janeiro de 2022. Vale ressaltar que para cada conjunto de palavras foram feitas várias simulações preliminares a fim de definir aquela que resultasse um volume que agregasse a pesquisa. As primeiras simulações foram feitas considerando apenas o título dos artigos, porém, não se obteve um número suficiente para uma base consistente de pesquisa. Por isso, um dos filtros de busca utilizados considerou título, resumo e palavras-chave. Outros dois filtros usados durante a busca foram o tipo de documento (artigos científicos) e o idioma (inglês). A quantidade de documentos obtidos em cada base de dados pode ser visualizada na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

## **Etapa 3 – Eliminação de documentos duplicados**

Como um mesmo documento pode estar disponível em mais de uma base, nesta etapa foi realizada a exclusão de todos os documentos que estavam em duplicidade.

#### **Etapa 4 – Classificação por título e palavras-chave**

Nesta etapa foi feita a leitura de todos os títulos e palavras-chave dos documentos. A partir dos objetivos específicos, foram definidas as seguintes questões para auxiliar nessa triagem: “o título ou palavras-chave da publicação apresentam algum modelo de tomada de decisão para a realização de investimentos em ER?”; “O título ou palavras-chave apresentam inter-relação entre ER e EC?”, e, “o título ou palavras-chave apresentam algum tipo de análise de viabilidade econômica para ER?”. Caso o documento apresentasse título e/ou palavras-chave que respondessem positivamente alguma dessas três questões, esse era mantido, caso contrário era excluído.

#### **Etapa 5 – Classificação pelo resumo**

Para filtrar melhor os documentos para o portfólio final, nesta etapa foi feita a leitura dos resumos, se o mesmo se assemelhasse aos aspectos dos objetivos específicos desta tese, este era mantido, caso contrário era excluído. Os documentos selecionados foram pesquisados e baixados nas três bases de busca utilizadas nesta pesquisa, assim como, na ferramenta de busca aberta Google® e na plataforma ResearchGate.

#### **Etapa 6 – Leitura completa dos artigos**

Todos os documentos foram lidos na íntegra. Esta etapa consiste em identificar quais estudos diretamente relacionados a presente pesquisa já foram realizados, a fim de justificar seu ineditismo, levantar quais são as análises de viabilidade econômica de ER já realizadas e tipos de cálculos, simulações e variáveis que foram consideradas. Também objetiva identificar os modelos de negócios e tomada de decisão para ER presentes na literatura, levantando as variáveis por esses

consideradas. Assim como, identificar com base nos princípios da EC, medidas de circularidade das ER.

### **Etapa 7 – Revisão Sistemática da literatura**

Durante a leitura integral dos documentos (etapa 6), foi preenchido um formulário de leitura, anotando dados que pudessem gerar informações úteis para o objetivo geral proposto. O formulário de leitura aborda os seguintes pontos:

- Título
- Autores
- Ano de publicação
- Revista/Fonte – Instituição (afiliação do 1º autor)
- País (afiliação do 1º autor)
- Palavras-chave
- Objetivo do estudo
- Trabalha teórico ou prático
- Lacuna que motivou o desenvolvimento do estudo
- Metodologia do estudo e modelos utilizados
- Variáveis consideradas e de onde foram obtidas
- Energias consideradas no estudo
- Abordagem de EC
- Principais resultados
- Outras informações relevantes

O formulário de leitura foi realizado utilizando como ferramenta de auxílio o software Excel e o resultado dessa análise são apresentados no Capítulo 4.

### **3.2 Fase 2 – Métodos para a Estruturação da Ferramenta**

A primeira fase forneceu uma base para propor uma taxonomia para a ferramenta. Em primeiro lugar foram compilados os modelos de tomada de decisão pré-existentes na literatura, e assim, identificados quais poderiam ser úteis para o objetivo proposto. Foi realizado um *check list* dos investimentos envolvidos para sistemas de ER, os quais são considerados como base para a análise de viabilidade econômica.

Os parâmetros, cálculos e simulações utilizados na análise de viabilidade econômica foram definidos com base na compilação feita na Fase 1 em complemento com outras publicações específicas sobre o assunto, conforme mostrou-se necessário. Apesar de identificar que alguns estudos utilizam a abordagem das opções reais na tomada de decisão, este não é o escopo da ferramenta neste trabalho, o foco centra na viabilidade do investimento em relação aos princípios da EC, avaliando dessa forma a sua viabilidade. Portanto, foram considerados na ferramenta os métodos tradicionais para a análise, como VPL, TIR, Pb e análise de cenários.

Também foram identificadas ferramentas de análise de circularidade em ER, a fim de complementar a ferramenta proposta nesta pesquisa. Optou-se por utilizar os indicadores de circularidade da ferramenta Circulytics pelo fato desta possuir uma abordagem mais holística frente às demais ferramentas, as quais, em sua maioria, consideram a circularidade focada no produto ou em processos específicos. Além disso, por ser uma ferramenta já validada, não há necessidade de os indicadores passarem por uma banca de especialistas, pois o Circulytics possui toda uma metodologia explicativa de como foi desenvolvido, além das definições e ajustes da sua abordagem direcionada ao setor de produção de energia.

Seguindo a metodologia proposta pela EMF, os pesos utilizados para empresas que produzem energia com fluxos de água são apresentados no Quadro 5.

**Quadro 5 – Pesos básicos para produção de energia com fluxos de água**

<b>Categoria Resultados</b>	<b>Pesos dos temas</b>
Tema 6. Fluxo de materiais	0%
Tema 7. Serviços	0%
Tema. 8 Ativos Imobilizados	10%
Tema. 9 Água	10%
Tema 10. Energia	80%
Tema 11. Finanças	0%

**Fonte: EMF (2023)**

O cálculo dos temas considera informações em percentuais de 0 a 100%. É fornecido a cada indicador um percentual correspondente ao seu significado empírico para a transição circular. Conforme descrito na introdução ao método da Circulytics

(EMF, 2022a), as empresas que produzem energia não compreendem os temas 6 (Produtos e Materiais), 7 (Serviços) e 11 (Finanças).

O peso do negócio principal corresponde a 70% e dos temas de apoio 30% divididos igualmente entre os temas, o que totaliza os 80% de Energia (70% + 10%), 10% Ativos Imobilizados e 10% Água. O tema 9 (Água) é avaliado por empresas que utilizam a água intensivamente. Como a análise da circularidade será feita individualmente em cada tipo de energia, o tema não será considerado no cálculo das energias eólica e solar, pelo fato desses sistemas de energias não fazerem uso de água, assim, a divisão dos pesos para esses dois tipos de energia são apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6 – Pesos básicos para empresas produtoras de energia sem fluxo de água**

<b>Categoria Resultados</b>	<b>Pesos dos temas</b>
Tema 6. Fluxo de materiais	0%
Tema 7. Serviços	0%
Tema. 8 Ativos Imobilizados	15%
Tema. 9 Água	0%
Tema 10. Energia	85%
Tema 11. Finanças	0%

**Fonte: Adaptado de EMF (2022a)**

Mantendo-se os 70% do negócio central da empresa e dividindo os 30% restantes, resultou um peso de 85% para o tema Energia (70% + 15%) e 15% para o tema Ativos Imobilizados.

### 3.2.1 Ponderação do Tema 8. Ativos Imobilizados

De acordo com a definição da EMF (2022b, p.2), ativos imobilizados correspondem a:

Ativos fixos, tangíveis e de longo prazo (período de uso de um ano ou mais) de uma empresa. Isso inclui, mas não se limita a: prédios, máquinas, veículos, móveis e equipamentos de escritório. Inclui ativos usados pela empresa em seus próprios processos comerciais, mas exclui ativos de instalações, propriedades e equipamentos da empresa, mas usados por clientes (por exemplo, pallets reutilizáveis em um modelo de negócio “Produto como Serviço”).

A ponderação do Tema 8 é feita em 2 partes (Quadro 7), onde devem ser incluídos os ativos imobilizados utilizados nas operações da empresa, como por exemplo, prédios de escritórios e equipamentos de TI. Não devem ser incluídos ativos de propriedade da empresa, porém utilizados por clientes.

**Quadro 7 – Ponderação do Tema 8. Ativos Imobilizados**

Tema 8. Ativos Imobilizados	Parte 1	<b>8a.</b> Massa total da maioria dos ativos adquiridos no exercício financeiro declarado no indicador.
	Parte 2	<b>8b.</b> Massa total da maioria de todos os ativos de propriedade da empresa no indicador.

**Fonte: Adaptado de EMF (2022c)**

Na parte 1, deve ser fornecida a massa total (em tonelada métrica) para cada categoria de ativo imobilizado que a empresa adquiriu (para posse ou aluguel) no exercício financeiro da análise. Na falta de informação da massa total, mas conhecimento do número de itens de cada ativo, pode ser utilizada a estimativa de massa total a partir da massa média apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 – Cálculo de massa por categoria de ativos

categorias de Ativos	Massa média	Massa Estimada (toneladas métricas)	Aplicável e Massa estimada não disponível*	Não Aplicável**
Equipamentos de TI	0,01 t/item	_____	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	_____	( )	( )
Móveis	0,05 t/item	_____	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	_____	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	_____	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	_____	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	_____	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	_____	( )	( )
Transporte de peso médio	500 t/item	_____	( )	( )
Transporte leve	5 t/item	_____	( )	( )
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	_____	( )	( )

\* Quando a empresa possui ativos na categoria, mas não se conhece a massa total. Serão avaliadas posteriormente apenas categorias com estimativa de massa. A pontuação de qualquer categoria que seja “aplicável e massa estimada não disponível” será penalizada automaticamente no indicador 8a.

\*\* A empresa não possui ativos na determinada categoria, a qual será retirada da pontuação.

**Fonte: EMF (2022c)**

Em seguida, para cada uma das categorias de ativos adquiridos no exercício financeiro considerado na avaliação, devem ser selecionadas as categorias de ativos (Quadro 9) que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida no Quadro 8. As seleções feitas nesse momento servirão para a ponderação dos grupos no indicador 8a.



**Quadro 9 – Categorias de ativos da empresa**

Categoria		Categoria	
Equipamentos de TI	( )	Máquinas leves	( )
Têxteis	( )	Transporte pesado	( )
Móveis	( )	Transporte de peso médio	( )
Prédios	( )	Transporte leve	( )
Máquinas pesadas	( )	Equipamentos de armazenagem	( )
Máquinas médias	( )		

Fonte: EMF (2022c)

Para cada uma das categorias selecionadas no Quadro 9, devem ser fornecidos os percentuais correspondentes, apresentados no Quadro 10.

**Quadro 10 – Ativos imobilizados adquiridos no exercício**

8a – Qual percentual (por unidades: número de itens ou m <sup>2</sup> para edifícios) dos ativos imobilizados adquiridos no exercício financeiro (considerado na avaliação) foi adquirido com as seguintes abordagens circulares de compra?		
Peso	Descrição	Percentual
100%	Ativos de segunda mão	_____ %
100%	Ativos novos projetados com as seguintes abordagens de economia circular: Tanto aspectos de design da fase de uso quanto da fase de final de vida funcional são contemplados conforme as seguintes definições: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> <li>● Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</li> </ul>	_____ %
50%	Apenas os aspectos da fase de uso são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens de design): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> </ul>	_____ %

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> </ul> <p>Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</p>	
50%	<p>Apenas os aspectos do final da vida funcional são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo de aluguel (por exemplo, ativos que podem ser devolvidos ao final do uso).</li> <li>● Projetado para desmontagem (por exemplo, design modular, conexões reversíveis).</li> <li>● Projetado para refabricação/reforma (por exemplo, design modular).</li> <li>● Design para reciclagem (por exemplo, baixa complexidade de materiais, baixa toxicidade, facilidade de separação de materiais), ao mesmo tempo em que prioriza laços mais estreitos (reuso/redistribuição, restauração/refabricação e reparo) sempre que possível, de forma a usar sistemas de reciclagem existentes que operem na prática e em escala.</li> <li>● Projetado para recirculação de nutrientes atendendo às condições de qualificação (por exemplo, compostagem e digestão anaeróbia), de forma que use sistemas existentes na prática e em escala.</li> </ul>	_____ %
0%	Nenhuma das anteriores.	_____ %
0%	Dados não disponíveis.	_____ %

Fonte: Adaptado de EMF (2022c)

Na parte 2 devem ser indicadas as massas totais, em toneladas métricas, em cada categoria, considerando todos os ativos de instalação, propriedades e equipamentos adquiridos durante ou antes do ano fiscal considerado na avaliação (de propriedade ou arrendados pela empresa durante o ano fiscal). Assim como na parte 1, quando não tiver a informação da massa total, mas tiver conhecimento da quantidade de itens em cada categoria de ativo, poderá considerar a massa média do Quadro 11, para estimar a massa total de cada categoria.

**Quadro 11 – Cálculo de massa por categoria de ativos**

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível*</b>	<b>Não Aplicável**</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	_____	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	_____	( )	( )
Móveis	0,05 t/item	_____	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	_____	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	_____	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	_____	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	_____	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	_____	( )	( )
Transporte de peso médio	500 t/item	_____	( )	( )
Transporte leve	5 t/item	_____	( )	( )
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	_____	( )	( )

\* Quando a empresa possui ativos na categoria, mas não se conhece a massa total. Serão avaliadas posteriormente apenas categorias com estimativa de massa. A pontuação de qualquer categoria que seja “aplicável e massa estimada não disponível” será penalizada automaticamente no indicador 8b.

\*\* A empresa não possui ativos na determinada categoria, a qual será retirada da pontuação.

**Fonte: EMF (2022c)**

Na sequência, para cada categoria de ativos de instalação, propriedade e equipamento adquiridos durante ou antes do exercício financeiro considerado na avaliação, devem ser selecionadas as categorias de ativos (Quadro 12) que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida no Quadro 11.

**Quadro 12 – Categorias de ativos da empresa**

Categoria		Categoria	
Equipamentos de TI	( )	Máquinas leves	( )
Têxteis	( )	Transporte pesado	( )
Móveis	( )	Transporte de peso médio	( )
Prédios	( )	Transporte leve	( )
Máquinas pesadas	( )	Equipamentos de armazenagem	( )
Máquinas médias	( )		

Fonte: EMF (2022c)

As informações a partir das categorias selecionadas nesta etapa servirão para a ponderação dos grupos no indicador 8b (Quadro 13). Sendo que deve ser feito o levantamento para cada um dos grupos de ativos em cada tipo de sistema de ER.

**Quadro 13 – Políticas ou acordos para a recirculação dos ativos imobilizados**

8b. A empresa possui políticas ou acordos em vigor para o fim de uso de ativos imobilizados existentes (todos os ativos) que permitem a recirculação na prática?		
Peso	Descrição	
0%	( )	Não, e não há políticas ou acordos de recirculação de ativos em
25%	( )	Há trabalhos em andamento para criar políticas ou acordos de recirculação de ativos para alguns/ todos os ativos.
50%	( )	Sim, temos políticas ou acordos de recirculação de ativos, mas não para todos os ativos.
100%	( )	Sim, e as políticas ou acordos de recirculação abrangem todos os ativos.
0%	( )	Dados não disponíveis.

Fonte: EMF (2022c)

### 3.2.2 Ponderação do Tema 9. Água

O Tema 9. Água é considerado apenas nos sistemas de hidrelétrica e biogás, visto que não há uso de água na produção das energias solar e fotovoltaica.

Assim, a EMF (2022c) destaca que devem ser considerados os fluxos de água envolvidos nos processos operacionais e fluxos de entrada de água fornecidos aos produtos. Não devem ser considerados fluxo de saída de materiais que contém água, pois esses são escopo do Tema 6. Produtos e Materiais, o qual não faz parte da medida de circularidade das empresas produtoras de energia.

Portanto, as questões relacionadas ao tema são:

1) Qual o volume total anual da demanda de água da empresa (abastecimento e recirculação interna), em mega litros, na empresa?

2) Qual o volume total anual do fluxo de saída de água, em mega litros, da sua empresa?

A partir dessas respostas devem ser fornecidas as informações solicitadas no Quadro 14.

**Quadro 14 – Questão ‘a’ e ‘b’ para ponderação do Tema 9. Água.**

<b>a) Que percentual (em volume) de sua demanda de água anual (conforme declarado na questão 1) vem de cada uma das seguintes fontes:</b>		
<b>Peso</b>	<b>Percentual</b>	<b>Descrição</b>
100%	_____ %	Coleta de precipitação
100%	_____ %	Uso em cascata de água (uso direto de águas residuais não tratadas de forma segura para o meio ambiente e para a saúde humana)
100%	_____ %	Água recirculada internamente
100%	_____ %	Água do mar
0%	_____ %	Nenhuma das opções acima (por exemplo, água potável de fontes de água doce, qualquer água doce proveniente de áreas classificadas como tendo escassez de água)
0%	_____ %	Dados não disponíveis
De acordo com as respostas da questão ‘a’, a questão ‘b’ não será preenchida, se: – A retirada de água não puder ser calculada com base nas respostas da questão anterior (“Dados não disponíveis” >0), sendo pontuado com 0. – Não houver retirada de água doce, sendo pontuado com uma pontuação completa.		
<b>b) Qual percentual (por volume) da retirada de água foi revisado considerando metas específicas, mensuráveis, realizáveis, relevantes para o conceito da economia circular e com prazo determinado?</b>		_____ %
A questão ‘b’ é calculada da seguinte maneira: (Resposta da questão 1 x (água não potável de áreas de água doce que não são classificadas como tendo estresse hídrico % + Nenhuma das anteriores %)).		
<b>c) Qual o percentual dos planos para extração de nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos similares antes de descartar a água usada nas operações?</b>		
0%	_____ %	Ainda não avaliei
25%	_____ %	Avaliei, atualmente desenvolvendo planos
50%	_____ %	Processos em vigor para parte da água utilizada nas operações ou para alguns dos recursos relevantes

75%	_____ %	Processos em vigor para a maior parte da água utilizada nas operações e para a maior parte dos recursos relevantes
0%	_____ %	Dados não disponíveis
<b>c) (continuação). Com processos em vigor para extrair nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos semelhantes da água usada nas operações, a maioria dos recursos extraídos é posteriormente recirculada (por exemplo, como fertilizante, por meio de troca de calor, como recirculação de nutrientes que atende às condições de qualificação, etc.)?</b>		
25%	_____ %	Sim
0%	_____ %	Não
0%	_____ %	Dados não disponíveis
<b>d) Que percentual (em volume) da água usada anualmente nas operações sai da infraestrutura* (conforme declarado na questão 2) das seguintes formas:</b> * Incluindo monitoramento e tratamento por parte de terceiros		
100%	_____ %	Para reuso em outro lugar (como parte da simbiose, em cascata)
100%	_____ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cumprindo todos os seguintes requisitos:</li> <li>● Após o monitoramento do volume</li> <li>● Monitoramento de qualidade, garantindo qualidade igual ou maior do que o ecossistema circundante (saudável),</li> <li>● No caso da água doce original, para um dos seguintes propósitos: <ul style="list-style-type: none"> <li>– recarregar aquíferos locais/ lençóis freáticos</li> <li>– reabastecer rios/ lagos/ pântanos</li> <li>– fins sociais locais (por exemplo, abastecimento de água potável)</li> </ul> </li> <li>● E, no caso da água salgada original, retorno a um corpo de água salgada</li> </ul>
0%	_____ %	Nenhuma das anteriores, incluindo as descargas sem monitoramento da qualidade da água e as descargas de água sem monitoramento de quantidade. A descarga da água doce original em um corpo de água salgada também conta para esta opção de resposta. Inclui também evaporação ou derramamento
0%	_____ %	Dados não disponíveis

Fonte: Adaptado de EMF (2022c)

### 3.2.3 Ponderação do Tema 10. Energia

O Tema 10. Energia é considerado o tema central do negócio. Para iniciar a ponderação desse tema, o respondente deve fornecer as informações do Quadro 15.

**Quadro 15 – Primeira parte das informações de ponderação para o Tema 10. Energia**

Pergunta	Resposta (em KWh)**
1. Qual é o uso total anual de energia (MWh) de suas operações*?	
2. Qual é a produção total anual de energia (MWh) da sua empresa?	

\*Inclui todas as formas de combustíveis e eletricidade usadas nas operações da empresa (por exemplo, o que é usado pelos ativos imobilizados).

\*\* Pode ser utilizado um conversor de Unidades e Combustíveis para converter o total de energia para Mwh.

**Fonte: EMF (2022c)**

Em seguida, com base nas informações do Quadro 15, devem ser fornecidas as informações correspondentes ao Quadro 16.

**Quadro 16 – Segunda parte das informações de ponderação para o Tema 10. Energia**

Pergunta	Resposta (em %)
3. Que percentual de energia (eletricidade, calor e combustível) das operações (conforme resposta da questão 1) é renovável?	
4. Que percentual da energia produzida (conforme resposta da questão 2) é renovável?	

**Fonte: EMF (2022c)**

Ao final dos levantamentos de todas as informações necessárias, destaca-se que a análise da viabilidade econômica e análise da circularidade de cada ER geram dois rankings, respectivamente. Como o objetivo da ferramenta é auxiliar o processo de tomada de decisão ao invés de gerar mais dúvidas, nesta etapa foi feita a interpolação com o uso do método TOPSIS a fim de obter um ranking único.

