

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GUILHERME CANDIA DONAT**

***FRAMEWORK* DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO PARA INVESTIMENTOS EM  
ECONOMIA CIRCULAR**

**PORTO ALEGRE**

**2023**

**GUILHERME CANDIA DONAT**

***FRAMEWORK DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO PARA INVESTIMENTOS EM  
ECONOMIA CIRCULAR***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na  
área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Joana Siqueira de Souza, Dra.

**PORTO ALEGRE**

**2023**

**GUILHERME CANDIA DONAT**

***FRAMEWORK DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO PARA INVESTIMENTOS EM  
ECONOMIA CIRCULAR***

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Joana Siqueira de Souza, Dra.**  
Orientador PMPEP/UFRGS

---

**Prof. Ricardo Augusto Cassel, Ph.D.**  
Coordenador PMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Professor Álvaro Gehlen Leão, Dr. (Escola Politécnica /PUCRS)

---

Professor Francisco José Kliemann Neto, Dr. (PPGEP /UFRGS)

---

Professora Istefani Carísio De Paula, Dra. (PMPEP/UFRGS)

*"Success is not final; failure is not fatal: it is the courage to continue that counts."*

Winston Churchill

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha esposa Franciele e ao nosso fiel escudeiro Xerife pela compreensão com o tempo que me ausentei aos finais de semanas e noites para conciliar atividades profissionais em paralelo ao Mestrado. O apoio de vocês foi fundamental para tornar esta conquista possível.

Também, um agradecimento especial a Prof<sup>a</sup>. Dra. Joana Siqueira de Souza, pelo compartilhamento de seus conhecimentos e por exercer brilhantemente o seu papel como docente e orientadora. Um agradecimento também especial ao Prof. Dr. Francisco Kliemann pelas brilhantes aulas de Engenharia Econômica, sua metodologia de ensino e por recomendar a Prof. Joana para a continuidade da minha trajetória no programa.

Ao PMPEP e a UFRGS, por proporcionar um programa tão único e em tempos de pandemia. Os ensinamentos ficarão para a eternidade. Reconheço que não fui um candidato tradicional desde a entrevista, por não residir no Brasil. Ter o programa de Mestrado durante um período de incerteza em minha vida pessoal contribuiu para a minha saúde mental, por mais estranha que esta afirmação possa parecer.

Por fim, agradeço a minha família por sempre me motivar a sair da zona de conforto e me proporcionar toda a base para integrar um programa como o PMPEP. Em especial, um agradecimento ao meu avô Elio Candia, que nos deixou durante a realização do mestrado e que em função da pandemia não pude me despedir. Muito obrigado por todo o tempo dedicado na minha educação e por servir de inspiração.

## RESUMO

Este trabalho possui como tema central a economia circular como modelo econômico alternativo ao linear, sendo frequentemente comunicada como um dos objetivos estratégicos de organizações públicas e privadas, e parte de acordos globais como o Acordo de Paris. Apesar dos compromissos públicos firmados na sociedade, ainda se debate conceitualmente o que é a economia circular. Tal mudança estrutural nas operações requer investimento de capital, que tradicionalmente usam como base o gerenciamento de projetos para a implementação de um determinado escopo. Este grupo de projetos que transformarão operações lineares em circulares serão priorizados em função de restrições específicas do ambiente de negócios. Assim, o objetivo principal deste trabalho é propor um *framework* genérico de seleção de investimentos que possuam como objetivo a implementação da estratégia corporativa de economia circular através da neutralização das emissões de carbono. Com o uso do *Design Science Research*, apresenta-se uma revisão teórica das áreas de conhecimento necessárias para o *design* e demonstração de um artefato genérico. Como resultado deste trabalho, recomenda-se a criação de um portfólio específico para os investimentos em economia circular, criando um alinhamento maior entre objetivos estratégicos e projetos. Uma vez identificados riscos genéricos de projeto e específicos do contexto da economia circular, o *framework* prevê 3 iterações de priorização, propondo: recomendação de investir; realizar avaliações adicionais; ou cancelar um projeto. O ciclo inicia com a aplicação do MAUT como método de decisão multicriterial envolvendo aspectos econômicos, como: VPL; TIR e *Payback*; e de sustentabilidade através da metodologia LCA. Após, incorpora-se os riscos específicos, e por fim aplica-se a programação matemática para incorporação de restrições orçamentárias. A demonstração do artefato demonstra o potencial de sua aplicação para decisões de investimento em projetos de capital no contexto da economia circular, servindo como base para customização em aplicações específicas.

**Palavras-chave:** economia circular; gerenciamento de portfólio; análise de investimentos; decisão multicriterial; gerenciamento de riscos; sustentabilidade.

## ABSTRACT

The following work intends to explore the debate of the circular economy being an alternative economic model to the linear economy since it's been communicated as one of the main strategic goals of private and public organizations and being part of global pacts such as the Paris Agreement. Despite the public commitments in society, there is still a debate on what Circular Economy is. Such structural changes in the existing Operations require capital investments, which use project management as a foundation. The group of projects that intends to reshape the Operations for this purpose will be prioritized based on existing business constraints. Therefore, the main goal of this thesis is to propose a framework for assessing capital projects that aim to progress organizations toward their strategic sustainability targets, such as greenhouse gas neutralization. Through Design Science Research, the following work presents a literature review of the knowledge areas required to design and demonstrate a generic artifact. As a result, developing a specific portfolio to assess circular economy capital investments is recommended, increasing the strategic alignment between projects and sustainability targets. Once the generic project and circular economy-specific risks are appraised, the frameworks run three prioritization steps and propose firm recommendations for whether to invest, place on hold, or cancel a project. The cycle starts with applying MAUT as a multicriteria decision tool to balance economic criteria such as NPV, Payback, and IRR, and sustainability metrics measured by the Life Cycle Analysis methodology. Then it incorporates specific risks to the ranking, and lastly, it utilizes mathematical programming to adjust the portfolio to financial constraints. The artifact demonstration proves its potential to be applied in circular economy capital investment decision-making and as a foundation for further development under more specific scenarios of different organizations.

**Keywords:** circular economy; project portfolio; capital investments; multicriteria decision; risk management; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Convergência de conceitos proposta por esta dissertação.....	21
Figura 2 — <i>Framework</i> original da Economia Circular. ....	27
Figura 3 — Definições dos <i>Frameworks</i> de 3R, 4Rs e 9Rs.....	29
Figura 4 — Barreira para o modelo de negócio circular. ....	32
Figura 5 — <i>Framework</i> de aplicação do LCA. ....	34
Figura 6 — Apresentação de resultado de estudo de LCA.....	37
Figura 7 — Portfólio e a conexão com objetivos estratégicos da organização. ....	38
Figura 8 — Processo de Gerenciamento de Riscos.....	47
Figura 9 — Projeto de pesquisa em <i>Design Science Research</i> . ....	54
Figura 10 — Etapas do <i>Design Science Research</i> .....	54
Figura 11 — Etapas do Projeto de Pesquisa do <i>Framework</i> de EC. ....	56
Figura 12 — Agrupamento de fatores de risco.....	64
Figura 13 — Precificação de Carbono. ....	68
Figura 14 — Detalhamento dos critérios de seleção de portfólio. ....	72
Figura 15 — Iterações na seleção de portfólio para redução de incerteza. ....	75
Figura 16 — <i>Framework</i> de Seleção de Portfólio de EC.....	77
Figura 17 — Resultado de blocos de seleção após Iteração 1.....	88
Figura 18 — Apresentação dos blocos de decisão após Iteração 2.....	90
Figura 19 — Resultado das 3 Iterações de seleção de portfólio.....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Organizações com metas para a redução de gases de efeito estufa.....	17
Quadro 2 — Métodos para avaliação do artefato.....	55
Quadro 3 — Fatores relevantes na decisão de investimento em Economia Circular.....	60
Quadro 4 — Classificação em blocos a partir da pontuação obtida nas iterações.....	79
Quadro 5 — Blocos após incorporação de riscos específicos e de portfólio.....	80
Quadro 6 — Detalhamento do resultado obtido ao final da Iteração 1.....	84
Quadro 7 — Detalhamento do resultado obtido ao final da Iteração 1.....	86
Quadro 8 — Detalhamento da análise de aspectos de sustentabilidade.....	87
Quadro 9 — Aplicação da matriz MAUT prevista na Iteração 1.....	88
Quadro 10 — Detalhamento da aplicação de riscos específicos na Iteração 2.....	89
Quadro 11 — Avaliação de riscos específicos previstos na Iteração 2.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Matriz MAUT da 1ª Iteração. ....	78
Tabela 2 — Exemplo de planejamento financeiro de portfólio (em milhões). ....	81
Tabela 3 — Projetos para apreciação na demonstração do artefato (em milhões).....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS

AACE	American Association of Cost Engineering
AHP	Analytical Hierarchy Process
DS	Design Science
DSR	Design Science Research
EC	Economia circular
ELECTRE	ÉLimination Et Choix Traduisant la Réalité
ERM	Enterprise Risk Management
IOT	Internet of Things
KPI	Key performance Indicator
LCA	Life Cycle Analysis
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
MAUT	Multi-attribute Utility Theory
PPO	Programação por Objetivos
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
ROI	Return on Investment
SMC	Simulação de Monte Carlo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA .....	18
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO .....	19
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	20
1.4	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	21
1.5	DELIMITAÇÕES .....	22
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1	ECONOMIA CIRCULAR .....	25
<b>2.1.1</b>	<b><i>Life Cycle Assesment</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Estudos aplicados à EC .....</b>	<b>35</b>
2.2	GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS.....	37
<b>2.2.1</b>	<b>Decisões Multicriteriais.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Programação matemática para seleção de investimentos.....</b>	<b>44</b>
2.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E DE RISCOS EM INVESTIMENTOS .....	46
<b>2.3.1</b>	<b>Métodos de análise econômico-financeira .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Métodos Probabilísticos .....</b>	<b>50</b>
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE REFERENCIAL TEÓRICO.....	52
<b>3</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>53</b>
3.1	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i> .....	53
3.2	MÉTODO DE TRABALHO.....	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1	DESIGN E DESENVOLVIMENTO .....	59
4.2	PROPOSTA DE <i>FRAMEWORK</i> .....	64
<b>4.2.1</b>	<b>Análise de viabilidade Econômico-financeira .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise de Riscos Específicos.....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Estruturação da decisão multicriterial.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Apresentação do <i>ranking</i> de decisão .....</b>	<b>74</b>
<b>4.2.5</b>	<b><i>Framework</i> de seleção de Portfólio.....</b>	<b>76</b>
4.3	DEMONSTRAÇÃO DO ARTEFATO .....	82

4.4	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....	93
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
	REFERÊNCIAS .....	100
	APÊNDICE A Escalas Incorporadas na Iteração 2 .....	109

## 1 INTRODUÇÃO

Durante anos, a humanidade conduziu a vida na Terra com o senso de infinito, de que sempre haveria um outro lugar para migrar e explorar. Economistas, em particular, têm dificuldade em reconhecer que o meio ambiente deve ser considerado um circuito fechado, e não aberto. Em um circuito fechado, todas as saídas de um processo estão conectadas a entradas de outros processos (BOULDING, 1966).

Ao avaliar atividades econômicas ignorando os aspectos ambientais, a economia aparenta possuir um fluxo linear (PEARCE; TURNER, 1990). O atual fluxo econômico baseia-se na extração de um recurso finito, produção, consumo e descarte. Alguns exemplos podem ser ilustrados, como a produção de roupas, tecidos e plásticos. Estima-se que 60% do total de roupas e tecidos produzidos no mundo sejam destinados para aterro sanitário ou incineração apenas 1 ano após a sua fabricação. Metade de toda a produção de plástico no mundo será utilizada apenas uma única vez antes do descarte (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). Percebe-se que o gerenciamento de resíduos é, normalmente, associado diretamente ao descarte de material através da incineração ou aterro sanitário. São os formatos mais praticados no mundo, gerando uma perda inestimável de recursos e severo impacto ao meio ambiente (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Recentemente, uma nova abordagem reconhece o potencial de recuperar o valor existente em produtos descartados e prevenir o impacto ambiental, com o potencial de criação de novas operações para separação, tratamento e reinserção destes materiais na cadeia produtiva (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). A denominação circular é oposição à economia linear, que depende de recursos naturais infinitos para o seu funcionamento (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

A Economia Circular (EC) transforma bens que estão no final de seu ciclo de vida em novos recursos para a cadeia de produção, formando então um circuito fechado em ecossistemas industriais e minimizando a geração de resíduos. Através dela, é possível transformar a lógica econômica do mundo do formato de produção de bens em massa para a suficiência: reuso dos itens que possam ser reutilizados; reciclagem do que não puder ser reutilizado; reparo de bens danificados; e remanufatura do que não puder ser reparado (STAHEL, 2016). Economistas dedicam um significativo tempo para estudar o equilíbrio do sistema econômico, como o balanço entre consumo e demanda no mercado financeiro, de bens de consumo e no mercado de trabalho. Ao estabelecer uma relação entre meio ambiente

e economia, fica evidente a necessidade de dedicar tempo para o estudo desta outra interação (PEARCE; TURNER, 1990).

Os princípios econômicos de uma sociedade em circuito fechado são diferentes, quando a premissa de que se vive em um planeta infinito é invalidada (BOULDING, 1966). A narrativa de Boulding levou a avaliar o planeta como um sistema de economia fechada, em que a conexão entre economia e meio ambiente é estabelecida (PEARCE; TURNER, 1990). O modelo proposto pela EC busca superar o status de um modelo de tendência atual e ser uma inspiração para redesenhar padrões econômicos de aumento de eficiência da produção, com o uso, reuso e troca de recursos – fazer mais com o mesmo. Para tal, os processos de produção e consumo precisam ser estruturados de forma que cada processo seja capaz de se beneficiar com a interação proposta (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

No entanto, a disseminação da EC é prejudicada pela existência de diferentes abordagens (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Estas diferentes abordagens tornam complexo o acúmulo de conhecimento na área e o progresso a partir de conceitos já consolidados (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

Um pré-requisito para o sucesso do modelo proposto pela EC é o avanço em tecnologia de separação química e metalúrgica de materiais, tornando a reciclagem possível em nível atômico (STAHEL, 2016). Apesar desta necessidade, o desenvolvimento tecnológico não é identificado como uma barreira crítica para a adoção de modelos de EC (KIRCHHERR *et al.*, 2018).

Investimentos realizados para manutenção da cadeia de valor produtiva existente são realizados constantemente. A evolução para um modelo econômico circular gera riscos para a lucratividade das operações, reduzindo o incentivo para adotar um novo modelo (GULDMANN; HUULGAARD, 2020). Por outro lado, o risco de permanecer em um modelo econômico linear é a perda de oportunidade de desenvolvimento de valor econômico a partir do modelo circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). A falta de estratégias de implementação de EC e compartilhamento de experiências atrasa sua difusão e aumenta riscos em futuros investimentos (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

Na avaliação de definições de EC, identifica-se que estudos sobre o tema ignoram a perspectiva do consumidor e o seu papel fundamental na circularidade (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). A implementação da EC é prejudicada pela falta de consenso em como medir a circularidade, e pela diversidade de métodos, ferramentas e critérios para avaliar impactos em nível de produtos e organizações (ROOS LINDGREEN *et al.*, 2021).

O método do *Life Cycle Assessment* (LCA) não somente avalia a eficiência de uma estratégia de EC, o seu impacto no meio ambiente, e a eficiência com que os recursos estão sendo aplicados, como também auxilia a aumentar o nível de circularidade pela visualização de como recursos migram ao longo do ciclo de vida (ROOS LINDGREEN *et al.*, 2021). A utilização de matéria-prima renovável tem um papel importante na EC. No entanto, ainda é necessário evoluir na metodologia de avaliação destas iniciativas, principalmente na elaboração da análise de LCA (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

Tecnologias emergentes poderão originar novos problemas ambientais, dificultando a avaliação ampla de suas características. Algumas destas características podem não estar em evidência, ou simplesmente não aparentar relevância com o conhecimento atual (ARVIDSSON *et al.*, 2018). Quanto mais abaixo um produto se encontra na cadeia de produção, maior será a influência dos seus fornecedores de matéria-prima na sua sustentabilidade (SHELDON, 2018). A quantificação de benefícios econômicos e sociais em estudos de LCA e o seu balanço com as métricas de sustentabilidade é um desafio em aberto em termos de integração. É necessário avançar através de estudos que combinem estas métricas e sua interação, ao contrário de simplesmente focar em métricas ambientais. À medida que o LCA passe a contar com um maior número de ferramentas e praticantes, espera-se uma redução de sua complexidade e na duração da análise (ROOS LINDGREEN *et al.*, 2021).

Em pesquisa sobre barreiras para um modelo de negócios circular, Guldman *et al.* (2020) indicaram que o ambiente regulador a nível institucional e de mercado é uma barreira significativa a ser superada. O tipo de atividade proposto pela EC requer mão de obra intensiva, ao promover o reuso, reutilização e reciclagem de bens, se comparada à fabricação de novos produtos. Como solução para esta barreira, a revisão da tributação dessas atividades poderia ser revista. Ao manusear bens considerados como resíduos surgem também barreiras logísticas em função da classificação do material como algo a ser descartado. Este cenário traz baixo incentivo às empresas no uso de materiais reciclados, já que estes são geralmente mais caros e complexos de gerenciar.

O fluxo de valores em processos produtivos não pode ser completamente medido visto que há entradas e saídas que não são precificadas, e conseqüentemente não possuem valor econômico. Por exemplo, a captação e o descarte de resíduos de água de rios, lagos e oceanos, e a sua capacidade de absorção destes resíduos. Estas funções não possuem tradicionalmente um valor econômico atribuído (AYRES; KNEESE, 1969). Os materiais tendem a ser utilizados de forma entrópica na economia, sendo dissipados ao longo da cadeia de utilização.

Além dos materiais, há uma categoria completamente distinta e não passível de ações de reciclagem: recursos energéticos. Mesmo que seja possível capturar o dióxido de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis, não será possível criar um combustível a partir desta captura (PEARCE; TURNER, 1990).

Apesar das barreiras e desafios identificados, organizações apresentam compromissos públicos com a sociedade em adotar princípios de EC. Estes princípios são mais facilmente identificáveis através da divulgação de metas para a neutralização de suas emissões de gases de efeito estufa. Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris foi estabelecido entre 196 nações com o objetivo de limitar o aquecimento global em até 2°C, mas preferencialmente 1,5°C em comparação com os níveis pré-industriais (UNFCCC, 2016). É estimado que a atividade humana causou aproximadamente 1,0°C de aquecimento global. Na taxa atual, é estimado que este valor cresça para 1,5°C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2018).

Uma organização estabelece objetivos estratégicos, que devem ser compostos por etapas mensuráveis, para progredir ao encontro de sua Visão. A execução destes componentes é realizada através de um portfólio, que tem como função a materialização destas etapas mensuráveis (PMI, 2017a). O Acordo de Paris inclui a comunicação de planos nacionais de ação para limitação do aquecimento global, sendo estes planos atualizados a cada 5 anos e com progressão das ambições. As ações não são limitadas à neutralização das emissões, mas também o combate ao desmatamento e reflorestamento de zonas previamente desmatadas para aumento da capacidade de absorção (ROGELJ *et al.*, 2016; UNFCCC, 2016).

Muitos países, regiões, cidades, comunidades e organizações demonstraram interesse em atender às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris. Porém, a prática de estabelecer compromissos públicos ainda é limitada. É preciso aumentar o engajamento entre instituições para o progresso em relação às métricas estabelecidas (IPCC, 2018).

O mapeamento das emissões de gases de efeito estufa é dividido em 3 escopos. O escopo 1) inclui as emissões diretas de uma determinada organização, como por exemplo a combustão de veículos, operação de equipamentos, entre outros; as emissões do escopo 2) são as consideradas indiretas, que têm origem na aquisição de insumos como eletricidade, vapor, água de resfriamento, entre outros; já as emissões do escopo 3) tem origem na produção da matéria-prima de um determinado produto, e após a sua produção, ou seja, as emissões de escopo 3 incluem toda a cadeia de distribuição, uso, e do processo de descarte ao final da vida útil do produto (GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 2005; ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2022). O Quadro 1 apresenta as metas estabelecidas por algumas empresas para determinados escopos.

Quadro 1 — Organizações com metas para a redução de gases de efeito estufa.

<b>Empresa</b>	<b>País Sede</b>	<b>Setor</b>	<b>Meta baseada em método científico</b>	<b>Escopo</b>
Coca-Cola	Estados Unidos	Alimentação	Atingir a neutralidade de emissões de carbono até 2050.	Escopos 1, 2 e 3.
Dell	Estados Unidos	Tecnologia da Informação	Redução das emissões de gases efeito estufa em 50% até 2020, usando como base o ano de 2010.	Escopos 1, 2 e 3.
Petrobras	Brasil	Óleo e Gás	Atingir a neutralidade de emissões de carbono em tempo compatível com o Acordo de Paris de 2016.	Não Informado.
Google	Estados Unidos	Tecnologia da Informação	Atingiu a neutralidade em 2007. Buscar descarbonizar seu consumo de energia até 2030.	Escopos 1, 2 e 3.
Pfizer	Estados Unidos	Farmacêutica	Atingir a neutralidade de emissões de carbono até 2030.	Escopos 1, 2 e 3.
Chevron	Estados Unidos	Óleo e Gás	Atingir a neutralidade de emissões de carbono até 2050.	Escopos 1 e 2.
Sony	Japão	Eletrônicos	Atingir a neutralidade de emissões de carbono até 2040.	Escopos 1, e 2 e 3.

Fonte: (COCA-COLA, 2022), (DELL, 2022), (PETROBRAS, 2022), (GOOGLE, 2022), (PFIZER, 2022), (CHEVRON, 2022), (SONY, 2022).

O estabelecimento de políticas de precificação para emissões deverá ser estabelecido para atingir as metas do Acordo de Paris. Modelos indicam que as ações para neutralização de gases de efeito estufa para a meta de 1,5°C requerem de 3 a 4 vezes mais investimento do que para a meta de 2°C. Uma das principais medidas para garantir o compromisso coletivo é a adoção de um imposto ou taxa por emissão de carbono, e complementarmente, deverá ser criado comitês para avaliação de tecnologias e níveis de emissão (IPCC, 2018).

Através de organizações como a *Our World in Data*, é possível monitorar a implementação de compromissos e legislação para implementação de impostos sobre a emissão de gases de efeito estufa (RITCHIE; ROSER; ROSADO, 2020). Outra organização que se destaca no ambiente de compromissos estabelecidos por corporações é a *Science Based Targets*, que propõe um *framework* de medição, monitoramento e comunicação de metas. Mais de 3.500 empresas estão colaborando a partir de um mesmo modelo para estas etapas, com mais de 1.200 compromissos estabelecidos para neutralização completa de emissões de escopos 1, 2 e 3 utilizando a mesma abordagem (SBTI, 2022).

## 1.1 TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

A partir do processo de comunicação realizado por nações, entidades públicas e privadas para iniciar o processo de transição do modelo econômico linear para o modelo econômico circular, é percebida a relevância do tema para a sociedade. Em especial, há uma mobilização em termos de comunicação de objetivos para a neutralização da emissão de gases de efeito estufa.

A percepção da sociedade é que uma transição completa nunca de fato ocorra, havendo espaço para produtos e serviços lineares e circulares como concorrentes (SVEN *et al.*, 2021). Reforçando esta percepção, há ainda a hipótese de que o modelo proposto pela EC seja apenas teórico e que as leis termodinâmicas impeçam uma migração completa da sociedade para este novo modelo proposto (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

*Stakeholders* internos possuem um grande papel na implementação da EC, e a sua expectativa é que haja um aumento de eficiência operacional com a sua implementação e não somente um atendimento às novas exigências legais. Em países como o Brasil, não há um *framework* de EC definido pelo governo (CHIAPPETTA JABBOUR *et al.*, 2020). Diferentemente, a Europa já iniciou um processo de aceleração do processo de transição para EC através dos compromissos de neutralidade em relação ao impacto climático até 2050, no pacote de legislações denominado de *European Green Deal* (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Um projeto é definido como um esforço temporário para a criação de um produto ou serviço único. Já um portfólio é a composição de um projeto, programa ou outras iniciativas associadas para atingir determinados objetivos estratégicos (PMI, 2017a). A transformação das operações demandará investimento de capital em infraestrutura, modificação dos negócios atuais e criação de novos. Este investimento realizado, tanto por iniciativa pública e privada, será realizado através de projetos.