### 3.2.4 TOPSIS

O embasamento do método TOPSIS é uma função de agregação, representando a proximidade de pontos. O método considera a distância entre cada alternativa e o perfil ideal, além da distância entre cada alternativa e o perfil anti-ideal, que é a combinação dos piores valores dos critérios. A partir dessas distâncias, é calculada uma pontuação para cada alternativa, que representa a proximidade relativa de cada alternativa em relação ao perfil ideal (HWANG; YOON, 1981). Isso justifica a escolha do método, tendo em vista a necessidade de estabelecer uma ordem de prioridade entre as alternativas obtidas pelas análises (viabilidade econômica e circularidade).

Segundo Triantaphyllou (2000), primeiro é feita uma normalização dos valores dos critérios, mediante normalização vetorial. O valor de normalização  $r_{ij}$  é calculado da seguinte maneira:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M x_{ij}^2}}$$

onde:

- $x_{ij}$  corresponde ao valor do atributo  $j$  para  $i$ -alternativa
- $r_{ij}$  corresponde ao valor da nova matriz de tomada de decisão normalizada.

Na sequência deve ser feito o cálculo da matriz  $V$  de decisão normalizada ponderada, a qual é determinada pela combinação da matriz normalizada anterior junto a um grupo de pesos  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , definida como:

$$v_{ij} = w_{ij} r_{ij}$$

Então são determinadas a solução ideal/melhor ( $A^*$ ) e a solução ideal-negativa/pior ( $A^-$ ):

$$A^* = \{(v_{ij} | j \in J), (v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, M\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_N^*\}$$

$$A^- = \{(v_{ij} | j \in J), (v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, M\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_N^-\}$$

Sendo:

- $J = \{j = 1, 2, \dots, N \in j\}$  relacionado a critérios de benefício; e
- $J' = \{j = 1, 2, \dots, N \in j\}$  relacionado a critérios de custo/perda.

Dentre as opções em consideração de cada critério, a solução ideal diz respeito a uma opção hipotética mais desejável e, a solução ideal negativa corresponde a menos desejável. A partir disso, é calculada a distância euclidiana  $n$ -dimensional como medida de separação mostrada na equação abaixo:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

onde:

- $i = 1, \dots, M$  e



- $S_i^*$  é a separação (no sentido euclidiano) para cada alternativa da solução ideal.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

sendo:

- $S_i^-$  é a separação (no sentido euclidiano) para cada alternativa da solução ideal-negativa.

Para a solução ideal  $A^*$ , a proximidade relativa de cada alternativa  $A_j$  é calculada:

$$C_{i^*} = \frac{S_i^-}{S_{i^*} + S_i^-}$$

Onde:

- $0 \leq C_{i^*} \leq 1$
- $i = 1, 2, \dots, M$

Se  $C_i = 1$  então  $a_i = A^*$  (solução ideal) e se  $C_i = 0$ , então  $a_i = A^-$  (solução não ideal). Com isso, quanto mais próximo  $C_i$  estiver do valor de 1, a alternativa  $a_i$  está mais próxima de  $A^*$ .

Por fim,  $C_i$  é determinante da ordem de preferência, sendo a melhor alternativa aquela que estiver mais perto da solução ideal e mais distante da solução anti-ideal (TRIANANTAPHYLLOU, 2000).

### 3.3 Fase 3 – Métodos para a Aplicação e Teste da Ferramenta

A aplicação da ferramenta foi realizada em uma unidade de negócio agroindustrial, a qual solicitou sigilo de identidade e informações sobre o negócio, definida a partir deste ponto, como Empresa Alpha.

A empresa Alpha está localizada no Estado do Paraná, em 2022 os principais números corresponderam a aproximadamente 3900 colaboradores e 7 bilhões de reais de faturamento nas diversas unidades de negócio, variando desde o cultivo de

feijão e batata até a produção de leite, cerveja e carne. Dentre as unidades, uma delas corresponde à produção de energia, a qual foi o foco de estudo desta tese.

Foram feitas visitas técnicas visando conhecer suas atividades e operações. A empresa disponibilizou os dados necessários para a análise, além de acompanhar todo o processo e resultados obtidos. Os dados foram coletados por meio de entrevistas e aplicação dos questionários apresentados nos Apêndices da presente tese. A aplicação da ferramenta foi realizada durante o mês de novembro de 2022 e permitiu identificar possíveis falhas, possibilitando o ajuste para sua validação.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo inicia a apresentação dos resultados desta tese, abrangendo os objetivos específicos individualmente. A partir da busca na literatura por ferramentas já existentes, foi possível identificar as principais características das mesmas, assim como os resultados obtidos, além das possíveis relações existentes entre os conceitos neste trabalho abordados, favorecendo, portanto, o conhecimento de barreiras e oportunidades para uma ferramenta que associe a análise financeira do investimento em energias renováveis frente aos princípios da economia circular.

### 4.1 Análise Bibliométrica

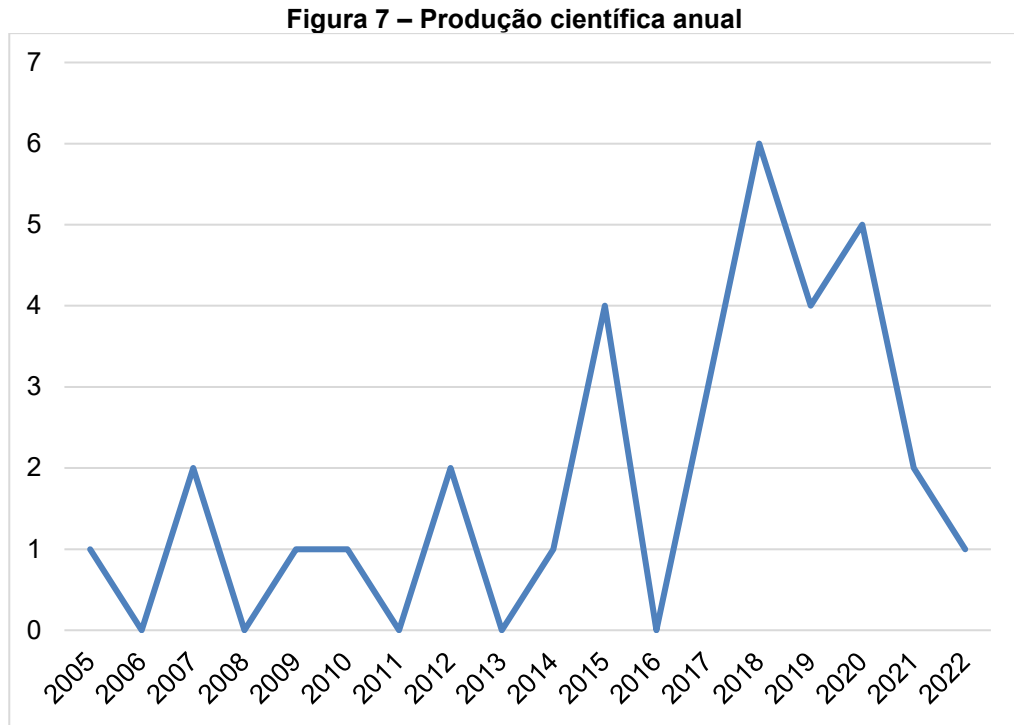
Quando se fala individualmente de algum sistema de ER, seja ela, eólica, hidrelétrica, fotovoltaica ou biomassa, diversos são os estudos de viabilidade econômica, quanto à identificação de modelos tomados de decisão para uso das mesmas. Dentro dessa abordagem renovável e conceito sustentável, identificou-se após o levantamento bibliométrico a incipiência em estudos abordando a relação entre o investimento nesses tipos de energia em relação aos princípios de economia circular.

Além disso, as análises e modelos propostos, na maioria dos casos, se restringem a um tipo de energia ou dois. Porém, a literatura carece de pesquisas que realizem dentro de um mesmo modelo, a interpolação ou cruzamento dessas quatro ER para comparar o melhor conjunto de energias a ser investido, considerando também, a circularidade. Isso reforça a importância de uma ferramenta, baseada no contexto citado, para auxílio na tomada de decisão de investimento em energia renovável aos atores do agronegócio.

Para entender em termos quantitativos os dados que compõem o portfólio de pesquisa desta tese foi utilizada a análise de resultados da base Scopus. Os dados obtidos foram transportados para o software Excel, a fim de serem editados para a língua portuguesa, e assim, gerados os gráficos de análise apresentados a seguir. Não foi necessário utilizar a análise de resultados das bases Web of Science e Science Direct, pois todos os documentos do portfólio encontravam-se na base da Scopus.

Dentro do portfólio obtido, os estudos envolvendo tomada de decisão e análise de investimentos em energias renováveis mistas iniciam no ano de 2005

(Figura 7), quando Calabrese, Gastaldi e Ghiron propuseram uma estrutura de análise de opções reais como ferramenta para avaliar o investimento em energias renováveis em países em desenvolvimento. Um crescimento na quantidade de publicações se dá em 2018, sendo esse o ano destaque com um total de 6 estudos.

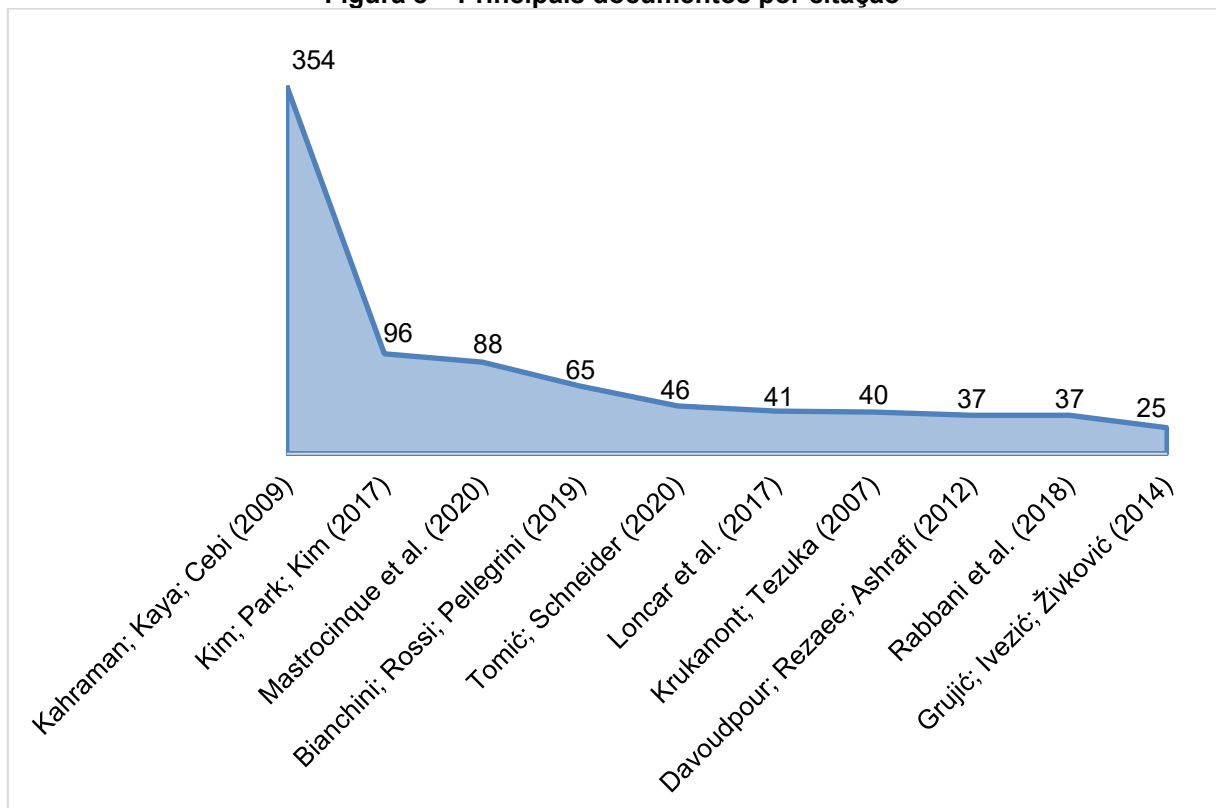


Um total de 110 autores compõem o portfólio de pesquisa, 2 destes (1,83%) possuem 1 documento de autoria única. Os demais 108 autores (98,18%) são responsáveis pelos documentos de autoria múltipla (de dois até sete autores). Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho, Renata Maria Abrantes Baracho, Rogério Amaral Bonatti e Cláudio Homero Ferreira Silva são os autores mais proeminentes, com duas publicações cada. Os demais autores participaram em apenas um documento cada.

Em todas as áreas de pesquisa há estudos que mais se destacam, isso se justifica pela citação dos mesmos como embasamento para outros estudos. A Figura 8 mostra como destaque o estudo de Kahraman C.; Kaya I. e Cebi S. (2009) intitulado “*A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process*”, com um total de 354 citações. Em segundo lugar no ranking de citações, a pesquisa “*Real*

*options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries*” de Kim K.; Park H. e Kim H. (2017), possui um total de 96 citações até a data do levantamento dos dados. Identifica-se que dos dez estudos mais relevantes, o menos citado (25 citações), foi desenvolvido por Grujić M.; Ivezić D. e Živković M. em 2014, no qual os autores aplicaram o modelo de tomada de decisão multicritério ELECTRE visando a escolha da solução ideal para atender a demanda de calor no sistema de abastecimento centralizado em Belgrado.

**Figura 8 – Principais documentos por citação**



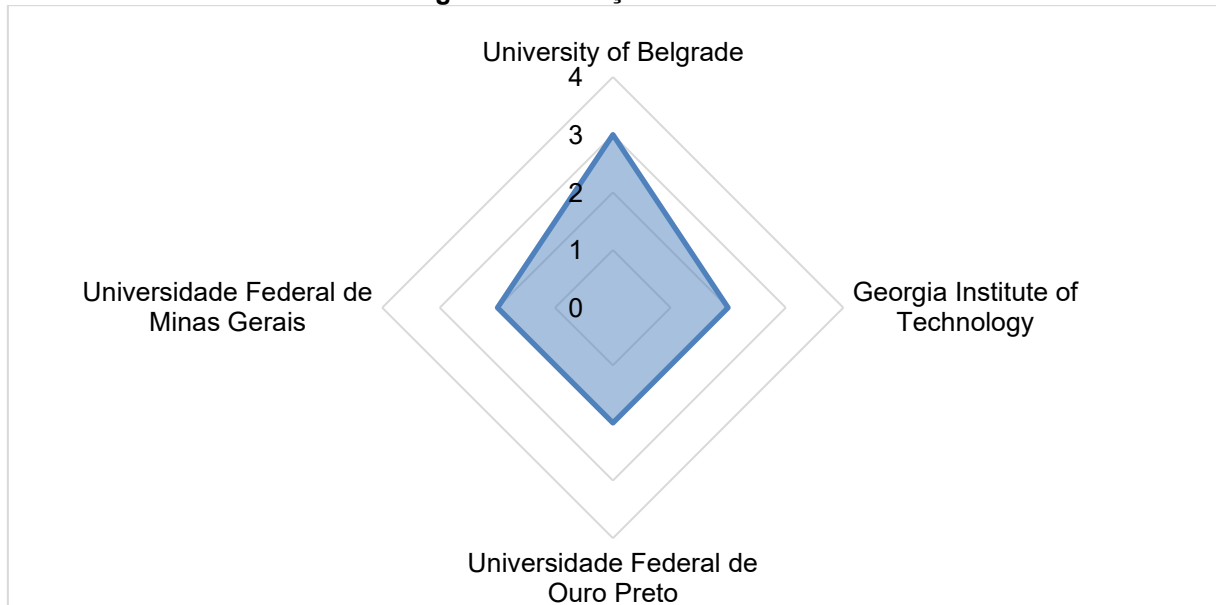
**Fonte: Autoria própria (2023)**

Vale considerar que dos dez documentos mais citados, os mais recentes são do ano de 2020, com 88 e 46 citações, os demais foram publicados entre 2007 e 2019. O último documento publicado, considerando o portfólio de pesquisa, foi em 2022 e apresentou na data da consulta para esta tese, um total de 2 citações.

Outro ponto a considerar, de acordo com a Figura 9, são as instituições mais engajadas nas pesquisas relacionadas ao tema, se destacando a *University of Belgrade* com 3 pesquisadores, seguida pela *Georgia Institute of Technology*, Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade Federal de Minas Gerais com 2

pesquisadores cada. As demais instituições apresentam afiliação de somente um pesquisador cada.

**Figura 9 – Afiliação dos autores**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

A informação sobre a afiliação dos autores está diretamente relacionada à quantidade de publicações por país. Dentre os que mais publicaram artigos sobre o tema, Estados Unidos é o país mais proeminente, com um total de cinco publicações. Em seguida vêm Brasil, China, Irã, Sérvia e Espanha com três publicações cada. Alemanha, Itália, Coreia do Sul, Suíça e Reino Unido possuem 2 publicações cada e, por fim, Chile, Croácia, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, Hong Kong, Japão, Arábia Saudita e Turquia com uma publicação cada.

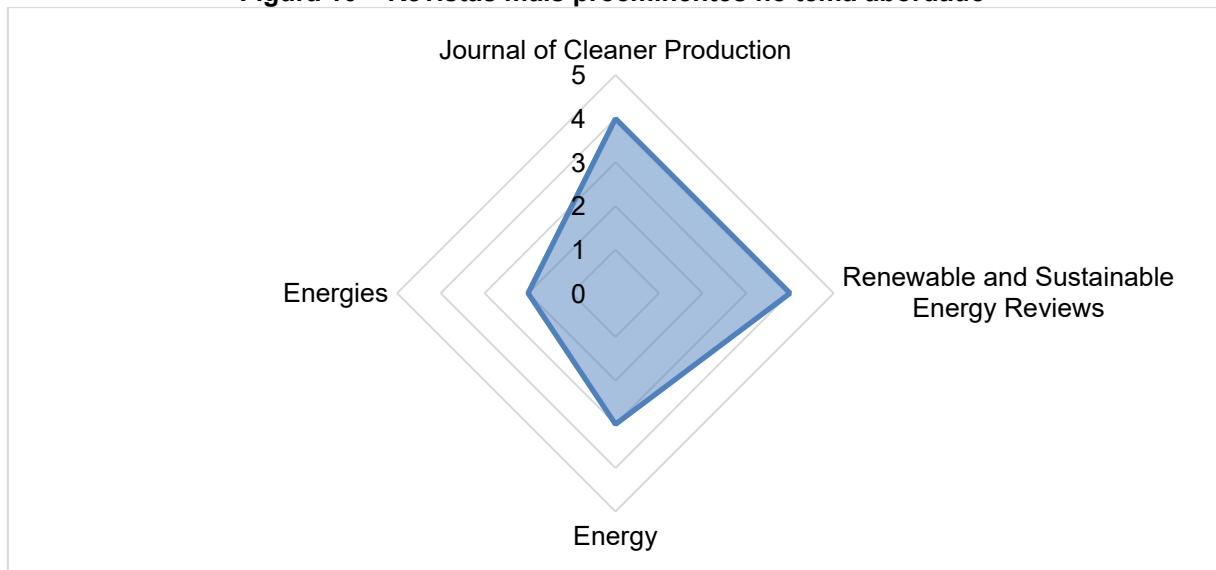
Além de considerar as instituições com mais publicações sobre o assunto, convém destacar os principais patrocinadores das pesquisas realizadas, ou seja, instituições com grande interesse no desenvolvimento do tema e que financiam os estudos sobre o mesmo.

A *National Natural Science Foundation of China* possui maior destaque com um total de 03 estudos patrocinados, outras 21 instituições foram responsáveis pelo patrocínio de um estudo cada. Porém, vale ressaltar que, dos 22 patrocinadores, 4 deles são do Brasil, o que reforça o fato dele ser um dos países mais produtivos no assunto. Essas instituições brasileiras são: a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, a Companhia Energética de Minas Gerais, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e o Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico; este último, também é o patrocinador da presente tese.

A variedade de revistas acadêmicas que abrigam os estudos pode ser vista na Figura 10. As que mais se destacam são *Journal of Cleaner Production*, *Renewable and Sustainable Energy Review*, *Energy* e *Energies*; publicando o maior número de estudos sobre o tema, 4, 4, 3 e 2 publicações respectivamente.