Portfólios são vistos como mecanismos para implementar e renovar a estratégia de organizações, conectando a estratégia com a execução através de processo de trabalho (MARTINSUO; GERALDI, 2020). Investimentos em EC têm o potencial de impulsionar a reputação de organizações e reduzir custos das operações, através da diminuição de consumo de matéria-prima e do aumento de eficiência na aplicação de recursos (CHIAPPETTA JABBOUR *et al.*, 2020).

Critérios qualitativos são considerados fatores determinantes na formação de um portfólio de investimentos. No entanto, no processo de avaliação de investimentos que possuam fatores qualitativos como principal objetivo, observa-se que critérios econômico-financeiros se sobressaem no processo de decisão (SOUZA, 2008).

Um construto com entradas e saídas com avaliação de aspectos econômicos e ambientais é um tipo particular de instrumento que demonstra as interações da economia com o meio ambiente, com positiva aplicação em atividades de planejamento (PEARCE; TURNER, 1990).

A construção de uma modelagem de LCA promove decisões mais robustas em relação a estratégias de EC, avaliando impactos anteriores e posteriores a um determinado processo produtivo (PEÑA *et al.*, 2021). Métodos de avaliação de decisão multicriteriais apresentam vantagens ao integrar multidisciplinaridade de critérios, participação no processo de decisão, e transparência na decisão. Como consequência, este tipo de método é aplicável em processos de avaliação de políticas de sustentabilidade (MUNDA, 2005).

Desta forma, é necessário avançar no entendimento de como as organizações irão estruturar portfólios de investimentos de EC. Através da comunicação dos objetivos de neutralidade de carbono, percebe-se que tais objetivos fazem parte da estratégia de organizações públicas e privadas. Mais especificamente, há uma lacuna de conhecimento de como o processo de decisão de investimento ocorrerá em um ambiente de incerteza de transição de um modelo econômico linear para o circular. Claramente, há o desejo de migrar para um novo modelo de sociedade, entretanto ainda não há um processo estabelecido em como tomar as decisões que levarão a ele. De forma a contribuir como a lacuna identificada, a questão de pesquisa desta dissertação é: **como estruturar um processo de seleção de portfólio de projetos que possua como objetivo implementar, através da EC, estratégias corporativas voltadas para neutralização de emissões de gases de efeito estufa, em um ambiente de transição de modelos econômicos.**

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é propor um *framework* de seleção de investimentos que possuam como objetivo a implementação da estratégia corporativa de EC e neutralização das emissões de carbono. O *framework* deve estruturar um modelo de decisão

de investimento que possa ser modificado para o caso particular de cada organização ou segmento.

Como objetivos específicos, busca-se:

- a) Identificar por meio de revisão teórica o que é EC, como funciona este novo modelo econômico, e quais os principais riscos associados à sua implementação;
- b) Demonstrar a aplicação do *framework* proposto em projetos no contexto da EC.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Apesar de individualmente os 3 principais temas que fazem parte desta dissertação possuírem grande abordagem científica, há pouca sobreposição ou abordagens multidisciplinares entre EC, gerenciamento e seleção de portfólio, e análise de investimentos.

O pioneirismo na adoção de princípios de EC em produtos e serviços poderá trazer vantagens competitivas em relação a concorrentes na indústria (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). No entanto, a falta de clareza em práticas, métodos e plataformas para compartilhamento prejudica o desenvolvimento de negócios voltados para a EC (TURA *et al.*, 2019).

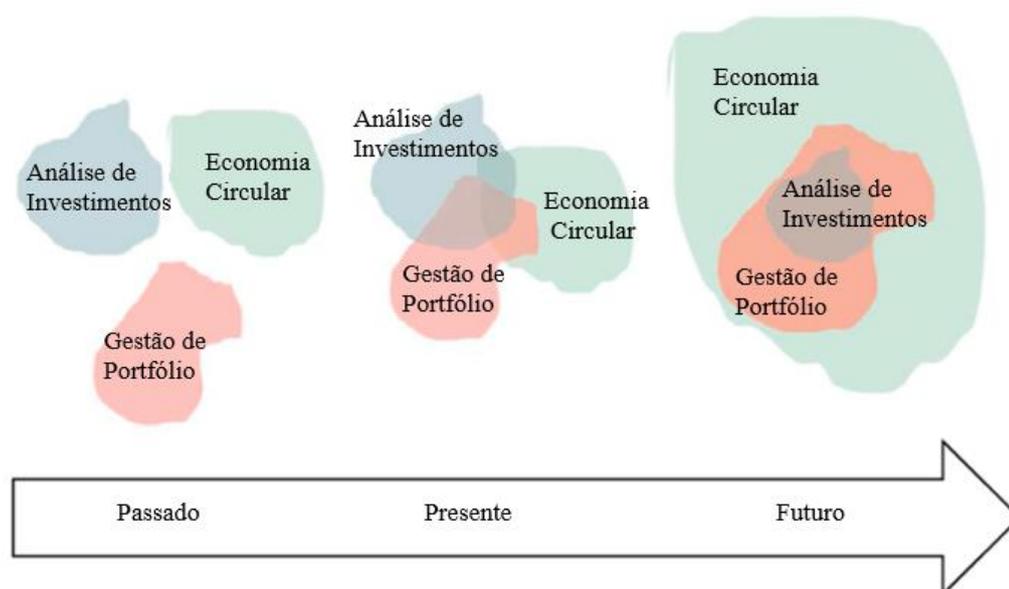
O uso da estratégia corporativa como ponto de partida para o processo de seleção de portfólio estabelece uma conexão entre estes processos, aumentando a chance de materialização da estratégia após a implementação dos componentes do portfólio (KAISER; EL ARBI; AHLEMANN, 2015). Ao pesquisar os processos de gerenciamento de portfólio, Martinsuo (2020) sugeriu que, os processos de portfólio sejam específicos ao contexto de uma estratégia corporativa ao contrário de tratar o processo de forma genérica.

Ao contextualizar o ambiente de negócios, se estabelece que há maiores riscos para um modelo de negócios circular do que em relação a um linear. A principal justificativa é que os produtos e serviços circulares são baseados em produtos semelhantes lineares. Em razão do maior esforço, e conseqüentemente custo requerido nos processos de remanufatura, reciclagem, e de custos logísticos adicionais, o preço do produto circular tende a ser maior que o linear. Logo, o processo de análise de investimentos em EC precisa ser adaptado de forma a incluir os riscos específicos ao seu contexto (LINDER; WILLIANDER, 2017).

De forma paralela ao proposto por Sven *et al.* (2021) em termos de aspectos sociais, econômicos e ambientais, a aplicação dos conceitos de EC irá levar a novos modelos de produção em função da convergência e multidisciplinaridade de conceitos. Para dar suporte a

estes novos modelos, outras áreas também precisarão convergir em termos de conhecimento, com a evolução de métodos e técnicas para que seus resultados sejam propriamente apreciados. A Figura 1 apresenta os principais temas que esta dissertação integra no *framework* de seleção de portfólio, de forma genérica para implementação em diferentes segmentos, porém com avaliação específica do contexto do início de uma jornada de adoção da EC.

Figura 1 — Convergência de conceitos proposta por esta dissertação.



Fonte: adaptado pelo autor de Sven *et al.* (2021).

#### 1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa científica pode ser classificada quanto à sua natureza (básica ou aplicada), quanto à sua abordagem (qualitativa ou quantitativa), aos objetivos (exploratória, descritiva ou explicativa) e aos seus procedimentos (SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009).

Portanto, quanto à natureza, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois busca o desenvolvimento de conhecimentos para aplicações práticas e dirigidas a problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2005). A abordagem para a sua realização será essencialmente qualitativa, pois busca aprofundar e integrar o conhecimento em 3 temas: EC; gestão e seleção de portfólio; e análise de investimentos. No entanto, o *framework* proposto por este trabalho também trará métodos quantitativos de cálculo de viabilidade econômica, e

de contabilização das emissões de gases de efeito estufa de um determinado produto ou serviço (SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009).

Esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, pois busca explorar a multidisciplinaridade dos tópicos abordados com vistas a torná-los mais explícitos, através da integração em um *framework* de seleção de portfólio de investimentos em EC (GIL, 2010).

Diferente de um processo de consultoria, a pesquisa científica com objetivos construtivos busca a extensão do conhecimento empírico e através da solução de problemas práticos traz nova contribuição para o desenvolvimento científico (LUKKA, 2003). Logo, no que tange aos procedimentos e métodos, a metodologia de pesquisa utilizada é o *Design Science Research* (DSR), que permite que o produto da pesquisa seja suficientemente descritivo para que futuras pesquisas possam utilizá-lo como modelo para desenvolvimento (VAN AKEN; CHANDRASEKARAN; HALMAN, 2016).

## 1.5 DELIMITAÇÕES

Nesta subseção, serão apresentadas algumas delimitações da pesquisa apresentada nesta dissertação. A EC é um conceito bastante novo na pesquisa científica e é o resultado de uma evolução de conceitos anteriores relacionados ao desenvolvimento sustentável. Percebe-se que, há um debate para estabelecer um conceito do que é a EC. Logo, a primeira delimitação desta dissertação é que este estudo não pretende debater o conceito, e sim aplicar de forma abrangente o que é cientificamente aceito em um *framework* de seleção de portfólio de investimentos.

Existem inúmeras formas de medir a atratividade de investimentos, desde métodos como o *Payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL), até métodos que apresentam maior complexidade na análise de interpretação de resultados como a árvore de decisão e a Simulação de Monte Carlo (SMC). Da mesma forma, os métodos de análise multicriterial são amplamente utilizados para a tomada de decisão e aplicáveis ao campo de gerenciamento de portfólio de investimentos. Não se pretende através deste estudo participar da discussão científica de métodos, e se um método trará resultados mais precisos do que o outro. Como a intenção deste estudo é a proposição de um *framework* genérico, definir um método específico ou ferramenta de aplicação para um estudo que busca criar uma unificação de conceitos poderá criar limitações para o *framework* na aplicação em segmentos

específicos, ou para organizações que possuem uma realidade de disponibilidade de informações para processamento nestes métodos ou ferramentas.

A apresentação do ambiente da EC trará diferentes fatores de risco específicos em que investimentos neste segmento precisarão enfrentar durante a fase de projeto. Pela natureza ampla destes riscos, eles serão incorporados ao processo de seleção de portfólio proposto, porém sem a indicação de um instrumento particular para a análise. A razão para a exclusão destas ferramentas é que elas necessitam de uma abordagem específica por segmento, e tal discussão foge do objetivo principal deste trabalho que é a concepção de um artefato genérico.

Ao propor um processo de seleção de investimentos de economia circular, este trabalho não explora o quanto cada organização deverá investir neste portfólio. A razão para tal limitação é que diferentes organizações adotarão estratégias diferentes para a abordagem do tema. Também, o contexto de cada segmento influenciará no caminho de transformação das operações.

Por fim, a última delimitação identificada para esta pesquisa é que o *framework* será aplicável para organizações que buscam pelo menos a neutralidade econômico-financeira de seus investimentos em EC. Investimentos que não têm como base um processo de decisão econômico-financeiro, como iniciativas públicas em EC que visam somente o bem-estar social e ambiental, não serão objetivo de aplicação do *framework* proposto por este estudo.

## 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos. No 1º capítulo, apresentou-se a introdução, justificativa e definição do objeto de estudo. Definiu-se a abordagem metodológica da pesquisa, as delimitações deste estudo e a sua estrutura.

O 2º capítulo contempla uma revisão teórica dos 3 principais temas que esta dissertação tem como objetivo integrar, propostos no Capítulo 1. Pretende-se que este referencial seja o alicerce de conhecimento para este estudo, buscando a compreensão da origem e conceitos de EC, gerenciamento e seleção de portfólio, e pôr fim do processo de análise de viabilidade econômica e de riscos de investimentos.

O 3º capítulo apresenta as etapas da metodologia de pesquisa definida para este trabalho, bem como esta será aplicada para o atingimento dos objetivos aqui propostos. O 4º capítulo apresenta o processo de construção do *framework* e os resultados da sua aplicação.

Por fim, o 5º capítulo apresenta as conclusões e as principais contribuições provenientes deste trabalho. Adicionalmente, são discutidos os possíveis desdobramentos da pesquisa, que poderão resultar em trabalhos futuros a serem desenvolvidos nesta área.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta revisão da literatura está dividida em 3 seções: (i) economia circular; (ii) gerenciamento de portfólio de projetos; e (iii) análise de viabilidade econômica e de riscos em investimentos. A 1ª seção apresenta a EC e alguns conceitos que inspiraram a sua concepção, e indica riscos e barreiras identificadas para a sua aplicação. Já a 2ª seção apresenta o gerenciamento de portfólio de projetos como o método de gestão adotado para atingir objetivos estratégicos de organizações e transformar operações. Por fim, a 3ª seção aborda a análise de viabilidade econômica de investimentos e métodos aplicados no processo de decisão de investimento. Com esta abordagem pretende-se facilitar o entendimento do tema para o desenvolvimento desta dissertação.

### 2.1 ECONOMIA CIRCULAR

O conceito de EC representa a convergência de conceitos abordados anteriormente na literatura e em publicações acadêmicas. Desde sua concepção, a EC busca ser uma alternativa ao modelo neoclássico econômico sob as perspectivas prática e teórica, reconhecendo a relação entre economia e meio ambiente (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A sociedade do futuro, ou '*spaceman economy*', deverá considerar o nosso planeta como uma espaçonave única, sem reservatórios infinitos de nenhum material, seja para consumo ou para descarte de resíduos. Nesta sociedade, o Homem precisa se encaixar em um ciclo de renovação sustentável. Esta sociedade do futuro necessita abandonar o modelo de sociedade do passado, ou '*cowboy economy*', que representa o planeta como infinito de recursos, em que é possível incentivar crescimento econômico através da exploração e consumo ilimitado (BOULDING, 1966).

A economia ambiental, ou *environmental economics*, trata dos aspectos econômicos e ambientais de forma integrada. Através da análise da interação de variáveis, alterações de crescimento econômico geram uma resposta em funções exercidas pelo meio ambiente em um determinado cenário (PEARCE; TURNER, 1990). O conceito *Industrial Ecology* é proposto para uso com o objetivo de desenvolvimento da sociedade, pautado em 2 linhas de evolução. A 1ª, a criação e modernização dos parques industriais para o conceito de eco parques industriais, em que o coproduto ou resíduo de uma indústria passa a ser a matéria-prima de outra. A 2ª trata da redução do consumo de materiais e redução de emissões de carbono na

atmosfera, buscando o equilíbrio no consumo de recursos. A redução de consumo é pautada no aumento da produtividade e na evolução da indústria de consumo para a servitização (ERKMAN, 1997). Já o desenvolvimento sustentável requer o equilíbrio e consideração de aspectos econômicos, ambientais, tecnológicos e sociais em um determinado setor, organização ou processo (FAO, 2002).

Como idealizado por Boulding (1966), viver em sociedade em circuito fechado é possível, isto é, em um sistema que mantenha a entropia material constante. Neste sistema, todas as saídas originadas pelo consumo da sociedade seriam recicladas e tornam-se entradas para o processo produtivo. Em um ambiente econômico fechado e sem acumulação de estoque, as quantias de matéria-prima inseridas em um processo produtivo deverão ser iguais à quantidade de material em todas as saídas mais a quantia absorvida de oxigênio na atmosfera (AYRES; KNEESE, 1969).

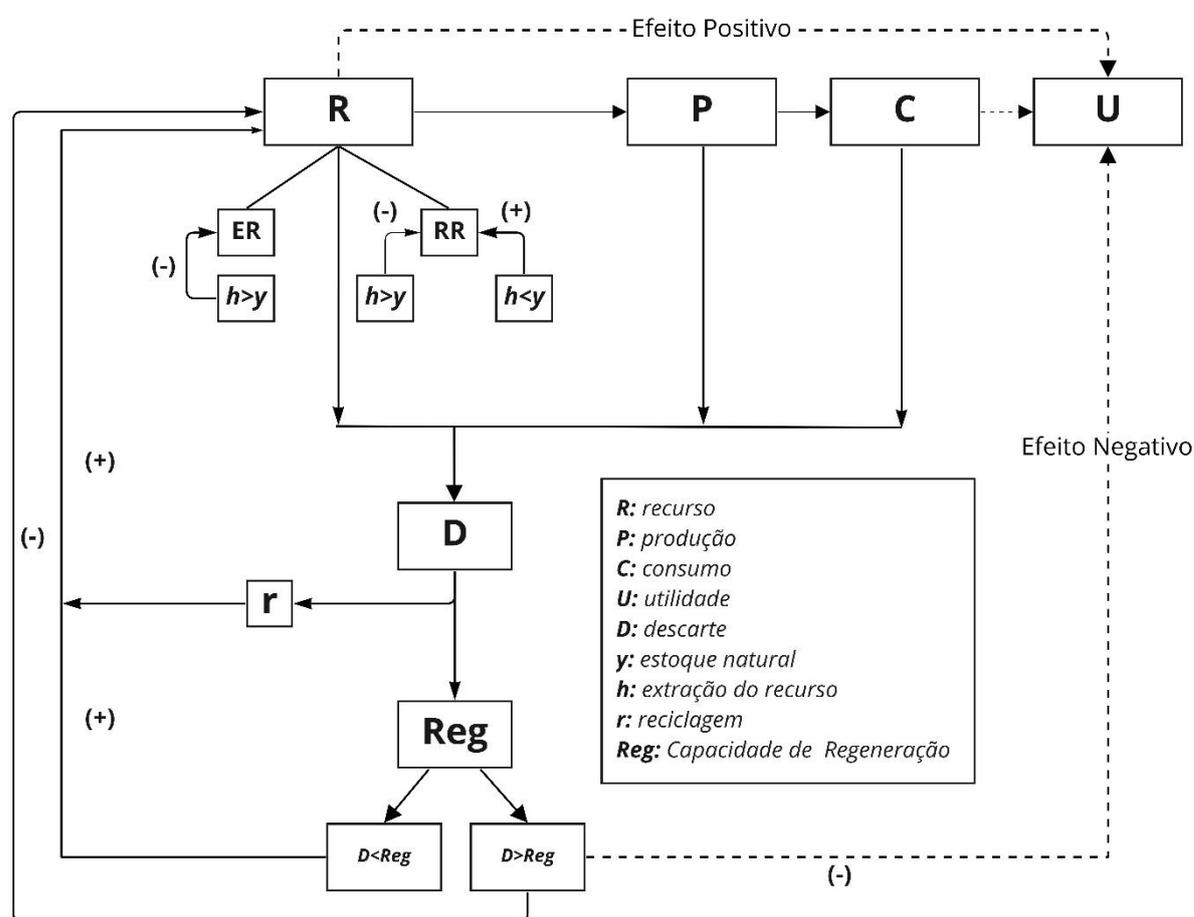
A lógica de desenvolvimento da economia linear é a transformação de recursos naturais em *commodities* e produtos acabados para a venda, através de uma série de etapas de adição de valor. Já a EC usa como sua base o reprocesso de produtos e resíduos, reduzindo o consumo de recursos naturais e descarte ao fim da vida útil. Por exemplo, o reaproveitamento de uma garrafa de vidro é mais rápido e barato do que a sua reciclagem e também do que a fabricação de uma garrafa nova a partir de sua matéria-prima base (STAHEL, 2016).

O termo EC está ligado a uma série de definições, porém todas trazem em comum o conceito de um sistema fechado (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Ela tem o potencial de assimilar e implementar novos padrões e auxiliar a sociedade a atingir sustentabilidade e bem-estar social, com mínimo impacto material, energético e ambiental (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A razão para considerar igual importância para economia e meio ambiente fica mais evidente ao avaliar sob a perspectiva da primeira Lei da Termodinâmica, que demonstra o princípio de conservação de energia para sistemas termodinâmicos (PEARCE; TURNER, 1990). Ao relacionar os conceitos de termodinâmica e economia, é proposto que o processo completo de reciclagem de materiais é impossível de ser realizado, até mesmo em teoria. A segunda Lei da Termodinâmica, que demonstra o fenômeno da entropia, é a base para este argumento (GEORGESCU-ROEGEN, 1976). No processo de reciclagem, sempre será necessário aportar energia e material para compensar as perdas entrópicas. Por questões termodinâmicas, parece lógico que a EC priorize o reuso, remanufatura e condicionamento de produtos em detrimento de reciclagem (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

O meio ambiente exerce função de prover recursos, dar suporte à vida, e absorver resíduos descartados e emissões. No *framework* proposto por Pearce e Turner (1990), Figura 2, também é indicado que há uma taxa de regeneração para um determinado sistema, e que somente será encontrado o equilíbrio quando o volume descartado for menor que a capacidade de absorção daquele sistema. Ao avaliar o fluxo circular, pode-se fazer analogia a uma estrutura semelhante a uma equação de balanço de massa. O meio ambiente tem funções econômicas claras, que se fossem vendidas no mercado teriam valor positivo. O risco de ignorar as funções econômicas do meio ambiente é que muitas vezes não se atribui um valor positivo para elas.

Figura 2 — *Framework* original da Economia Circular.



Fonte: adaptado pelo autor de Pearce e Turner (1990).

Em revisão bibliográfica realizada por Kirchherr *et al.* (2018, p. 226) sobre definições de EC, foram identificadas 114 diferentes versões. Entre estas 114 definições, 95 eram diferentes entre si. Apenas 30% das definições apresentaram uma priorização entre reuso,

reparo e reciclagem. Os autores referenciam a definição proposta pela Fundação Ellen MacArthur como a de maior utilização em publicações científicas:

A economia circular é um sistema industrial restaurador e/ou regenerativo, por intenção e design. Ele substitui o conceito de fim de vida útil com restauração, incentivando o uso de energia renovável, abolição de produtos químicos tóxicos que impedem o reuso, e pela eliminação do descarte de resíduos através de design otimizado de materiais, produtos, sistemas, e modelos de negócio.

Como boa prática e recomendação para futuros trabalhos, Kirchherr *et al.* (2018, p. 224) sugerem, que futuros estudos de EC discutam o conceito, porém estabelece a definição base na qual o trabalho se baseia. A definição proposta pelos autores, que será utilizada por este trabalho, é:

A economia circular é um sistema econômico baseado em um modelo que substitui o fim do ciclo de vida a partir da redução de consumo, reuso, reciclagem e recuperação de materiais em processos de produção, distribuição e consumo. Este modelo é aplicado em nível micro (produtos, companhias e consumidores), nível meso (eco parques industriais) e nível macro (cidades, regiões, nações), com o objetivo de atingir o desenvolvimento sustentável, conciliando interesses econômicos, preservação ambiental, e equidade social para esta e futuras gerações.

*Frameworks* de EC incluem múltiplos da letra 'R' para servirem de guia para as organizações e sociedade. O modelo visto com maior frequência é o '3R': redução; reutilização; e reciclagem (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Este modelo também serve como base para a Lei de Promoção de EC na China (PRC, 2009). Já o modelo da União Europeia introduz o 4º 'R', gerando o *framework* '4R', incluindo recuperação como um elemento adicional (UE, 2018).

Van Buren *et al.* (2016) expandem o *framework* de '3 e '4Rs' para '9Rs', apresentando mais opções em que o modelo de EC pode se basear. Processos de geração de energia a partir de resíduos são indicados como a última medida para extração de valor. Segundo os autores, a reciclagem é um processo que frequentemente degrada o material ao longo de sua cadeia. O processo proposto pela EC e apresentado pelo formato de '9Rs' demonstra outras rotas a serem exploradas. Potting *et al.* (2017) propõem a partir da ampliação de graduações de EC que há medidas que são mais circulares do que outras, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 — Definições dos *Frameworks* de 3R, 4Rs e 9Rs.

<i>Framework</i> dos R's na EC (em ordem de preferência)		9R	4R	3R
<b>1. Recusar</b>	Tornar a função do produto obsoleta, ou oferecer um produto completamente diferente do original	X		
<b>2. Repensar</b>	Mudança na característica de uso de produtos (exemplo: compartilhamento)	X		
<b>3. Reduzir</b>	Aumento na eficiência de um processo com redução do uso de materiais	X	X	X
<b>4. Reutilizar</b>	Reuso por outro consumidor do mesmo produto com suas funções originais	X	X	X
<b>5. Reparar</b>	Reparo e manutenção de um produto para extensão de vida útil	X		
<b>6. Remanufaturar</b>	Recuperar um produto antigo e torná-lo atualizado	X		
<b>7. Redirecionar</b>	Uso do produto descartado ou de partes para nova função	X		
<b>8. Reciclar</b>	Processo de reciclagem para recuperação de matéria-prima de igual ou inferior valor	X	X	X
<b>9. Recuperar</b>	Incineração para fins energéticos	X	X	

Fonte: adaptado pelo autor de Potting *et al.* (2017).