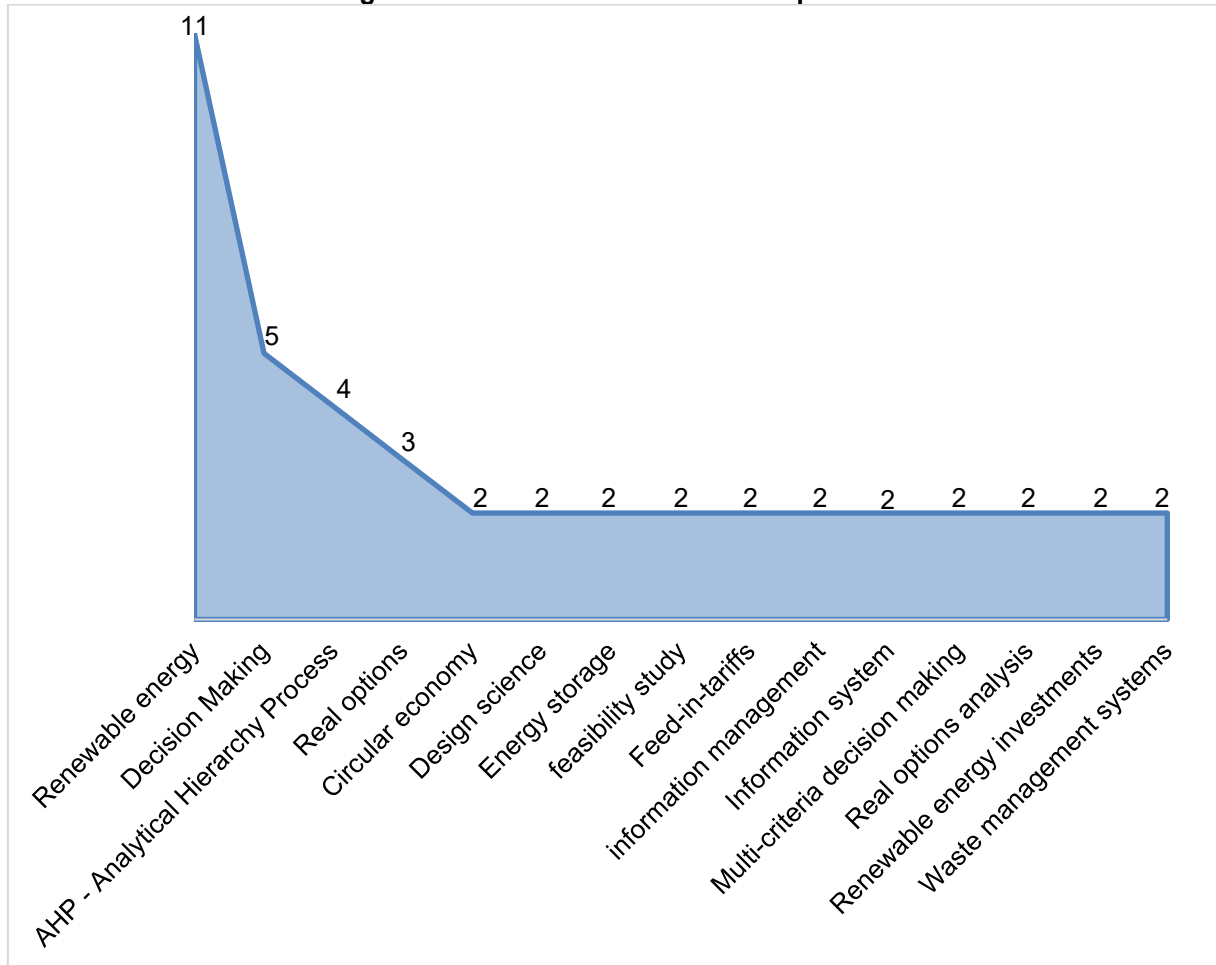
**Figura 10 – Revistas mais proeminentes no tema abordado**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

É notável a relevância do tema “energias renováveis” na literatura. A ligação desse tema com outros pode ser identificada mediante o levantamento das palavras-chave dos artigos que compõem o portfólio de pesquisa (Figura 11), visando também, identificar a relação dos conjuntos de palavras pesquisados. Os cinco temas mais frequentes correspondem a Energia Renovável, Tomada de decisão, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) e Opções Reais.

**Figura 11 – Palavras-chave mais frequentes**

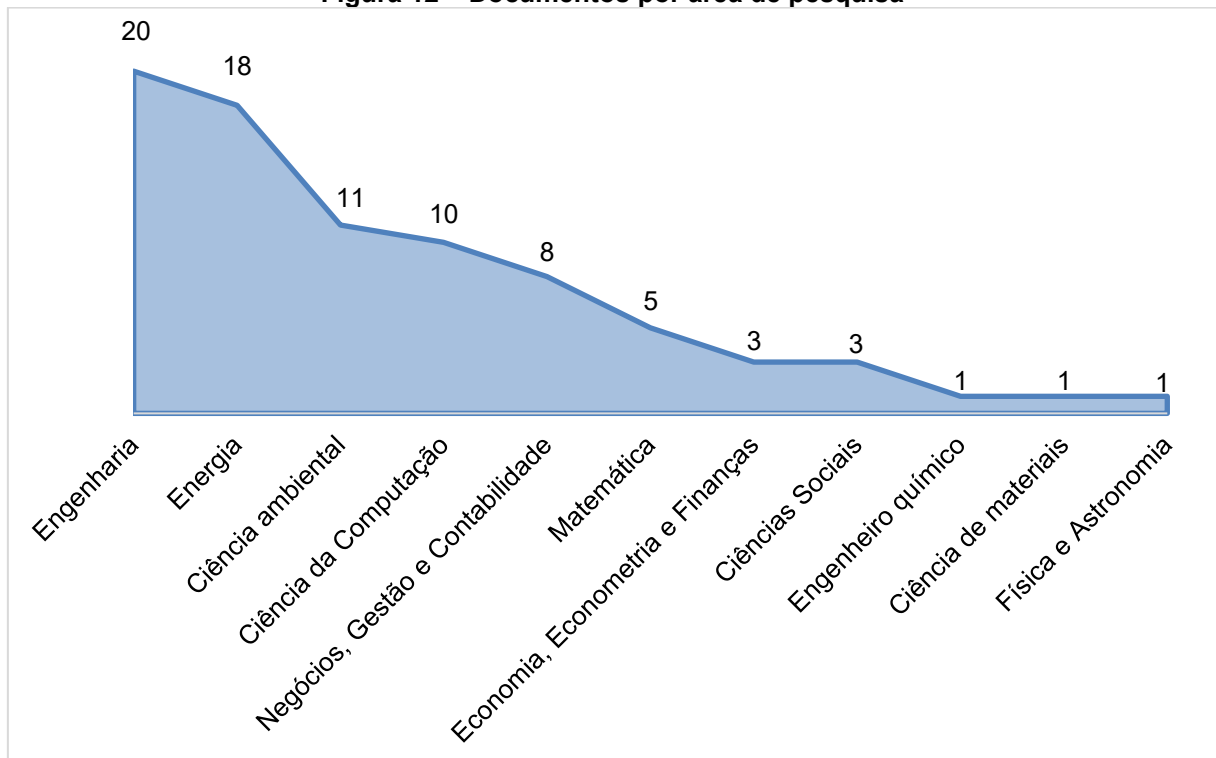


**Fonte: Autoria própria (2020)**

Vale ressaltar que um mesmo documento pode ser classificado em mais de uma área de pesquisa, assim, ao mesmo tempo que está classificado como sendo da área de economia, econometria e finanças por realizar uma análise de viabilidade e também se enquadrar dentro da área de Engenharia Química por ter realizado testes químicos em laboratório para auxiliar na análise (ver Figura 12). Os documentos avaliados, estão classificados principalmente na área de Engenharia (20 estudos) e Energia (18 documentos).



**Figura 12 – Documentos por área de pesquisa**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Esta breve análise bibliométrica foi realizada com o objetivo de fornecer informações preliminares dos documentos selecionados para embasar a tese, identificando se há alinhamento frente a questão de pesquisa que se pretende responder. Como complemento, foi realizada ainda, uma análise sistemática dos documentos, por meio da leitura integral dos mesmos, visando atender aos objetivos de pesquisa propostos. Essa revisão é apresentada no próximo capítulo.

#### **4.2 Levantamento das ferramentas para tomada de decisão no investimento em energias renováveis**

Feita a análise do portfólio bibliográfico para essa pesquisa, a síntese dos documentos é descrita a seguir em ordem cronológica, com isso, é possível identificar como se deu a abordagem do tema ao longo dos anos.

Considerando a aplicação de energia fotovoltaica, Calabrese, Gastaldi e Ghiron (2005), desenvolveram um modelo baseado na teoria de opções reais para avaliar de forma quantitativa a flexibilidade da infraestrutura ao se investir nessa opção renovável. O modelo foi aplicado em um caso da decisão de investimento na construção de uma usina de produção de células e módulos fotovoltaicos de silício

amorfo (a-Si). Esse é um mercado de produção caracterizado por perspectivas de desenvolvimento e sujeito a alguns aspectos fora do controle do gestor.

Como nem todos os aspectos são conhecidos *a priori*, há a impossibilidade de representar a situação de forma objetiva, tornando assim as ferramentas tradicionais de análise ineficazes. Condição que muda na aplicação da teoria das opções reais com a consideração de fatores dinâmicos do investimento em relação às mudanças do mercado. Porém, os autores concluem que o uso dessa teoria não exclui a importância e validade dos métodos clássicos, mas sim, suporta esses métodos, utilizando resultados como seus próprios dados de entrada e os complementa.

Em 2007, Luoranen e Horttanainen, a fim de tratar a energia de resíduos sólidos urbanos em um sistema integrado de abastecimento de energia e gestão de resíduos municipais, desenvolveram uma ferramenta, segundo eles, mais fácil de entender, barata e rápida. A ferramenta visa maior usabilidade na tomada de decisão para modelagem e avaliação de diferentes processos. A gestão simples do sistema integrado (SISMan) é apresentada por meio de um exemplo prático, comparando cinco casos diferentes com combustíveis derivados de resíduos urbanos não segregados.

O estudo apresenta que valores-chave de um sistema modelado, podem ser calculados a partir de uma ferramenta fácil de usar, considerando os estágios iniciais do processo de um projeto maior que envolva parceiros municipais e comerciais. Além disso, foi identificado que preferências pessoais (políticas, filosóficas, éticas etc.) dos tomadores de decisão, podem mudar drasticamente o resultado final dos cálculos. Dessa forma, o uso da ferramenta proposta pode auxiliar na redução de custos operacionais de um projeto no longo prazo, eliminando-se opções irracionais do sistema no início do planejamento.

A fim de apresentar uma análise das implicações da expansão da capacidade sob incerteza e valor da informação, Krukanont e Tezuka (2007), realizaram um planejamento energético de curto prazo do Japão. A análise ocorreu a partir do ponto de vista do processo de tomada de decisão sobre a alocação ótima com aplicação de um modelo de programação estocástica de dois estágios. Os custos do primeiro estágio estão relacionados às decisões de investimento, envolvendo comprometimento de custos de capital, além de custos de operação e manutenção fixos.

No segundo estágio os custos estão vinculados às decisões operacionais, resultando em custos de combustível e emissões associadas. O estudo não se limitou a um tipo específico de geração de energia e, como resultado, os autores afirmam que o modelo desenvolvido pode identificar a solução ótima em termos de escolha de tecnologia e níveis de investimento para expansão de capacidade sob incerteza.

Por meio de uma análise comparativa visando a seleção de multi atribuições entre as alternativas de energias renováveis, Kahraman, Kaya e Cebi (2009), utilizaram projeto axiomático difuso e processo de hierarquia analítica difusa. A metodologia baseou-se na aplicação do *fuzzy AD* até a seleção da melhor alternativa de energia renovável e comparação com o *fuzzy AHP*, por meio de um estudo de caso realizado na Turquia.

Os principais critérios considerados foram o tecnológico, ambiental, sócio-político e econômico, abrangendo as energias eólica, solar, biomassa, geotérmica e hidrelétrica. A pesquisa concluiu que apesar do cálculo das metodologias utilizadas (*Fuzzy AHP* e *Fuzzy AD*) serem diferentes, os resultados foram os mesmos, sendo a energia eólica a melhor alternativa, após considerados os 4 critérios principais. Com isso, é sugerido que estudos futuros considerem diferentes técnicas de análises, como TOPSIS, VIKOR e ANP a fim de comparar a similaridade dos resultados.

Com intuito de desenvolver uma estrutura para gerenciamento de portfólio de fontes de energia híbrida renovável, Ender, Murphy e Haynes (2010), desenvolveram um estudo com o objetivo de produzir uma ferramenta de consultoria e design voltada para auxiliar entidades com planejamento robusto e implementação de soluções eficazes de energia renovável. Baseando-se na implantação da função de qualidade, tomada de decisão multiatributo e modelagem substituta, foi utilizada a técnica *Quality Function Deployment* – QFD, uma técnica formal para capturar os requisitos do usuário e mapeá-los para produtos controláveis e parâmetros de processo ou atributos do veículo, além do uso de HOMER como espinha dorsal de modelagem e simulação por trás do conjunto de ferramentas de tomada de decisão desenvolvido.

A ferramenta manipula representações reais de engenharia, em vez de depender de estimativas qualitativas ou orientadas por especialistas que são usadas nesse sentido, apresentando como resultado uma opção de modelo que considera fatores sociais, ambientais e econômicos, além de apenas os fatores técnicos.

Neste mesmo sentido, motivados em identificar o melhor portfólio possível de projetos de desenvolvimento de tecnologia renovável em centros de Pesquisa e Desenvolvimento, Davoudpour, Rezaee e Ashrafi (2012) realizaram um estudo com o objetivo de desenvolver um modelo matemático para seleção do portfólio de energia renovável em um centro de pesquisa e desenvolvimento da indústria petrolífera, maximizando o suporte à estratégia e os valores da empresa.

Para tanto, usou-se programação matemática, modelos de medição de benefícios e modelagem heurística, além do modelo AHP para seleção dos fatores importantes (mercado, competitividade, fatores técnicos, capacidade e fatores ambientais – todos divididos em sub critérios) para considerar e analisar as tecnologias renováveis. O trabalho propõe um método quantitativo permitindo a avaliação e otimização de um portfólio de tecnologia de energia renovável onde os projetos são dependentes e o custo de implementação está altamente relacionado com a fase de implementação. Sua principal limitação é de que, mesmo as previsões de dados não necessitando serem precisas, seus intervalos relativos precisam ser aplicados de forma consistente.

Apesar das energias renováveis serem o foco principal dos estudos do portfólio levantado, nem sempre são consideradas de maneira exclusiva, sendo analisadas possibilidades híbridas entre fontes elétricas renováveis e não renováveis.

Utilizando modelagem modular discreta contínua, almejando a possibilidade de estimar com precisão os requisitos de capacidade de geração e armazenamento de energia elétrica, envolvendo fontes convencionais e renováveis de geração de energia, foi desenvolvida uma estrutura abrangente de tomada de decisão, baseada em simulação, para determinar a melhor combinação possível de investimentos em recursos para a geração de energia elétrica e capacidades de armazenamento. Utilizando dados obtidos em fontes diversas (National Renewable Energy Laboratory – NREL, Energy Information Administration – EIA, Florida Public Service Commission – FPSC, Sharp, Mitsubishi, SunPower, Siemens e General Electric), a estrutura do framework aborda o problema de planejamento estratégico na capacidade de recursos das concessionárias de longo prazo, sugerindo que estudos futuros considerem decisões operacionais de curto prazo permitindo o despacho dinâmico de cargas de decisão de energia (SÁENZ; CELIK; ASFOUR; SON, 2012).

Com foco em sistema urbano sustentável de aquecimento e considerando as energias geotérmica e gás natural, Grujić, Ivezić e Živković (2014) realizaram a aplicação do modelo de tomada de decisão com vários critérios para a escolha da solução ideal para atender à demanda de calor no sistema de fornecimento centralizado em Belgrado. Para desenvolvimento do modelo teórico foi utilizado o modelo multicritério ELECTRE com a intenção de identificar opções para atender o aumento da demanda por calor (combinando diferentes energias e tecnologias).

A partir da literatura, adaptando para a realidade de Belgrado, objeto de estudo da pesquisa, um conjunto de 8 critérios agrupados em 3 clusters, foi considerado, são eles: (i) critérios financeiros (custos de instalação do sistema, custos da rede de distribuição, custos de ligação à rede, custos de adaptação para o uso da energia renovável e custos operacionais); (ii) critérios ambientais (emissões de CO<sub>2</sub>, NOX, SO<sub>2</sub> e particulados); (iii) disponibilidade de energia (segurança no fornecimento de energia com base na disponibilidade e suficiência do recurso/combustível e participação de cada fonte de energia no sistema).

Os resultados mostraram dentro de um cenário otimista a opção da combinação de usina de cogeração (calor e energia combinados) e uso centralizado de energia geotérmica. Em relação aos cenários pessimista e usual, a opção foi a combinação de novas caldeiras a gás e uso centralizado de energia geotérmica.

Apesar desses estudos propondo ferramentas diversas, Koslovski e Bawah (2015) apontaram a necessidade de uma ferramenta de tomada de decisão mais abrangente, considerando a análise regulatória e de investimento na expansão dos sistemas de energia renovável nos países em desenvolvimento. Então, desenvolveram um modelo de parâmetros técnicos e econômicos para analisar os rankings de investimento de diferentes redes de energia renovável e compará-las com fontes convencionais de energia, como a usina elétrica de ciclo combinado a gás natural (NGCC).

A análise também incluiu o custo do carbono e a capacidade de geração de energia. Os resultados, a partir de dados empíricos de Gana, mostram que, quando fornecidos incentivos de carbono, infraestrutura hidrelétrica e eólica pode competir com NGCC convencional.

Outra ferramenta, a partir da abordagem MDCM, foi desenvolvida por Garcia-Bernabeu, Mayor-Vitoria e Mas-Verdu (2015) a fim de entender quais projetos de

energia renovável os credores preferem financiar. Para tanto, os autores propuseram um método a partir do modelo multicritério de tomada de decisão de pessimismo moderado. Foram consideradas as dimensões financeira, político-legal, tecnológica e socioambiental, as mesmas definidas por um grupo de gestores de bancos. A principal contribuição desse modelo é a capacidade de ordenar um conjunto de alternativas de forma objetiva, facilitando o trabalho durante a seleção de projetos de investimento.

Os modelos propostos até então se diferenciam, principalmente, pela metodologia utilizada para a realização da análise e também pela capacidade de considerar um ou mais tipos de energia. Nesse contexto, visando complementar o processo decisório para o investimento em energia renovável, foi identificada a construção de um índice composto, denominado Índice de Investimento em Energia Renovável (RERII).

O intuito motivador consistiu em desenvolver um índice capaz de refletir as condições atuais e futuras das energias renováveis nos países, portanto, é derivado dos conceitos de ESG – *Environmental, Social and Governance* e SRI – *Social Responsibility Investment*. Abrange um escopo de 50 países, agrupados de acordo com o seu desenvolvimento econômico (Grupo dos 7, países desenvolvidos, BRICS e países em desenvolvimento) e 17 indicadores classificados em quatro pilares: econômico, social, ambiental e governança. Dessa forma, o índice auxilia investidores a partir do fornecimento de uma análise comparativa de diferentes países, em termos de aspectos econômicos e ESG (LEE; ZHONG, 2015).

Partindo para o contexto de energia renovável em edifícios, Kashani, Ashuri, Shahandashti e Lu (2015) consideraram que a maioria dos modelos para investimento em energia renovável ficavam somente na teoria, gerando cenários de incerteza para os investidores. Com isso, se dedicaram à criação de um modelo para avaliar as opções reais de investimento para melhorias energéticas em edifícios.

Como resultado tem-se a criação de um método para contabilizar a incerteza de economia de energia seguindo o sistema de implementação; um novo método para estimar a volatilidade de projetos sujeitos a incertezas; e, uma avaliação de investimento para identificar o melhor momento para a implementação e determinar o valor da opção de investimento correspondente. O modelo possibilita identificar o momento favorável de implementação do sistema de energia renovável, podendo

reduzir as despesas de capital e aumentar o retorno do investimento. A energia avaliada no estudo foi a fotovoltaica.

Ainda utilizando a teoria das opções reais, dois estudos foram publicados em 2017. Loncara, Milovanovicb, Rakicc e Radjenovicc realizaram uma avaliação das opções reais de um potencial projeto de parque eólico *onshore* na Sérvia considerando a árvore binomial e a simulação de Monte Carlo. A sequência de opções proposta aumenta o valor do projeto, transformando maior risco e menor retorno no modelo inicial de fluxo de caixa descontado, em menor risco e maior retorno no modelo de opções reais.

No segundo estudo, os autores Kim, Park e Kim, identificando a necessidade de uma estimativa precisa das incertezas decorrentes de investimentos em projetos de energia renovável de países em desenvolvimento e a avaliação precisa da viabilidade econômica de tais investimentos, propuseram uma estrutura de análise de opções reais como ferramenta para avaliar esse tipo de investimento. Foram consideradas as variáveis: tarifa, custo de manutenção e operação, produção de energia e custo da certificação da redução de emissões; considerando na análise as energias hidrelétrica, solar, geotérmica, bioenergia, eólica e a energia de maré.

Com isso, identificaram que os investidores devem concentrar sua atenção na melhoria dos fatores do projeto correspondentes a tarifa e produção de energia. Esses representam 90% ou mais do valor de opção. As tarifas geralmente são desenvolvidas por meio de negociações entre governo e investidor, enquanto características geográficas, condições climáticas regionais, o tipo e o nível de tecnologia e até mesmo as mudanças climáticas globais influenciam a produção de energia.

Mudando de contexto e buscando auxílio para a tomada de decisão a partir de resultados gerados por software, Rajakovic e Bjelic (2017) propuseram um planejamento do mix de energia ideal para cidades inteligentes. O objetivo consistiu na formulação do problema de minimização do investimento em três etapas dos custos totais para a instalação do sistema de energia inteligente.

As etapas consistem em: (i) custos de investimento da estrutura e tamanho ótimo utilizando o software HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*); (ii) as perdas da rede de distribuição calculadas com base nos cálculos de fluxo de carga realizadas pelo DigSilent; e, (iii) a simulação HOMER é repetida com as perdas de redes obtidas na parte ii. Os resultados mostram um efeito moderado

das perdas de energia quando se fala do problema de expansão da geração, pois o algoritmo não foi hábil na seleção de modelos de operação para a redução das cargas de linha e do transformador.