A falta de uma definição clara de prioridade entre reuso, reparo e reciclagem não reduz o valor do modelo proposto pela EC. Ao adotar uma hierarquia, empresas poderão implementar mudanças pequenas, como o aumento do percentual de sua reciclagem, e promover que façam parte do movimento. No entanto, a EC precisa ser compreendida como uma mudança de modelo econômico, e não como um pequeno ajuste do modelo atual (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). A simplificação ao extremo dos objetivos de EC associado ao uso de fundamentos superficiais cria um risco para a utilidade deste conceito (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Na EC, inovações em modelos e sistemas para reuso, remanufatura e reprocesso deverão competir no mercado com soluções convencionais como o descarte ao fim da vida útil e utilização de resíduos para geração de energia (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). O formato tradicional de gerenciamento de resíduos busca minimizar custos de coleta e descarte de resíduos, com o uso de incineração e aterro sanitário ao contrário da reciclagem. No novo formato, a proposta é que o produto mantenha o seu valor agregado por mais tempo ao longo do seu ciclo de vida. O design voltado para a reutilização deverá fazer parte da prática padrão de mercado, buscando o uso de componentes padronizados e modularizados (STAHEL, 2016). Há preocupação em como será possível garantir a qualidade e uniformidade de produtos em larga escala, quando não há certeza do estado em que este mesmo produto retornará ao final de seu ciclo de vida para reinserção na cadeia de valor (GULDMANN; HUULGAARD, 2020).

A ideia de que se possa criar produtos com maior vida útil é interessante, porém esta longevidade pode não ser ecologicamente adequada. Produtos mais resistentes poderão requerer maior quantidade de energia e matéria-prima para serem fabricados do que produtos menos resistentes. Por exemplo, o *hashi* utilizado como talher na culinária oriental tem como base o bambu para a sua fabricação. Substituí-lo por um produto semelhante fabricado de um plástico altamente durável não parece uma escolha benéfica, visto que o bambu se degrada na natureza muito mais rapidamente que o plástico (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

A regulamentação do uso de produtos usados é uma área que deverá evoluir para a implementação plena do modelo proposto pela EC. Coleta e seleção de resíduos são atividades que requerem mão de obra e que poderão requerer incentivos (STAHEL, 2016).

O ciclo de vida de um negócio linear é diferente de um negócio circular, fator que deverá ser levado em consideração na análise financeira e de riscos de um projeto (LINDER; WILLIANDER, 2017). O lucro econômico foi um fator de preocupação levantado por organizações. Decisões de investimento são baseadas em métricas tradicionais como o *Payback*, *Return on Investment* (ROI), entre outros (GULDMANN; HUULGAARD, 2020).

A validação de um modelo de negócio circular sempre trará mais riscos do que a validação de um modelo equivalente linear. A razão se dá pelos múltiplos ciclos que ocorrem em um negócio circular, que se traduz em um aumento da exposição ao risco (LINDER; WILLIANDER, 2017). Cada projeto de EC deverá ser avaliado pela sua contribuição global à sustentabilidade. Isto quer dizer, o projeto deverá ser comparado com a situação atual, ou antes do projeto (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). À medida que as organizações passam a investir em modelos de negócio e produtos voltados para a EC, haverá um declínio da vantagem competitiva obtida pelos pioneiros (SCHLOSSER; CHENAVAZ; DIMITROV, 2021).

Em grandes organizações, os colaboradores apresentaram dificuldades em conciliar conceitos de EC e seus valores na estrutura organizacional, visto que estes eram influenciados pelo ainda existente modelo de negócios linear (GULDMANN; HUULGAARD, 2020). No estudo realizado por Kirchherr *et al.* (2018) sobre barreira da EC na União Europeia, em que foi realizada pesquisa com 208 respondentes e 47 entrevistas com experts, barreiras culturais como falta de interesse e conhecimento do consumidor, e cultura organizacional hesitante aparecem como principais ameaças para o seu progresso.

O ambiente eufórico em que se encontra a proposta de EC é que a superioridade do modelo econômico e de negócio é suficiente para convencer organizações em modelos de

economia linear para a troca do modelo atual (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

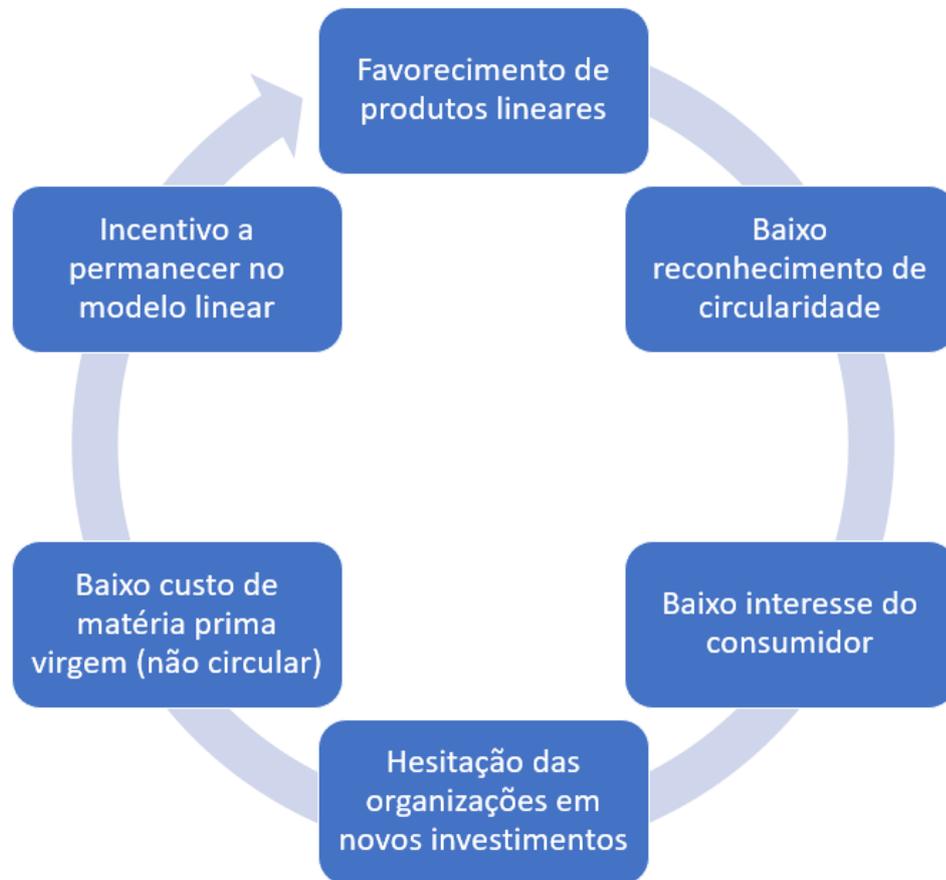
Para a Europa, é uma mudança necessária, pois traz benefícios ambientais e econômicos, em função da dependência do continente em importação de matérias-primas (VAN BUREN *et al.*, 2016). Kirzherr *et al.* (2018) sugerem que para incentivar a transição é necessário ação governamental para rever incentivos ao modelo de economia linear, em especial aos subsídios existentes em produtos lineares, de forma a favorecer os produtos circulares. Na mesma linha, Van Buren *et al.* (2016) sugerem, que a EC deverá fazer parte da agenda política em curto e longo prazo para que as empresas possuam maior incentivo em compartilhar riscos do formato econômico circular.

Ainda há pouca informação disponível demonstrando benefícios financeiros e ambientais originados por negócios circulares (GULDMANN; HUULGAARD, 2020). Além disto, a contribuição da sustentabilidade de projetos desta natureza deverá ser analisada caso a caso (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

Experiências anteriores em produtos baseados em matéria-prima reciclável e sistemas de retorno pós-consumo auxiliam as organizações na migração para modelos circulares, já que ambas as iniciativas compartilham princípios semelhantes. Sem experiências anteriores, uma das barreiras ao implementar o novo modelo é o desconhecimento do modelo e seus princípios (GULDMANN; HUULGAARD, 2020). No nível macro, é extremamente importante avaliar a evolução de projetos de EC, os impactos da legislação, e a evolução na conscientização em cidades e países. É necessário avaliar e prover *feedback*, se as políticas de promoção da EC estão causando o efeito desejado (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A interação entre barreiras para o modelo de negócio circular deverá ser observada, pois poderá gerar uma reação em cadeia, aumentando a exposição ao risco (Figura 4). Como efeito secundário, a hesitação das organizações em investimentos gera a percepção de que investimentos em EC são altos (KIRCHHERR *et al.*, 2018).

Figura 4 — Barreira para o modelo de negócio circular.



Fonte: adaptado pelo autor de Kirchherr *et al.* (2018).

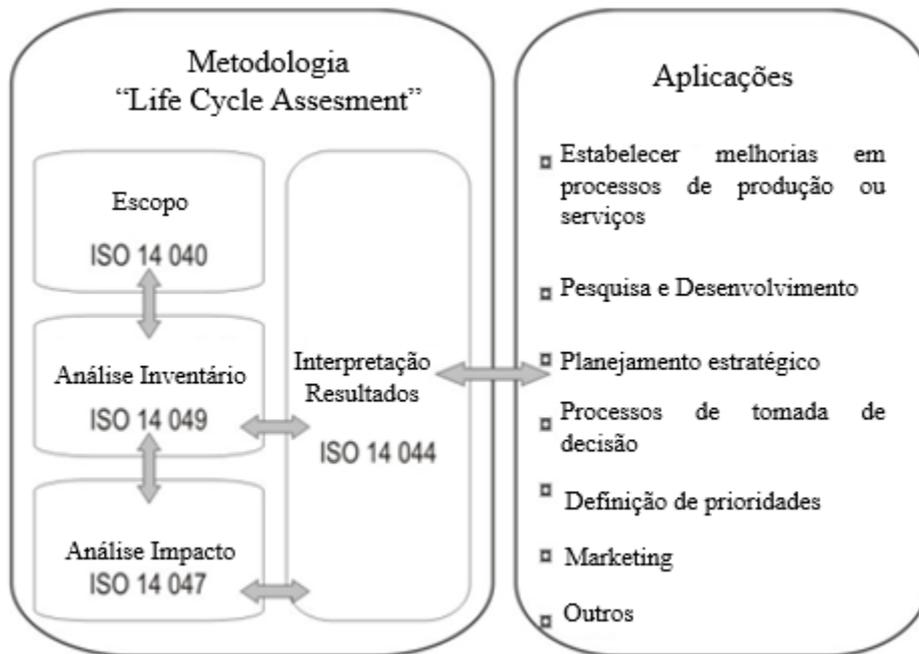
Se possível quantificar as várias relações entre respostas do meio ambiente em relação à economia, torna-se clara a interação entre ambos. O princípio básico é demonstrar a interação entre ambos e criar uma modelagem analítica de entradas e saídas. A adaptação do modelo econômico para funções ambientais reforça a conexão entre as duas áreas (PEARCE; TURNER, 1990).

### 2.1.1 *Life Cycle Assessment*

O processo de decisão em estratégias de EC pode ser frequentemente respondido com a aplicação do LCA, promovendo visibilidade das métricas que podem ser avaliadas pela ferramenta, como uso de água, energia, emissão de carbono, impacto social e econômico (PEÑA *et al.*, 2021). Apesar do debate na academia entre diversos métodos e formas de avaliar produtos e organizações, o LCA é uma ferramenta de uso frequente e descrita como

aplicável à medição de métricas de EC (ROOS LINDGREEN *et al.*, 2021). A ferramenta LCA pode ser muito útil para avaliar tecnologias emergentes, e para auxiliar no desenvolvimento de tecnologias. Porém, é necessário montar a ferramenta com um olhar prospectivo, diferente do convencional (ARVIDSSON *et al.*, 2018). No geral, métricas publicadas em estudos de LCA são focadas em emissões de gases de efeito estufa, e precisam ser complementadas com uma avaliação de métricas de saúde, segurança do trabalho e meio ambiente para obter maior abrangência (SHELDON, 2018).

O objetivo do LCA é realizar uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais, como por exemplo, aquecimento global, rarefação da camada de ozônio, contribuição para chuvas ácidas, eutrofização, como descrito pelo padrão da ABNT NBR ISO 14040. O resultado é utilizado como uma ferramenta de tomada de decisão por diferentes organizações. O processo da ferramenta é iterativo, e consiste em 4 fases: (i) definição de objetivo e escopo; (ii) análise do inventário (LCI); (iii) avaliação de impacto (LCIA); e (iv) interpretação. O escopo deverá definir os limites da análise, e o seu nível de detalhe. O processo de coleta de dados (LCI) considera todo o balanço de massa de entradas e saídas dentro do limite estabelecido para a análise, e o levantamento dos impactos ambientais das substâncias químicas presentes no balanço de massa. A fase de avaliação do impacto (LCIA) é conduzida com os dados coletados na fase de análise de inventário. Os impactos ambientais são equacionados a partir do balanço de massa para cada característica determinada, como por exemplo a emissão de gases de efeito estufa (ABNT, 2006; SHELDON, 2018). A Figura 5 demonstra o procedimento metodológico proposto pela ABNT NBR ISO 14040 para a realização de estudos de LCA.

Figura 5 — *Framework* de aplicação do LCA.

Fonte: adaptado pelo autor de ABNT NBR ISO 14040 (2006).

Estratégias em EC deverão primeiro mapear o fluxo de materiais que entram e saem de um determinado processo, para então avaliar diferentes alternativas de como tornar este processo mais circular. Logo após, deverá ser avaliados os aspectos sociais e econômicos da estratégia selecionada (ROOS LINDGREEN *et al.*, 2021). Como tecnologias emergentes precisarão de uma modelagem para demonstrar a sua maior eficiência em uma determinada característica ambiental, será necessária a elaboração de cenários. A disponibilidade de informações para estes cenários poderá ser um desafio, visto a característica de inovação da avaliação realizada (ARVIDSSON *et al.*, 2018). A condução de LCAs prospectivos no design ou desenvolvimento é muito complexa e de duração muito longa. A avaliação de um produto requer uma avaliação multivariável, com métricas multidisciplinares (SHELDON, 2018).

O LCA convencional pressupõe a comparação do estado atual com uma modificação iminente em um determinado processo. Porém, em longo prazo, não é garantia que estas tecnologias continuarão a ser a melhor alternativa. Portanto, é importante a comparação no LCA prospectivo de diversas tecnologias, e considerando o processo desde a sua etapa inicial até o final do ciclo de vida (ARVIDSSON *et al.*, 2018).

Roos *et al.* (2021) sugerem, que para criar a conexão entre uma avaliação de EC e o LCA, é preciso estabelecer métricas claras. De forma geral, somente a dimensão sustentabilidade é avaliada. Porém, a avaliação sob o ponto de vista da EC deverá considerar

os 3 principais pilares da sustentabilidade: econômico; social; e meio ambiente. Recomenda-se que as métricas de EC deverão:

- I. Ser capazes de promover direcionamento para as operações, trazendo a eficiência de recursos como uma forma de transição entre a economia linear para a circular;
- II. Ser baseadas na ciência e métodos quantitativos padronizados;
- III. Utilizar critérios multidisciplinares, e não somente em um indicador;
- IV. Ser realizadas por fase e de forma iterativa;
- V. Ser estruturadas de forma a avaliar um sistema e o seu ciclo de vida. Para uma avaliação completa, será necessário colaboração com a cadeia de fornecedores; e
- VI. Ser transparente e de fácil comunicação.

Métodos baseados no balanço de massa precisam ser complementados por métricas que avaliem o impacto de matéria-prima e descarte pós-consumo. Para avaliar a sustentabilidade de um processo, é sugerido o uso complementar de métricas de eficiência energética, econômicas e sociais (SHELDON, 2018). A associação de modelos circulares com energia renovável é uma importante evolução para a economia mundial. No entanto, a segunda Lei da Termodinâmica requer que a análise de processos ou projetos circulares resulte em uma análise cuidadosa de sua contribuição para um futuro sustentável. O modelo circular não é garantia de sustentabilidade (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). Apesar de que há grupos de trabalho como o comitê técnico TC323 da ISO buscando definir um método para a utilização do LCA para a realização de uma avaliação holística de estratégias de EC, tal definição ainda não existe (PEÑA *et al.*, 2021).

O amplo espectro de opções, suposições e potenciais resultados a partir de entrada de dados torna a análise do LCA complexa. Métodos auxiliares, como de decisão multicriterial, poderão auxiliar na tomada de uma decisão mais estruturada (ZANGHELINI; CHERUBINI; SOARES, 2018).

### **2.1.2 Estudos aplicados à EC**

Füchsl *et al.* (2022) demonstram em sua publicação a aplicabilidade do *framework* proposto pela ABNT NBR ISO 14040 para a tomada de decisão baseada no potencial de aquecimento global. Ao avaliar diferentes materiais de isolamento térmico aplicados na construção, o estudo mostra que materiais considerados renováveis poderão apresentar um

impacto ambiental maior do que materiais não renováveis, reforçando a importância de uma análise estruturada sob a perspectiva do ciclo de vida completo de cada material e quantificação de todos os impactos. No entanto, os autores descrevem dificuldades na comparabilidade metodológica que resulta do *framework* da ABNT NBR ISO 14040, que concede liberdade a quem executa o estudo em como aplicá-lo. Desta forma, é recomendado total transparência na sua aplicação como método científico.

Yang *et al.* (2021) apresentam os desafios que a indústria de baterias recarregáveis precisará superar para se tornar uma alternativa viável ao combustível fóssil e a poluição associada ao seu consumo. A simples substituição de uma tecnologia por outra não irá promover os avanços desejados sem que haja uma discussão do reuso e reciclagem de baterias após sua vida útil. O LCA tem aplicação limitada neste cenário pela indefinição dos métodos de reciclagem e reuso destas baterias e materiais após a perda de funcionalidade na aplicação para a qual foram projetadas. Os autores atribuem a limitações da aplicação do LCA em função de que o desenvolvimento tecnológico ainda estar em andamento, e em função da dificuldade do mapeamento do impacto relativo à cadeia de suprimentos.

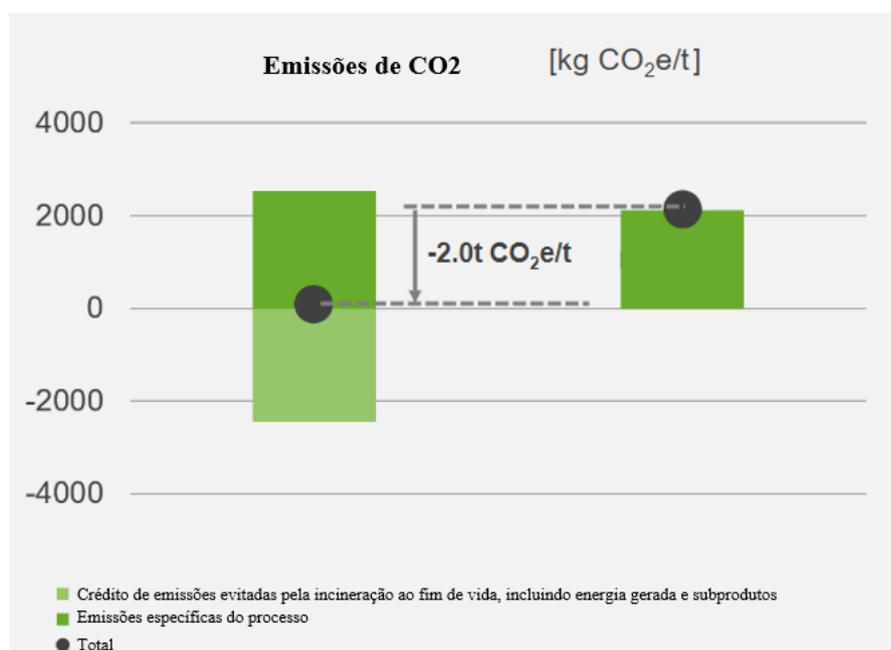
No que tange o LCA e a avaliação de impactos da cadeia de suprimentos, Zhang *et al.* (2020) reforçam a dificuldade na coleta de dados confiáveis para o mapeamento do impacto ambiental de um produto ou serviço. Os autores sugerem que a integração entre *Internet of Things* (IoT), Blockchain e o LCA poderá aumentar a sua rastreabilidade e confiança por capturar dados em tempo real e de forma automática. Além disso, é proposto que a integração entre o *blockchain* e o LCA contribuirá para que organizações atinjam a excelência operacional e melhorem a sua competitividade, através da redução de custos e ganho de agilidade ao aplicar o *framework* do LCA.

Com base na publicação de Zhang *et al.* (2020), Shou e Domenech (2022) propõe a integração do LCA e *blockchain* aplicado para a indústria da moda e validando a integração com especialistas em tecnologia digital. De forma análoga, a publicação afirma que a aquisição de dados em tempo real na cadeia de suprimentos irá contribuir para o mapeamento da situação atual e a mensuração do impacto de práticas circulares com maior precisão.

A empresa BASF (BASF, 2020) publicou em 2020 um estudo LCA em relação ao seu projeto *ChemCycling*®, que tem como objetivo demonstrar o desenvolvimento de novas formas de reciclagem para o plástico. Através de processos de pirólise, o plástico no final de sua vida útil é redirecionado de aterros sanitários e incineração para dar origem a um novo produto chamado de óleo de pirólise.

Este novo produto substitui a matéria-prima fóssil tradicionalmente utilizada pela indústria petroquímica, dando origem a novos produtos plásticos. Através do *ChemCycling*®, a BASF apresenta como os princípios da EC se apresentarão para o plástico, redefinindo o seu futuro. A Figura 6 apresenta um exemplo comparativo entre a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>e/t produto) entre uma resina de poliestireno produzida a base de matéria-prima fóssil (nafta), e utilizado processos de pirólise.

Figura 6 — Apresentação de resultado de estudo de LCA.



Fonte: adaptado pelo autor de BASF (2020).

A partir da apresentação de um *business case* para modificação das operações, é preciso buscar ferramentas específicas de avaliação e priorização deste tipo de iniciativa. Áreas do conhecimento como o gerenciamento de portfólio de projetos propõe métodos estruturados para a sua devida apreciação.

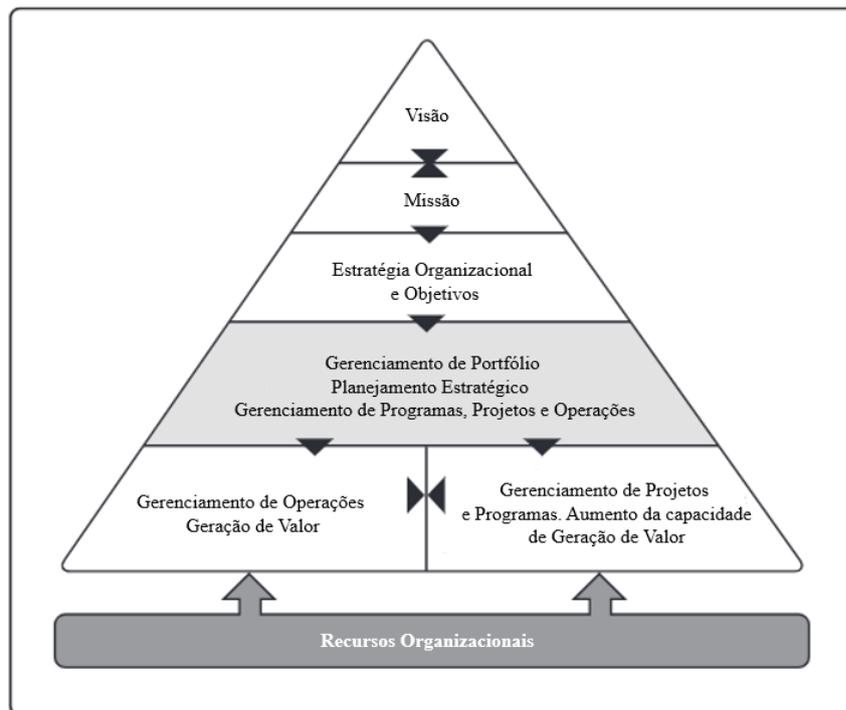
## 2.2 GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS

Um portfólio pode ser definido como um grupo de projetos, programas, subportfólios e operações gerenciadas em conjunto para atingir objetivos estratégicos de uma organização. Os componentes do portfólio devem ser quantificáveis, e não necessitam relação, sequenciamento lógico, dependência ou objetivos comuns (PMI, 2017a). Os modelos de gerenciamento de portfólio e projetos desenvolvidos inicialmente levavam em consideração

um ambiente estático de negócios. Nos dias atuais, é necessário um modelo mais dinâmico, que leve em consideração incerteza e complexidade do ambiente, e que ocorra em ciclos (HANSEN; SVEJVIG, 2022).

A razão de existência de um portfólio é o atingimento de estratégias e objetivos organizacionais corporativos ou departamentais, que incorporam iniciativas em andamento, bem como novas ideias. Estas metas deverão incorporar mais do que uma descrição qualitativa, também com métricas quantitativas (PMI, 2017a). A Figura 7 apresenta o processo de abertura dos macro-objetivos de uma organização e o seu desdobramento em diferentes processos de trabalho, que serão executados por recursos organizacionais.

Figura 7 — Portfólio e a conexão com objetivos estratégicos da organização.



Fonte: adaptado pelo autor de PMI (2017a).

O portfólio deverá estar conectado a um contexto externo e a respostas específicas à riscos aos quais a organização está exposta. Este processo deve ser renovado à medida que o portfólio é implementado e o contexto externo se modifica (MARTINSUO; GERALDI, 2020).

Hansen e Svejvig (2022, p. 280) após revisão da literatura de gerenciamento de portfólio que sustentam, que o processo pode ser avaliado em 7 etapas, sendo elas:

- 1) Seleção e otimização de portfólio;

- 2) Gerenciamento de ideias;
- 3) Ciclo de planejamento de portfólio;
- 4) Processos e governança;
- 5) Abordagem estratégica;
- 6) Práticas de projeto; e
- 7) Gerenciamento de mudança.

A etapa de seleção e otimização de portfólio tem como objetivo estabelecer um processo de decisão no gerenciamento de portfólio. Busca-se selecionar o melhor *mix* de projetos, com utilização plena de recursos e com o menor risco possível (HANSEN; SVEJVIG, 2022). A expectativa sobre o método de decisão deverá partir do princípio de que não há uma decisão perfeita, e que há uma escolha a ser realizada ao aplicar uma metodologia de seleção (RODE; SVEJVIG; MARTINSUO, 2022).

O PMI (2017b) define, que valor é um indicador de efeito que pode ser entregue por uma determinada entidade. Este valor é contextual de cada organização e poderá ser visto de diversas formas, como no aumento de receita, rentabilidade ou redução de risco. A maximização de valor é um dos principais objetivos do processo de gerenciamento e seleção de portfólio (KOPMANN *et al.*, 2015).

Uma organização precisa autoavaliar o seu estado atual para determinar o melhor formato de balanceamento e otimização dos componentes do portfólio (PMI, 2017a). As circunstâncias em que um componente do portfólio se posiciona momentaneamente na organização deverá ser levado em consideração, e aspectos tangíveis como disponibilidade de recursos humanos e monetários devem ser observados (RODE; SVEJVIG; MARTINSUO, 2022). No que tange aos riscos de um portfólio de projetos, a interação entre projetos deverá ser considerada um dos fatores principais. Ela poderá trazer um efeito positivo ou negativo para o portfólio, tornando o processo decisório mais robusto para os *stakeholders* (GUAN *et al.*, 2017).

No contexto de projetos com natureza de inovação, considerar vantagens estratégicas que uma iniciativa trará para a organização após a sua implementação além do seu resultado em si faz com que esta organização aumente a efetividade e qualidade do processo de seleção de portfólio, levando a decisões mais assertivas. Desta maneira, espera-se que menos oportunidades deixarão de ser aproveitadas e os objetivos estratégicos serão atingidos mais rapidamente. Se forem ignorados projetos com vantagem estratégica e a seleção ocorrer somente pela análise de diferentes técnicas de avaliação, a organização estará selecionando

um portfólio menos efetivo (ABBASI; ASHRAFI; GHODSYPOUR, 2020). Um exemplo de vantagens estratégicas foi abordado por Kock e Gemünden (2019), que estabeleceram que há um efeito positivo no sequenciamento de projetos e sucesso em portfólio de projetos. O sequenciamento pode ser proativo, originado por um planejamento incremental de melhorias ao longo do ciclo de vida, ou reativo, originado por lições aprendidas de outros projetos e/ou percepção de valores adicionais a serem capturados após a conclusão de um projeto.

O processo de avaliação individual de cada projeto é a etapa inicial de um processo de seleção de portfólio, para que estes possam ser inseridos em um método de decisão multicriterial, que agrega as variáveis e apresenta um resultado de priorização e forma de *ranking* (MAVROTAS; MAKRYVELIOS, 2021). O processo de avaliação de um investimento ocorre a partir da apresentação de um documento de projeto para os *stakeholders*. Neste documento, estão contidas informações como fatores críticos de sucesso e KPIs (*Key Performance Indicator*) que serão apreciados a partir da estratégia estabelecida para o portfólio. Após a execução do projeto, é possível comparar os resultados reais em comparação com os resultados apresentados na fase de apreciação, de forma a promover melhorias no processo de apresentação de projeto, e no método de seleção de portfólio (COSTANTINO; DI GRAVIO; NONINO, 2015). O *business case* de um projeto pode ser utilizado além do processo de decisão de prosseguir com um determinado projeto, mas também para monitoramento de valor durante a sua implementação e realização de valor após a conclusão do projeto (KOPMANN *et al.*, 2015).

O processo decisório de prosseguir com um determinado projeto deve ser tratado de forma multidimensional, incorporando diferentes critérios, e sob a perspectiva de diferentes *stakeholders* (RODE; SVEJVIG; MARTINSUO, 2022). Os requisitos de informação pelo processo de gestão de portfólio dependem dos critérios de seleção estabelecidos (KAISER; EL ARBI; AHLEMANN, 2015). É preciso reconhecer que diferentes critérios e técnicas deverão ser aplicados para a avaliação de projetos de diferentes naturezas (RODE; SVEJVIG; MARTINSUO, 2022). Entre as técnicas de seleção e otimização de portfólio, Hansen e Svejvig (2022) citam 7 técnicas que se destacam na literatura: (1) Métodos interativos; (2) Atribuição de notas; (3) Otimização de portfólio; (4) Métodos de análise multicriterial; (5) Programação matemática; (6) Modelagem econômica; e por fim (7) Sistemas de suporte à decisão, como Inteligência Artificial.

A aplicação de métodos de análise multicriterial é fundamental no processo de decisão de prosseguir com um projeto, para que seja avaliada a aderência de objetivos com as metas em curto e longo prazo, e diferentes expectativas dos *stakeholders* (RODE; SVEJVIG;

MARTINSUO, 2022). O processo de desenvolvimento do modelo em conjunto entre a equipe de projeto e portfólio e os patrocinadores contribui para que haja uma maior aceitação com o resultado obtido com a aplicação de ferramentas de seleção de portfólio (DUNCAN; MERRICK, 2011).

### **2.2.1 Decisões Multicriteriais**

A partir do processo de gestão da estratégia corporativa, uma organização define objetivos a serem atingidos. Estes objetivos são utilizados para definir o critério de seleção de projetos e o propósito de um determinado portfólio. Cada projeto tem uma série de atributos estabelecidos, em alinhamento com o critério de seleção pré-definido. Estes atributos devem ser consistentes para todo o portfólio de projetos em execução e em desenvolvimento. Também, deverão ser apresentados para os patrocinadores do projeto e do portfólio, que serão comparados com critérios pré-estabelecidos e derivados da estratégia corporativa para a seleção do portfólio (KAISER; EL ARBI; AHLEMANN, 2015).

Processos de decisão que seguem uma metodologia a partir de um modelo, conceito ou procedimento contribuem para a redução de ambiguidade, e incerteza no momento da tomada de decisão. Porém, deve-se reconhecer que não é possível considerar todas as situações existentes em sua aplicação (ROY, 2005). O problema de selecionar projetos em um portfólio pode ser generalizado como um critério de decisão multicriterial. Primeiro, define-se o portfólio como um ou mais objetivos a serem atingidos, o que permite a inclusão de mais de um critério de seleção com diferentes pesos (POLYASHUK, 2005).

O ambiente interno e segmento em que a organização está inserida poderão influenciar na determinação do método de decisão multicriterial selecionado, e entre abordagens mais técnicas ou sociais de seleção. O nível de complexidade apropriado deve ser baseado na complexidade do cenário de decisão, na capacidade de geração de dados, e no tempo disponível (DUNCAN; MERRICK, 2011). Um dos maiores desafios do processo de modelagem multicriterial para a seleção de um portfólio é encontrar o ponto de equilíbrio entre a utilização de modelagens tecnicamente mais complexas, ou a dedicação de maior tempo ao processo de socialização da decisão. O experimento apresentado por Phillips e Bana e Costa (2007) sugere, que dedicar mais valor ao processo social trará mais valor ao processo de seleção.

Ao estruturar processos decisórios que envolvam finanças por métodos de análise multicriteriais, quem tomará a decisão deverá receber informações suficientes para entender as peculiaridades aplicadas ao mundo real que envolvem o problema em questão. O papel de quem toma a decisão não deverá estar restrito ao papel passivo de receber um número que integre matematicamente as variáveis do problema (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002).

Dentre os métodos de avaliação de problemas envolvendo múltiplos critérios, há métodos de avaliação que podem ser classificados como de sobreclassificação, ou *outranking methods*, que consideram a preferência do tomador de decisão como comparação entre opções para um determinado problema. Como por exemplo, prefere-se a alternativa *a* em relação à alternativa *b* para o critério *X*. Entre estes métodos, cita-se a família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) (FIGUEIRA; GRECO; EHROGOTT, 2005). No ambiente de seleção de portfólio, métodos como o PROMETHEE aparentam ser intuitivos e de fácil aplicabilidade, porém possuem limitações quanto aos critérios de decisão e incluem aspectos qualitativos (DUTRA, 2012). Ambos os métodos PROMETHEE e ELECTRE apresentam vulnerabilidades quanto à subjetividade quando incluídos parâmetros técnicos no modelo de decisão (GOMES, 2007).

Há outros métodos que buscam atribuir um valor aos atributos de utilidade para a apreciação de um determinado problema (FIGUEIRA; GRECO; EHROGOTT, 2005). O *Multiattribute Utility and Value Theory* (MAUT), que tem como origem a Teoria de Utilidade proposta por Fishburn em 1970, e o *Analytical Hierarchy Process* (AHP) são os principais métodos encontrados na literatura. Ambos estabelecem uma função de utilidade através de uma pontuação para cada objetivo, permitindo a apresentação de uma ordem de preferência para a tomada de decisão (GOMES, 2007). Em métodos como o MAUT, permite-se que variáveis qualitativas sejam incluídas na modelagem do problema multicriterial, visto que são transformadas em itens quantificáveis através da atribuição de pesos relativos entre os critérios e subcritérios analisados (SONCINI, 2008).

O MAUT pode ser descrito como um método que sistematiza o processo de decisão de um determinado problema, facilitando o julgamento, por apresentar escalas pré-estabelecidas para os avaliadores, e o consenso para estabelecimento de priorização (SELAMEAB; YEH, 2008). Já o método AHP é predominantemente utilizado em problemas de seleção e avaliação em áreas como a engenharia, problemas pessoais e sociais (VAIDYA; KUMAR, 2006).

Devido à necessidade de refinar resultados para casos particulares, é possível realizar adaptações do AHP em combinação com outros métodos ou técnicas. O AHP é um método de

avaliação multicriterial flexível, que pode ser adaptado a escalas, como a de 5 pontos proposta por Saaty (1985) ou até mesmo uma escala de pontos de 0 a 100 (VAIDYA; KUMAR, 2006). No entanto, Dutra (2012) afirma que o AHP não é apropriado para portfólios que envolvem um número grande de projetos, visto que o volume de comparações pareadas exigido pelo método inviabiliza a sua aplicação.

Ao comparar diferentes métodos como o ELECTRE e o AHP, Zak (2015) indica que ambos os métodos de análise multicriterial aplicados em sua publicação apresentaram resultados satisfatórios para um processo de seleção de portfólio. Apesar da diferença entre métodos e formato do processo de cálculo, o critério de decisão e *ranking* não foram alterados em função da mudança do método aplicado.

Munda (2005) propõe que, ao integrar indicadores econômicos e ambientais em um processo de análise multicriterial, a capacidade de compensação dos critérios de seleção é um aspecto que deverá ser considerado como fundamental, ou seja, a possibilidade de um critério menos vantajoso ser compensado por um mais vantajoso. Assim, sugere-se que ao utilizar métodos de análise multicriteriais para problemas que envolvem aspectos econômicos e de sustentabilidade, que se utilize algoritmos que não permitam a compensação de critérios.

Gomes (2007) sugere, que técnicas como o MAUT podem ser classificadas como compensatórias, sendo possível uma grande nota e um determinado critério compense a desvantagem de outro na agregação do valor de utilidade apresentado na tomada de decisão. Já técnicas como o ELECTRE e o PROMETHEE apresentam uma metodologia mais estruturada para uma decisão mais balanceada.

Ao prospectar a aplicação de métodos de decisão multicriteriais em 109 publicações científicas no ambiente do LCA, Zanghelini *et al.* (2018) indicam que a sua aplicação na fase específica de LCIA contribui para a avaliação de *trade-offs*, como por exemplo, aspectos econômicos, técnicos e sociais. Dentro das ferramentas identificadas, o AHP é uma das indicadas como aplicáveis. No entanto, os autores corroboram com Munda (2005) no que tange a preferência por métodos de sobreclassificação, que reduzem o problema de compensação de critérios ao agregar valores em uma soma de funções de utilidade. Entretanto, na prática, métodos com base na Teoria de Utilidade, como o MAUT, e o AHP apresentam resultados satisfatórios pela facilidade de sua aplicação.

Pela avaliação de Götze *et al.* (2008) sobre os métodos de avaliação multicriterial, há similaridades conceituais em todos os métodos, pois compartilham a lógica de segmentar o problema em partes. Invariavelmente, os elementos precisam ser separados, e peso e critérios estabelecidos para aplicação do método. Valores são apresentados em forma de um valor de

utilidade ou em valores comparáveis entre si. Finalmente, o peso é levado em consideração para apresentação de resultados. Os métodos possuem vantagens e desvantagens, não sendo possível definir uma preferência sem a análise da aplicação específica.

### 2.2.2 Programação matemática para seleção de investimentos

Um sistema de suporte ao processo de decisão pode ser modelado de forma a incluir as necessidades específicas de uma organização, podendo incluir a disponibilidade de recursos de execução e financeiros para a seleção de portfólio. A programação matemática tem importante contribuição nos processos de seleção de portfólio, com destaque para a Programação Linear e Programação Por Objetivos (PPO) (CABALLERO; CHOPRA; SCHMIDT, 2012).

A programação matemática é uma das principais áreas de interesse da Pesquisa Operacional. Ela tem como objetivo a otimização da alocação de recursos limitados em ambiente competitivo, sob condições e restrições específicas aplicadas a partir da natureza do problema observado. Quando o modelo matemático utiliza exclusivamente funções lineares, determina-se que este é um problema de Programação Linear. No ambiente da programação linear, o conjunto de soluções é determinado como contínuo e sendo assim, soluções fracionárias são permitidas. A Programação Inteira restringe uma ou mais variáveis, que deverão ser números inteiros. A resolução de um problema através da Programação Inteira é complexa, e requer algoritmos complexos para a sua resolução (BRADLEY; HAX; MAGNANTI, 1977).

Souza (2008) afirma, que a Programação Linear é uma importante ferramenta para a definição de um portfólio de projetos, sendo a sua principal contribuição a possibilidade de ajustar variáveis simultaneamente na busca da otimização dos objetivos do portfólio. Através da modelagem é possível incorporar restrições que dificilmente seriam identificadas pelo estabelecimento de um *ranking* resultante de um modelo de decisão multicriterial, como por exemplo, restrições de capital de giro. No entanto, Dutra (2012) refere-se à complexidade da utilização da programação matemática como uma das causas por sua baixa aceitação por tomadores de decisão, visto que não permitem a inclusão de julgamento e experiência da pessoa ou grupo envolvido no processo decisório

De acordo com Bradley *et al.* (1977), o problema de seleção de portfólio é um exemplo de Programação Inteira, em que determinados investimentos são selecionados a

partir de um grupo de opções. Nestas opções, poderá haver diferentes localidades, tipo de equipamentos, ou tecnologia. Este tipo de opção tem na maioria dos casos uma natureza inteira, devendo um determinado investimento ser ou não selecionado para o portfólio ( $X_j=0$  ou 1). Ao considerar  $C_j$  como a contribuição financeira de um determinado projeto, pode-se estabelecer genericamente como um modelo de seleção de portfólio sob aspectos financeiros como mostra a Equação (1):

$$\text{Maximizar } \sum_{j=1}^n C_j \times X_j \quad (\text{Eq. 1})$$

O modelo proposto deverá atender também a restrição de recursos organizacionais, sendo  $J$  o projeto em avaliação,  $A_{ij}$  os recursos  $i$  utilizados por um determinado projeto, e que o objetivo total é maximizar a contribuição de todos os investimentos sem exaurir os recursos limitados  $B_i$  disponibilizados para o portfólio (Equação (2) e (3)).

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} \times X_j \leq B_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$X_j = 0 \text{ ou } 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (\text{Eq. 3})$$

Ao propor um modelo de Programação Inteira para seleção de portfólio de projetos com natureza inovadora, Abbasi *et al.* (2014) sugerem, que o modelo de seleção matemático inclua a interdependência entre projetos em sua formulação. Um exemplo citado pelos autores é que alguns projetos poderão ser mutuamente exclusivos, e outros serem selecionados em conjunto.

Considerada uma forma de generalização da Programação Linear, a PPO foi introduzida formalmente por Charnes e Cooper em 1961. Pela praticidade de seus conceitos, este tipo de modelo tornou-se muito popular na aplicação em problemas de decisões multicriteriais. A PPO avalia um conjunto de critérios, que deverão ser segregados em restrições e objetivos. Restrições são critérios que deverão ser obrigatoriamente cumpridos, enquanto objetivos são todos os demais critérios avaliados pelo modelo matemático proposto (JONES; TAMIZ, 2010). Este tipo de modelagem traz como vantagem a possibilidade de sequenciamento e agendamento em problemas de seleção de projetos, além de permitir a consideração de interdependência de recursos em um portfólio de projetos (DUTRA, 2012).

Tanto a Programação Linear, quanto a PPO requerem que haja informações disponíveis sobre os projetos participantes do processo de seleção de portfólio. Quanto maior

o conhecimento em relação aos projetos, mais precisos serão os resultados de um processo de avaliação e seleção de projetos (CABALLERO; CHOPRA; SCHMIDT, 2012).

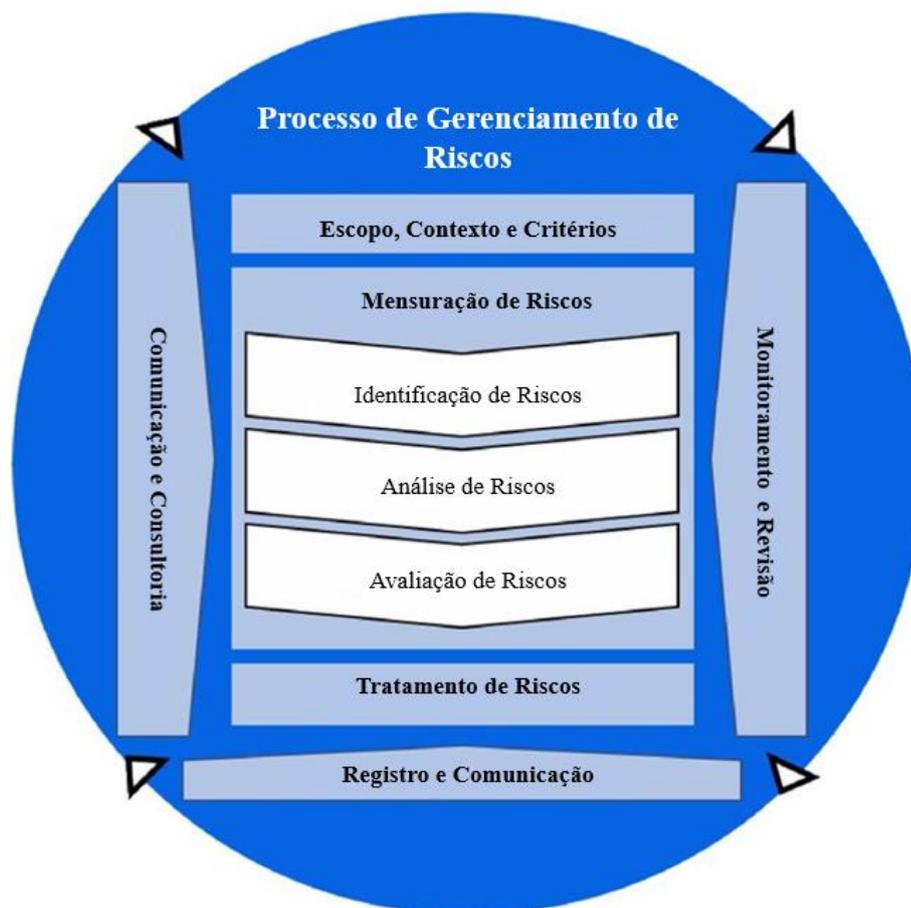
Portanto, a apresentação da programação matemática é complementar aos métodos de decisão multicriterial para a seleção de portfólio. Com ela, é possível elaborar um modelo que permita estabelecer condições de contorno para que se encontre a decisão mais próxima dos parâmetros desejados. As variáveis de entrada utilizadas na programação matemática resultam da aplicação de métodos de análise de viabilidade econômica e de riscos em projetos.

### 2.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E DE RISCOS EM INVESTIMENTOS

Devido à alta incerteza e complexidade por contemplar diversos aspectos, é importante que ocorra uma avaliação sistêmica de riscos na seleção de um portfólio de investimentos (BAI *et al.*, 2021). A definição de risco pode ser descrita, de forma simplificada, como o efeito que a incerteza causa em objetivos. Já o gerenciamento de riscos é a coordenação de atividades voltada para direcionamento e controle de riscos (ABNT, 2018). O gerenciamento de riscos de portfólio tem como objetivo garantir que os componentes do portfólio irão atingir sucesso de acordo com os objetivos estratégicos da organização e o seu modelo de negócio. Sob o ponto de vista de gestão de riscos, este processo engloba o balanceamento de riscos positivos, ou oportunidades, com riscos negativos ou ameaças (PMI, 2017b).

O propósito do gerenciamento de riscos é a criação e proteção de valor (ABNT, 2018). Este processo envolve a aplicação de políticas, procedimentos e práticas nas atividades de gerenciamento de riscos. A norma ABNT NBR ISO 31000 ilustra este processo de forma simplificada, conforme a Figura 8.

Figura 8 — Processo de Gerenciamento de Riscos.



Fonte: ABNT NBR ISO 31000 (2018).

O propósito de identificar riscos é identificar e descrever riscos que possam impactar no atingimento de objetivos de uma organização, seja positivamente ou negativamente. A análise de riscos é compreender a natureza dos riscos e as suas características, realizando uma análise detalhada do objeto de incerteza. Já a avaliação de riscos consiste em prover resultados para o suporte de decisão, comparando o resultado do processo de análise de riscos com um determinado critério que reflita o grau de tolerância de uma organização (ABNT, 2018).

O gerenciamento de risco de portfólio alinha os seus componentes, com a estratégica organizacional, o modelo de negócio, com o ambiente em que estão inseridos, e a geração de valor em que uma execução sincronizada de portfólio irá proporcionar (PMI, 2017a).

Existem múltiplas variáveis interdependentes estabelecendo a relação entre projetos e riscos, e o impacto de um único projeto pode causar impacto em um portfólio que possua projetos inter-relacionados. No caso de um projeto predecessor falhar em entregar o resultado esperado, é possível que ocorram falhas em projetos com dependências pré-estabelecidas

(BAI *et al.*, 2021). Em um nível de portfólio, a múltipla dependência causada pelo contexto de várias iniciativas ocorrendo simultaneamente resulta em riscos de execução de portfólio, que devem ser avaliados de forma holística. A simples decomposição de riscos como proposta em programas e projetos não é suficiente para o tratamento de riscos de portfólio (PMI, 2017a).

O gerenciamento de riscos pode ser visto como um campo amplo de estudo. Já o processo de decisão baseada em riscos é mais específico. No processo de decisão baseada em riscos, a conexão entre a análise de fatores e o tomador de decisão é um componente fundamental, destacando-se no meio científico o processo de estimativa de riscos estar conectado às necessidades de quem tomará as decisões. Um dos aspectos que é fundamental é a incorporação da incerteza nas estimativas de riscos em um processo de decisão (MORGAN; CRAWFORD; KOWALCYK, 2022).