O ano de 2018, conforme já descrito no capítulo anterior, possui o maior número de estudos publicados. Considerando a flutuação dos preços de carbono como ferramenta para o investimento em energia renovável e tomando por base um parque eólico na China, Li, Wu e Li (2018) propuseram um modelo analisando a volatilidade e o risco dos projetos de energia renovável, de forma a nortear investidores na alocação eficiente de recursos.

Considerando a teoria das opções reais, a simulação numérica e o teste de sensibilidade do modelo foram realizados pelo método de Monte-Carlo, concluindo que quanto maior a taxa de crescimento do preço do carbono e quanto maior o nível de flutuação, mais as empresas de geração de energia tendem a postergar o investimento.

Mediante o uso da *Microgrid Decision Support Tool*, Hau, Husein, Chung, Won, Torre e Nguyen (2018) avaliaram a viabilidade técnica e financeira de uma microrrede de um campus universitário na Califórnia (EUA). Os resultados sugerem que a configuração ótima gera economia significativa de eletricidade, os incentivos e benefícios fiscais determinam fortemente a viabilidade financeira e o projeto ótimo de uma microrrede, sendo cruciais para o projeto e planejamento de microrredes eficazes.

Utilizando um modelo de otimização multiobjetivo de programação linear inteira mista (Mixed Integer Linear Programming – MILP), Rabbani, Saravi, Farrokhi-Asl, Lim e Tahaei (2018) realizaram um estudo de caso a fim de apresentar uma nova perspectiva sobre o projeto de uma rede sustentável de cadeia de abastecimento de bioenergia baseada em Switchgrass (gramínea nativa da América do Norte). As variáveis de decisão abrangem o fornecimento de Switchgrass, a capacidade e a localização das usinas de energia, os níveis de estoque e os fluxos de matéria-prima entre os estágios da cadeia de suprimentos em diferentes períodos.

Essas variáveis foram baseadas na literatura, considerando a distância máxima permitida de forma a proibir os custos extras relacionados ao setor de transporte de biomassa. Essa análise apresentou resultados onde custos totais e o impacto ambiental e social da cadeia de suprimentos foram otimizados simultaneamente, porém ao atingir um nível desejável de preservação socioambiental



ocorreu um aumento de aproximadamente 15% na função objetivo econômico ao final do horizonte de planejamento. Ademais, a distância máxima permitida entre as zonas de abastecimento de Switchgrass e as usinas de energia teve um impacto drástico nos impactos ambientais da cadeia de abastecimento.

Com o intuito de expandir a produção de energia renovável no Brasil, Baracho, Abrantes Baracho, Bonatti e Silva (2018) ponderaram parâmetros intangíveis a fim de mitigar riscos para subsidiar a tomada de decisão na implantação de projetos de energia renovável. Para isso, utilizaram AHP para a construção de hierarquias e comparação entre pares de critérios, assim como, VPL, custo médio ponderado de capital (CMPC) através do custo alavancado da energia (LCOE) de cada alternativa e análise de sensibilidade para análise da viabilidade.

As variáveis consideradas foram levantadas a partir da literatura, são elas: disponibilidade de recursos energéticos; impacto no meio ambiente; domínio de tecnologia; conformidade regulatória; demanda de consumo; valor presente líquido (VPL) e retorno. Eólica, solar, biomassa e pequena central hidrelétrica foram as energias consideradas. Com foco na gestão e compartilhamento da informação, o estudo apresenta uma metodologia que inclui parâmetros tangíveis e intangíveis na avaliação de investimentos para a geração incremental de eletricidade.

Badasyan (2018) com o objetivo de desenvolver e apresentar um modelo de análise de viabilidade de projeto que permita ao setor público planejar infraestruturas e entrar opções financeiramente viáveis para investimentos privados, explorou os aspectos do setor financeiro e econômico de energia renovável. A abordagem de custo-benefício foi utilizada com intuito de comparar a taxa interna de retorno econômico e a taxa interna de retorno financeiro dos possíveis investimentos. Nos resultados é apresentado um quadro de tomada de decisões que permite ao setor público encontrar opções organizacionais de projetos economicamente viáveis e atrativos aos investidores privados.

Concluindo que para a utilização do modelo são necessárias informações específicas do país analisado para ponderar as opções de abordagem de custo-benefício, além disso, o setor privado pode utilizar o modelo para identificar opções financeiramente atrativas para investimento.

Gill, Vu e Aimone (2018) apresentam uma metodologia a fim de orientar as decisões de investimento em energias renováveis visando reduzir o uso de

combustíveis fósseis. O estudo considerou as energias eólica e solar e foi dividido em cinco etapas: (i) construção do portfólio de projetos; (ii) avaliação dos benefícios de cada projeto de portfólio; (iii) estimativa de custo para cada projeto de portfólio; (iv) construção da curva custo x benefício; e, (v) determinação do investimento viável. Essa metodologia auxilia na determinação da viabilidade técnico econômica na integração dos recursos de energia renovável. Apesar da análise ter sido realizada na Arábia Saudita, a estrutura pode ser replicada em outras nações e países.

Desenvolvida na Suíça, a pesquisa de Abrell, Eser, Garrison, Savelsberg e Weigt (2019) visando a integração de modelos econômicos e de engenharia para futuras avaliações do mercado de eletricidade, apresenta uma estrutura de modelagem integrada que combina um modelo de investimento de longo prazo, um modelo robusto de despacho do mercado de energia, um modelo detalhado de rede, uma nova quantificação de reservas e uma avaliação rigorosa dos potenciais de recursos de energia renovável. Os resultados concluem que a eliminação da energia nuclear leva a um forte aumento nas importações suíças, assim como, metas renováveis adicionais levam a uma diminuição dessas importações.

O outro estudo desenvolvido por Baracho, Abrantes Baracho, Bonatti e Silva (2019) aborda o gerenciamento do conhecimento em decisões estratégicas de geração de eletricidade. Tendo como objetivo aprimorar o processo decisório para a implantação e otimização do mix de insumos de combustíveis para o setor elétrico a partir do desenvolvimento de uma ferramenta. Foi utilizado o modelo multicritério AHP e Prova de Conceito (POC) para a validação da proposta, feita no Estado de Minas Gerais – Brasil. Abrangendo as energias eólica, solar, biomassa e pequena central hidrelétrica, os resultados apresentam um processo decisório baseado em critérios mais formais e menos pessoais, garantindo maior neutralidade e convergência.

O primeiro artigo na ordem cronológica que aborda o conceito de economia circular, foi feito por Bianchini, Rossi e Pellegrini em 2019. Os autores desenvolvem uma ferramenta para garantir a quantificação de iniciativas circulares, descrita como Modelo de Negócios Circular (MNC), que visa superar as principais limitações dos modelos anteriores existentes na literatura.

As características mais importantes do modelo compreendem: a possibilidade de quantificar fluxos de recursos; o uso de indicadores para representar o consumo de energia, impacto social e ambiental; o foco não deve estar apenas no produto, mas

em todo o sistema, envolvendo também no processo toda a cadeia de suprimentos. O objetivo da ferramenta é impulsionar a implementação prática da economia circular e com isso encontrar oportunidades circulares potenciais, desconhecidas ou exploradas, por meio da sistematização da coleta de dados e informações.

Em 2019, o trabalho de Maeda e Watts teve o intuito de analisar o efeito da incorporação, tanto do histórico de custo de geração, quanto da flexibilidade de investimento na avaliação de parques eólicos nos EUA usando a metodologia de opções reais. Considerando o declínio existente nos custos de instalação de energia renovável ao longo dos anos, há a importância em atentar à evolução temporal dos custos, visto que as tecnologias em energia renovável estão em constante evolução, e também, segundo os autores, poucos trabalhos considerarem a questão da estocasticidade no valor do projeto. Monte Carlo, avaliação neutra ao risco complementado pelo algoritmo de Longstaff e Schwartz e opções reais foram utilizados na metodologia.

Os dados levantados correspondem a um parque eólico terrestre na cidade do Texas – EUA com vida útil de 20 anos. Ao comparar os resultados usando apenas Fluxo de Caixa Descontado em relação aos resultados do estudo utilizando Opções reais, percebe-se uma diferença significativa entre o valor estimado para o parque eólico analisado, pois o custo histórico de geração eólica era muito alto para não ser incorporado na avaliação de um parque eólico.

Ponderando o fato de que, em energias renováveis a maioria dos consumidores são ativos na área, os chamados "*prosumers*", o segundo artigo abordando economia circular tem por objetivo explorar insights sobre o processo de tomada de decisão dos prosumidores para melhorar a compreensão da implantação do autoconsumo e apoiar a formulação de políticas efetivas. A coleta de dados foi realizada mediante entrevista semiestruturada e a energia analisada foi a fotovoltaica.

Após análise identificou-se que fatores contextuais influenciadores das decisões finais foram relacionados principalmente ao retorno do investimento e o desempenho futuro da instalação, tanto em termos econômicos quanto técnicos (GIMENO, LLERA-SASTRESA; SCARPELLINI, 2020).

Continuando no âmbito da economia circular outro fator considerado é a possibilidade de medir o impacto das mudanças na estrutura do WMS municipal, que são induzidas por mudanças na legislação, sobre a aceitabilidade socioeconômica de

tais mudanças. O problema socioeconômico é analisado por meio de uma abordagem de rastreamento de resíduos sobre uma estrutura baseada na avaliação do ciclo de vida.

Ao trabalhar em conjunto com a ideia de "*closing the loop*" com a legislação da União Europeia, Tomić e Schneider (2020) realizaram uma abordagem de rastreamento de resíduos por meio de uma modelagem para análise socioeconômica holística do custo geral de todo o sistema em relação a um tempo. Para isso, foi feito o ingresso de dados sobre previsão, dependência do tempo e mudanças nas quantidades e composição dos resíduos, com dados adaptados da base Ecoinvent. Os resultados mostram mudanças significativas de custo e receita dependentes do tempo para os sistemas analisados no período de tempo considerado.

Considerando o setor de energia fotovoltaica, Mastrocinque *et al.* (2020) fornecem um quadro de decisão multicritério baseado no *Triple Bottom Line* e AHP para o desenvolvimento sustentável da cadeia de suprimentos no setor de energia renovável. Nesse contexto, as variáveis consideradas centram nos pilares ambiental, social e econômico, as quais foram definidas baseadas na literatura e na opinião de especialistas. Como principal resultado, além de auxiliar no processo de decisão, o modelo permite identificar e classificar os locais mais adequados para implantação de cadeia de suprimentos no setor fotovoltaico.

A entrada estocástica é deixada de lado quando se fala em processos de tomada de decisão de investimentos em energias renováveis. A informação estocástica pode ser um resumo dos dados incertos com base em observações. Intervalos, números *fuzzy* e termos linguísticos podem ser modelados pelos dados estocásticos com distribuições. Esses fatores serviram de motivação para Mi e Liao (2020) desenvolverem um estudo com o objetivo de projetar um método integrado baseado no método CoCoSo para investimentos em energias renováveis com informações estocásticas por meio da Análise de Aceitabilidade Multicritério Estocástica (SMAA).

Com base na literatura, as variáveis consideradas foram classificadas em quatro grupos: (i) técnicas (eficiência, confiabilidade e disponibilidade de recursos); (ii) econômicas (custo do investimento, custo de operação e manutenção); (iii) ambientais (emissões de CO<sub>2</sub> e uso da terra); e, (iv) sociais (criação de emprego e aceitabilidade social). Os principais resultados centram-se no desenvolvimento do método SMAA-CoCoSo e aplicação no investimento em energia renovável. Em complemento, uma

revisão teórica entre 2015 e 2020 sobre os métodos MDCM baseados em utilidade foram comparados, identificando que WSM, WPM e distância  $iq$  -  $norm$  ( $q = 1, 2, \infty$ ) são os três operadores básicos em comum nesses métodos.

Utilizando o algoritmo PoMDS para explorar o espaço de solução quase ideal na busca de um conjunto de diferentes estratégias de investimento para as energias eólica e fotovoltaica, o objetivo do estudo de caso realizado por Buchholz, Gamst e Pisinger (2020) foi apresentar uma abordagem que explora o espaço de soluções quase ótimas, encontrando iterativamente novas soluções que são tão diferentes quanto possível das soluções anteriores com relação às decisões de investimento.

Segundo os autores, a abordagem proporciona a um investidor uma imagem mais completa das diferentes possibilidades de investimento dentro das limitações de custo e o portfólio de soluções com alta diversidade é encontrado dentro do mesmo tempo que as correspondentes soluções não agregadas à solução ideal.

O portfólio compreende no ano de 2021 dois estudos. Liu, Sun, Liu e Wu (2021) estudando o setor fotovoltaico chinês, propuseram uma estrutura de decisão de investimento baseada em uma rede bidimensional que incorpora opções de diferimento visando derivar o tempo de desenvolvimento adequado e potencial de investimento para empresas investidoras em ambiente de mercado incerto e desenvolvimento tecnológico.

A estrutura tem por base a teoria das opções reais. Dentre os resultados, os autores destacam a viabilidade lucrativa do projeto, ressaltando a necessidade do subsídio do governo chinês. Na ausência de subsídios é preferível adiar a decisão. Para o governo, é mais benéfico fornecer subsídios em P&D ao invés dos subsídios de tarifas de eletricidade e subsídios de produção em termos de desenvolvimento sustentável no longo prazo.

Köhler, Sihombing, Duminil, Coors e Schröter (2021) apresentam um aplicativo baseado na web, o qual visualiza resultados de simulação de construção específicos sobre potenciais renováveis e economia para bairros inteiros de cidades, com foco para parque imobiliário. É fundamentado na plataforma de simulação de energia existente, SimStadt, que permite a avaliação detalhada do desempenho energético dos edifícios ou dos potenciais fotovoltaicos nos telhados com base em modelos 3D CityGML.

Uma análise econômica personalizável foi adicionada ao fluxo de pré-trabalho existente para calcular os potenciais fotovoltaicos do telhado. A arquitetura baseada em navegador e a interface gráfica do usuário tornam o aplicativo acessível e intuitivo, sem necessidade de instalação prévia de software.

A avaliação e levantamento de locais adequados para instalação de sistemas de geração distribuída a partir de fontes alternativas deve considerar diversos atributos. Essa lacuna de pesquisa motivou Oliveira, Tótola, Lorentz, Amaral e Silva, Assis, dos Santos e Calijuri (2022) a realizarem um estudo para propor a alocação de áreas potenciais para instalação de empreendimentos de geração por fontes renováveis no Brasil por meio de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) e ferramentas de tomada de decisão baseadas em indicadores financeiros, ambientais e sociais.

Com base na análise financeira, os autores identificaram que a geração de energia eólica apresenta um custo de implementação significativamente alto para a microgeração distribuída devido à escala do projeto pela análise multicritério e pós-processamento, esse tipo de geração não é indicado. A tendência é a implantação de projetos de geração solar e biomassa.

#### **4.3 Investimentos Necessários para a Produção de Energia Renovável no Setor Do Agronegócio**

Quando o produtor de energia também é o consumidor (prossumidor) enfrenta situações adicionais na tomada de decisão antes da instalação, estando entre as principais, a influência dos fatores socioeconômicos, tanto internos quanto externos. Os externos envolvem desde os custos dos equipamentos e instalação, impostos e incentivos locais, tarifa de eletricidade etc. Os fatores internos compreendem perfil de demanda e renda, por exemplo (GIMENO *et al.* 2020).

A decisão de investir em energias renováveis envolve altos custos. No entanto, antes de qualquer gasto desnecessário é preciso realizar uma avaliação de viabilidade técnica para identificar se há possibilidade de instalação dos sistemas no local almejado, considerando a disponibilidade de recursos e infraestrutura necessária. Além disso, é primordial uma avaliação da viabilidade econômica para saber se o investimento é viável financeiramente, envolvendo custos de instalação e manutenção, além da capacidade de geração e/ou economia de energia, como também, os custos operacionais.

Todo e qualquer sistema apresenta vantagens e desvantagens, por isso a importância de um planejamento prévio adequado. Ter conhecimento de quais são as melhores opções de sistemas de geração de acordo com a realidade é primordial, pois esses devem ser alinhados com as necessidades do investidor. Um diagrama geral dos custos envolvidos na análise de viabilidade é apresentado na Figura 13.



Fonte: Autoria própria (2023)

Somado aos custos do projeto técnico, o investidor precisa atentar quais as licenças necessárias para produzir energia renovável. Elas podem variar de acordo com a região e principalmente o país, envolvendo licenças ambientais, licença de autorização para a distribuidora de energia (conexão a rede local), licenças de construção, licenças para a venda da energia (se não for somente autoconsumo), licença de uso do solo, além de certificação e homologação dos equipamentos a serem utilizados. Ressaltando assim, a importância de conhecer a legislação local e identificar as licenças e autorizações exigidas.

No Brasil, a Agência Brasileira de Energia Elétrica (ANEEL) criada pela Lei nº 9.427/1996 e Decreto nº 2.335/1997 é a autarquia que regulamenta a geração distribuída de energia no país e está vinculada ao Ministério de Minas e Energia. É responsável por regular produção, transmissão, distribuição e o comércio de energia elétrica, como também, fiscalizar (diretamente ou mediante órgãos estaduais), colocar em prática as políticas e diretrizes governamentais federais, determinar tarifas, dirimir divergências e desenvolver ações de outorgas de concessão, permissão e autorização relacionadas a energia elétrica (ANEEL, 2023).

A partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode produzir sua própria energia elétrica mediante fontes renováveis interligadas diretamente na rede da distribuidora de energia. Esta norma prevê a microgeração para uma potência de até 75 kVA do padrão de entrada da concessionária e minigeração a partir de 75 kVA (BRASIL, 2023).

De acordo com a ANEEL nº 482/2012, há a possibilidade de injeção de energia própria na rede da distribuidora, permitindo que o consumidor tenha créditos por até 60 meses a partir do mês de geração. Os créditos gerados podem ser abatidos no uso da própria unidade consumidora ou de outras atendidas pela companhia distribuidora de energia do local, mas que estejam no nome do mesmo titular da unidade com sistema de compensação e cadastradas antecipadamente para esse fim. Além disso, a inclusão de unidades consumidoras para usufruir do abatimento de consumo pode ser feita mediante o empreendimento de várias unidades consumidoras ou de geração compartilhada (associações civis, consórcio ou cooperativa). Convém destacar que as tarifas podem variar de modalidade de consumo e região de atuação, por isso a importância de consultar a atualização das mesmas por meio dos canais de comunicação da empresa responsável.

Para solicitar o acesso à rede devem ser necessários alguns documentos de regularidade ambiental perante o órgão responsável, os quais podem variar entre os Estados, assim como, nos entre países. A título de exemplificação, é apresentado o exemplo da Companhia Elétrica Paranaense (COPEL) no Quadro 17.



**Quadro 17 – Documentos comprobatórios de regularidade ambiental**

Tipo de Energia Renovável	Documentos
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Licença de instalação</li> <li>- Licença de operação</li> </ul>
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Licença de instalação</li> <li>- Licença de operação</li> </ul>
Biogás	Declaração de dispensa de licenciamento ambiental estadual ou outro documento a critério do IAP.
Solar	<p>Para potência instalada <math>\geq 5</math> MW:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Declaração de dispensa de licenciamento ambiental estadual ou outro documento a critério do IAP.</li> </ul> <p>Para potência <math>&gt; 1</math> MW instalada sobre telhados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é necessária aprovação comprobatória de licenciamento.</li> </ul> <p>Para potência <math>&gt; 1</math> MW instalada no solo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Declaração de dispensa de licenciamento ambiental estadual ou outro documento a critério do IAP.</li> </ul>

\*Independente da potência da estrutura solar no solo, quando identificado que para sua instalação a área a ser utilizada for superior a 01 ha (hectare) e/ou ocorra remoção de vegetação em estágio secundário médio, avançado ou primário e/ou movimentação de solo, o IAP pode exigir análises ambientais extras, além da possibilidade de alterar o tipo de licenciamento.

**Fonte: COPEL (2023)**

A partir do projeto técnico inicial são apontadas as energias renováveis adequadas. Cada fonte de energia renovável possui características específicas exigindo, portanto, equipamentos distintos que, de acordo com a escolha, podem influenciar na eficiência da produção. Os profissionais capacitados na área poderão indicar as diversas possibilidades disponíveis para investimento.

Na produção de energia solar existem combinações de tecnologias clássicas e modernas, envolvendo tanto inteligência artificial quanto modelos estatísticos. O mercado oferece controladores de operação cada vez mais robustos, possibilitando operações mais eficientes, seguras, estáveis, econômicas e qualidade de energia. Dos equipamentos básicos a serem adquiridos podem ser considerados os painéis solares, inversores, baterias, cabos elétricos e suportes de montagem. Um painel fotovoltaico corresponde a um conjunto de módulos fotovoltaicos. Os módulos são unidades básicas de conversão de energia solar em eletricidade, constituem-se da ligação de células solares feitas de silício cristalino ou outro material semicondutor. A proteção dessas células é feita por uma camada superior de vidro ou plástico resistente e outra camada inferior, de encapsulamento, comumente feita de plástico

resistente à água. Equipamento central de um sistema fotovoltaico, o inversor de frequência converte a energia de corrente contínua para corrente alternada, preparando a energia para atender aos requisitos de qualidade para injeção na rede (JIA; XIE; LU, 2019; PORTAL SOLAR, 2022).

A energia eólica, para ser produzida, necessita de equipamentos como: turbinas eólicas, geradores elétricos, torres, sistemas de controle, cabos e subestações. As turbinas eólicas são as responsáveis por converter a energia cinética, obtida a partir dos ventos, em energia elétrica. Há turbinas pequenas destinadas a fins residenciais e turbinas grandes para fins comerciais. Para transformar a energia mecânica das turbinas em energia elétrica são utilizados os geradores elétricos, sendo a capacidade e o tamanho determinados a partir do tamanho das turbinas. As torres servem para içar as turbinas com intuito da velocidade do vento ser melhor aproveitada, variando de tamanho e design a partir do tamanho e local da turbina. Os sistemas de controle possibilitam que a produção ocorra de forma segura e eficiente, monitorando a qualidade do vento, a posição da turbina e demais parâmetros de relevância que se façam necessários à garantia de segurança. Por fim, para ocorrer o transporte da energia gerada, são utilizados os cabos de transmissão e as subestações (ANAYA-LARA *et al.*, 2011; BURTON *et al.*, 2011).

Para gerar eletricidade a partir da energia da água é necessária uma usina hidrelétrica, podendo ser de três tipos: represa, desvio e fio d'água. A represa necessita de uma barragem para criar um reservatório de água do rio. No desvio parte do rio é canalizada, sem necessidade de barragem. O fio d'água utiliza o fluxo natural sem nenhum represamento, sendo muito utilizada para hidrelétricas de pequena escala, pois envolvem uma pequena barragem (geralmente um açude) e pouca ou nenhuma água armazenada. Uma usina hidrelétrica é composta basicamente por barragem, tubulação, casa de força, turbinas, geradores, transformadores, linha de transmissão e acessórios como comportas, válvulas e demais itens para controlar e direcionar o fluxo da água na usina (OKOT, 2013).

Na produção do biogás é preciso um sistema de digestão anaeróbia a fim de converter resíduos orgânicos em biogás, para isso o biodigestor é o elemento principal desse processo. De acordo com a CiBiogás (2023), os principais modelos de biodigestores são: Biodigestor Lagoa Coberta (BLC), *Biodigestor Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) ou Tanque de Agitação Contínua e Biodigestor em fase sólida

(*dry digestion*). O BLC geralmente é instalado a partir de um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto com material geossintético (PVC, PEAD, entre outros), não possui sistema de aquecimento o que acarreta na variação da temperatura, sendo considerado de baixo nível tecnológico. O CSTR tem como característica principal o sistema de agitação a fim de manter o conteúdo homogêneo, suporta grandes cargas volumétricas além de controlar parâmetros de temperatura, pH e nível de biomassa. Por fim, o Biodigestor em fase sólida é mais comum em processo recarregável onde os resíduos são compostos de 20 a 40% de sólidos. Com isso, o modelo de biodigestor ideal é aquele que supre as necessidades do investidor, considerando previamente a importância de identificar qual resíduo será utilizado.

Como na definição dos equipamentos necessários na produção de energia renovável, o profissional que seleciona esses equipamentos também possui conhecimentos para indicar quais serão as manutenções necessárias no decorrer da produção, estimando quais serão os custos médios aproximados de manutenção de cada sistema instalado. Outros custos que não mencionados, mas que surjam em qualquer uma das fases, seja de planejamento, implantação ou operação, também devem ser considerados na avaliação de viabilidade, como aluguel do local, por exemplo.

#### **4.4 Circularidade na Produção de Energia Renovável**

Circulytics foi identificada como a ferramenta mais adequada para os objetivos desta tese. Ela engloba uma ampla gama de indicadores aplicáveis a diferentes setores, oferecendo especificidade suficiente para ser utilizado de forma prática e efetiva. Isso é importante considerando os fatores que facilitam a transição das empresas para um modelo de negócios circular. A estrutura do Circulytics é elaborada em torno do conceito de EC e dos aspectos que ele representa para a empresa, evitando qualquer sobreposição com outros indicadores (EMF, 2022a).

Além de combinar dados quantitativos com insights qualitativos para avaliar a prontidão de uma empresa em adotar práticas mais circulares nos negócios, considera aspectos como estratégia e funções empresariais. Mediante a pontuação das categorias “Resultados” (o quão circular a empresa é atualmente) e “Facilitadores” (o quão preparada ela está para se tornar mais circular no futuro) auxilia as empresas a explorarem seu potencial circular (MARTINETTI; HAVAS, 2023).

A avaliação é adaptada de acordo com características específicas de cada empresa. Dessa forma, como a presente tese trata do setor de energias renováveis, foram considerados os temas e indicadores relacionados à produção de energia, pertencentes a Categoria 2 – Resultados. Não foram considerados os temas da Categoria 1, a qual é responsável por identificar o potencial de circularidade da empresa no futuro, sendo, portanto, uma avaliação complementar às empresas que já consideram e seguem as questões de EC em sua estratégia de atuação.

Partindo do intuito de identificar a circularidade dos processos de cada energia renovável que se pretende investir, foram considerados os seguintes temas relacionados a Categoria 2 (Resultados):

- Tema 8: Ativos Imobilizados
- Tema 9: Água
- Tema 10: Energia

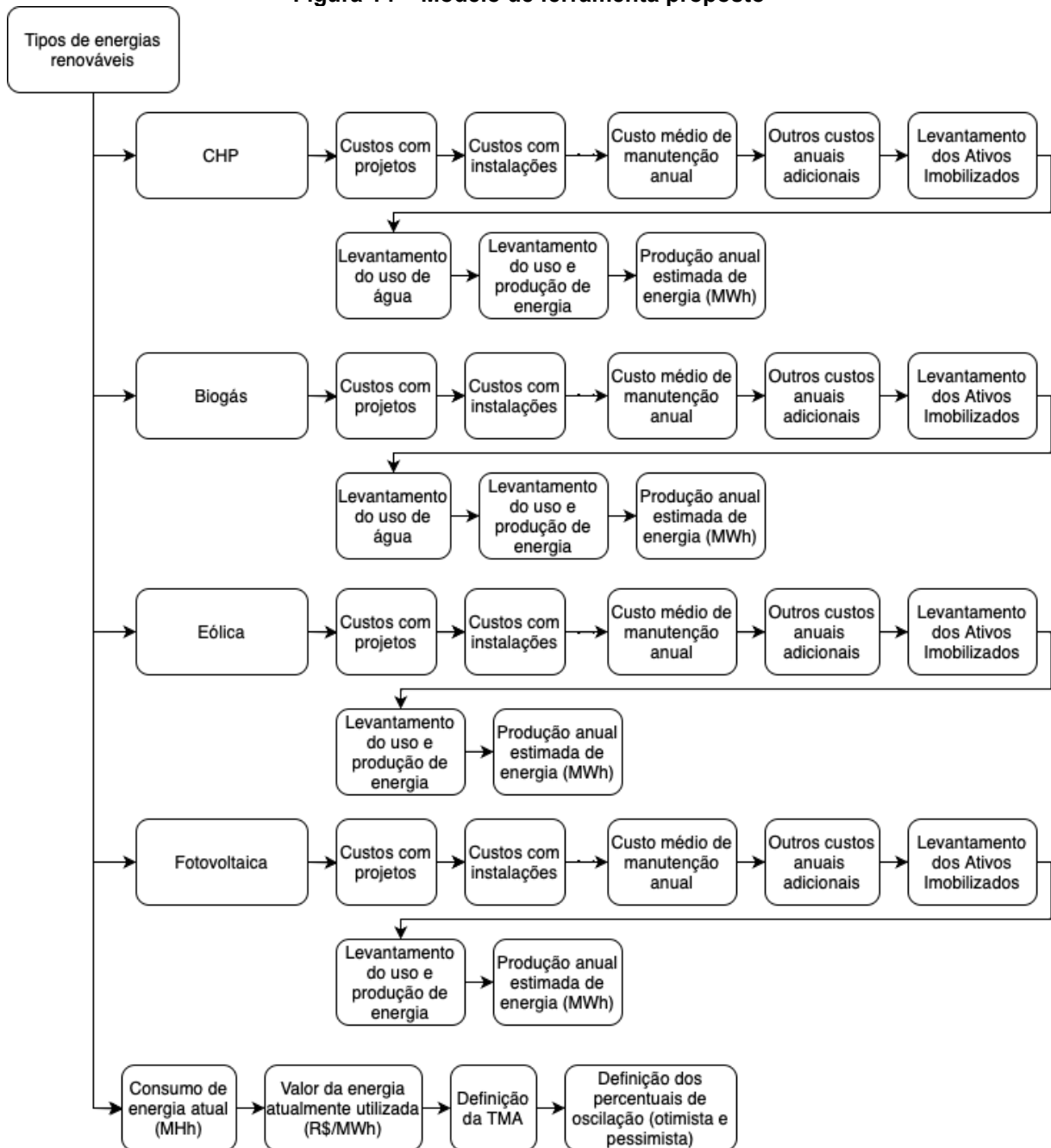
Essa classificação é orientada na própria metodologia da Circulytics, definindo os três temas para empresas produtoras de energia com fluxo de água. Portanto, para os tipos de energia que não possuem fluxo de água, esse tema não é considerado e a ponderação é redistribuída, conforme apresentado na seção 3.2 da metodologia.

Ao final da avaliação, a EMF fornece às empresas uma pontuação alfabética de circularidade, variando de A a E. Cada uma corresponde a determinada faixa numérica do cálculo do tema e de cada categoria. Nesta pesquisa, como o ranking final de circularidade será unificado ao ranking da análise de viabilidade por meio do método TOPSIS, foram utilizados os resultados numéricos, não sendo necessária a pontuação alfabética.

#### **4.5 Proposição do Modelo**

A partir das discussões apresentadas nas seções anteriores é apresentado o modelo de ferramenta de análise de viabilidade econômica com base nos princípios da economia circular (Figura 14).

Figura 14 – Modelo de ferramenta proposto



Fonte: Autoria própria (2023)

Para aplicação do modelo, foram desenvolvidas planilhas no software Excel, conforme apresentadas nos Apêndices desta tese, a fim de facilitar a coleta dos dados na aplicação e posterior análise.

Cada etapa do modelo é apresentada em detalhes na aplicação da ferramenta.

#### 4.6 Aplicação da ferramenta na Empresa Alpha

Conforme apresenta o modelo, os cálculos são feitos individualmente para cada tipo de energia. As informações referentes aos projetos para produção de energia eólica, solar, hidrelétrica e biogás na empresa Alpha, estão apresentados nos Apêndices A, B, C e D, respectivamente. Obteve-se por resultado os valores apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Análise de viabilidade econômica empresa Alpha**

<b>CENÁRIO REALISTA</b>			
<b>ENERGIA</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR (a.a.)</b>	<b>PAYBACK</b>
Eólica	R\$ 12.294.332,06	15,91%	7 anos e 220 dias
Solar	R\$ 7.390.781,71	19,92%	5 anos e 354 dias
Hidrelétrica	R\$ 12.559.476,60	16,98%	7 anos e 40 dias
Biogás	R\$ 1.133.129,37	18,36%	6 anos e 192 dias
<b>CENÁRIO OTIMISTA (+10%)</b>			
<b>ENERGIA</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR (a.a.)</b>	<b>PAYBACK</b>
Eólica	R\$ 19.533.765,27	17,13%	7 anos e 16 dias
Solar	R\$ 9.339.859,88	21,45%	5 anos e 183 dias
Hidrelétrica	R\$ 17.865.424,27	18,27%	6 anos e 203 dias
Biogás	R\$ 1.498.442,31	19,76%	6 anos e 12 dias
<b>CENÁRIO PESSIMISTA (-10%)</b>			
<b>ENERGIA</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR (a.a.)</b>	<b>PAYBACK</b>
Eólica	R\$ 5.054.898,85	14,65%	8 anos e 104 dias
Solar	R\$ 5.441.703,54	18,36%	6 anos e 192 dias
Hidrelétrica	R\$ 7.235.528,94	15,65%	7 anos e 269 dias
Biogás	R\$ 767.816,43	16,92%	7 anos e 48 dias

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O decisor da empresa Alpha definiu a TMA de 13,75% a.a. tendo como base a Taxa Selic 2022. O prazo estimado do projeto foi de 30 anos e a oscilação de preço

anual da energia foi considerada com base no IPCA acumulado 2022, neste caso 5,79%.

Os resultados se mostraram positivos para todas as opções, visto que quando  $VPL > 0$  o projeto é atrativo para investimento. Além disso, nos três cenários, a TIR se apresentou maior que a TMA, isso favorece a decisão pelo investimento.

Vale ressaltar que, de acordo com as informações repassada pela empresa Alpha, os projetos técnicos de cada tipo de ER estimam quantidades distintas de produção de energia, gerando assim, valores diferentes para cada fluxo de caixa. Com isso, o VPL e o Pb auxiliaram na compreensão individual de viabilidade econômica, porém, o ranqueamento foi feito a partir da TIR.

Para fazer a análise de cenários, o percentual de oscilação varia de acordo com as características de cada negócio. Com isso, neste modelo a taxa não é fixa sendo definida pelo decisor, que pode fazer quantas previsões julgar necessárias a partir de diferentes taxas de variação (para mais/otimista e para menos/pessimista).

Portanto, para o caso da empresa Alpha, todas as alternativas de energia se mostraram viáveis. O ranqueamento realista, tendo por base a TIR é:

- 1) Solar – 19,92%
- 2) Biogás – 18,36%
- 3) Hidrelétrica – 16,98%
- 4) Eólica – 15,91%.

Da mesma forma que a análise de viabilidade, a medida de circularidade foi feita individualmente para cada tipo de energia. As informações detalhadas sobre os dados da empresa Alpha são apresentadas nos Apêndices 5, 6, 7 e 8.

Os resultados referentes a circularidade de cada sistema são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 - Circularidade por tipo de energia

ENERGIA HIDRELÉTRICA		ENERGIA BIOGÁS		ENERGIA EÓLICA	
<u>Questão 8a</u>		<u>Questão 8a</u>		<u>Questão 8a</u>	
Pesos	Valor	Pesos	Valor	Pesos	Valor
100%	0%	100%	0%	100%	0%
100%	100%	100%	100%	100%	85%
50%	85%	50%	92,5%	50%	55%
50%	35%	50%	55%	50%	65%
0%	0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%	0%	0%
Média Ponderada 8a	53%	Média Ponderada	58%	Média Ponderada 8a	48%
<u>Questão 8b</u>	25%	<u>Questão 8b</u>	25%	<u>Questão 8b</u>	25%
<b>Média Tema 8</b>	<b>39%</b>	<b>Média Tema 8</b>	<b>41%</b>	<b>Média Tema 8</b>	<b>37%</b>
<u>Questão 9a</u>		<u>Questão 9a</u>		<u>Questão 10a</u>	
Pesos	Valor	Pesos	Valor		100%
100%	5%	100%	5%	<u>Questão 10b</u>	100%
100%	0%	100%	0%	<b>Média Tema 10</b>	<b>100%</b>
100%	0%	100%	0%	<b>ENERGIA SOLAR</b>	
100%	0%	100%	0%	<u>Questão 8a</u>	
100%	95%	100%	95%	Pesos	Valor
0%	0%	0%	0%	100%	0%
0%	0%	0%	0%	100%	100%
Média Ponderada 8a	20%	Média Ponderada 8a	20%	50%	92,5%
<u>Questão 9b</u>	100%	<u>Questão 9b</u>	5%	50%	50%
<u>Questão 9c</u>		<u>Questão 9c</u>		0%	0%
Pesos	Valor	Pesos	Valor	0%	0%
0%	0%	0%	10%	Média Ponderada 8a	57%
25%	100%	25%	30%	<u>Questão 8b</u>	25%
50%	0%	50%	60%	<b>Média Tema 8</b>	<b>41%</b>
75%	0%	75%	0%	<u>Questão 10a</u>	40%
0%	0%	0%	0%	<u>Questão 10b</u>	100%
Média Ponderada 9c	17%	Média Ponderada 9c	25%	<b>Média Tema 10</b>	<b>70%</b>
<u>Questão 9c (cont.)</u>	0%	<u>Questão 9c (cont.)</u>	25%		
<u>Questão 9d</u>		<u>Questão 9d</u>			
Pesos	Valor	Pesos	Valor		
100%	5%	100%	10%		
100%	95%	100%	60%		
0%	0%	0%	30%		
0%	0%	0%	0%		
Média Ponderada	50%	Média Ponderada	35%		
<b>Média Tema 9</b>	<b>37%</b>	<b>Média Tema 9</b>	<b>22%</b>		
<u>Questão 10a</u>	72%	<u>Questão 10a</u>	24%		
<u>Questão 10b</u>	100%	<u>Questão 10b</u>	100%		
<b>Média Tema 10</b>	<b>86%</b>	<b>Média Tema 10</b>	<b>62%</b>		

Fonte: Autoria própria (2023)



Com a média de cada tema foi feita a devida ponderação, conforme apresentam a Tabela 6 e a Tabela 7.

**Tabela 6 – Circularidade das energias hidrelétrica e biogás na empresa Alpha**

Tema	Hidrelétrica		Biogás	
	Peso	Média	Peso	Média
Ativo Imobilizado	10%	39%	10%	41%
Água	10%	37%	10%	22%
Energia	80%	86%	80%	62%
<b>Circularidade</b>	<b>76,4%</b>		<b>55,9%</b>	

Fonte: Autoria própria (2023)

**Tabela 7 - Circularidade das energias eólica e solar na empresa Alpha**

Tema	Eólica		Solar	
	Peso	Média	Peso	Média
Ativo Imobilizado	15%	37%	15%	41%
Energia	85%	100%	85%	70%
<b>Circularidade</b>	<b>90,55%</b>		<b>65,65%</b>	

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos resultados de circularidade obteve-se a seguinte classificação: (1) Eólica - 90,55%; (2) Hidrelétrica - 76,4%; (3) Solar - 65,65%; e, (4) Biogás - 55,9%.

Todos os sistemas de energia apresentaram circularidade acima de 50%. Ressalta-se que eólica e hidrelétrica, que foram os dois sistemas classificados como mais circulares, também são os que possuem a maior produção de energia em MW, o que reforça a posição das mesmas na classificação.

Obtidas as classificações de viabilidade e circularidade, o próximo passo foi fazer a integração mediante aplicação do método TOPSIS (Apêndice I). O resultado final é apresentado no Quadro 19.

**Quadro 19 – Viabilidade econômica circular**

POSIÇÃO	ENERGIA
1	Eólica
2	Hidrelétrica
3	Solar
4	Biogás

Fonte: Autoria própria (2023)

Foi considerado que os dois critérios (viabilidade e circularidade) são de maximização, portanto quanto maior os valores, melhor. Assim, a melhor opção de investimento considerando tanto a questão de viabilidade econômica quanto a circularidade do sistema de energia, é referente à eólica, seguida por hidrelétrica, solar e biogás, respectivamente.

Eólica e solar, além de consideradas as melhores opções, são as energias que melhor atendem as necessidades da empresa Alpha em termos de quantidade de energia produzida.

Destaca-se que essa é uma análise com base nos dados fornecidos pela empresa Alpha, portanto, toda e qualquer mudança nesses dados, principalmente no que corresponde a quantidade produzida em cada tipo de energia pode modificar a posição de cada energia na análise de viabilidade.

No caso da empresa Alpha, as energias solar e biogás possuem dados de produção significativamente mais baixos se comparados à energia eólica e solar, impactando significativamente no resultado e as deixando em posições mais baixas na análise feita.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Os métodos que conduziram a realização desta tese resultaram positivamente para obtenção de uma de literatura sólida, a qual forneceu embasamento teórico e prático no desenvolvimento da tese. A identificação das pesquisas na literatura sobre o tema e dos modelos existentes, possibilitou a caracterização taxonômica do modelo de análise, favorecendo assim, atingir os objetivos propostos e construir uma ferramenta no formato de modelo teórico. Apesar de ser utilizado o setor do agronegócio para desenvolvimento da ferramenta, ela pode ser aplicada a qualquer outro setor, desde que feitos os devidos ajustes, conforme as características específicas.

Como contribuição teórica e impacto acadêmico, a presente tese favorece o conhecimento dos modelos existentes a partir da revisão sistemática da literatura feita e como essa abordagem se apresenta em termos bibliométricos. Também, mostra as possibilidades de ferramentas existentes para identificação da circularidade, seja no contexto de design de produto, processos ou uma empresa como um todo. Além de reforçar a importância do investimento em ER visando mais sustentabilidade ao planeta.

Em complemento, as contribuições práticas e gerenciais estão relacionadas as teóricas. Considerando a interpolação das variáveis energia renovável e economia circular é apresentado ao investidor que investimentos desse âmbito podem trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais, contribuindo também, no alcance dos ODS e gerando mais valor ao negócio.

Os resultados desta tese podem orientar investidores a identificar a melhor opção de investimento em ER. A análise dos sistemas energéticos pode ocorrer tanto individualmente, como apresentado na aplicação da ferramenta, quanto por meio do agrupamento das energias em grupos, a fim de saber qual conjunto atende melhor as expectativas econômicas e circulares.

Além disso, a ferramenta mostrando que é possível investir em ER de maneira circular e ainda obter retornos positivos, favorece o despertar dos governos para o desenvolvimento, e até mesmo, a criação de novos incentivos para os investidores. Principalmente considerando o Brasil, país de realização desta pesquisa e que possuem alto potencial para a produção de ER.