Briggs (1995) sugere a incorporação de uma análise de cenários promovendo o aumento da qualidade na comparação entre resultados, como cenário mínimo e máximo, ou cenário otimista e pessimista. As variáveis do modelo poderão ser determinísticas ou estocásticas. O propósito desta análise é identificar as variáveis principais de influência de um projeto e que irão requerer estudos específicos. A forma mais popular de expressar a variação proporcionada pela incerteza das variáveis de entrada é o diagrama de tornado (SCHUYLER, 1994).

Definir um determinado aspecto como risco é uma forma de relatar um estado futuro que tem uma determinada probabilidade de ocorrer. Não seria possível realizar o cálculo do retorno de um investimento sem que o seu risco seja devidamente avaliado (WEAVER, 2008). Uma proposta de investimento não pode ser apreciada antes de ser definida e apresentada. É preciso que haja definição técnica, de custos, prazo e benefícios após implementação (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2008).

### **2.3.1 Métodos de análise econômico-financeira**

Existem diversos métodos que permitem a análise da viabilidade econômica de investimentos em um portfólio de projetos (FRANK *et al.*, 2011). O processo de análise de investimentos em projetos de capital deve iniciar com o princípio de que a produtividade do capital é medida através da taxa de retorno que se espera receber em um período futuro. Na prática, uma unidade monetária recebida amanhã vale menos do que uma unidade monetária recebida hoje. Por esta razão, não é possível o cálculo de retorno de um investimento sem

definir: (1) quando ocorrerá a despesa; e (2) quando haverá o retorno do capital investido (HERTZ, 1979). A vida útil de um investimento deverá ser determinada antes de iniciar o processo de análise de retorno financeiro (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2008).

Um dos principais fatores que precisa ser reforçado na análise de investimentos é o custo do dinheiro no tempo. Ao realizar a comparação de investimentos através do método do fluxo de caixa descontado, o valor do dinheiro no tempo é levado em consideração, assim realizando a comparação de diferentes fluxos de caixa em um ponto específico ao longo do tempo. Normalmente, estes valores são trazidos a valor presente para a comparação (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2019).

Uma das formas mais tradicionais de análise econômica de investimentos é através do método do fluxo de caixa descontado, apontado como um método capaz de indicar qual o retorno esperado no futuro para um investimento feito no presente (HERTZ, 1979). O conceito de VPL surge a partir da contabilização de todos os fluxos de caixa e trazê-los ao valor presente. A soma de todos os fluxos de caixa em valor presente representa o montante que será contabilizado como ganho, em caso positivo, ou perda, em caso negativo, decorrentes de um determinado investimento (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2008).

Seguindo na mesma linha, o método da TIR apresenta a taxa de retorno com que o VPL de um determinado projeto será zero. Uma forma de análise de economia é através da comparação da TIR com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Os investimentos com TIR maiores que a TMA são considerados financeiramente rentáveis por este critérios e passíveis de análise (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2019). Em termos absolutos, se a TIR for maior que a taxa de desconto, o projeto é considerado rentável (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2008).

Uma das limitações do método da TIR é que ele presume que o fluxo de caixa resultante do projeto será reinvestido na sua TIR (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2019). Este método é utilizado para análise de investimentos isolados que envolvam em curto prazo ou que tenham número baixo de períodos, de sorte que um valor anual teria pouco significado prático para a tomada de decisão (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2008).

O método do *payback* para avaliação econômica de projetos traz como resultado o período no qual o valor investido iguala o retorno econômico. Considera-se então que este período representa o tempo que o investimento leva para, minimamente, remunerar o investidor em relação ao capital empregado em determinada iniciativa. Em muitas ocasiões, o investidor determina um período máximo pelo qual deseja que o investimento retorne o capital inicial empregado. Observa-se que, este período é normalmente determinado por uma

avaliação subjetiva do investidor, a partir de suas experiências anteriores e de acordo com o nível de risco percebido em determinado tipo de projeto (LEFLEY, 1996). Denomina-se o método do *payback* como simples, ao não considerar o custo do capital no período de avaliação de um determinado investimento, ou método do *payback* descontado, quando o custo de capital passa a ser incluído na avaliação econômica (AKALU, 2001).

A incerteza é uma característica de todo o processo determinístico de decisão. A sensibilidade de um determinado modelo deve ser levada em consideração na tomada de decisão que tem como base métodos quantitativos. A incerteza apresentada pelas variáveis deverá ser incluída na modelagem como uma função objetiva distinta do modelo original, proporcionando maior clareza no processo de seleção de investimento (HAIMES; SAGE, 2008). Um exemplo de aplicação de análise de sensibilidade é variação do custo para realização de um determinado projeto. A *American Association of Cost Engineering* (AACE) sugere em sua Prática Recomendada n.º 18R-97 que o nível mais alto de uma estimativa de custos de um investimento possui uma faixa de precisão entre -10% a +15%, dependendo do nível de maturidade das entregas de um projeto (AACE, 2016).

Enquanto métodos quantitativos de avaliação econômica e de riscos baseiam-se na existência de uma avaliação de possíveis consequências em variáveis de um modelo, métodos probabilísticos baseiam-se em dados históricos, observação e experimentação. Com frequência, ambos os métodos precisam ser combinados, seja por limitação de informações disponíveis ou pela necessidade de uma avaliação econômico-financeira mais robusta (HAIMES; SAGE, 2008).

### **2.3.2 Métodos Probabilísticos**

Por trás de técnicas precisas de cálculo de retorno econômico de um investimento, os dados que alimentam os modelos não acompanham a precisão dos mesmos. Normalmente, dados são baseados em opiniões com diferentes confiabilidades e precisões. É por isto que, ao avaliar o retorno de um determinado investimento, é necessário entender que se trata de uma estimativa. A solução é a utilização de métodos que incluam a incerteza das estimativas para uma avaliação antecipada dos possíveis efeitos no resultado do investimento (HERTZ, 1979). Dutra (2012) afirma, que a utilização de métodos econômico-financeiros facilita o processo de seleção e priorização de um portfólio de investimentos, visto que tais critérios são indicadores

usuais nas organizações. Porém, a aplicação de métodos probabilísticos qualifica a análise e informações disponibilizadas.

A árvore de decisão é uma ferramenta probabilística de modelagem de um problema com capacidade de demonstração gráfica de um problema em múltiplos estágios. O seu formato de apresentação torna um problema complexo em um modelo de fácil compreensão. O problema é apresentado em um formato cronológico de eventos, facilitando a interpretação e tomada de decisão. O método é utilizado para problemas que envolvem uma sequência de decisões (HAIMES; LI; TULSIANI<sup>2</sup>, 1990).

É possível comparar a consequência de diferentes decisões de investimentos através da árvore. Como método, ela não trará para o gestor a resposta de uma decisão de investimento. Porém, o seu objetivo é contribuir para que uma decisão seja tomada sob a perspectiva de cenários sucessivos, dado as alternativas atuais e futuras que a decisão oportunizará (MAGEE, 1964).

O método de SMC envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar e propor soluções a problemas. A denominação 'Monte Carlo' foi cunhada em referência aos jogos de azar que fazem uso constante de sorteios e de dados, uma atração popular na cidade de Monte Carlo, Mônaco. A SMC pode ser aplicada em problemas de tomada de decisão que envolvam risco e incerteza, ou seja, situações nas quais o comportamento das variáveis envolvidas com o problema não é de natureza determinística (FREIRES *et al.*, 2011).

A SMC tem como base a repetição aleatória de amostragem, combinada com análise estatística para a avaliação de resultados. Pode-se afirmar que é próxima de um experimento aleatório, em que o resultado não é conhecido antecipadamente. Diferente de modelos determinísticos, que oferecem normalmente cenários para as variáveis modeladas, a SMC distribui de forma aleatória a alteração das variáveis para apreciação do efeito em uma variável de saída (RAYCHAUDHURI, 2008). No ambiente de projetos, a SMC pode, por exemplo, ser aplicada para o cálculo da probabilidade de término de um projeto em relação ao seu valor orçado. A utilização de um cronograma com descrição das atividades e com um intervalo do custo estimado para cada atividade com uma determinada probabilidade deve estar disponível para viabilizar este tipo de análise (STEFANOVIC; STEFANOVIC, 2005).

## 2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE REFERENCIAL TEÓRICO

A partir do problema de pesquisa desta dissertação, o 2º capítulo teve como objetivo a busca pela compreensão dos conceitos fundamentais nas 3 principais áreas que o *framework* de seleção de portfólio de projetos de EC buscará convergir. Sem esta revisão teórica, qualquer contribuição que busque encontrar convergência entre a multidisciplinaridade de tópicos terá dificuldades em promover contribuições significativas para o meio científico.

Durante o processo de leitura e aprofundamento de conhecimentos nas 3 áreas citadas, há alguns pontos que merecem ser observados antes da apresentação do método de pesquisa, resultados e conclusão.

No que diz respeito à EC, há claramente um volume recente de artigos científicos publicados pela notoriedade que o tema tem na sociedade. No entanto, percebeu-se que a maioria dos artigos científicos publicados com o termo 'economia circular' tem uma abordagem fundamentalmente teórica, em que a sua aplicação e integração com outras áreas ainda é muito superficial. Em função deste debate recente de conceitos, foi necessário ampliar o espectro temporal da pesquisa para entender qual a essência da EC.

Em relação ao gerenciamento de portfólio de projetos, há um volume relativamente grande de material a ser pesquisado. Porém, precisa-se reconhecer que a área de gerenciamento de projetos também é recentemente nova. Por ser um campo extremamente prático, percebeu-se na revisão teórica que há diversas publicações de modelos de seleção de portfólio. No entanto, não foram encontradas publicações que propusessem um modelo genérico para projetos de EC, tanto no ambiente de gerenciamento de projetos e potenciais práticas sustentáveis, quanto no processo de seleção de portfólio.

Já a 3ª subseção deste capítulo buscou abordar de forma sucinta a análise de viabilidade econômica de investimentos, uma área consolidada com diversas publicações e livros. Porém, também não foram encontrados artigos que tratassem da quantificação econômica de investimentos de EC, ou sugerissem como fazê-lo.

Como lado positivo, todas as lacunas aqui citadas reforçam o objetivo desta dissertação cujo escopo é propor um *framework* que possa auxiliar na análise e seleção de projetos de investimentos com escopo de EC.

### 3 MÉTODO

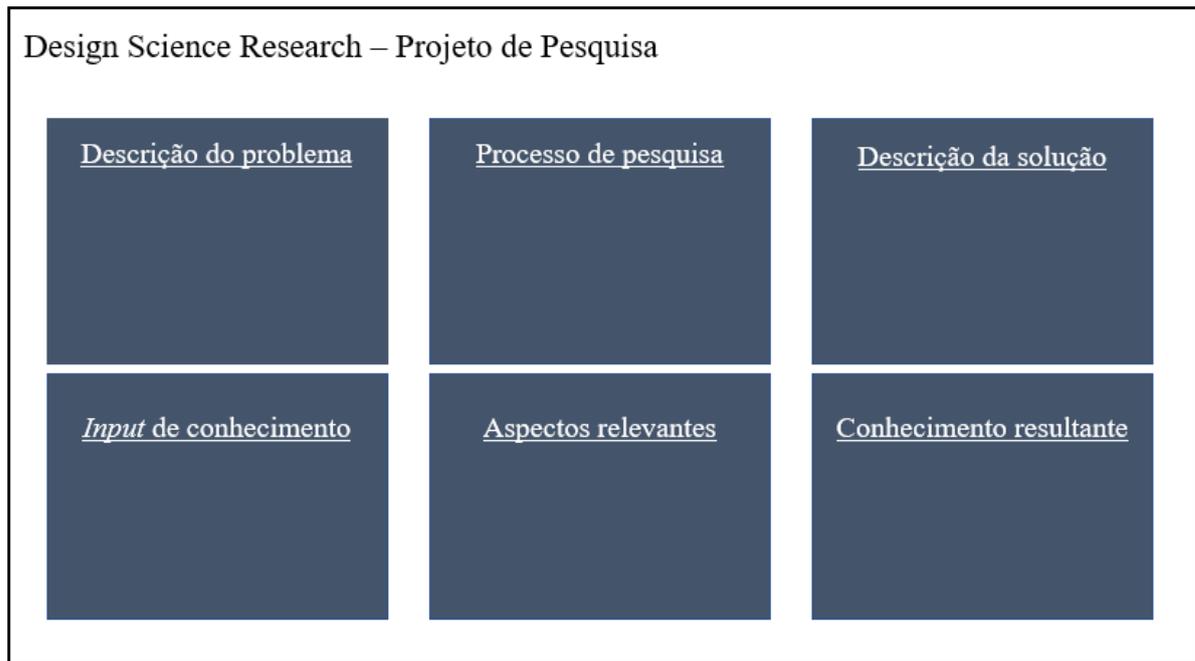
Este capítulo apresenta o método utilizado para desenvolvimento desta pesquisa. São apresentados detalhes sobre as etapas previstas pelo método escolhido, bem como ele será aplicado para atendimento dos objetivos desta dissertação.

#### 3.1 *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

Esta etapa evidencia as etapas da metodologia de pesquisa escolhida para o estudo. A estratégia de pesquisa escolhida será o *Design Science Research* (DSR) pela natureza prescritiva, buscando preencher lacunas entre o campo teórico e prático para construir conhecimento científico (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

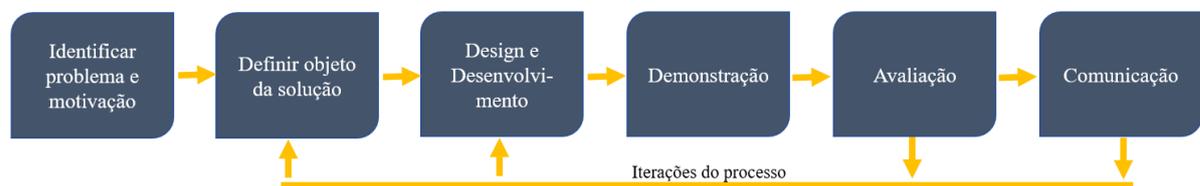
O principal aspecto de uma pesquisa que utilize o *Design Science* (DS) é a apresentação de um design inovador que proponha uma solução para um problema ou oportunidade do campo prático (VAN AKEN; CHANDRASEKARAN; HALMAN, 2016). A abordagem proposta pelo DSR possibilita que o pesquisador realize o processo de design de um artefato que contribui para que as organizações atinjam os seus objetivos (HEVNER *et al.*, 2004). O artefato deverá ser construído para realizar uma determinada tarefa, e avaliado para determinar se o resultado da pesquisa trouxe progresso para o campo de estudo (MARCH; SMITH, 1995).

A Figura 9 caracteriza as 6 dimensões que deverão ser comunicadas com os resultados de um projeto de pesquisa que utilize a metodologia DSR. Estas dimensões são: (i) descrição do problema; (ii) input de conhecimento; (iii) processo de pesquisa; (iv) definição dos aspectos relevantes; (v) descrição da solução; e (vi) conhecimento resultante do processo de pesquisa (VOM BROCKE; MAEDCHE, 2019).

Figura 9 — Projeto de pesquisa em *Design Science Research*.

Fonte: adaptado pelo autor de Vom Brocke e Maedche (2019).

A partir da caracterização do problema de pesquisa para a melhoria de uma situação prática e atual, a pesquisa pode ser dividida em 2 etapas: descritiva ou exploratória, e *design* do artefato (VAN AKEN; CHANDRASEKARAN; HALMAN, 2016). Peffers *et al.* (2007) propõem um *framework* genérico para a aplicação do DSR buscando unificar diferenças na abordagem identificadas na literatura. Com base nesta premissa, o *framework* proposto possui 6 etapas, que podem ser observadas na Figura 10.

Figura 10 — Etapas do *Design Science Research*.

Fonte: adaptado pelo autor de Peffers *et al.* (2007).

Os resultados típicos de uma pesquisa que utilize a metodologia proposta pelo DSR foram sugeridos por March e Smith (1995): construtos (conceitualização utilizada para descrever um problema e especificar uma solução); modelos (um conjunto de premissas que estabelecem relações entre construtos); métodos (uma sequência de etapas a serem realizadas

para efetivar uma tarefa); instâncias ou implementações (operacionalização do artefato no ambiente para o qual foi concebido).

Ao propor boas práticas para a pesquisa de DS, Hevner, March e Park (2004) propuseram métodos para a avaliação da utilidade, qualidade e eficiência do artefato proposto (Quadro 2).

Quadro 2 — Métodos para avaliação do artefato.

Forma de avaliação	Formato proposto
Observacional	<u>Estudo de caso</u> : estudar o artefato no ambiente de negócios. <u>Estudo de campo</u> : monitorar o uso do artefato em múltiplos projetos.
Analítico	<u>Análise estática</u> : examinar o artefato para qualidades estáticas. <u>Análise da arquitetura</u> : estudar a aderência do artefato na arquitetura do sistema. <u>Otimização</u> : demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou o a faixa ótima de utilização. <u>Análise dinâmica</u> : examinar o artefato para qualidades dinâmicas.
Experimental	<u>Experimento controlado</u> : estudar o artefato em ambiente controlado para verificar suas qualidades. <u>Simulação</u> : Executar o artefato com dados artificiais.
Teste	<u>Teste funcional (black box)</u> : executar interfaces do artefato para descobrir falhas e identificar defeitos. <u>Teste estrutural (white box)</u> : realizar testes de cobertura para algumas métricas para implementação do artefato.
Descritivo	<u>Argumento informado</u> : utilizar a informação de bases de conhecimento para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. <u>Cenários</u> : Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar a sua utilidade.

Fonte: adaptado pelo autor de Hevner, March e Park (2004, p. 86).

A produção de um artefato aplicado à resolução de um problema prático não é, por si só, um bom produto científico. É necessário haver sinergia entre a relevância do problema de pesquisa abordado pelo DSR, e o rigor do método científico aplicado para a produção de resultados com relevância científica (HEVNER, 2007). O resultado da pesquisa baseada em métodos construtivos, como o DSR, é de natureza experimental. O resultado ideal desta pesquisa é a resolução de um problema do mundo real, trazendo uma nova contribuição prática e teórica para o campo de estudo (LUKKA, 2003).

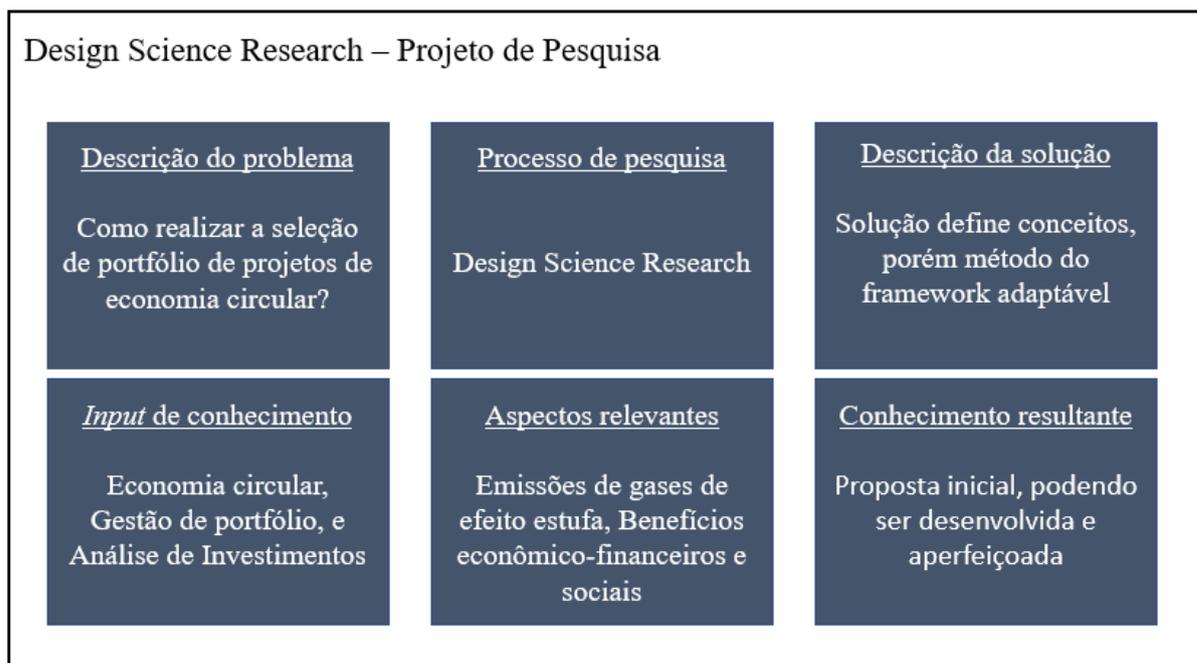
A razão da escolha do DSR como estratégia de pesquisa é em função da natureza prática do problema de seleção de projetos em um portfólio voltado para o objetivo de organizações em realizar a transição da economia linear para a circular. A solução para este problema implica no desenvolvimento de um artefato genérico que possa ser utilizado como base para diferentes segmentos econômicos e passível de melhorias incrementais à medida que haja uma evolução do conhecimento.

### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

A partir da compreensão da metodologia de pesquisa proposta pelo DSR e suas etapas previstas, nesta subseção apresenta-se o roteiro de pesquisa caracterizando cada etapa de desenvolvimento deste trabalho para a obtenção dos resultados, que serão apresentados no 4º capítulo.

A estrutura de etapas adapta a aplicação da metodologia DSR ao problema de pesquisa desta dissertação através de etapas propostas por diferentes autores, conforme pode ser visto na Figura 11. Primeiro, estabelece-se um Projeto de Pesquisa, conforme sugerido por Vom Brocke e Maedche (2019).

Figura 11 — Etapas do Projeto de Pesquisa do *Framework* de EC.



Logo após, o roteiro apresentado por Peffers *et al.* (2007) será utilizado como base para a descrição das etapas do DSR no desenvolvimento desta dissertação. Desta forma, as etapas 1 e 2 previstas por Peffers *et al.* (2007) foram apresentadas pelos 1º e 2º capítulos desta dissertação. Já as Etapas 3 a 6 estarão contempladas nos 4º e 5º capítulos, e por fim na publicação desta dissertação.

- **Etapa 1:** Identificar a questão de pesquisa e justificar o valor da solução. O problema deverá ser aberto conceitualmente para que a solução possa capturar a sua complexidade.
- **Etapa 2:** Definir objetivos para a solução do artefato, que podem ser quantitativos ou qualitativos. Deduzir através de pesquisa bibliográfica o que é possível e realizável com a proposição do artefato.
- **Etapa 3:** Design e desenvolvimento, através da criação do artefato. Conceitualmente, o produto de pesquisa, ou artefato, deverá incluir a contribuição da pesquisa para o meio científico. Neste momento, deverá ser feita uma avaliação dos 3 principais temas abordados por esta dissertação e identificar as principais contribuições para a elaboração do artefato. Estes aspectos poderão ser agrupados em diferentes fatores de risco, de forma a simplificar a dinâmica de aplicação do artefato. Ao elaborar o rascunho conceitual do artefato, será determinada a sua funcionalidade e arquitetura de funcionamento. O processo de criação incluirá o detalhamento dos segmentos que deverão ser analisados, com detalhamento dos critérios de seleção e como aplicá-los. Para que possa ser possível a aplicação prática do produto, deverá ser incluída na criação a dinâmica de aplicação, considerando diferentes etapas e momentos de reflexão para a tomada de decisão.
- **Etapa 4:** Demonstração do uso do artefato para um ou mais exemplos de situação problema. Nesta etapa, será realizada a busca de uma organização que se encaixe dentro do contexto do tema de pesquisa proposto, que esteja buscando a migração para um modelo econômico circular através da neutralização de suas emissões de carbono. Para que seja possível o uso de exemplo de terceiros sem o envolvimento direto com este trabalho, haverá uma combinação de dados reais e artificiais dentro do processo de demonstração do processo de seleção de portfólio.
- **Etapa 5:** Avaliação de como o artefato se comportou e deu suporte à resolução do problema de pesquisa. O modelo de avaliação está diretamente ligado ao tipo de artefato que foi produzido. O modelo identificado para aplicação no *framework* de seleção de projetos de EC misturará aspectos experimentais e descritivos. A dinâmica proposta para o artefato será avaliada, revisando o processo de incorporação dos riscos em uma ou mais etapas.
- **Etapa 6:** Comunicação do problema, da importância do artefato, de sua utilidade para o problema, do rigor aplicado ao seu design, e a efetividade para a sociedade,

pesquisadores, e profissionais com interesse na questão de pesquisa. O processo de comunicação se dará através da publicação deste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Com base no referencial teórico apresentado no 2º capítulo e na estratégia de pesquisa apresentada no 3º capítulo, o objetivo deste capítulo é apresentar as etapas necessárias para *design* e desenvolvimento (Etapa 3), demonstração (Etapa 4) e avaliação do artefato (Etapa 5).