Os impactos econômicos e sociais desta tese podem refletir no futuro, com o incentivo ao investimento em ER e transição para um modelo mais circular de produção.

## **5.2 Limitações da pesquisa**

A exaustão não é um objetivo desta tese, assim, a mesma não está isenta de limitações. Primeiro, na revisão sistemática da literatura, foram considerados os termos mais próximos ao objetivo geral proposto. Portanto, a ferramenta se baseou em considerar apenas modelos de investimento que avaliassem a viabilidade econômica de sistemas energéticos renováveis considerando, possivelmente, a economia circular. Isso pode restringir a consideração de outros paradigmas ou tópicos relacionados ao assunto. No entanto, foram utilizadas publicações de alto impacto, desconsiderando fontes não confiáveis ou literatura cinza, dessa forma, possíveis estudos sobre o assunto podem ter ficado fora da análise.

Dentre as limitações relacionadas diretamente a ferramenta, algumas podem ser consideradas. Os dados de produção de cada tipo de energia foram fornecidos prontos pela empresa, energia solar e biogás possuem uma produção relativamente mais baixa se comparadas à eólica e hidroelétrica. Apesar das ER evitarem as emissões de GEE, esse fator não foi considerado como um indicador na ferramenta. Além disso, por considerar apenas a produção de energia, podem ficar de fora outras unidades de negócio que a empresa possua. Também, a ferramenta faz avaliação se é viável investir ou não, mas não considera a opção da mudança de decisão. Por fim, é considerado somente o autoconsumo e não a possibilidade de venda.

## **5.3 Oportunidade de estudos futuros**

A partir do desenvolvimento desta tese, podem ser feitas algumas recomendações de estudos futuros.

Pesquisas futuras podem incrementar a ferramenta a partir da consideração da venda da energia, gerando também receitas, ao invés somente do custo evitado. A inclusão de opções de financiamento e análise mediante a teoria das opções reais, onde o investidor pode considerar a alternativa de adiar o investimento em determinados momentos, conforme as oscilações do mercado.

As ER evitam a emissão de GEE, assim esse pode ser um terceiro indicador a ser integrado na tomada de decisão. Além de outras técnicas de tomada de decisão e modelos multicritérios de análise das variáveis consideradas.

Replicar o estudo em unidades de negócio de setores diferentes e que possuem quantidades diferentes de produção energética em relação à apresentada nesta tese visando comparações.

Por fim, uma oportunidade singular é a implantação da ferramenta em uma plataforma online, facilitando o acesso e ampliando seu uso e perpetuação.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CEE – 323. 2023.** Disponível em: <https://www.abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos> Acesso em 01 de mai. de 2023.
- ABRELL, J. *et al.* Integrating economic and engineering models for future electricity market evaluation: A Swiss case study. **Energy Strategy Reviews**, v. 25, p. 86-106, 2019.
- ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **90 GW de solar centralizada até 2050.** 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticiasexternas/90-gw-de-solar-centralizada-ate-2050.html>. Acesso: 30/09/2020.
- ANAYA-LARA, O.; JENKINS, N.; EKANAYAKE, J.; CARTWRIGHT, P.; HUGHES, M. **Wind energy generation: modelling and control.** First Edition. Wiley. 2011.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil/agência de energia elétrica.** 2. ed. - Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b). Acesso: 09 de out. de 2020.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil.** 3 ed. 2008.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia eólica. 2018.** Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso: 09 de out. de 2020.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil. parte II: fontes renováveis.** 2020. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf). Acesso: 08 de out. de 2020
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações técnicas: legislação.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=50&idPerfil=2#:~:text=Institucional,6%20de%20outubro%20de%201997>. Acesso: 02 de fev. de 2023.
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. **Fundamentos da administração financeira.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- BADASYAN, N. **Project feasibility analysis economic model for private investments in the renewable energy sector.** Built Environment Project and Asset Management, 2018.
- BARACHO, F. R. A. C. *et al.* Knowledge management in electricity generation strategic decisions: The dawn of the renewable age. In: 2019 International Conference on Smart Grid (icSmartGrid). **IEEE**, 2018. p. 148-157.

- BARACHO, F. R. A. C. *et al.* Mitigating risks by weighting intangibles when investing in renewables. In: 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). **IEEE**, 2018. p. 582-593.
- BELTRÁN-TELLES, A. *et al.* Prospective of wind and solar photovoltaic energy for electricity production. **CienciaUAT**, v. 11, n. 2, p. 105, 2017.
- BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Ano Base 2019**. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf). Acesso: 08 de out. de 2020.
- BIANCHINI, A.; ROSSI, J.; PELLEGRINI, M. Overcoming the main barriers of circular economy implementation through a new visualization tool for circular business models. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 6614, 2019.
- BOTEZAT, E. A. *et al.* An exploration of circular economy practices and performance among Romanian producers. **Sustainability**, v. 10, n. 9, 2018.
- BRASIL. **Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis nº 8 de 30 de janeiro de 2015**. Diário Oficial da União. Brasília, 02 fev. 2015.
- BRASIL. **Agencia nacional de minas e energia: micro e minigeração distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.
- BRUCKNER, T. *et al.*, Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. **Contribution of working group iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. Disponível em: 49 [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter7.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf). Acesso: 05 de out. de 2020.
- BSI. BSIBS 8001:2017. **Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations - guide**. 2017.
- BURTON, T.; *et al.* **Wind energy handbook**. Second Edition. Wiley, 2011.
- BURTT, D.; DARGUSCH, P. The cost-effectiveness of household photovoltaic systems in reducing greenhouse gas emissions in Australia: linking subsidies with emission reductions. **Applied Energy**, v. 148, p. 439-448, 2015.
- BUCHHOLZ, S.; GAMST, M.; PISINGER, D. Finding a portfolio of near-optimal aggregated solutions to capacity expansion energy system models. In: SN Operations Research Forum. **Springer International Publishing**, 2020. p. 1-40.
- C2C – CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE. **Made for tomorrow**. Disponível em: <https://c2ccertified.org>. Acesso em: 15 de mai. de 2023.

CALABRESE, A.; GASTALDI, M.; GHIRON, N. L. Real option's model to evaluate infrastructure flexibility: an application to photovoltaic technology. **International Journal of Technology Management**, v. 29, n. 1-2, p. 173–191, 2005.

CHAIANONG, A.; PHARINO, C. Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 356-372, 2015.

CHOUDHARY, P.; SRIVASTAVA, R. K. Sustainability perspectives - a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 589-612, 2019.

CIBIOGÁS - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **O papel do digestato na recuperação de solos e fixação de carbono**. Disponível em: <https://cibiogas.org/noticias/o-papel-do-digestato-na-recuperacao-de-solos-e-fixacao-de-carbono/#:~:text=Digestato%20é%20o%20material%20que,na%20forma%20de%20part%C3%ADculas%20menores..> Acesso em: 03 de jan. de 2023.

COPEL. **Micro e mini geração: sistema de compensação de energia elétrica**. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/poder-publico/micro-e-mini-geracao>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

CORREIA NETO, J. F. **Elaboração e avaliação de projetos de investimento: considerando o risco**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

DAVOUDPOUR, H.; REZAEI, S.; ASHRAFI, M. Developing a framework for renewable technology portfolio selection: a case study at a R&D center. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4291-4297, 2012.

OLDE, E. M.; *et al.* Assessing the sustainability performance of organic farms in Denmark. **Sustainability**, v. 8, n. 9, p. 957, 2016.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barreiras à implantação de parques eólicos em terra no Brasil. **Política Energética**, v. 128, p. 253-266, 2019.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**. Ellen MacArthur Foundation, 2017. Disponível em: [https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf) Acesso em: 20 de fev. de 2023.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circulytics: introdução ao método**. 2022a. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/5ysbxdo664ve-2z8pc0/@/preview/3>. Acesso em: 15 de mai. de 2023.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circulytics: definições**. 2022b. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/s9g8hnmrhunh-yz08zx/@/preview/3>. Acesso em: 15 de mai. de 2023.



EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circulytics: indicadores**. 2022c. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/1pzbxsbi6hl-ei3tq6/@/#id=1>. Acesso em: 15 de mai. de 2023.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Material Circularity Indicator (MCI)**. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>. Acesso: 15 de mai. de 2023.

ENDER, T. R.; MURPHY, J.; HAYNES, C. L. A framework for portfolio management of renewable hybrid energy sources. **IEEE Systems Journal**, v. 4, n. 3, p. 295-302, 2010.

FERREIRA, H. T. **Energia eólica: barreiras a sua participação no setor elétrico brasileiro**. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo - USP. 2008.

FRIEDLINGSTEIN, P. *et al.* Global carbon budget 2021. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 4, p. 1917-2005, 2022.

GARCIA-BERNABEU, A. A MCDM approach for project finance selection: An application in the renewable energy sector. **Rect@**. 16. 13–26, 2015.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GILL, S. K.; VU, K.; AIMONE, C. Quantifying fossil fuel savings from investment in renewables and energy storage. In: 2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG). **IEEE**, 2017. p. 1-6.

GIMENO, J.Á.; LLERA-SASTRESA, E.; SCARPELLINI, S. A heuristic approach to the decision-making process of energy prosumers in a circular economy. **Appl. Sci.** 10, 6869, 2020.

GOLINSKA, P.; KOSACKA, M.; MIERZWIAK, R.; WERNER-LEWANDOWSKA, K. Grey decision making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, n. 15, p. 28-40, 2015.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial**. Enfoque multicritério. 3ª edição. Editora Atlas. 324p, 2009.

GOMES, P. V., *et al.* Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy Policy**, v. 115, p. 199-206, 2018.

GRUJIĆ, M.; IVEZIĆ, D.; ŽIVKOVIĆ, M. Application of multi-criteria decision-making model for choice of the optimal solution for meeting heat demand in the centralized supply system in Belgrade. **Energy**, Elsevier, vol. 67, p. 341-350, 2014.

HAAS, W. *et al.* How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

- HWANG C.; YOON, K. **Multiple attribute decision making**. Berlin: Springer; 1981.
- HAU, V. B. Analyzing the impact of renewable energy incentives and parameter uncertainties on financial feasibility of a campus microgrid. **Energies**. 11. 2446, 2018.
- HARALAMBOPOULOS, D. A.; POLATIDIS, H. Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. **Renewable Energy**, v. 28, n. 6, p. 961-973, 2003.
- HOBSON, K. Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. **Progress in Human Geography**, p. 1-17, 2015.
- ILBAHAR, E.; CEBI, S.; KAHRAMAN, C. A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making. **Energy Strategy Reviews**, v. 25, p. 18-33, 2019.
- INEEL - INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS LIMPIAS. **La generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles**. 2009. Disponível em: <http://www.ineel.mx/boletin042009/divulga.pdf>. Acesso em: 23 de set. de 2020.
- JANSEN, L. K. C.; SHIMIZU, T.; JANSEN, J. U. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. **Revista Produção Online**, v. 4, n. 4, 2004.
- JIA, Y.; XIE, J.; LU, L. A review of photovoltaic system components and their interactions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 100, 143-157. 2019.
- KAMIYAMA, A. **Cadernos de educação ambiental: agricultura sustentável**. São Paulo: SMA, 2011. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/cea/13agricultura-sustentavel.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2020.
- KARLSSON, T. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Editora da UNIVATES, 2014. 69 p.
- KAHRAMAN, C.; KAYA, İ.; CEBI, S. A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. **Energy**, v. 34, n. 10, p. 1603-1616, 2009.
- KASHANI, H. *et al.* Investment valuation model for renewable energy systems in buildings. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 2, p. 04014074, 2015.
- KILEBER, S.; PARENTE, V. Diversifying the Brazilian electricity mix: Income level, the endowment effect, and governance capacity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1180-1189, 2015.
- KIMURA, H.; SUEN, A. S. Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriteriais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.2, n.1, p.1-18, jan./jun. 2003.

KIM, K.; PARK, H.; KIM, H. Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 918-926, 2017.

KÖHLER, S. *et al.* A multi-scale, web-based application for strategic assessment of pv potentials in city quarters. **SMARTGREENS**. 2021. p. 110-117.

KOZLOVSKI, E.; BAWAH, U. A financial decision support framework for the appraisal of renewable energy infrastructures in developing economies. **International Journal of Energy Sector Management**. 9. 176-203. 2015.

KRUKANONT, P.; TEZUKA, T. Implications of capacity expansion under uncertainty and value of information: the near-term energy planning of Japan. **Energy**, v. 32, n. 10, p. 1809-1824, 2007.

LEE, C. W.; ZHONG, J. Construction of a responsible investment composite index for renewable energy industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 51. 288-303. 2015.

LUORANEN, M.; HORTTANAINEN, M. Feasibility of energy recovery from municipal solid waste in an integrated municipal energy supply and waste management system. **Waste Management & Research**. v. 25, n. 426-39. 2007.

LI, Y.; WU, M.; LI, Z. A real options analysis for renewable energy investment decisions under China carbon trading market. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1817, 2018.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner production**, v. 115, p. 3651, 2016.

LIU, X.; XIAO, X. The optimization of cyclic links of live pig-industry chain based on circular economics. **Sustainability**, v.8, n.1, p. 26, 2015.

LIU, Q. *et al.* An uncertainty analysis for offshore wind power investment decisions in the context of the national subsidy retraction in China: A real options approach. **Journal of Cleaner Production**. 329. 129559. 2021.

LONCAR, D. *et al.* Compound real options valuation of renewable energy projects: the case of a wind farm in Serbia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 354-367, 2017.

MAAß, O.; GRUNDMANN, P. Governing transactions and interdependences between linked value chains in a circular economy: the case of wastewater reuse in Braunschweig (Germany). **Sustainability**, v. 10, n. 4, 2018.

MAEDA, M.; WATTS, D. The unnoticed impact of long-term cost information on wind farms' economic value in the USA - a real option analysis. **Applied Energy**, v. 241, p. 540-547, 2019.

MARTINETTI, I.; HAVAS, J. Measuring circularity at the corporate level. Field Actions Science Reports. **The Journal of Field Actions**, n. Special Issue 23, p. 62-67, 2021.

MASTROCINQUE, E. *et al.* An AHP-based multi-criteria model for sustainable supply chain development in the renewable energy sector. **Expert Systems with Applications**, v. 150, p. 113321, 2020.

MEGLIORINI, E.; VALLIM, M. A. **Administração financeira: uma abordagem brasileira**. Pearson Prentice Hall, 2009.

MEKHILEF, S.; SAIDUR, R.; SAFARI, A. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 1777-1790, 2011.

MI, X.; LIAO, H. Renewable energy investments by a combined compromise solution method with stochastic information. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123351, 2020.

MONLAU, F. *et al.* **A new concept for enhancing energy recovery from agricultural residues by coupling anaerobic digestion and pyrolysis process**. *Applied Energy*, v. 148, p. 32-38, 2015.

MORAGA, G. *et al.* Circular economy indicators: what do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

OKOT, D. K. Review of small hydropower technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 515-520, 2013.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>. Acesso em: 15 de dez. de 2021.

OLIVEIRA, A. C. L. *et al.* Spatial analysis of energy indicators and proposition of alternative generation sources for the Brazilian territory. **Journal of Cleaner Production**, v. 356, p. 131894, 2022.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. **Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers**. John Wiley & Sons, 2010.

PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1513-1524, 2011.

PINJING, H. *et al.* Reference to the circular economy as a guiding principle. **Waste as a Resource**, n. 37, p. 144, 2013.

POHEKAR S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 2263-2278, 2009.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel fotovoltaico**. Blog Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 25 de abr. de 2022.

PUCCINI, A. L. **Matemática financeira: objetiva e aplicada**. 9 ed. São Paulo: Elsevier, 2011.

RABBANI, M. *et al.* Developing a sustainable supply chain optimization model for switchgrass-based bioenergy production: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 827-843, 2018.

RAJAKOVIĆ, N.; BJELIĆ, I. B. Planning of the optimal energy mix for smart cities. In: 2017 IEEE Manchester PowerTech. **IEEE**, 2017. p. 1-6.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de investimento**. Barueri (SP): Editora Manole, 2004.

RESCOM – RESOURCE CONSERVATIVE MANUFACTURING. **What is ResCoM?** Disponível em: <https://www.rescoms.eu>. Acesso em: 15 de mai. De 2023.

SAIDANI, M. *et al.* A taxonomy of circular economy indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 542-559, 2019.

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 590-601, 2017.

SÁENZ, J. *et al.* Electric utility resource planning using Continuous-Discrete Modular Simulation and Optimization (CoDiMoSO). **Computers & Industrial Engineering**. v. 63. 671-694. 2012.

SCHEEPENS, A. E.; VOGTLÄNDER, J. G.; BREZET, J. C. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 257-268, 2015.

SECCO, C. *et al.* Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121003, 2020.

SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.; LAMAS, W. DE Q. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 133-141, 2013.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos avançados**, v. 27, p. 99-116, 2013.

SOKULSKI, C. C. *et al.* Trends in renewable electricity generation in the G20 countries: an analysis of the 1990-2020 Period. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2084, 2022.

SU, B.; *et al.* A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

STRANTZALI, E.; ARAVOSSIS, K. Decision making in renewable energy investments: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 55, p. 885-898, 2016.

TASCA, J. E. *et al.* An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, v. 34, n. 7, p. 631-655. 2010.

TEECE, D. J. **Business models, business strategy and innovation**. Long range planning, v. 43, n. 2-3, p. 172-194, 2010.

TIMILSINA, G. R.; KURDGELASHVILI, L.; NARBEL, P. A. Solar energy: markets, economics and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 449-465, 2012.

TRIANANTAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision making methods**. Springer US, 2000.

TOMASQUIN, M. T. **Energia renovável: hídrica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. TOLMASQUIN, M. T. (coord). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TOMIĆ, T.; SCHNEIDER, D. Circular economy in waste management – Socio-economic effect of changes in waste management system structure. **Journal of Environmental Management**. 267. 110564. 2020.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development**. Disponível em:  
<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso: 21 de jan. de 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Economic research service**. Overview. Washington, 2017. Disponível em:  
<https://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-trade/countriesregions/brazil>. Acesso: 16 set. 2020.

VALLS-VAL, K.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D. Tools for assessing qualitatively the level of circularity of organisations: applicability to different sectors. **Sustainable Production and Consumption**, v. 36, p. 513-525, 2023.

WANG, J. *et al.* Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 9, p. 2263-2278, 2009.

WBA - WORLD BIOENERGY ASSOCIATION. **Global bioenergy statistics**, 2022. Disponível em:  
<https://www.worldbioenergy.org/uploads/221223%20WBA%20GBS%202022.pdf>. Acesso em: 15 de jan. de 2023.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Circular transition indicators (CTI)**. Disponível em:  
<https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Circular-transition-indicators>. Acesso em: 15 de mai. de 2023.

WESTON, J. F.; BRIGHAM, E. F. **Fundamentos da administração financeira**. 10 ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

ZARA, C. *et al.* **The circular economy as a de-risking strategy and driver of superior risk-adjusted returns**. 2021.