### 4.1 DESIGN E DESENVOLVIMENTO

Martinsuo e Geraldi (2020) propõem que cada portfólio seja desenhado para o atingimento de um objetivo específico, e que os processos de trabalho, rotinas, e práticas também deverão ser estabelecidos levando em consideração este contexto particular.

Dado que: (i) organizações estabelecem metas e/ou compromissos para progresso em relação à métricas sustentáveis inspiradas pelo *framework* da EC, com destaque para a neutralização das emissões de gases de efeito estufa; e (ii) projetos e investimentos em EC compartilham do mesmo ambiente de negócios de concorrentes lineares, estabelece-se pela teoria de gerenciamento de portfólio que estas iniciativas possam ser agrupadas por compartilhar objetivos semelhantes. Ao compartilhar objetivos como progressão em relação a metas de sustentabilidade, os projetos que integram este portfólio terão características de construção de *business case* similares, que também os levará a compartilhar critérios de seleção para mensurar qual das iniciativas apresenta maior custo-benefício. Ao buscar a melhor decisão de investimento, diferentes fatores que envolvem um mesmo tópico têm a sua compreensão facilitada quando combinadas, como em fatores de riscos. Esta proposta é baseada no trabalho de Abbasi *et al.* (2020), que propõem que considerar riscos de diferentes áreas torna mais efetivo o processo de identificação de novos riscos, contribuindo assim para uma seleção de portfólio mais efetiva para projetos de natureza de inovação. O Quadro 3 apresenta a contextualização identificada nesta dissertação em relação ao ambiente que investimentos de EC estão inseridos a partir de referências científicas, vindas de uma revisão da literatura e agrupados em fatores semelhantes de riscos a serem considerados em um processo de gestão de portfólio.

Quadro 3 — Fatores relevantes na decisão de investimento em Economia Circular.

Contexto	Fonte	Fatores de Risco
Diferentes abordagens e definições para a EC	Kalmykova <i>et al.</i> (2018) Kirchherr <i>et al.</i> (2018)	Conceitual
Abrangência de compromissos distinta entre organizações.	Science Based targets Iniciative (2022)	
Compromissos públicos de organizações ainda é limitado.	IPCC (2018)	
Diferentes formatos de medição de circularidade.	Roos Lindgreen <i>et al.</i> (2021)	
Avaliação ambiental deverá ser realizada individualmente em cada projeto.	Korhonen <i>et al.</i> (2018)	Metodológico
LCA como ferramenta para avaliar antes e depois de estratégias de economia circular.	Peña (2021) Roos Lindgreen <i>et al.</i> (2021)	
Permanência na economia linear poderá aumentar a carga tributária.	IPCC (2018)	Financeiro
Garantir o lucro econômico das operações.	Guldmann e Huulgaard (2020)	
Vantagem competitiva econômica tende a ser reduzida à medida que mercado oferece amplamente soluções circulares.	Schlosser <i>et al.</i> (2021)	
Não aderir a EC poderá levar à perda de desenvolvimento de valor econômico.	Ellen MacArthur Foundation (2020)	
Expectativa de redução de custos de Operações.	Chiappetta Jabbour <i>et al.</i> (2020)	
Métricas tradicionais de investimento são aplicadas a EC.	Guldmann e Huulgaard (2020)	
Transição completa não ocorrerá, havendo concorrência de produtos lineares e circulares.	Sven <i>et al.</i> (2021)	
<i>Framework</i> da EC não é termodinamicamente possível.	Korhonen <i>et al.</i> (2019) Georgescu-Roegen (1976)	Transição
Falta de estratégias e fóruns de compartilhamento.	Kalmykova <i>et al.</i> (2018) Tura <i>et al.</i> (2019)	
Competição com modelo econômico linear.	Korhonen <i>et al.</i> (2018)	
Falta de clareza se o cliente valoriza o produto circular.	Kirchherr <i>et al.</i> (2017)	Comercial
Impulsionar reputação da organização.	Chiappetta Jabbour <i>et al.</i> (2020)	
Vantagem competitiva em relação à concorrência.	Ellen MacArthur Foundation (2020)	
Falta de interesse e conhecimento do consumidor é uma barreira identificada.	Kirchherr <i>et al.</i> (2018)	
Metas de neutralização de emissões pactuadas no Acordo de Paris adquirem efeito de lei dentro dos países.	European Commission (2020)	Legislativo
Complexidade nas Operações ao substituir matéria-prima virgem por resíduos pós consumo.	Guldmann e Huulgaard (2020)	
Desenvolvimento tecnológico em reciclagem deve evoluir para nível atômico.	Stahel (2016)	Tecnológico
Complexidade e riscos emergentes de mudanças de tecnologia.	Arvidsson <i>et al.</i> (2018)	

Dentro dos aspectos observados, pode-se destacar o fator de risco Conceitual como de fundamental relevância dentro do processo de análise de investimentos de EC. Diferentes interpretações conceituais foram identificadas por Kirchherr *et al.* (2017) como uma das principais barreiras para a implementação da EC. Como o principal objetivo de um portfólio é a materialização da Visão e Missão de uma organização, um portfólio (ou subportfólio) de projetos de EC deverá existir em organizações que possuem em seus objetivos estratégicos a migração para o novo formato econômico. Todos os componentes deste portfólio devem ter como princípio básico o atingimento deste objetivo estratégico.

**Fator de risco Conceitual:** A organização deverá comunicar com clareza o conceito adotado que adotará de EC, e quais os seus objetivos em termos de métricas de sustentabilidade. Investimentos devem estar alinhados aos objetivos estratégicos e demonstrar como auxiliam a organização a progredir em relação à situação atual.

Baseado na seção de LCA apresentada no 2º capítulo, percebe-se a importância da ferramenta na mensuração de progresso de uma organização em relação aos seus objetivos de EC. O *framework* proposto pela ABNT NBR ISO 14040 permite que seja mapeado o estado atual do impacto ambiental de um processo de produção de produtos ou serviços, para diferentes indicadores de sustentabilidade. À medida que diferentes projetos são propostos para execução pelo portfólio de iniciativas voltadas para a EC, é possível determinar a evolução de um indicador antes e depois da execução de um determinado projeto ou grupo de projetos.

Apesar de a EC não se limitar a questões relacionadas aos gases de efeito estufa, o Quadro 1 apresentou 7 organizações que centralizam a sua atuação em economia circular a partir de compromissos públicos de neutralização das emissões de carbono. A amplitude deste compromisso pode variar entre organizações, que incluem ou excluem as emissões anteriores e posteriores ao seu processo produtivo (escopo 3). O conceito de EC proposto por Kirchherr *et al.* (2018) caracteriza a atuação de organizações como as aqui citadas no nível micro, que engloba produtos, companhias e consumidores.

O exemplo da empresa BASF (2020) apresenta o resultado de um estudo de LCA com foco nas emissões de gases de efeito estufa de um produto (nível micro), que propõe que ao alterar a incineração do produto fóssil para o seu reprocesso após descarte produção de óleo de pirólise, há um crédito por evitar tal emissão. Sob o ponto de vista do trabalho de Potting *et al.* (2017) em termos de medidas potenciais para a EC e o seu grau de circularidade, para atingir a neutralização das emissões em um produto, a empresa BASF substituiu uma medida

já considerada circular (9 - recuperar), para outra com maior circularidade (7 – redirecionar). Ambas as medidas tratam de emissões do escopo 3, que são originadas após o consumo do material e na produção da matéria prima utilizada para a produção.

O exemplo acima demonstrado usa conceitos que não são integralmente cobertos pelos *frameworks* de 3 e 4R's. Porém, ao avaliar novamente a definição de EC proposta por Kirchherr *et al.* (2018), ocorre a substituição do processo relacionado com o fim da vida útil do material por um processo que traz benefícios tangíveis para a sociedade, através da limitação do aquecimento global.

A análise a partir do LCA também poderá ser feita utilizando aspectos temporais, como observado pelos compromissos estabelecidos pelas organizações para redução de suas emissões de gases de efeito estufa até um determinado ano, em linha com a proposta do Acordo de Paris. Utilizando como exemplo compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa para um determinado escopo, é possível avaliar qual a progressão anual necessária em toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> para que o objetivo seja atingido até um determinado ano. Além da utilização para mensuração de progresso em relação a um objetivo específico, este tipo de informação poderá também ser utilizada para comunicação com *stakeholders* e mercado.

**Fator de Risco Metodológico:** Investimentos em EC deverão passar por uma avaliação ambiental individual, através de métodos consolidados como o LCA.

A remuneração do capital do acionista é um aspecto de fundamental consideração para toda e qualquer organização que esteja estruturada para obtenção de lucro econômico. A revisão teórica apresentada no 2º capítulo mostra que investimentos de EC têm como objetivo principal os aspectos de sustentabilidade, porém também podem apresentar uma oportunidade para aumento de competitividade, retorno financeiro, e longevidade das operações. Desta forma, fatores de risco associados aos aspectos financeiro, comercial, e do cenário de transição entre o modelo linear e circular deverão ser observados dentro de um processo de análise de viabilidade econômica no ambiente genérico da EC.

**Fator de Risco Financeiro:** Investimentos em EC buscam a redução do custo das operações e são avaliados através de métodos tradicionais de investimento. Estes investimentos devem buscar o desenvolvimento de valor econômico, e capturar em seu *business case* incentivos tributários somente disponíveis para processos produtivos circulares.

**Fator de Risco Transição:** Investimentos em EC devem contemplar cenários de transição e coexistência com concorrentes lineares.

**Fator de Risco Comercial:** Investimentos em EC deverão ser pautados em um estudo de mercado, que demonstrem o comportamento esperado dos clientes em relação ao produto/serviço circular e possíveis incrementos na margem de contribuição

Aspectos de riscos particulares do ambiente da EC, como tecnologia e legislação, também precisam ser observados dentro do processo de seleção de portfólio. Genericamente, o PMI (2017b) propõe que o gerenciamento de riscos é um processo ativo de planejamento, análise, resposta, monitoramento e controle. A ação de resposta aos riscos deverá ser preventiva e implementada por eventos que inicializem respostas antes que os riscos se materializem, para que as oportunidades (riscos positivos) sejam maximizadas, e as ameaças (riscos negativos) sejam mitigados.

Logo, para riscos particulares, uma análise mais aprofundada deverá ser elaborada para os aspectos relevantes do ambiente da EC. O conceito genérico proposto pelo PMI (2017b) serve como base teórica utilizada em diferentes metodologias de análise de riscos, porém é preciso reconhecer que o estabelecimento de um processo único para diferentes segmentos e tecnologias poderá levar a determinação de critérios de seleção inadequados para o portfólio de EC. Tais fatores de risco deverão ser observados dentro do contexto do produto e/ou serviço específico da organização.

**Fator de Risco Legislativo:** Investimentos em EC devem monitorar o ambiente regulatório, em relação a incentivos para a circularidade e complexidade das operações ao propor novos modelos de negócio.

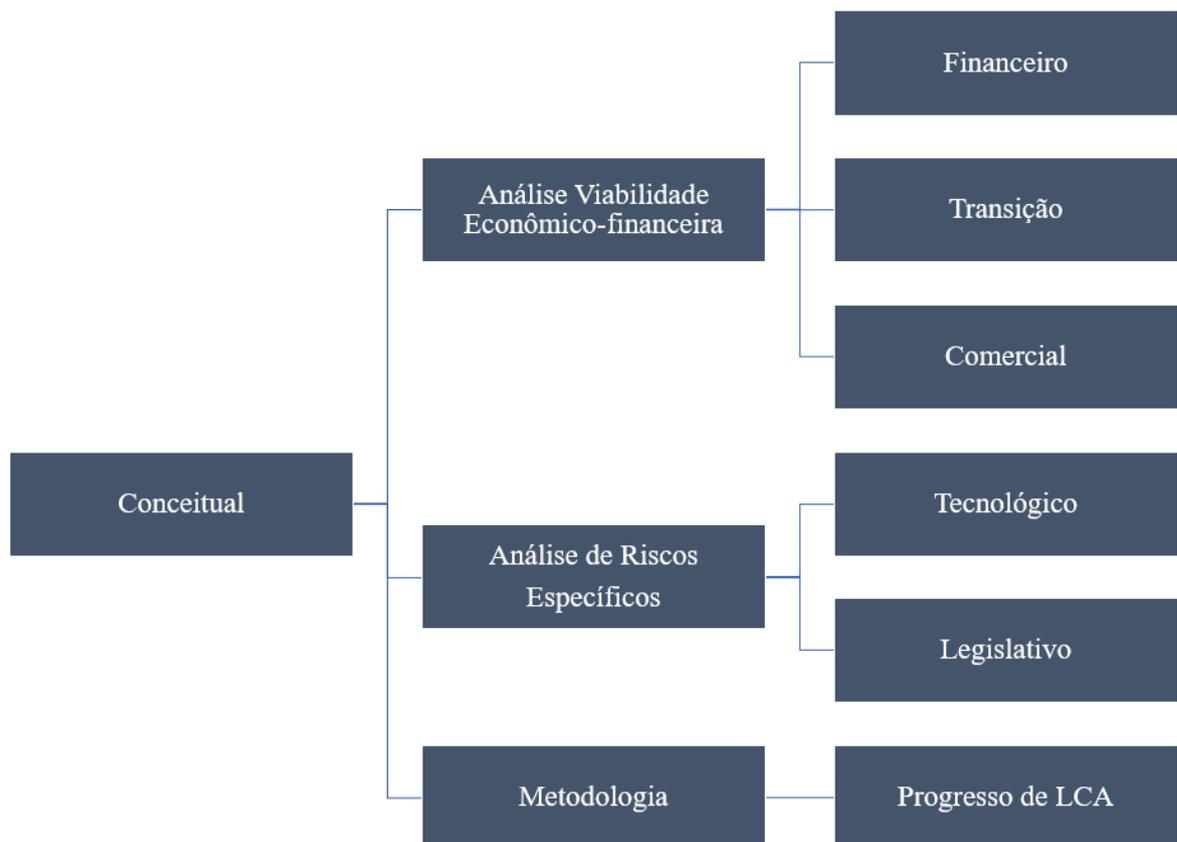
**Fator de Risco Tecnológico:** Investimentos em novas tecnologias deverão passar por uma análise de risco específica em relação a novas tecnologias.

Ao agrupar os aspectos da análise, busca-se a facilitação do entendimento de como o *framework* de seleção de portfólio de EC poderá ser estruturado. Como sugerido pelo PMI (2017b), a estruturação de riscos em categorias como um processo estabelece uma sistematização na identificação de riscos, e consistência no processo de gerenciamento de portfólio.

Patanakul (2015) propõe, que as seguintes características precisam ser apresentadas, para que um portfólio de investimentos seja gerenciado de forma efetiva: (i) esteja alinhado com os objetivos estratégicos da empresa; (ii) seja adaptável a mudanças internas e externas; (iii) possua projetos de alto valor ou benefício; (iv) seja conhecido e monitorado pelos *stakeholders*; (v), o processo decisório seja transparente, íntegro e coeso; e por fim, (vi) que a performance dos projetos seja previsível.

Portanto, a Figura 12 apresenta o agrupamento de fatores que servirão como base para o *framework* de seleção proposto pela seção 4.2, observando as características propostas por Patanakul (2015) para promover um gerenciamento efetivo.

Figura 12 — Agrupamento de fatores de risco.



## 4.2 PROPOSTA DE FRAMEWORK

Com base nos aspectos observados para o processo de seleção de portfólio para EC, conforme demonstrado pela Figura 12, o aspecto Conceitual é um elemento estrutural do

portfólio e aplica-se a todos os projetos alocados para este portfólio. A partir da seleção por um critério de entrada semelhante, todos os demais aspectos apresentarão diferentes métricas e/ou variações a depender do projeto específico apresentado para apreciação.

Meyer *et al.* (2005) propõem que o problema em que o método de decisão multicritério buscará solucionar pode ser dividido em 3 etapas fundamentais de sua elaboração. A 1ª etapa será o processo de escolha de alternativas já restritas a partir de critérios pré-determinados. A 2ª etapa, as alternativas selecionadas pelo processo de escolha de alternativas poderão ser classificadas em diferentes grupos seguindo critérios pré-estabelecidos. Por fim, a 3ª etapa apresenta um *ranking* de alternativas.

A proposição feita por Meyer *et al.* (2005) na divisão do problema em etapas é pertinente para desenvolvimento deste trabalho, se observada sob o aspecto da literatura de gestão de portfólio. De forma simples, pode-se estabelecer que a 1ª etapa de escolha de alternativas deverá ser avaliada pelo critério de entrada:

**Critério de Entrada:** os projetos avaliados no portfólio de investimentos deverão ter como objetivo o atendimento Conceitual comunicado pela organização, e deverão demonstrar através do procedimento metodológico estabelecido pelo LCA que contribuem tangivelmente para as metas de sustentabilidade. O *business case* apresentado deverá sugerir o tipo de medida circular adotada em relação ao estado atual.

Desta forma, um projeto que não tenha como objetivo a contribuição aos objetivos de sustentabilidade de uma organização não deverá fazer parte deste portfólio. Um exemplo disto é um projeto de alteração de uma linha de produção que tem como objetivo principal ganhos econômico-financeiros. Independentemente dos efeitos para a sustentabilidade, este projeto deverá integrar um portfólio que se aplique mais especificamente aos seus objetivos, ser apreciados por critérios apropriados ao tipo de projeto em questão para concorrência com projetos semelhantes.

Em função dos compromissos identificados serem específicos em termos de meta de sustentabilidade ao propor a neutralização das emissões, os critérios utilizados nas etapas subsequentes levam em conta este contexto, incluindo emissões de escopo 1, 2 e 3. O projeto deverá especificar o escopo das emissões que tem como alvo mitigar. Caso as metas de sustentabilidade sejam expandidas além da neutralização de gases de efeito estufa, novos critérios deverão ser inclusos no *framework* de seleção de portfólio.

A 2ª etapa fundamental proposta por Meyer *et al.* (2005) requer uma avaliação mais estruturada, classificando alternativas em grupos a partir de critérios pré-estabelecidos. Neste aspecto, Caballero *et al.* (2012) indicam que a escolha pela metodologia de seleção de portfólio reflete o nível de maturidade dos processos de gerenciamento de projetos de uma organização, de sua cultura, e pôr fim do tipo de projeto desenvolvido. Para prosseguir com o processo de seleção de portfólio, é necessário aprofundar os dois aspectos identificados anteriormente: análise de viabilidade econômico-financeira e análise de risco.

#### **4.2.1 Análise de viabilidade Econômico-financeira**

Dentre os métodos de análise econômico/financeiros identificados, Lefley (1996) apresenta evidências que o método do *payback* é utilizado historicamente como uma métrica secundária na avaliação de investimentos, em conjunto com métodos como a TIR e o VPL. Uma hipótese levantada é de que o *payback* tem maior preferência pelos decisores pela facilidade em apresentar ganhos financeiros mais rapidamente. O método do *payback* não possui embasamento teórico para justificar uma determinada seleção de portfólio que tenha como objetivo a maximização dos lucros de uma organização. Porém, pode-se considerar o método do *payback* como uma forma de avaliação de investimentos que busca proteger o retorno do capital de investimento através da redução de risco e incertezas em relação a projeções econômicas futuras assumidas por um projeto.

Kopmann (2015) sugere que ao gerenciar o risco de perda de valor do principal ao realizar um investimento, haverá maiores chances de sucesso em um portfólio em ambientes turbulentos. Apesar de mais completo, o método do VPL tem uma interpretação mais complexa dos resultados. Objetivamente, o VPL permite uma comparação direta entre qual projeto apresentará ao longo de seu ciclo de vida o maior retorno absoluto de caixa, a valor presente. Para casos em que projetos apresentem vidas úteis diferentes, o VPL poderá ser interpretado como a média dos fluxos de caixa em um período, como por exemplo, o VPL mensal ou anual de um determinado investimento. Assim, há um nivelamento entre o comparativo de projetos com diferentes ciclos de vida em um mesmo portfólio.

Apesar de diferentes, os métodos de avaliação de resultados econômico-financeiros têm um requisito em comum para aplicação: os dados de entrada. Como identificado anteriormente, projetos tendem a ser classificados a partir de classes de estimativa de custos. No momento da decisão de um investimento, haverá dados de entrada como uma estimativa

com precisão metodológica estimada e um cronograma físico-financeiro para uso na modelagem matemática. O dado de maior incerteza está normalmente associado ao efeito pós-implementação do projeto, em especial quando há considerações externas à organização a serem observadas. Nestes casos, estima-se, por exemplo, que um determinado projeto irá trazer uma valorização adicional do consumidor por apresentar características sustentáveis mais desejadas, resultando em maior margem de contribuição unitária de um produto ou serviço pelo fato de ser fabricado a partir de matéria-prima circular, ou por ser fabricado a partir de um processo neutro em relação à emissão de gases de efeito estufa. A importância da mensuração adequada desta margem de contribuição adicional é fundamental para a decisão de investimento e seleção de portfólio, e deverá ser embasada por um estudo de mercado específico em relação aos concorrentes.

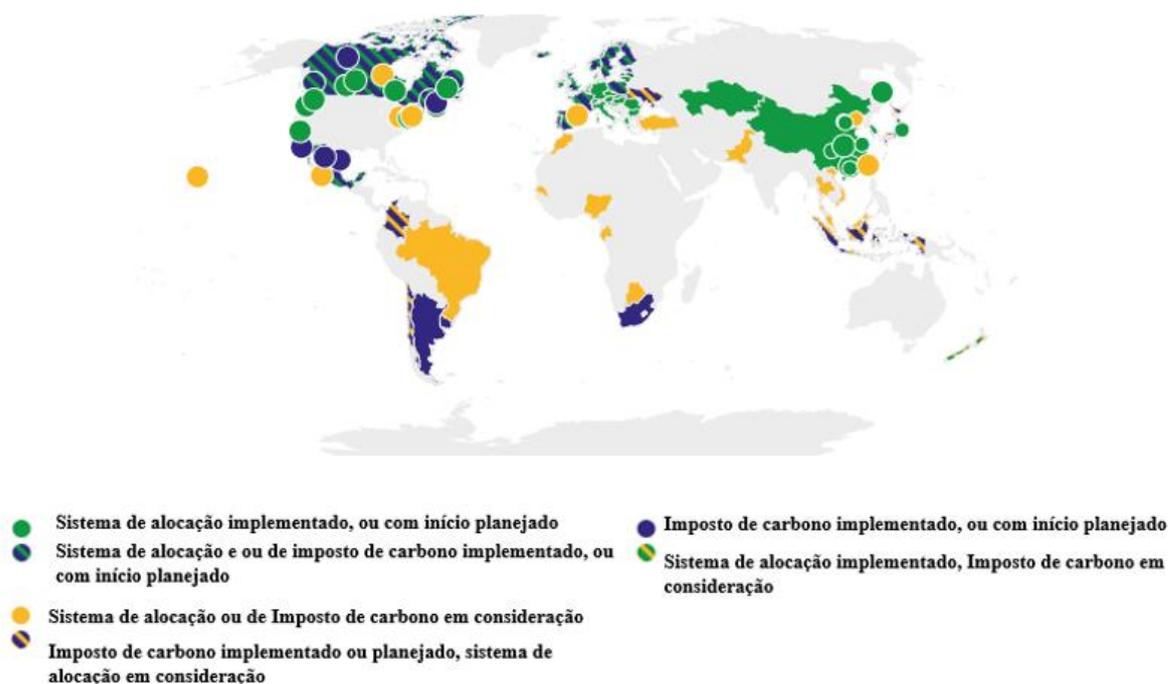
Para casos em que o ganho econômico de um determinado projeto é resultado de um ganho de eficiência interna dentro de um processo de fabricação, como por exemplo, a redução do consumo de água por unidade de produto fabricado, a entrada de dados permanece relevante, porém é simplificada pela informação estar dentro da estrutura de custos da organização.

Ainda no contexto de análise de risco econômico-financeira, a avaliação de transição entre modelos econômicos lineares e circulares envolve a construção de cenários. Como sugerido por diferentes autores, não há certeza em como ocorrerá a transição entre os modelos linear e circular, seu aspecto temporal, se haverá um requisito legal para a transição, ou se ela de fato nunca ocorrerá. A incorporação do aspecto de transição deverá ser incluída no modelo de seleção de portfólio através da análise de sensibilidade e incorporação através de métodos probabilísticos de análise de viabilidade. Assim, poderá ser realizada a avaliação da competição com produtos lineares em termos da remuneração do capital proposta por um determinado investimento, visto que os produtos e serviços de EC ainda são caracterizados como inovadores. Também deverá ser observado que caso todos os produtos de um segmento sejam considerados circulares, haverá um nivelamento entre os concorrentes e a circularidade deixará de ser considerada como um diferencial de mercado entre concorrentes.