## **APÊNDICE A - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA - ENERGIA EÓLICA**



Período do Projeto	
Ano de Início	2024
Ano de Final	2054
<b>Total de anos</b>	<b>30</b>

Investimento Inicial	
Custos com projetos	100000
Custos com instalações	60000000
<b>Total</b>	<b>60100000</b>

TMA a.a.	13,75%
----------	--------

Análise de cenários	
Taxa otimista	10% +
Taxa pessimista	10% -

Cenário Otimista +10%	
VPL	19533765,27
TIR	17,13%
Pb	7a e 16d

Receita média anual	
Custos manutenção anual	1200000
Outros custos anuais	300000
Custos evitados	8000000
<b>Total (R\$)</b>	<b>6500000</b>

Custos evitados	
Custo energia utilizada (R\$/MW)	200
Produção estimada (MW)	40000
<b>Total</b>	<b>8000000</b>

Cenário Realista	
VPL	12294332,06
TIR	15,91%
Pb	7a e 220d

Cenário Pessimista - 10%	
VPL	5054898,853
TIR	14,65%
Pb	8a e 104d

**Fluxo de Caixa REALISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	- 60.100.000,00	-60.100.000,00
1	6.500.000,00	-53.600.000,00
2	6.876.350,00	-46.723.650,00
3	7.274.490,67	-39.449.159,34
4	7.695.683,67	-31.753.475,66
5	8.141.263,76	-23.612.211,90
6	8.612.642,93	-14.999.568,97
7	9.111.314,96	- 5.888.254,01
8	9.638.860,09	3.750.606,08
9	10.196.950,09	13.947.556,17
10	10.787.353,50	24.734.909,67
11	11.411.941,27	36.146.850,94
12	12.072.692,67	48.219.543,61
13	12.771.701,58	60.991.245,19
14	13.511.183,10	74.502.428,28
15	14.293.480,60	88.795.908,88
16	15.121.073,12	103.916.982,01
17	15.996.583,26	119.913.565,26
18	16.922.785,43	136.836.350,69
19	17.902.614,71	154.738.965,40
20	18.939.176,10	173.678.141,50
21	20.035.754,39	193.713.895,89
22	21.195.824,57	214.909.720,46
23	22.423.062,81	237.332.783,27
24	23.721.358,15	261.054.141,43
25	25.094.824,79	286.148.966,21
26	26.547.815,14	312.696.781,36
27	28.084.933,64	340.781.715,00
28	29.711.051,30	370.492.766,30
29	31.431.321,17	401.924.087,47
30	33.251.194,66	435.175.282,13

**Fluxo de Caixa OTIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	- 60.100.000,00	-60.100.000,00
1	7.150.000,00	-52.950.000,00
2	7.563.985,00	-45.386.015,00
3	8.001.939,73	-37.384.075,27
4	8.465.252,04	-28.918.823,23
5	8.955.390,14	-19.963.433,09
6	9.473.907,22	-10.489.525,87
7	10.022.446,45	- 467.079,42
8	10.602.746,10	10.135.666,69
9	11.216.645,10	21.352.311,79
10	11.866.088,85	33.218.400,64
11	12.553.135,40	45.771.536,04
12	13.279.961,94	59.051.497,97
13	14.048.871,73	73.100.369,71
14	14.862.301,41	87.962.671,11
15	15.722.828,66	103.685.499,77
16	16.633.180,44	120.318.680,21
17	17.596.241,58	137.914.921,79
18	18.615.063,97	156.529.985,76
19	19.692.876,18	176.222.861,94
20	20.833.093,71	197.055.955,64
21	22.039.329,83	219.095.285,48
22	23.315.407,03	242.410.692,51
23	24.665.369,10	267.076.061,60
24	26.093.493,97	293.169.555,57
25	27.604.307,27	320.773.862,84
26	29.202.596,66	349.976.459,49
27	30.893.427,00	380.869.886,50
28	32.682.156,43	413.552.042,93
29	34.574.453,29	448.126.496,21
30	36.576.314,13	484.702.810,34

**Fluxo de Caixa PESSIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-60.100.000,00	-60.100.000,00
1	5.850.000,00	-54.250.000,00
2	6.188.715,00	-48.061.285,00
3	6.547.041,60	-41.514.243,40
4	6.926.115,31	-34.588.128,09
5	7.327.137,38	-27.260.990,71
6	7.751.378,64	-19.509.612,07
7	8.200.183,46	-11.309.428,61
8	8.674.974,08	- 2.634.454,53
9	9.177.255,08	6.542.800,55
10	9.708.618,15	16.251.418,71
11	10.270.747,14	26.522.165,85
12	10.865.423,40	37.387.589,25
13	11.494.531,42	48.882.120,67
14	12.160.064,79	61.042.185,46
15	12.864.132,54	73.906.317,99
16	13.608.965,81	87.515.283,81
17	14.396.924,93	101.912.208,74
18	15.230.506,89	117.142.715,62
19	16.112.353,23	133.255.068,86
20	17.045.258,49	150.300.327,35
21	18.032.178,95	168.332.506,30
22	19.076.242,11	187.408.748,41
23	20.180.756,53	207.589.504,95
24	21.349.222,34	228.938.727,28
25	22.585.342,31	251.524.069,59
26	23.893.033,63	275.417.103,22
27	25.276.440,28	300.693.543,50
28	26.739.946,17	327.433.489,67
29	28.288.189,05	355.721.678,72
30	29.926.075,20	385.647.753,92

## **APÊNDICE B - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA - ENERGIA SOLAR**

Período do Projeto	
Ano de Início	2024
Ano de Final	2054
<b>Total de anos</b>	<b>30</b>

Receita média anual	
Custos manutenção anual	200000
Outros custos anuais	50000
Custos evitados	2000000
<b>Total (R\$)</b>	<b>1750000</b>

Investimento Inicial	
Custos com projetos	100000
Custos com instalações	12000000
<b>Total</b>	<b>12100000</b>

Custos evitados	
Custo energia utilizada (R\$/MW)	200
Produção estimada (MW)	10000
<b>Total</b>	<b>2000000</b>

TMA a.a.	13,75%
----------	--------

Cenário Realista	
VPL	7390782
TIR	15,91%
Pb	5a e 354d

Análise de cenários	
Taxa otimista	10% +
Taxa pessimista	10% -

Cenário Otimista +10%	
VPL	9339860
TIR	21,45%
Pb	5a e 183d

Cenário Pessimista - 10%	
VPL	5441704
TIR	18,36%
Pb	6a e 192d

**Fluxo de Caixa REALISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-12100000,00	-12100000,00
1	1750000,00	-10350000,00
2	1851325,00	-8498675,00
3	1958516,72	-6540158,28
4	2071914,84	-4468243,45
5	2191878,70	-2276364,74
6	2318788,48	42423,74
7	2453046,33	2495470,07
8	2595077,72	5090547,79
9	2745332,72	7835880,51
10	2904287,48	10740167,99
11	3072445,73	13812613,72
12	3250340,33	17062954,05
13	3438535,04	20501489,09
14	3637626,22	24139115,31
15	3848244,78	27987360,08
16	4071058,15	32058418,23
17	4306772,42	36365190,65
18	4556134,54	40921325,19
19	4819934,73	45741259,91
20	5099008,95	50840268,86
21	5394241,57	56234510,43
22	5706568,15	61941078,59
23	6036978,45	67978057,04
24	6386519,50	74364576,54
25	6756298,98	81120875,52
26	7147488,69	88268364,21
27	7561328,29	95829692,50
28	7999129,20	103828821,70
29	8462278,78	112291100,47
30	8952244,72	121243345,19

**Fluxo de Caixa OTIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-12100000,00	-12100000,00
1	1925000,00	-10175000,00
2	2036457,50	-8138542,50
3	2154368,39	-5984174,11
4	2279106,32	-3705067,79
5	2411066,57	-1294001,22
6	2550667,33	1256666,11
7	2698350,97	3955017,08
8	2854585,49	6809602,57
9	3019865,99	9829468,56
10	3194716,23	13024184,79
11	3379690,30	16403875,09
12	3575374,37	19979249,45
13	3782388,54	23761638,00
14	4001388,84	27763026,84
15	4233069,25	31996096,09
16	4478163,96	36474260,06
17	4737449,66	41211709,71
18	5011747,99	46223457,71
19	5301928,20	51525385,91
20	5608909,84	57134295,75
21	5933665,72	63067961,47
22	6277224,97	69345186,44
23	6640676,30	75985862,74
24	7025171,45	83011034,19
25	7431928,88	90442963,07
26	7862237,56	98305200,63
27	8317461,12	106622661,75
28	8799042,12	115421703,86
29	9308506,65	124730210,52
30	9847469,19	134577679,71

**Fluxo de Caixa PESSIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-12100000,00	-12100000,00
1	1575000,00	-10525000,00
2	1666192,50	-8858807,50
3	1762665,05	-7096142,45
4	1864723,35	-5231419,10
5	1972690,83	-3258728,27
6	2086909,63	-1171818,64
7	2207741,70	1035923,07
8	2335569,95	3371493,01
9	2470799,45	5842292,46
10	2613858,73	8456151,19
11	2765201,15	11221352,34
12	2925306,30	14146658,64
13	3094681,54	17241340,18
14	3273863,60	20515203,78
15	3463420,30	23978624,08
16	3663952,33	27642576,41
17	3876095,17	31518671,58
18	4100521,08	35619192,67
19	4337941,26	39957133,92
20	4589108,05	44546241,98
21	4854817,41	49401059,39
22	5135911,34	54536970,73
23	5433280,61	59970251,33
24	5747867,55	65718118,88
25	6080669,08	71798787,97
26	6432739,82	78231527,79
27	6805195,46	85036723,25
28	7199216,28	92235939,53
29	7616050,90	99851990,42
30	8057020,25	107909010,67

## **APÊNDICE C - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – PCH**

Período do Projeto	
Ano de Início	2024
Ano de Final	2054
<b>Total de anos</b>	<b>30</b>

Investimento Inicial	
Custos com projetos	500000
Custos com instalações	40000000
<b>Total</b>	<b>40500000</b>

<b>TMA a.a.</b>	<b>13,75%</b>
-----------------	---------------

Análise de cenários	
Taxa otimista	10% +
Taxa pessimista	10% -

Cenário Otimista +10%	
VPL	17865425
TIR	18,27%
Pb	6a e 203d

Receita média anual	
Custos manutenção anual	360000
Outros custos anuais	60000
Custos evitados	5184000
<b>Total (R\$)</b>	<b>4764000</b>

Custos evitados	
Custo energia utilizada (R\$/MW)	200
Produção estimada (MW)	25920
<b>Total</b>	<b>5184000</b>

Cenário Realista	
VPL	12559477
TIR	16,98%
Pb	7a e 40d

Cenário Pessimista - 10%	
VPL	7253529
TIR	15,65%
Pb	7a e 269d

#### Fluxo de Caixa REALISTA

Ano	Fluxo	PB
0	-40500000,00	-40500000,00
1	4764000,00	-35736000,00
2	5039835,60	-30696164,40
3	5331642,08	-25364522,32
4	5640344,16	-19724178,16
5	5966920,08	-13757258,08
6	6312404,76	-7444853,32
7	6677892,99	-766960,33
8	7064543,00	6297582,67
9	7473580,04	13771162,71
10	7906300,32	21677463,03
11	8364075,11	30041538,14
12	8848355,06	38889893,20
13	9360674,82	48250568,01
14	9902657,89	58153225,90
15	10476021,78	68629247,68
16	11082583,44	79711831,12
17	11724265,02	91436096,14
18	12403099,97	103839196,11
19	13121239,45	116960435,56
20	13880959,22	130841394,78
21	14684666,76	145526061,54
22	15534908,96	161060970,50
23	16434380,19	177495350,70
24	17385930,81	194881281,50
25	18392576,20	213273857,70
26	19457506,36	232731364,06
27	20584095,98	253315460,04
28	21775915,14	275091375,18
29	23036740,62	298128115,80
30	24370567,90	322498683,70

#### Fluxo de Caixa OTIMISTA

Ano	Fluxo	PB
0	-40500000,00	-40500000,00
1	5240400,00	-35259600,00
2	5543819,16	-29715780,84
3	5864806,29	-23850974,55
4	6204378,57	-17646595,98
5	6563612,09	-11082983,88
6	6943645,23	-4139338,65
7	7345682,29	3206343,64
8	7770997,30	10977340,94
9	8220938,04	19198278,98
10	8696930,35	27895209,33
11	9200482,62	37095691,95
12	9733190,56	46828882,52
13	10296742,30	57125624,81
14	10892923,68	68018548,49
15	11523623,96	79542172,45
16	12190841,78	91733014,23
17	12896691,52	104629705,76
18	13643409,96	118273115,72
19	14433363,40	132706479,12
20	15269055,14	147975534,26
21	16153133,43	164128667,69
22	17088399,86	181217067,55
23	18077818,21	199294885,76
24	19124523,89	218419409,65
25	20231833,82	238651243,47
26	21403257,00	260054500,47
27	22642505,58	282697006,04
28	23953506,65	306650512,69
29	25340414,68	331990927,38
30	26807624,70	358798552,07

#### Fluxo de Caixa PESSIMISTA

Ano	Fluxo	PB
0	-40500000,00	-40500000,00
1	4287600,00	-36212400,00
2	4535852,04	-31676547,96
3	4798477,87	-26878070,09
4	5076309,74	-21801760,34
5	5370228,08	-16431532,27
6	5681164,28	-10750367,99
7	6010103,69	-4740264,29
8	6358088,70	1617824,40
9	6726222,03	8344046,44
10	7115670,29	15459716,73
11	7527667,60	22987384,32
12	7963519,55	30950903,88
13	8424607,33	39375511,21
14	8912392,10	48287903,31
15	9428419,60	57716322,91
16	9974325,10	67690648,01
17	10551838,52	78242486,53
18	11162789,97	89405276,50
19	11809115,51	101214392,01
20	12492863,30	113707255,30
21	13216200,08	126923455,39
22	13981418,07	140904873,45
23	14790942,17	155695815,63
24	15647337,72	171343153,35
25	16553318,58	187896471,93
26	17511755,72	205408227,65
27	18525686,38	223933914,04
28	19598323,62	243532237,66
29	20733066,56	264265304,22
30	21933511,11	286198815,33

## **APÊNDICE D - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – BIOGÁS**

Período do Projeto	
Ano de Início	2024
Ano de Final	2054
<b>Total de anos</b>	<b>30</b>

Receita média anual	
Custos manutenção anual	60000
Outros custos anuais	12000
Custos evitados	400000
<b>Total (R\$)</b>	<b>328000</b>

Investimento Inicial	
Custos com projetos	20000
Custos com instalações	2500000
<b>Total</b>	<b>2520000</b>

Custos evitados	
Custo energia utilizada (R\$/MW)	200
Produção estimada (MW)	2000
<b>Total</b>	<b>400000</b>

<b>TMA a.a.</b>	<b>13,75%</b>
-----------------	---------------

Cenário Realista	
VPL	1133130
TIR	18,36%
Pb	6a 192d

Análise de cenários	
Taxa otimista	10% +
Taxa pessimista	10% -

Cenário Otimista +10%	
VPL	1498443
TIR	19,76%
Pb	6a e 12d

Cenário Pessimista - 10%	
VPL	767817
TIR	16,92%
Pb	7a e 48d

**Fluxo de Caixa REALISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-2520000	-2520000
1	328000	-2192000
2	346991	-1845009
3	367082	-1477927
4	388336	-1089591
5	410821	-678770
6	434607	-244163
7	459771	215608
8	486392	702000
9	514554	1216554
10	544346	1760900
11	575864	2336764
12	609207	2945971
13	644480	3590451
14	681795	4272246
15	721271	4993517
16	763033	5756549
17	807212	6563761
18	853950	7417711
19	903393	8321105
20	955700	9276805
21	1011035	10287840
22	1069574	11357414
23	1131502	12488916
24	1197016	13685932
25	1266323	14952256
26	1339644	16291899
27	1417209	17709108
28	1499265	19208373
29	1586073	20794446
30	1677906	22472353

**Fluxo de Caixa OTIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-2520000	-2520000
1	360800	-2159200
2	381690	-1777510
3	403790	-1373719
4	427170	-946550
5	451903	-494647
6	478068	-16579
7	505748	489169
8	535031	1024200
9	566009	1590209
10	598781	2188990
11	633451	2822441
12	670127	3492568
13	708928	4201496
14	749975	4951470
15	793398	5744868
16	839336	6584204
17	887933	7472138
18	939345	8411482
19	993733	9405215
20	1051270	10456485
21	1112138	11568624
22	1176531	12745155
23	1244652	13989807
24	1316718	15306525
25	1392956	16699481
26	1473608	18173089
27	1558930	19732019
28	1649192	21381211
29	1744680	23125891
30	1845697	24971588

**Fluxo de Caixa PESSIMISTA**

Ano	Fluxo	PB
0	-2520000,00	-2520000,00
1	295200,00	-2224800,00
2	312292,08	-1912507,92
3	330373,79	-1582134,13
4	349502,43	-1232631,69
5	369738,62	-862893,07
6	391146,49	-471746,58
7	413793,87	-57952,71
8	437752,54	379799,83
9	463098,41	842898,24
10	489911,81	1332810,05
11	518277,70	1851087,75
12	548285,98	2399373,73
13	580031,74	2979405,47
14	613615,58	3593021,05
15	649143,92	4242164,97
16	686729,35	4928894,32
17	726490,98	5655385,30
18	768554,81	6423940,11
19	813054,13	7236994,24
20	860129,97	8097124,21
21	909931,49	9007055,70
22	962616,53	9969672,23
23	1018352,02	10988024,25
24	1077314,60	12065338,85
25	1139691,12	13205029,97
26	1205679,24	14410709,21
27	1275488,06	15686197,27
28	1349338,82	17035536,09
29	1427465,54	18463001,63
30	1510115,79	19973117,43

## **APÊNDICE E - CIRCULARIDADE ENERGIA HIDRELÉTRICA**



### - Ativos Imobilizados

Massa total (em tonelada métrica) para cada categoria de ativo imobilizado que a empresa adquiriu (para posse ou aluguel) no exercício financeiro da análise.

Categorias de Ativos	Massa média	Massa Estimada (toneladas métricas)	Aplicável e Massa estimada não disponível	Não Aplicável
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,10	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	1	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	2,5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	100	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	500	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	15	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,5	( )	( )

\*Não marcar a categoria que não possuir ativos.

Selecione as categorias que apresentam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior:

Categoria	Categoria
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (x)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (x)	

Para cada uma das categorias selecionadas no quadro anterior, forneça o percentual solicitado na tabela a seguir, caso a categoria não foi selecionada, colocar "0".

8a - Qual percentual (por unidades: número de itens ou m <sup>2</sup> para edifícios) dos ativos imobilizados adquiridos no exercício financeiro (considerado na avaliação) foi adquirido com as seguintes abordagens circulares de compra?	
Descrição	%
Ativos de segunda mão	5. <u>0%</u> 6. <u>0%</u>
<p>Ativos novos projetados com as seguintes abordagens de economia circular: Tanto aspectos de design da fase de uso quanto da fase de final de vida funcional são contemplados conforme as seguintes definições:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> <li>● Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</li> </ul>	5. <u>100%</u> 6. <u>100%</u>
<p>Apenas os aspectos da fase de uso são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens de design):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> </ul> <p>Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</p>	5. <u>80%</u> 6. <u>90%</u>
<p>Apenas os aspectos do final da vida funcional são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo de aluguel (por exemplo, ativos que podem ser devolvidos ao final do uso).</li> <li>● Projetado para desmontagem (por exemplo, design modular, conexões reversíveis).</li> <li>● Projetado para refabricação/reforma (por exemplo, design modular).</li> <li>● Design para reciclagem (por exemplo, baixa complexidade de materiais, baixa toxicidade, facilidade de separação de materiais), ao mesmo tempo em que prioriza laços mais estreitos (reuso/redistribuição, restauração/refabricação e reparo) sempre que possível, de forma a usar sistemas de reciclagem existentes que operem na prática e em escala.</li> <li>● Projetado para recirculação de nutrientes atendendo às condições de qualificação (por exemplo, compostagem e digestão anaeróbia), de forma que use sistemas existentes na prática e em escala.</li> </ul>	5. <u>30%</u> 6. <u>40%</u>
Nenhuma das anteriores.	( )
Dados não disponíveis.	( )

Indicar as massas totais, em toneladas métricas, em cada categoria, considerando todos os ativos de instalação, propriedades e equipamentos adquiridos durante ou antes do ano fiscal considerado na avaliação (de propriedade ou arrendados pela empresa durante o ano fiscal). Assim como na parte anterior, quando não tiver a informação da massa total, mas tiver conhecimento da quantidade de itens em cada categoria de ativo, poderá considerar a massa média da tabela a seguir, para estimar a massa total de cada categoria.

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,3	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	2,5	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	200	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	1000	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	30	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	1	( )	( )

Para cada categoria de ativos de instalação, propriedade e equipamento adquiridos durante ou antes do exercício financeiro considerado na avaliação, selecione as categorias de ativos que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior.

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (X)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

A partir dessas categorias assinale a questão a seguir.

<b>8b. A empresa possui políticas ou acordos em vigor para o fim de uso de ativos imobilizados existentes (todos os ativos) que permitem a recirculação na prática?</b>	
<b>Descrição</b>	
( )	Não, e não há políticas ou acordos de recirculação de ativos em
(X)	Há trabalhos em andamento para criar políticas ou acordos de recirculação de ativos para alguns/ todos os ativos.
( )	Sim, temos políticas ou acordos de recirculação de ativos, mas não para todos os ativos.
( )	Sim, e as políticas ou acordos de recirculação abrangem todos os ativos.

( )	Dados não disponíveis.
-----	------------------------

**- Água**

Pergunta	Resposta
1. Qual o volume total anual da demanda de água da empresa (abastecimento e recirculação interna), em megalitros, na empresa?	27000
2. Qual o volume total anual do fluxo de saída de água, em megalitros, da sua empresa?	27000

**9a) Que percentual (em volume) de sua demanda de água anual (conforme declarado na questão 1) vem de cada uma das seguintes fontes:**

%	Descrição
5%	Coleta de precipitação
0%	Uso em cascata de água (uso direto de águas residuais não tratadas de forma segura para o meio ambiente e para a saúde humana)
0%	Água recirculada internamente
95%	Água não potável de áreas de água doce que não são classificadas como tendo estresse hídrico
0%	Água do mar
0%	Nenhuma das opções acima (por exemplo, água potável de fontes de água doce, qualquer água doce proveniente de áreas classificadas como tendo escassez de água)
0%	Dados não disponíveis

**9b) Qual percentual (por volume) da retirada de água foi revisado considerando metas específicas, mensuráveis, realizáveis, relevantes para o conceito da economia circular e com prazo determinado?**

95%

**9c) Qual o percentual dos planos para extração de nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos similares antes de descartar a água usada nas operações?**

0%	Ainda não avaliei
100%	Avaliei, atualmente desenvolvendo planos
0%	Processos em vigor para parte da água utilizada nas operações ou para alguns dos recursos relevantes
0%	Processos em vigor para a maior parte da água utilizada nas operações e para a maior parte dos recursos relevantes
0%	Dados não disponíveis

**9c (continuação) - Com processos em vigor para extrair nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos semelhantes da água usada nas operações, a maioria dos recursos extraídos é posteriormente recirculada (por exemplo, como fertilizante,**

por meio de troca de calor, como recirculação de nutrientes que atende às condições de qualificação, etc.)?	
( )	Sim
(X)	Não
( )	Dados não disponíveis
9d) Que percentual (em volume) da água usada anualmente nas operações sai da infraestrutura* (conforme declarado na questão 2) das seguintes formas: * Incluindo monitoramento e tratamento por parte de terceiros	
5%	Para reuso em outro lugar (como parte da simbiose, em cascata)
95%	Cumprindo todos os seguintes requisitos: - Após o monitoramento do volume - Monitoramento de qualidade, garantindo qualidade igual ou maior do que o ecossistema circundante (saudável), - No caso da água doce original, para um dos seguintes propósitos: - recarregar aquíferos locais/ lençóis freáticos - reabastecer rios/ lagos/ pântanos - fins sociais locais (por exemplo, abastecimento de água potável) - E, no caso da água salgada original, retorno a um corpo de água salgada
0%	Nenhuma das anteriores, incluindo as descargas sem monitoramento da qualidade da água e as descargas de água sem monitoramento de quantidade. A descarga da água doce original em um corpo de água salgada também conta para esta opção de resposta. Inclui também evaporação ou derramamento
0%	Dados não disponíveis

#### - Energia

Pergunta	Resposta (em MWh)*
1. Qual é o uso total anual de energia de suas operações*?	50000
2. Qual é a produção total anual de energia da sua empresa?	35920

\*Inclui todas as formas de combustíveis e eletricidade usadas nas operações da empresa (por exemplo, o que é usado pelos ativos imobilizados).

Pergunta	Resposta (em %)
10a) Que percentual de energia (eletricidade, calor e combustível) das operações (conforme resposta da questão 1) é renovável?	72%
10b) Que percentual da energia produzida (conforme resposta da questão 2) é renovável?	100%

## **APÊNDICE F - CIRCULARIDADE ENERGIA BIOGÁS**

### - Ativos Imobilizados

Massa total (em tonelada métrica) para cada categoria de ativo imobilizado que a empresa adquiriu (para posse ou aluguel) no exercício financeiro da análise.

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,05	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	1	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	2,5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	50	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	250	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	7,5	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,25	( )	( )

\*Não marcar a categoria que não possuir ativos.

Selecione as categorias que apresentam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior:

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (x)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (x)	

Para cada uma das categorias selecionadas no quadro anterior, forneça o percentual solicitado na tabela a seguir, caso a categoria não foi selecionada, colocar "0".

8a - Qual percentual (por unidades: número de itens ou m <sup>2</sup> para edifícios) dos ativos imobilizados adquiridos no exercício financeiro (considerado na avaliação) foi adquirido com as seguintes abordagens circulares de compra?	
Descrição	%
Ativos de segunda mão	5. <u>0%</u> 6. <u>0%</u>
<p>Ativos novos projetados com as seguintes abordagens de economia circular: Tanto aspectos de design da fase de uso quanto da fase de final de vida funcional são contemplados conforme as seguintes definições:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> <li>● Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</li> </ul>	5. <u>100%</u> 6. <u>100%</u>
<p>Apenas os aspectos da fase de uso são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens de design):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> </ul> <p>Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</p>	5. <u>90%</u> 6. <u>95%</u>
<p>Apenas os aspectos do final da vida funcional são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo de aluguel (por exemplo, ativos que podem ser devolvidos ao final do uso).</li> <li>● Projetado para desmontagem (por exemplo, design modular, conexões reversíveis).</li> <li>● Projetado para refabricação/reforma (por exemplo, design modular).</li> <li>● Design para reciclagem (por exemplo, baixa complexidade de materiais, baixa toxicidade, facilidade de separação de materiais), ao mesmo tempo em que prioriza laços mais estreitos (reuso/redistribuição, restauração/refabricação e reparo) sempre que possível, de forma a usar sistemas de reciclagem existentes que operem na prática e em escala.</li> <li>● Projetado para recirculação de nutrientes atendendo às condições de qualificação (por exemplo, compostagem e digestão anaeróbia), de forma que use sistemas existentes na prática e em escala.</li> </ul>	5. <u>50%</u> 6. <u>60%</u>
Nenhuma das anteriores.	( )
Dados não disponíveis.	( )

Indicar as massas totais, em toneladas métricas, em cada categoria, considerando todos os ativos de instalação, propriedades e equipamentos adquiridos durante ou antes do ano fiscal considerado na avaliação.



<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,25	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	1,5	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	150	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	750	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	22,5	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,75	( )	( )

Para cada categoria de ativos de instalação, propriedade e equipamento adquiridos durante ou antes do exercício financeiro considerado na avaliação, selecione as categorias de ativos que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior.

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (X)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

A partir dessas categorias assinale a questão a seguir.

<b>8b. A empresa possui políticas ou acordos em vigor para o fim de uso de ativos imobilizados existentes (todos os ativos) que permitem a recirculação na prática?</b>	
<b>Descrição</b>	
( )	Não, e não há políticas ou acordos de recirculação de ativos em
(X)	Há trabalhos em andamento para criar políticas ou acordos de recirculação de ativos para alguns/ todos os ativos.
( )	Sim, temos políticas ou acordos de recirculação de ativos, mas não para todos os ativos.
( )	Sim, e as políticas ou acordos de recirculação abrangem todos os ativos.

( )	Dados não disponíveis.
-----	------------------------

**- Água**

Pergunta	Resposta
1. Qual o volume total anual da demanda de água da empresa (abastecimento e recirculação interna), em megalitros, na empresa?	1080
2. Qual o volume total anual do fluxo de saída de água, em megalitros, da sua empresa?	1080

<b>9a) Que percentual (em volume) de sua demanda de água anual (conforme declarado na questão 1) vem de cada uma das seguintes fontes:</b>	
%	Descrição
5%	Coleta de precipitação
0%	Uso em cascata de água (uso direto de águas residuais não tratadas de forma segura para o meio ambiente e para a saúde humana)
0%	Água recirculada internamente
0%	Água do mar
95%	Água não potável de áreas de água doce que não são classificadas como tendo estresse hídrico
0%	Nenhuma das opções acima (por exemplo, água potável de fontes de água doce, qualquer água doce proveniente de áreas classificadas como tendo escassez de água)
0%	Dados não disponíveis
<b>9b) Qual percentual (por volume) da retirada de água foi revisado considerando metas específicas, mensuráveis, realizáveis, relevantes para o conceito da economia circular e com prazo determinado?</b>	
5%	
<b>9c) Qual o percentual dos planos para extração de nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos similares antes de descartar a água usada nas operações?</b>	
10%	Ainda não avaliei
30%	Avaliei, atualmente desenvolvendo planos
60%	Processos em vigor para parte da água utilizada nas operações ou para alguns dos recursos relevantes
0%	Processos em vigor para a maior parte da água utilizada nas operações e para a maior parte dos recursos relevantes
0%	Dados não disponíveis
<b>9c (continuação). Com processos em vigor para extrair nutrientes excedentes, metais, produtos químicos, calor e recursos valiosos semelhantes da água usada nas operações, a maioria dos recursos extraídos é posteriormente recirculada (por exemplo, como fertilizante, por meio de troca de calor, como recirculação de nutrientes que atende às condições de qualificação, etc.)?</b>	

(X)	Sim
( )	Não
( )	Dados não disponíveis
<b>9d) Que percentual (em volume) da água usada anualmente nas operações sai da infraestrutura* (conforme declarado na questão 2) das seguintes formas:</b> <i>* Incluindo monitoramento e tratamento por parte de terceiros</i>	
10%	Para reuso em outro lugar (como parte da simbiose, em cascata)
60%	Cumprindo todos os seguintes requisitos: - Após o monitoramento do volume - Monitoramento de qualidade, garantindo qualidade igual ou maior do que o ecossistema circundante (saudável), - No caso da água doce original, para um dos seguintes propósitos: - recarregar aquíferos locais/ lençóis freáticos - reabastecer rios/ lagos/ pântanos - fins sociais locais (por exemplo, abastecimento de água potável) - E, no caso da água salgada original, retorno a um corpo de água salgada
30%	Nenhuma das anteriores, incluindo as descargas sem monitoramento da qualidade da água e as descargas de água sem monitoramento de quantidade. A descarga da água doce original em um corpo de água salgada também conta para esta opção de resposta. Inclui também evaporação ou derramamento
0%	Dados não disponíveis

#### - Energia

Pergunta	Resposta (em MWh)*
1. Qual é o uso total anual de energia de suas operações*?	50000
2. Qual é a produção total anual de energia da sua empresa?	12000

\*Inclui todas as formas de combustíveis e eletricidade usadas nas operações da empresa (por exemplo, o que é usado pelos ativos imobilizados).

Pergunta	Resposta (em %)
10a) Que percentual de energia (eletricidade, calor e combustível) das operações (conforme resposta da questão 1) é renovável?	24%
10b) Que percentual da energia produzida (conforme resposta da questão 2) é renovável?	100%

## **APÊNDICE G – CIRCULARIDADE ENERGIA EÓLICA**

### - Ativos Imobilizados

Massa total (em tonelada métrica) para cada categoria de ativo imobilizado que a empresa adquiriu (para posse ou aluguel) no exercício financeiro da análise.

Categorias de Ativos	Massa média	Massa Estimada (toneladas métricas)	Aplicável e Massa estimada não disponível	Não Aplicável
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,05	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	0,25	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	2,5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	50	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	125	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	5	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,1	( )	( )

\*Não marcar a categoria que não possuir ativos.

Selecione as categorias que apresentam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior:

Categoria	Categoria
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (X)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

Para cada uma das categorias selecionadas no quadro anterior, forneça o percentual solicitado na tabela a seguir, caso a categoria não foi selecionada, colocar "0".

<b>8a - Qual percentual (por unidades: número de itens ou m<sup>2</sup> para edifícios) dos ativos imobilizados adquiridos no exercício financeiro (considerado na avaliação) foi adquirido com as seguintes abordagens circulares de compra?</b>	
Descrição	%
Ativos de segunda mão	5. 0% 6. 0%
Ativos novos projetados com as seguintes abordagens de economia circular: Tanto aspectos de design da fase de uso quanto da fase de final de vida funcional são contemplados conforme as seguintes definições: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reúso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> <li>● Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</li> </ul>	5. 85% 6. 85%
Apenas os aspectos da fase de uso são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens de design): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reúso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> </ul> Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).	5. 50% 6. 60%
Apenas os aspectos do final da vida funcional são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo de aluguel (por exemplo, ativos que podem ser devolvidos ao final do uso).</li> <li>● Projetado para desmontagem (por exemplo, design modular, conexões reversíveis).</li> <li>● Projetado para refabricação/reforma (por exemplo, design modular).</li> <li>● Design para reciclagem (por exemplo, baixa complexidade de materiais, baixa toxicidade, facilidade de separação de materiais), ao mesmo tempo em que prioriza laços mais estreitos (reuso/redistribuição, restauração/refabricação e reparo) sempre que possível, de forma a usar sistemas de reciclagem existentes que operem na prática e em escala.</li> <li>● Projetado para recirculação de nutrientes atendendo às condições de qualificação (por exemplo, compostagem e digestão anaeróbia), de forma que use sistemas existentes na prática e em escala.</li> </ul>	5. 70 % 6. 60 %
Nenhuma das anteriores.	( )
Dados não disponíveis.	( )

Indicar as massas totais, em toneladas métricas, em cada categoria, considerando todos os ativos de instalação, propriedades e equipamentos adquiridos durante ou antes do ano fiscal considerado na avaliação.

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,25	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	1,75	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	150	( )	( )
Máquinas médias	25 t/item	625	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	20	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,6	( )	( )

Para cada categoria de ativos de instalação, propriedade e equipamento adquiridos durante ou antes do exercício financeiro considerado na avaliação, selecione as categorias de ativos que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior.

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves ( )
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas (X)	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

A partir dessas categorias assinale a questão a seguir.

**8b. A empresa possui políticas ou acordos em vigor para o fim de uso de ativos imobilizados existentes (todos os ativos) que permitem a recirculação na prática?**

<b>Descrição</b>	
( )	Não, e não há políticas ou acordos de recirculação de ativos em

<input checked="" type="checkbox"/>	Há trabalhos em andamento para criar políticas ou acordos de recirculação de ativos para alguns/ todos os ativos.
<input type="checkbox"/>	Sim, temos políticas ou acordos de recirculação de ativos, mas não para todos os ativos.
<input type="checkbox"/>	Sim, e as políticas ou acordos de recirculação abrangem todos os ativos.
<input type="checkbox"/>	Dados não disponíveis.

### - Energia

Pergunta	Resposta (em MWh)
1. Qual é o uso total anual de energia de suas operações*?	50000
2. Qual é a produção total anual de energia da sua empresa?	50000

\*Inclui todas as formas de combustíveis e eletricidade usadas nas operações da empresa (por exemplo, o que é usado pelos ativos imobilizados).

Pergunta	Resposta (em %)
10a) Que percentual de energia (eletricidade, calor e combustível) das operações (conforme resposta da questão 1) é renovável?	100%
10b) Que percentual da energia produzida (conforme resposta da questão 2) é renovável?	100%



## **APÊNDICE H – CIRCULARIDADE ENERGIA SOLAR**

### - Ativos Imobilizados

Massa total (em tonelada métrica) para cada categoria de ativo imobilizado que a empresa adquiriu (para posse ou aluguel) no exercício financeiro da análise.

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,05	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	0,25	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	2,5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	0	( )	(X)
Máquinas médias	25 t/item	100	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	20	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	0,8	( )	( )

\*Não marcar a categoria que não possuir ativos.

Selecione as categorias que apresentam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior:

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves (X)
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas ( )	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

Para cada uma das categorias selecionadas no quadro anterior, forneça o percentual solicitado na tabela a seguir, caso a categoria não foi selecionada, colocar "0".

<b>8a - Qual percentual (por unidades: número de itens ou m<sup>2</sup> para edifícios) dos ativos imobilizados adquiridos no exercício financeiro (considerado na avaliação) foi adquirido com as seguintes abordagens circulares de compra?</b>	
Descrição	%
Ativos de segunda mão	6. 0% 7. 0%
Ativos novos projetados com as seguintes abordagens de economia circular: Tanto aspectos de design da fase de uso quanto da fase de final de vida funcional são contemplados conforme as seguintes definições: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> <li>● Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).</li> </ul>	6. 100% 7. 100%
Apenas os aspectos da fase de uso são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens de design): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longevidade: projetado para manutenção, longevidade e durabilidade de forma que incentive o uso mais prolongado na prática e em escala (exemplo, projetado para reparo ou invés de substituição, design atemporal com opções de materiais duráveis) e sem comprometer o tratamento circular no final da vida funcional.</li> <li>● Reusabilidade: projetado para usos múltiplos, de forma a garantir o reuso real na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Reparabilidade: projetado para reparo de tal forma que use os sistemas existentes para reparos na prática e em escala (por exemplo, mercados secundários, sistemas de reuso de embalagens, design padronizado).</li> <li>● Materiais de origem biológica cultivados de forma regenerativa.</li> </ul> Conteúdo reciclado (considerar apenas a porcentagem de massa que é de material reciclado).	6. 95% 7. 90%
Apenas os aspectos do final da vida funcional são contemplados (fornecer o percentual dos ativos imobilizados adquiridos com pelo menos uma das seguintes abordagens): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo de aluguel (por exemplo, ativos que podem ser devolvidos ao final do uso).</li> <li>● Projetado para desmontagem (por exemplo, design modular, conexões reversíveis).</li> <li>● Projetado para refabricação/reforma (por exemplo, design modular).</li> <li>● Design para reciclagem (por exemplo, baixa complexidade de materiais, baixa toxicidade, facilidade de separação de materiais), ao mesmo tempo em que prioriza laços mais estreitos (reuso/redistribuição, restauração/refabricação e reparo) sempre que possível, de forma a usar sistemas de reciclagem existentes que operem na prática e em escala.</li> </ul>	6. 60% 7. 40%

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetado para recirculação de nutrientes atendendo às condições de qualificação (por exemplo, compostagem e digestão anaeróbia), de forma que use sistemas existentes na prática e em escala.</li> </ul>	
Nenhuma das anteriores.	( )
Dados não disponíveis.	( )

Indicar as massas totais, em toneladas métricas, em cada categoria, considerando todos os ativos de instalação, propriedades e equipamentos adquiridos durante ou antes do ano fiscal considerado na avaliação.

<b>Categorias de Ativos</b>	<b>Massa média</b>	<b>Massa Estimada (toneladas métricas)</b>	<b>Aplicável e Massa estimada não disponível</b>	<b>Não Aplicável</b>
Equipamentos de TI	0,01 t/item	0,25	( )	( )
Têxteis	0,001 t/item	0	( )	(X)
Móveis	0,05 t/item	1,75	( )	( )
Prédios	2,5 t/m <sup>2</sup>	5	( )	( )
Máquinas pesadas	50 t/item	100	( )	(X)
Máquinas médias	25 t/item	600	( )	( )
Máquinas leves	0,5 t/item	35	( )	( )
Transporte pesado	1.000 t/item	0	( )	(X)
Transporte de peso médio	500 t/item	0	( )	(X)
Transporte leve	5 t/item	0	( )	(X)
Equipamentos de armazenagem	0,05 t/item	1,3	( )	( )

Para cada categoria de ativos de instalação, propriedade e equipamento adquiridos durante ou antes do exercício financeiro considerado na avaliação, selecione as categorias de ativos que representam pelo menos 80% da estimativa de massa fornecida na tabela anterior.

<b>Categoria</b>	<b>Categoria</b>
1. Equipamentos de TI ( )	7. Máquinas leves (X)
2. Têxteis ( )	8. Transporte pesado ( )
3. Móveis ( )	9. Transporte de peso médio ( )
4. Prédios ( )	10. Transporte leve ( )
5. Máquinas pesadas ( )	11. Equipamentos de armazenagem ( )
6. Máquinas médias (X)	

A partir dessas categorias assinale a questão a seguir.

<b>8b) A empresa possui políticas ou acordos em vigor para o fim de uso de ativos imobilizados existentes (todos os ativos) que permitem a recirculação na prática?</b>	
<b>Descrição</b>	
( )	Não, e não há políticas ou acordos de recirculação de ativos em
(X)	Há trabalhos em andamento para criar políticas ou acordos de recirculação de ativos para alguns/ todos os ativos.
( )	Sim, temos políticas ou acordos de recirculação de ativos, mas não para todos os ativos.
( )	Sim, e as políticas ou acordos de recirculação abrangem todos os ativos.
( )	Dados não disponíveis.

#### - Energia

<b>Pergunta</b>	<b>Resposta (em MWh)**</b>
1. Qual é o uso total anual de energia de suas operações*?	50000
2. Qual é a produção total anual de energia da sua empresa?	20000

\*Inclui todas as formas de combustíveis e eletricidade usadas nas operações da empresa (por exemplo, o que é usado pelos ativos imobilizados).

\*\* Pode ser utilizado um conversor de Unidades e Combustíveis para converter o total de energia para Mwh.

<b>Pergunta</b>	<b>Resposta (em %)</b>
10a) Que percentual de energia (eletricidade, calor e combustível) das operações (conforme resposta da questão 1) é renovável?	40%
10b) Que percentual da energia produzida (conforme resposta da questão 2) é renovável?	100%

## **APÊNDICE I – APLICAÇÃO MÉTODO TOPSIS**

**Matriz**

	<b>Viabilidade</b>	<b>Circularidade</b>
Solar	19,92	65,65
Biogás	18,36	55,9
Hidrelétrica	16,98	76,4
Eólica	15,91	90,55

**Normalização**

	<b>Viabilidade</b>	<b>Circularidade</b>
Solar	396,8064	4309,9225
Biogás	337,0896	3124,81
Hidrelétrica	288,3204	5836,96
Eólica	253,1281	8199,3025
Soma	1275,3445	21470,995

	<b>Viabilidade</b>	<b>Circularidade</b>
Solar	0,557796233	0,448031599
Biogás	0,514113396	0,381492252
Hidrelétrica	0,475470886	0,521395494
Eólica	0,445508939	0,617962853

**Ponderação da matriz**

	<b>0,5 Viabilidade</b>	<b>0,5 Circularidade</b>
Solar	0,278898	0,2240158
Biogás	0,257057	0,19074613
Hidrelétrica	0,237735	0,26069775
Eólica	0,222754	0,30898143
A*	0,278898	0,30898143
A-	0,222754	0,19074613

**Cálculo da distância ideal**

	<b>0,5 Viabilidade</b>	<b>0,5 Circularidade</b>	<b>Soma</b>	<b>Raiz da soma (Si*)</b>
Solar	0	0,00721916	0,007219	0,084965627
Biogás	0,000477	0,01397959	0,014457	0,120235742
Hidrelétrica	0,001694	0,00233131	0,004026	0,063448242
Eólica	0,003152	0	0,003152	0,056143647

**Cálculo da distância anti-ideal**

	<b>0,5 Viabilidade</b>	<b>0,5 Circularidade</b>	<b>Soma</b>	<b>Raiz da soma (Si-)</b>
Solar	0,003152	0,00110687	0,004259	0,065260863
Biogás	0,001177	0	0,001177	0,034302228
Hidrelétrica	0,000224	0,00489323	0,005118	0,071537814
Eólica	0	0,01397959	0,01398	0,1182353

**Cálculo do coeficiente de proximidade**

	<b>Si*</b>	<b>Si-</b>	<b>(Si* + Si-)</b>	<b>Ci</b>	<b>Ranking</b>
Solar	0,084966	0,06526086	0,150226	0,434416481	3
Biogás	0,120236	0,03430223	0,154538	0,221966343	4
Hidrelétrica	0,063448	0,07153781	0,134986	0,529964471	2
Eólica	0,056144	0,1182353	0,174379	0,678036552	1