Ainda no contexto da transição, caso um projeto apresente contribuição para a redução da emissão de gases de efeito estufa, é preciso analisar a situação atual do mercado específico de atuação e elaborar uma transição específica para o cenário de precificação de carbono. Como identificado como riscos específicos dentro do *framework* de seleção de portfólio, aspectos legislativos terão influência em como a transição ocorrerá para diferentes mercados.

A Figura 13 apresenta um *dashboard* de implementação de mecanismos alocação de emissões de carbono e de aplicação de impostos por emissões já implementados no mundo, com implementação planejada para o futuro, ou ainda em consideração.

Figura 13 — Precificação de Carbono.



Fonte: adaptado pelo autor de *World Bank Group* (2022).

Tanto os aspectos comerciais e de transição estão intrinsecamente conectados, e deverão ser aplicados na análise econômico-financeira de projetos de EC. Dado que o *framework* proposto para seleção de portfólio tem como um dos objetivos ser aplicável a diferentes organizações, a abordagem proposta é de que haja uma combinação de métricas econômico-financeiras para a tomada de decisão. Tal abordagem permite que ele seja desdobrado para aplicações específicas ou até mesmo aperfeiçoado por iterações previstas pelo DSR.

#### 4.2.2 Análise de Riscos Específicos

Com relação aos riscos específicos, pertencem ao ambiente da EC riscos de natureza legislativa e tecnológica como identificados pelo Quadro 3. Por se tratar de riscos específicos a um determinado produto ou serviço, a proposta para o *framework* de seleção de portfólio

genérico é que estes fatores de risco sejam considerados no processo de avaliação de investimentos e que façam parte do processo de decisão. Entretanto, não é possível estabelecer uma ferramenta ou método de análise com a necessária amplitude para tratar diferentes segmentos, tecnologias, ambientes de legislação da mesma maneira. Além disso, para efeito de construção do *framework* estes riscos específicos serão tratados como qualitativos.

Os aspectos quantitativos de riscos legislativos e tecnológicos deverão ser incorporados através dos mecanismos propostos pela seção 4.2.1, como por exemplo, através da construção de cenários, como a consideração de taxa de emissão de carbono de um determinado processo industrial, ou da incidência de impostos em função de diferentes tratamentos regulatórios para matéria-prima virgem ou matéria-prima circular, com base no reaproveitamento de produtos após consumo.

Para riscos tecnológicos, o exemplo utilizado na seção 2.1.2. apresentou um processo de fabricação específico de uma empresa privada para a produção de resinas plásticas adotando como matéria-prima o plástico pós-consumo e reprocessado através da pirólise. Este tipo de processo é conhecido como ‘reciclagem química, ou *chemical recycling*’. Meys *et al.* (2020) sugerem que a reciclagem química tem um importante papel na redução do aquecimento global e consumo de matérias-primas fósseis, porém mostram que a análise é dependente de diferentes rotas de obtenção da matéria-prima. Após análise de sensibilidade nos impactos ambientais, os autores concluem que para que este tipo de processo de fabricação seja eficiente, são requeridos métodos com elevada eficiência energética e altas taxas de aproveitamento acima do estado da arte atual da tecnologia.

Logo, utilizando o exemplo dos riscos específicos de tecnologia, será necessária a apreciação dos riscos específicos da implementação de uma tecnologia, seu nível de maturidade, quando se espera que a mesma fique obsoleta, se poderá ser competitividade e trazer resultados econômicos e de sustentabilidade durante toda a vida útil de um investimento.

Para fins de processo de seleção, os processos de análise específica de riscos deverão contribuir para o *ranking* de um projeto, considerando a magnitude do potencial impacto.

### 4.2.3 Estruturação da decisão multicriterial

A partir do mapeamento dos fatores de riscos e dos aspectos a serem avaliados em cada um dos projetos propostos dentro do processo de seleção de portfólio, é necessário estruturar estes critérios de seleção em um processo de decisão multicriterial. Os diversos métodos até aqui apresentados tem um objetivo semelhante, que é promover um processo de decisão estruturado a partir de um modelo matemático com critérios pré-determinados.

Para atender ao objetivo deste trabalho, que é a proposta de um *framework* de seleção de portfólio genérico para EC, é necessário considerar que cada organização irá dispor de diferentes níveis de maturidade em seus processos de gerenciamento de projetos e portfólio, e que as informações disponíveis para alimentar um modelo matemático de decisão multicriterial serão diferentes. Enquanto algumas organizações possuirão um processo robusto e que permita comparação histórica e evolutiva do processo, com *softwares* de modelagem, histórico de seleção de portfólio e auditoria de processo de seleção, outras organizações não terão nenhum tipo de informação disponível e baseiam-se na hierarquia da organização para selecionar o/os projetos a serem executados.

O primeiro aspecto na seleção da ferramenta é a escolha da aplicação de métodos de sobreclassificação, ou métodos de avaliação do valor de utilidade. O ambiente da EC é inovador, em que ainda há um debate na sociedade de como será aplicada. Apesar de haver um maior direcionamento das ações para a neutralização de emissões de gases de efeito estufa em função do Acordo de Paris, o conceito de EC é muito mais amplo que somente este aspecto particular de sustentabilidade. A metodologia de cálculo de um determinado impacto ambiental através do LCA é aplicável para diversos outros aspectos de mensuração da sustentabilidade de um determinado processo/serviço. Dado este cenário, a aplicação de métodos de sobreclassificação não é necessariamente a melhor escolha por apresentarem maior complexidade na modelagem matemática, e por apresentarem vulnerabilidade com a combinação de fatores quantitativos e qualitativos no mesmo processo decisório.

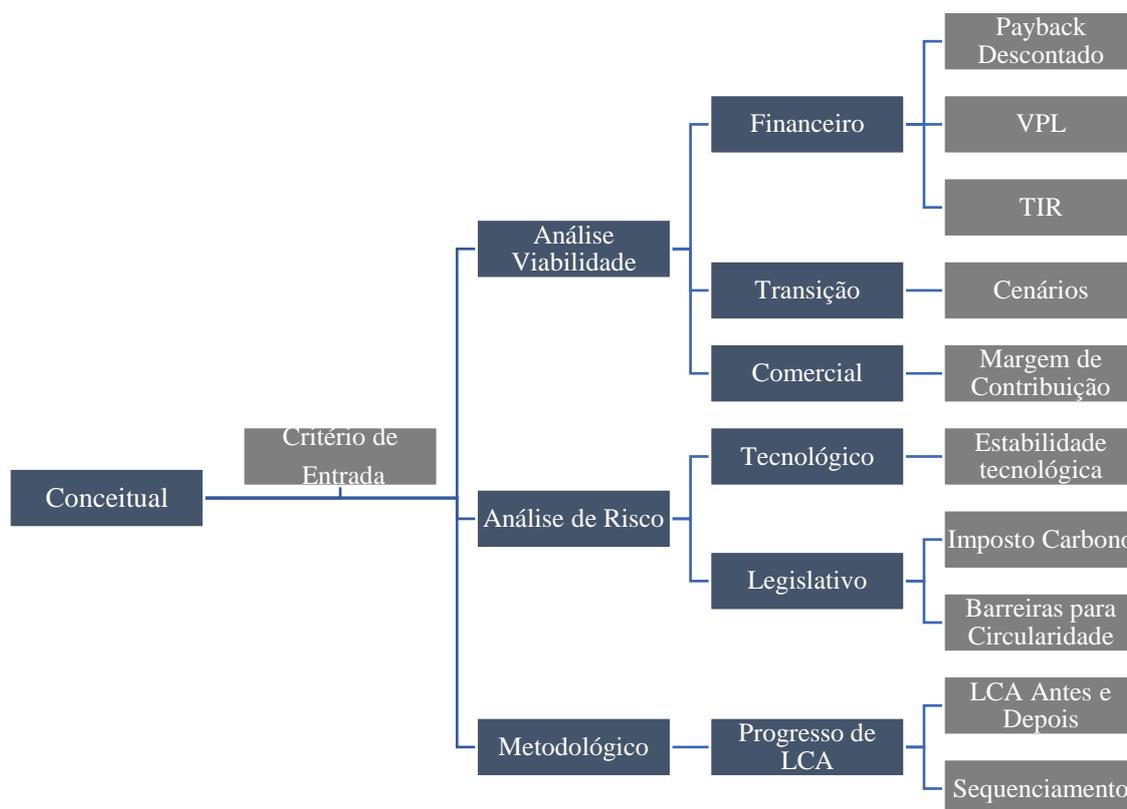
Por outro lado, autores como Munda (2005) sugerem que, métodos de avaliação do valor de utilidade apresentam fragilidade no processo de decisão multicriterial incluindo aspectos econômicos e ambientais, visto que existe a possibilidade de haver a compensação de critérios de seleção. Zanghelini *et al.* (2018) também apresentam o mesmo ponto em relação aos métodos de avaliação do valor de utilidade, porém indicam que o método do AHP é o mais utilizado no ambiente do LCA para avaliação de *trade-offs*. As afirmações de Munda (2005) e Zanghelini *et al.* (2018) em relação aos métodos de avaliação do valor de utilidade

indicam um problema quando as ferramentas são avaliadas isoladamente, e não no ambiente de seleção de um portfólio de investimentos. Ao estabelecer um critério de entrada para o portfólio de investimentos da EC, o problema de que a compensação de critérios poderá levar a seleção de projetos mais atrativos economicamente em detrimento de projetos de sustentabilidade é minimizada, visto que todos os projetos que concorrerão neste portfólio específico deverão ter metas de sustentabilidade como objetivo. Assim, projetos que têm puramente ganho econômico deverão participar do processo decisório de um outro portfólio em paralelo. Evidentemente, a alocação de recursos entre portfólios é um outro processo decisório dentro da organização e que deverá levar em conta um contexto mais abrangente. O ponto a ser observado é que o problema apresentado está no contexto da estruturação da decisão, e não no método selecionado para tomar esta decisão.

Strang (2011) sugere a utilização de métodos derivados do AHP para a seleção de projetos na indústria nuclear, em que os pesos de cada critério de decisão são normalizados a partir da opinião de um painel de especialistas. Ao aplicar tal método, os critérios qualitativos são colocados em uma determinada escala, que pode ser aplicada também para critérios quantitativos. Assim, cada projeto possuirá uma determinada nota de avaliação adimensional, porém comparável com outros projetos concorrentes no portfólio. Selameab e Yeh (2008) sugerem a aplicação o MAUT para auxiliar nos processos de decisão que possuem diversas ramificações intangíveis, permitindo a comparação entre alternativas que possuem diferentes objetivos ou resultados práticos, tornando o processo de decisão baseado em critérios subjetivos em que o resultado é apresentado em formato não monetário.

Dutra (2012) propõe, que a parametrização de critérios em unidades monetárias torna a avaliação inicial do projeto mais complexa, porém todas as etapas subsequentes do processo de seleção e priorização de portfólio são simplificadas, em razão da objetividade do formato de unidade selecionado. No entanto, para um processo decisório em que o principal objetivo é o atingimento de metas de sustentabilidade, uma escala pré-estabelecida como sugerido por Strang (2011) e Selameab e Yeh (2008) apresenta menor possibilidade de conflitos, como os sugeridos por Munda (2005) e Zanghelini *et al.* (2018). A Figura 14 apresenta os critérios de decisão considerados para a construção de um processo de decisão multicriterial.

Figura 14 — Detalhamento dos critérios de seleção de portfólio.



Apesar de o método AHP ser aplicável ao tema EC, existem algumas limitações que precisam ser pontuadas para um processo de seleção de portfólio. Apesar de ser aplicável para critérios tangíveis e intangíveis, a sua aplicação em critérios quantitativos requer que estes critérios sejam tratados por uma matriz que avalie custo/benefício através de uma escala. Após esta etapa, ocorre então a comparação entre pares. Ao propor um processo genérico de seleção de portfólio para diferentes tamanhos de organização, não há certeza no número de projetos e critérios que serão aplicados neste processo. Também, à medida que a maturidade e implementação do conceito de EC seja aplicado a outras métricas de sustentabilidade, o número de critérios a ser observado no processo de decisão irá elevar a complexidade da aplicação do AHP e efetividade do processo de comparação pareada. O que pode ser identificado no momento de concepção deste *framework* é que haverá a combinação de critérios qualitativos e quantitativos para dar suporte ao processo de decisão de quais projetos deverão ser selecionados.

Desta forma, o MAUT é uma alternativa que apresenta robustez suficiente para a condução de um processo de seleção multicriterial da EC desde que as suas limitações sejam compreendidas e incorporadas na modelagem do processo de decisão. Visto que o MAUT não

promove o confronto direto de alternativas por critério, a proposta é que a apresentação do *ranking* seja realizada a partir da soma da pontuação dos critérios, porém apresentada em blocos que representam uma decisão. Esta sutil mudança na proposta de apresentação dos resultados altera como os dados deverão ser interpretados para um ambiente em transição que apresenta riscos conceituais, econômico-financeiros, legislativos, tecnológicos e de mercado.

A proposta é que a formatação do processo de decisão multicriterial apresente 3 possibilidades: (i) Investir; (ii) Requer avaliação adicional, ou Avaliar; e (iii) Rejeitar. Desta forma, ficará claro durante o processo de decisão quais são as iniciativas em que há certeza em prosseguir ou rejeitar de acordo com critério de entrada e capacidade de cumprimento dos objetivos de uma organização, e iniciativas que requerem avaliações adicionais para que sejam aprovadas e não apresentem confrontos com outras metas estratégicas da organização. A literatura de gerenciamento de projetos sugere que a postergação de uma decisão de investimentos coloque um investimento em estado de espera até que ocorra um novo ciclo de portfólio e que seja possível avaliá-lo de forma concreta entre Investir ou Rejeitar.

Ao estabelecer que o processo de seleção de portfólio tem como objetivo escolher a melhor alternativa disponível a partir de restrições existentes em um determinado ciclo de seleção, e que algumas alternativas poderão necessitar de maior tempo para maturidade e participar de ciclos futuros, o aspecto da continuidade precisa ser observado durante a tomada de decisão e como a seleção de um investimento em específico poderá oportunizar opções adicionais o futuro, bem como também restringir escolhas em um próximo ciclo. Kock e Gemünden (2019) abordam dois tipos de sequenciamento de projetos que podem trazer benefícios no processo de seleção: proativo e reativo. O sequenciamento proativo de projetos auxilia na mensuração de contribuição de valor de um projeto para o portfólio em que está integrado, por permitir que outros componentes sejam integrados após a sua realização. Já o sequenciamento reativo é útil para organizações explorarem experiências em projetos anteriores, trazendo lições aprendidas e menores riscos de conceito. Ambos precisam ser considerados no processo de seleção de portfólio em um ambiente inovador como a EC.

O PMI (2017a) sugere que alguns riscos de implementação de um portfólio incluem aspectos do próprio ambiente em que a organização está inserida, como más práticas de gerenciamento (risco negativo), geração conjunta de valor por componentes (risco positivo), simplificação de processos (risco positivo), número excessivo de projetos concorrentes (risco negativo), e dependência de participantes externos (risco positivo ou negativo). Se abordados fora do contexto de portfólio, provavelmente estes aspectos não constariam no registro de riscos de um projeto. Tais fatores são relevantes no processo de decisão e precisam ser

incluídos no processo de decisão multicriterial. O gerenciamento de portfólio deverá ser um facilitador para que a organização atinja os objetivos de um grupo de iniciativas. Kopmann *et al.* (2015) sugerem que gerenciamento de valor de um *business case* contribui mais significativa para o sucesso de um portfólio em ambientes turbulentos, em que há dependência entre projetos e portfólios. O método de decisão multicriterial deverá então incluir fatores de risco da condução em conjunto de um grupo de iniciativas para que haja menor interferência do ambiente em sua execução e perda de valor individual.

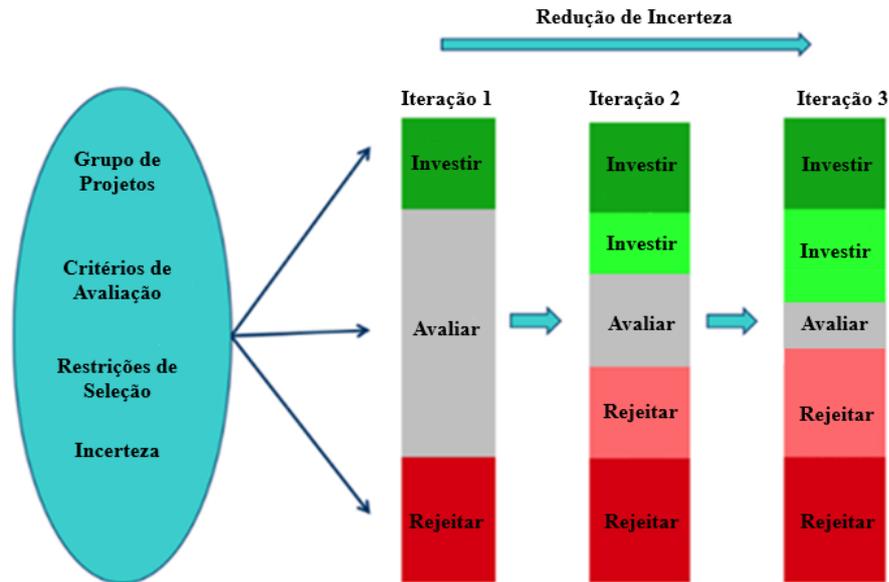
#### 4.2.4 Apresentação do *ranking* de decisão

O formato de apresentação proposto por Mavrotas *et al.* (2021) para o problema de seleção de portfólio de projeto de inovação em diferentes rodadas de priorização promove uma perspectiva temporal de evolução dos componentes do portfólio que deve ser considerada. Cada componente de portfólio terá características particulares de escopo, e se encontrará em um diferente estágio do seu ciclo de vida. Logo, o processo de seleção em diferentes etapas permite identificar quais iniciativas apresentam progressão e um nível de assertividade mínimo para serem selecionadas e transformar as métricas de seleção em uma realidade.

Em função de não haver uma limitação de número de projetos em um portfólio, é preciso reconhecer a complexidade em realizar este processo para um grande volume de projetos. Ao propor um processo objetivo de *ranking* com apenas 3 possibilidades (Investir, Avaliar ou Rejeitar), há uma facilitação do processo de comunicação dos resultados do processo de seleção. É importante salientar que pelo processo de seleção de portfólio considerar restrições de seleção, sejam internas ou externas, a rejeição de um projeto não o caracteriza necessariamente como um projeto que não busca atingir os objetivos específicos do portfólio. O significado de uma rejeição é simplesmente o fato de que dentre as opções disponíveis, os critérios de avaliação pré-determinados sugerem que um determinado projeto não seja priorizado visto as restrições apresentadas em um ciclo de seleção.

O *framework* aqui proposto pretende combinar o formato de apresentação e aspecto temporal de redução de incerteza proposto por Mavrotas *et al.* (2021) em combinação com o resultado da 2ª etapa proposta por Meyer *et al.* (2005), que seleciona alternativas em grupos a partir de critérios pré-estabelecidos, e a 3ª etapa, que estabelece um *ranking* de alternativas. A Figura 15 apresenta o ciclo de priorização proposto por Mavrotas *et al.* (2021).

Figura 15 — Iterações na seleção de portfólio para redução de incerteza.



Fonte: adaptado pelo autor de Mavrotas *et al.* (2021).

Dutra (2012) propôs um modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização do portfólio de projetos considerando interdependência entre projetos. Em seu trabalho, propõe a divisão do modelo de seleção em fases na mesma linha de Mavrotas *et al.* (2021), sendo que, a primeira tem como objetivo quantificar os investimentos, seus benefícios e possíveis incertezas. Este grupo de informação serve como base para etapas subsequentes de avaliação, em que se aplica modelos econômico-probabilísticos. Nesta 2ª fase, se analisa por exemplo a interdependência de projetos através de ferramentas como a SMC, para selecionar o portfólio que maximiza o retorno e atende a restrições impostas. A consideração de interdependência entre projetos auxilia na resolução de problemas reais do gerenciamento de portfólio de projetos.

Polyashuk (2005) sugere na mesma linha dos autores citados anteriormente de que a problemática de decisão de um portfólio deve ser dividida em etapas. A 1ª etapa consiste em um critério de avaliação que permite avaliar projetos individualmente, e o portfólio como um todo. A 2ª etapa consiste em avaliar o portfólio por critérios específicos para avaliação global do portfólio. Esta 2ª etapa trará uma nova perspectiva sobre a 1ª etapa, e tem normalmente critérios qualitativos como sua base. A realização da avaliação por critérios qualitativos após uma pré-seleção por critérios quantitativos reduz significativamente o esforço empreendido no processo de decisão.

Com relação às iterações propostas pela Figura 14, há suporte teórico a diferentes aspectos para que o processo esteja proposto desta maneira. Em linha com a proposta de

Mavrotas *et al.* (2021), Dutra (2012) e Polyashuk (2005), a 1ª iteração apresenta o resultado em formato de pontuação somente considerando o resultado direto de cada projeto após a aplicação do MAUT.

A 2ª iteração do processo de seleção de portfólio incorpora análises adicionais e fatores de risco de execução do portfólio em avaliação para atualização da pontuação de cada um dos projetos e apreciação de uma segunda rodada de avaliação.

A partir deste momento, a avaliação do processo de seleção de portfólio precisa identificar restrições externas e cenários de incerteza em relação ao mercado que a organização está inserida. Métodos como a Programação Matemática são extremamente úteis neste contexto, pois já há uma seleção de alternativas pré-selecionadas e que atendem aos objetivos de um determinado portfólio. Independente de pequenas variações de pontuação ao se comparar diferentes projetos, o tratamento do portfólio a partir de blocos propostos facilita a interpretação dos resultados. Dado que uma organização possua restrições externas de caixa a ser aplicado em investimento em um determinado ano, e que ao aplicar a Programação Matemática todos os investimentos selecionados para execução a partir da restrição externa imposta estejam no bloco Investir, há pouca vantagem em progredir qual é o investimento com o melhor *ranking* a partir de que eles estão sendo avaliados como um portfólio. Já a situação oposta de seleção de todos os projetos no bloco Investir serem selecionados e que há espaço para a realização de investimentos do bloco Avaliar, um processo decisório paralelo precisará ocorrer para decidir se os recursos deverão ser alocados para estes investimentos, se haverá menos investimento em um ano específico, ou se a verba disponível será aplicada em portfólios estabelecidos para diferentes fins dentro da organização.

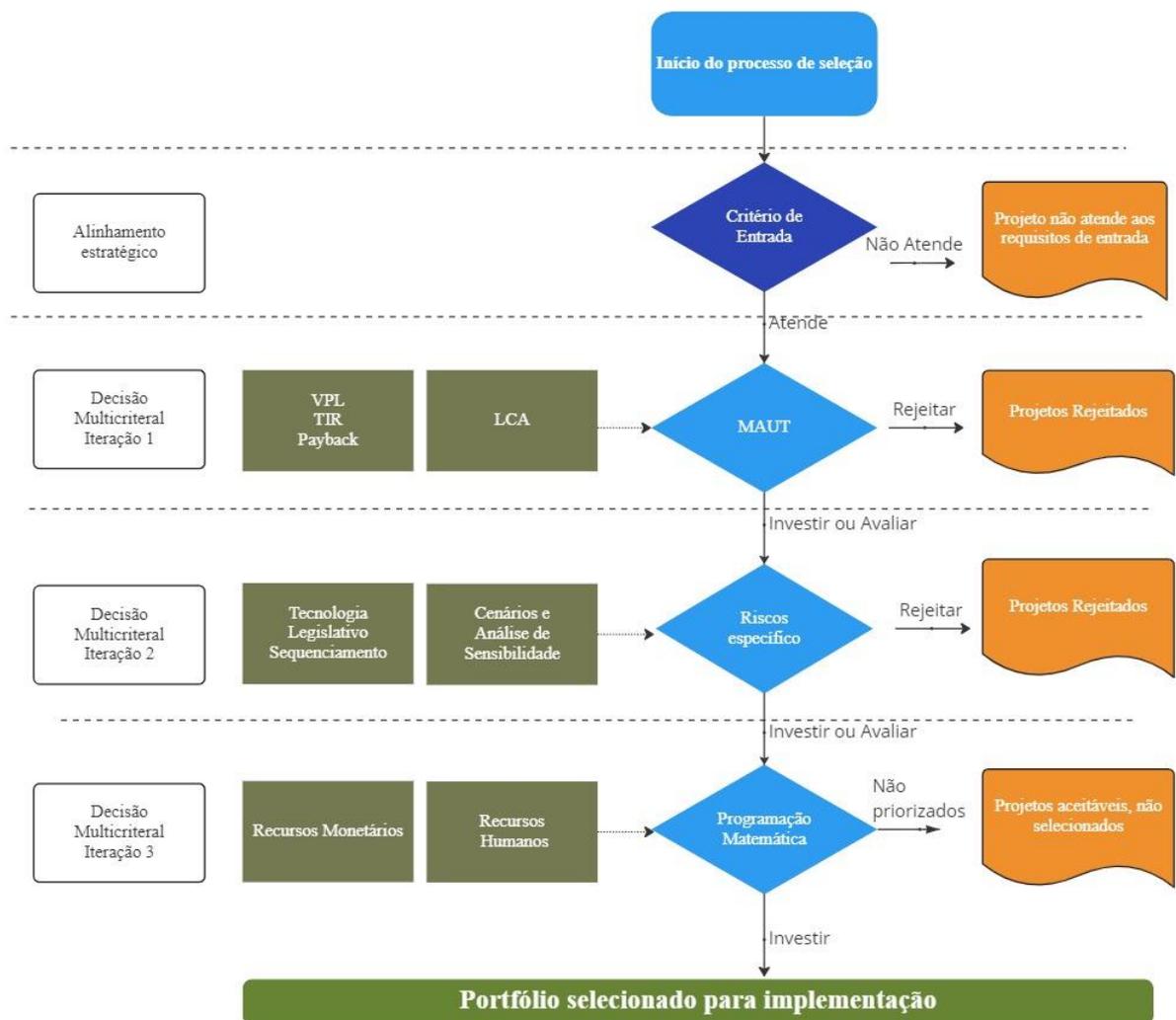
#### **4.2.5 Framework de seleção de Portfólio**

A consideração de todos os fatores até aqui referenciados apresenta complexidade e precisa-se estabelecer um fluxo de trabalho que demonstre a conexão entre todas estas etapas e como ocorrerá a quantificação dos critérios de seleção até aqui identificados.

A Figura 16 apresenta o *framework* de seleção de portfólio proposto por esta dissertação. A partir da sequência de atividades, métodos e ferramentas auxiliares são aplicados para que um *ranking* seja estabelecido, a fim de proporcionar uma decisão estruturada de quais projetos deverão ser selecionados para o atendimento dos objetivos determinados para este portfólio.

O 1º ciclo de iteração prevê a aplicação do MAUT como método de decisão multicriterial para estabelecimento de um *ranking* inicial, que será composto por pontuação de 0 a 100 e que apresentará resultados iniciais em blocos a partir dos critérios identificados. O 2º ciclo de iteração incorporará a análise de riscos específicos, incorporação de cenários e análise de sensibilidade, e consideração de riscos e benefícios de portfólio. Por fim, o 3º ciclo de iteração considerará a Programação Matemática para o processo final de seleção de portfólio, que avaliará a disponibilidade de recursos financeiros para a execução de um grupo de projetos. Em paralelo, recursos humanos para a execução deste mesmo grupo de projetos deverão ser avaliados através de ferramentas específicas de planejamento das atividades de projeto, que não serão abordadas por este trabalho em função da especificidade requerida para diferentes segmentos.

Figura 16 — *Framework* de Seleção de Portfólio de EC.



Para implementação do *framework* proposto pela Figura 16, a Iteração 1 será estruturada a partir da construção de uma matriz MAUT utilizando os principais critérios identificados como relevantes para uma avaliação inicial, de forma individual. A Tabela 1 apresenta a matriz de decisão multicriterial, que permitirá o estabelecimento do primeiro *ranking* previsto no processo de seleção. A 1ª etapa do MAUT será a quantificação dos critérios de seleção a partir das escalas para os critérios de VPL, *Payback*, TIR e LCA. A aplicação da Tabela 1 será demonstrada na seção 4.3.

Tabela 1 — Matriz MAUT da 1ª Iteração.

Fator de Risco	Critério	Peso	Escala	Pontuação
<b>VPL</b>	$VPL \geq \text{Valor Projeto}$	20%	100	20
	$VPL > 0$		50	10
	$VPL \leq 0$		0	0
<b>TIR</b>	$TIR \geq TMA + 5\%$	20%	100	20
	$TIR > TMA$		50	10
	$TIR \leq TMA$		0	0
<b>Payback Descontado</b>	Payback < 2 anos	20%	100	20
	Payback entre 2 e 5 anos		50	10
	Payback > 5 anos		0	0
<b>Sustentabilidade (LCA)</b>	$1.5 \times \text{Custo } t/\text{CO}_2 \text{ Projeto} < \text{Custo local emissões } t\text{CO}_2\text{eq}$	40%	100	40
	$\text{Custo } t/\text{CO}_2 \text{ Projeto} < \text{Custo local emissões } t\text{CO}_2\text{eq}$		50	20
	$\text{Custo } t/\text{CO}_2 \text{ Projeto} > \text{Custo local emissões } t\text{CO}_2\text{eq}$		0	0
				0 - 100

Os critérios propostos para utilização na Iteração 1 do processo de seleção de portfólio aborda os principais aspectos até aqui identificados, de forma a apresentar um resultado objetivo na Iteração 1. Por se tratar de um *framework* genérico e que possa ser personalizado para diferentes organizações, atribuiu-se 60% de peso total para critérios econômicos e 40% para o aspecto de sustentabilidade. Para a obtenção de pesos representem a preferência de uma organização ou de um grupo de decisores, a utilização do método AHP pode preceder a aplicação da matriz MAUT para fim específico de encontrar qual a importância de cada um dos critérios aqui sugeridos.

Foi estabelecido igual peso entre VPL, TIR, e *Payback* descontado por entender que os 3 critérios são relevantes no ambiente de avaliação econômica de investimentos e que a preferência por um método específico é uma questão mais aplicada ao ambiente particular que cada organização está inserida. Apesar de sua similaridade, o cálculo do VPL e da TIR é realizado com base no valor do investimento. O uso de ambas no processo de priorização permite atribuir pontuação para dois tipos de projetos: (i) projetos com alta rentabilidade, mas que eventualmente tragam um baixo retorno em termos de montante, e (ii) projetos que tem uma rentabilidade aceitável, e que tragam montantes maiores para a organização, viabilizando outras iniciativas.

Já no aspecto de sustentabilidade, todos os projetos propostos pretendem avançar em relação ao seu compromisso de redução de emissões de gases de efeito estufa. Visto que os projetos poderão estar em uma localidade com diferentes políticas em relação ao imposto de carbono, deverá ser realizada uma avaliação individual do valor investido para reduzir uma determinada quantidade de CO<sub>2</sub> em comparação ao cenário de não realizar aquele investimento e assumir que o imposto sobre emissões será um custo atual ou futuro, a depender da localidade.

Após o estabelecimento da pontuação, os projetos deverão ser agrupados em blocos de acordo com o Quadro 4. Pela forma com que o peso foi concebido, um projeto requer necessariamente uma combinação de aspectos de sustentabilidade e econômico-financeiros para ser classificado no bloco Investir.

Quadro 4 — Classificação em blocos a partir da pontuação obtida nas iterações.

<b>Blocos</b>	<b>Pontuação</b>
Investir	> 80
Avaliar	30 a 80
Rejeitar	< 30

Após a classificação, os projetos do portfólio serão pré-selecionados em blocos e poderão ser apresentados de acordo com a Figura 14. Os projetos que obtiverem resultados que os classifiquem como rejeitados não deverão prosseguir com o processo de seleção de portfólio por apresentarem baixa atratividade.

Após a conclusão da Iteração 1 que consiste na avaliação individual dos projetos, os fatores de riscos específicos em relação ao ambiente da EC, de aprofundamento da análise

econômico-financeira através da modelagem probabilística de variáveis, e de gerenciamento de portfólio deverão ser quantificadas e incorporadas no *ranking* inicial. Por se tratar de aspectos de maior complexidade na análise, o processo de seleção de portfólio em etapas auxilia na alocação de recursos específicos somente para projetos que passem os critérios mais básicos de seleção. Desta forma, o volume de entregáveis por projeto para este processo diminui, contribuindo para a sua aceitação.

O Apêndice A apresenta escalas para incorporação de riscos no *ranking* de projetos obtidos após a Iteração 1. Após a aplicação das escalas, a soma dos riscos específicos da Iteração 2 deverão ser somados entre si, e adicionados aos resultados encontrados na Iteração 1. A partir da soma das pontuações da Iteração 1 e 2, uma nova redefinição dos blocos deverá ser realizada. Uma diferença estrutural entre a Iteração 1 e 2 é a forma como o limite de pontuação foi concebido. Na Iteração 1, a pontuação é limitada entre 0 e 100. Já na escala 2, não há um limite máximo para a pontuação atribuída para um projeto. A razão pela proposta neste formato é para proporcionar maior mobilidade entre blocos com a incorporação dos riscos específicos mensurados pela Iteração 2, ao invés de fazer todo o bloco partir da mesma pontuação. Desta forma, permite-se a mobilidade de um projeto que esteja muito próximo da recomendação de Investir ao final da Iteração 1 e que apresenta diversos fatores de baixo risco, em relação a um projeto que possua a recomendação de Investir, porém possui diversos riscos específicos no ambiente da EC e de portfólio. O número de pontos disponíveis na Iteração 2 possibilita que um projeto avance da pontuação mínima do bloco Avaliar para a recomendação Investir, caso possa todos os aspectos favoráveis para redução de riscos.

A dinâmica de atribuição de pontuações por projeto entre a Iteração 1 e 2 está demonstrada no Quadro 5.

Quadro 5 — Blocos após incorporação de riscos específicos e de portfólio.

<b>Projetos</b>	<b>Avaliação Projeto (I-1)</b>	<b>Definição Bloco (I-1)</b>	<b>Riscos Específicos (I-2)</b>	<b>Pontuação (I-1 + I-2)</b>	<b>Definição Bloco (I-1 + I-2)</b>
Projeto x	80	Investir	x	80+x	-
Projeto y	50	Avaliar	y	50+y	-
Projeto z	10	Rejeitar	Não aplicável	Rejeitado	Rejeitado

Ao final da Iteração 2, a apresentação de progressão do portfólio é novamente realizada através da proposta gráfica apresentada pela Figura 15, demonstrando progressão

em relação às escolhas feitas até então no processo de seleção de portfólio. Como identificado por diferentes autores, o processo de estabelecer uma metodologia para a seleção de portfólio tem como objetivo dar maior robustez e transparência em como um determinado resultado foi encontrado. Recomenda-se aqui, que haja um momento de reflexão e apresentação dos resultados para os *stakeholders* de um determinado portfólio para a validação dos blocos, resultados, e recomendações de investimento.

A última etapa, ou Iteração 3, prevê a aplicação da Programação Matemática para determinar quais serão os projetos selecionados para um determinado ciclo de portfólio. Este processo poderá apresentar maior ou menor complexidade a depender das ferramentas e processos de trabalho disponíveis em uma organização. De forma simplificada, organizações privadas trabalham com um orçamento aprovado para o ano. Ao estabelecermos um cronograma físico e financeiro de execução de um projeto, sabe-se quanto será necessário para a execução de um portfólio para o próximo ano, e demais anos em que a execução de um projeto específico esteja previsto. A Tabela 2 exemplifica como a quantificação de orçamento anual está de fato sendo apreciada para o portfólio do “Período X” em questão, e do montante que será requerido para a materialização deste portfólio em anos futuros.

Tabela 2 — Exemplo de planejamento financeiro de portfólio (em milhões).

<b>Projeto</b>	<b>Período 0</b>	<b>Período 1</b>	<b>Período 2</b>	<b>Período 3</b>	<b>Período 4</b>	<b>Orçamento</b>
<b>X</b>	\$1.0	\$0.5				<b>\$1.5</b>
<b>Y</b>	\$0.1	\$2	\$0.5			<b>\$2.6</b>
<b>Z</b>	\$ 0.5	\$0.5	\$2	\$0.5		<b>\$3.5</b>
<b>Total</b>	<b>\$1.6</b>	<b>\$3</b>	<b>\$2.5</b>	<b>\$0.5</b>		

Assumindo que o orçamento da empresa para investimento neste determinado portfólio está definido, pode-se simplificar o problema da Programação Matemática e seleção de portfólio em duas soluções universalmente aceitáveis: ou o portfólio de projetos se adequará ao orçamento disponível, seja através da postergação de projetos ou replanejamento físico e financeiro das etapas de execução; ou haverá uma reclassificação da pontuação de cada projeto. Nesta reclassificação, somente os projetos selecionados pelo modelo matemático manterão a classificação do bloco Investir, e todos os demais projetos não selecionados deverão assumir a classificação de postergados e concorrer para entrada em um portfólio de um ano futuro.

O processo de gerenciamento e seleção de portfólio é dinâmico e com diversas entradas de informação, em especial para o ambiente da EC, que é muito recente e com conhecimento público limitado. O *framework* aqui proposto busca incorporar todos os fatores identificados como relevantes e propor uma dinâmica genérica para aplicação e seleção de investimentos. É necessário que este processo esteja incorporado aos processos de gerenciamento de projetos e investimentos de uma organização, a fim de que seja estabelecida a frequência no qual este processo será repetido anualmente e como ocorrerá o monitoramento das informações de entrada para o processo proposto por esta dissertação.

Além de modificações do cenário da EC que deverão ser incorporadas ao realizar novos ciclos de seleção de portfólio, a obtenção de lições aprendidas e *feedback* de ciclos de priorização anteriores é fundamental para o aperfeiçoamento do *framework* e de seu processo de aplicação.

#### 4.3 DEMONSTRAÇÃO DO ARTEFATO

O DSR prevê a demonstração do artefato, objeto da pesquisa, após o seu design e desenvolvimento, que consiste na Etapa 4 prevista no processo metodológico. Por se tratar de um tema delicado para organizações, que envolve decisões estratégicas de alocação de capital para a transformação de suas operações, existe uma dificuldade inerente de um processo de demonstração deste artefato que utilize exemplos reais com total transparência de dados. O desafio para áreas inovadoras é ainda maior, em função do momento de transição entre modelos econômicos e do pouco histórico de utilização de alguns dos formatos propostos pela EC.

Todavia, para a demonstração do *framework* aqui proposto, a sua aplicação é necessária em um grupo de projetos e avaliar como o processo de seleção ocorrerá. Visto que a Etapa 5 prevê a avaliação deste artefato, a forma de avaliação selecionada incorpora aspectos experimentais, através da simulação do artefato com uma combinação de dados reais e estimativas, e aspectos descritivos utilizando a base de conhecimento até aqui apresentada sobre os 2 principais temas desse trabalho.

Como aplicação do *framework*, serão avaliados projetos de uma empresa multinacional de energia, com sede na Europa. Esta empresa tem operações globais desde extração de petróleo, refino, fornecimento de derivados como óleo, gás, combustíveis, e produção de petroquímicos. Através de sua página, a empresa comunica que é a primeira

empresa do segmento de energia a estabelecer um compromisso de eliminar as emissões de gases de efeito estufa, em alinhamento com o Acordo de Paris, e em adequar a sua cadeia de suprimentos para o atingimento deste objetivo.

A empresa divulga em sua página a sua Missão, Visão e o seu Conceito de EC conforme exposto abaixo:

**Missão:** Uma empresa de energia com o compromisso de um mundo sustentável.

**Visão:** Nos tornarmos uma empresa de energia que cria valor de forma sustentável, através da inovação, eficiência e respeito para o progresso da sociedade.

**Conceito de EC:** Novo padrão de produção e consumo que assegura o crescimento sustentável ao passar dos anos. Com a EC, as ações passam a ser direcionadas para a otimização de recursos, redução de consumo de matéria-prima extraída da natureza, e recuperação de resíduos através da reciclagem ou reutilização como um novo produto. O objetivo da EC é maximizar o uso de materiais através da aplicação de três princípios: reduzir, reutilizar e reciclar. Desta forma, a vida útil de produtos é estendida, os resíduos são utilizados de forma mais eficiente, e estabelece-se um modelo de produção mais sustentável. Este modelo replica a natureza, em que todo o material descartado tem uma nova função atribuída e mantém-se um balanço entre progresso e sustentabilidade.

A empresa informa que possui mais de 270 projetos em avaliação em seu portfólio de projetos de EC, em diferentes unidades de negócio. Dentro destes projetos, cita-se:

**Projeto 1:** derivados de borracha produzidos a partir de resíduos vegetais em substituição a matéria-prima fóssil.

**Projeto 2:** captura de CO<sub>2</sub>, transformando o agregado capturado em matéria-prima para produtos como tijolos, blocos de concreto, entre outros.

**Projeto 3:** produção de Metanol, Combustíveis e outros derivados de petróleo circulares, redirecionando resíduos atualmente não recicláveis de aterros sanitários.

**Projeto 4:** redesign de embalagens plásticas, incorporando 40% de matéria-prima plástica circular na composição.

**Projeto 5:** produção de matérias-primas para asfalto, tornando-o reciclável e reutilizável ao final de sua vida útil.

**Projeto 6:** produção de biocombustíveis a partir de lixo.

**Projeto 7:** refinaria em escala para produção de combustíveis a partir de biomassa.

Esta mesma empresa também expressa que utiliza como unidade métrica para mensurar a redução de suas emissões em gramas de CO<sub>2</sub> por unidade de energia disponibilizada para a sociedade: g CO<sub>2</sub>eq/MJ.

A 1ª etapa prevista no *framework* consiste na validação de cada projeto a partir do Critério de Entrada apresentado na seção 4.2, que sugere que todos os projetos possuam como meta o atendimento ao objetivo Conceitual comunicado pela organização, contribuindo para o atingimento da meta. Na apresentação do agrupamento de fatores de avaliação do *framework*, dividiu-se a avaliação de portfólio em 3 diferentes áreas após a validação conceitual, sendo a forma de mensuração do progresso do projeto a comunicação da contribuição dos ganhos do projeto em relação à métrica estabelecida pelo LCA. Neste caso, a empresa adota ‘g CO2eq/MJ’, que deverá ser comunicado por todos os projetos qual a sua contribuição absoluta, através da comparação do indicador antes da implementação do projeto e qual a projeção após o início da nova operação.

O Quadro 6 apresenta o resumo da etapa de avaliação conceitual, com o mapeamento do tipo de escopo a ser tratado pelo projeto e o formato de atingimento utilizado para a redução da emissão a partir do *framework* dos R’s da EC.

Quadro 6 — Detalhamento do resultado obtido ao final da Iteração 1.

<b>Projetos</b>	<b>Projeto alinhado com meta?</b>	<b>Escopo</b>	<b>Formato de atingimento (R’s)</b>
Projeto 1	Sim	3 – matéria prima	Repensar
Projeto 2	Sim	1 - fabricação	Redirecionar
Projeto 3	Sim	3 – matéria prima	Redirecionar
Projeto 4	Sim	1 - fabricação	Repensar
Projeto 5	Sim	3 – fim de vida útil	Reciclar
Projeto 6	Sim	3 – matéria prima	Redirecionar
Projeto 7	Sim	3 – matéria prima	Repensar

Imediatamente após a validação que os projetos atendem ao critério de entrada do portfólio, inicia-se o processo da Iteração 1. De forma a demonstrar a aplicação prática do processo de seleção, os 7 projetos serão associados com dados artificiais para o processo de seleção de portfólio. Certamente, todos estes investimentos possuem como suporte a estrutura de custos atual da empresa para cálculo do valor de venda dos produtos, e a partir do cálculo do LCA é possível identificar modificações no fluxo de entrada e saída de materiais para definição da estrutura estimada de custos após a implementação do projeto. Assim, a base do LCA contribui para a mensuração dos custos das operações após a implementação de projetos por demonstrar o fluxo de materiais e serviços que deverão ser quantificados para a avaliação

econômico-financeira de projetos. A Tabela 3 apresenta o resumo dos investimentos propostos para este ciclo de seleção de portfólio, com uma previsão de orçamento requerido para execução no próximo ano.

Tabela 3 — Projetos para apreciação na demonstração do artefato (em milhões).

<b>Projeto</b>	<b>Período 0</b>	<b>Período 1</b>	<b>Período 2</b>	<b>Período 3</b>	<b>Período 4</b>	<b>Orçamento</b>
<b>1</b>	\$ 2	\$ 10	\$ 3			<b>\$15</b>
<b>2</b>	\$ 6	\$ 8	\$ 10	\$ 2		<b>\$26</b>
<b>3</b>	\$ 6	\$ 3				<b>\$9</b>
<b>4</b>	\$ 1	\$ 2				<b>\$3</b>
<b>5</b>	\$ 1	\$ 1	\$5	\$ 10	\$ 2	<b>\$19</b>
<b>6</b>	\$ 3	\$ 4	\$ 7	\$ 2		<b>\$ 16</b>
<b>7</b>	\$ 2	\$ 10	\$ 15	\$ 5		<b>\$ 32</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 21</b>	<b>\$ 38</b>	<b>\$ 40</b>	<b>\$ 19</b>	<b>\$ 2</b>	

A equipe de projeto deverá desenvolver os projetos de acordo com a metodologia de gerenciamento estabelecida pela empresa, levando em consideração os prazos estabelecidos pelo ciclo orçamentário e de seleção de portfólio. Cada projeto em seu nível individual deverá fornecer as informações requeridas para a seleção de portfólio. Preferencialmente, todos os investimentos deverão ser apreciados com a mesma precisão da estimativa de custos, a fim de minimizar a chance de uma seleção não ótima em função de baixa maturidade de projetos.

O Quadro 6 apresenta a contabilização de todos os fatores avaliados dentro do processo proposto pela Iteração 1. Neste Quadro, apresenta-se dados artificiais para os fatores de retorno econômico associado aos projetos. Para a avaliação de Sustentabilidade, utiliza-se também dados artificiais de projetos no Quadro 8 para apresentar a análise em relação ao processo de avaliação do custo investido para reduzir uma determinada quantia de tonelada equivalente de CO2, em comparação com impostos de emissão de carbono por localidade de projeto. O resultado final do Quadro 8 é incorporado ao Quadro 7 para a apuração da pontuação final de cada investimento após a Iteração 1.

Quadro 7 — Detalhamento do resultado obtido ao final da Iteração 1.

Projeto	Local de Implementação	Valor Orçado	VPL		TIR (%a.a.)		Payback Descontado		LCA		Pontuação I-1
			\$ milhões	\$ milhões	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação
Projeto 1	Espanha	\$ 15	\$ 14	10	10%	10	6 anos	0	\$ 8.00	40	60
Projeto 2	Brasil	\$ 26	- \$ 2	0	5%	0	12 anos	0	\$ 12.00	0	0
Projeto 3	Portugal	\$ 9	\$ 3	10	8%	10	3 anos	10	\$ 32.00	0	30
Projeto 4	Alemanha	\$ 3	\$ 4	20	15%	20	2 anos	20	\$ 21.00	40	80
Projeto 5	Canadá	\$ 19	\$ 6	10	7%	10	9 anos	0	\$ 27.00	20	20
Projeto 6	Peru	\$ 16	\$ 18	20	17%	20	4 anos	10	\$ 3,00	40	90
Projeto 6	Marrocos	\$ 32	\$ 3	10	7%	10	8 anos	0	\$ 2,50	40	60

Sendo que para esta avaliação, consideram-se as seguintes premissas:

Custo de capital (TMA): 6%, empresa utilizada para o exemplo com sede na Espanha. Para fins de exemplo, foi utilizado uma TMA única e não uma taxa específica considerando diferentes regiões.

Quadro 8 — Detalhamento da análise de aspectos de sustentabilidade.

Projeto	Local de Implementação	Valor Orçado	LCA				
			Custo Equivalente do Projeto em US\$ / tCO <sub>2</sub> e	Imposto implementado?	Imposto CO <sub>2</sub> em US\$ / tCO <sub>2</sub> e	Custo médio Região	Pontuação Tabela 1
Projeto 1	Espanha	\$ 15	\$ 8.00	Sim	\$ 16.58		40
Projeto 2	Brasil	\$ 26	\$ 12.00	Não		\$ 4.99	0
Projeto 3	Portugal	\$ 9	\$ 32.00	Sim	\$ 26.44		0
Projeto 4	Alemanha	\$ 3	\$ 21.00	Sim	\$ 33.16		40
Projeto 5	Canadá	\$ 19	\$ 27.00	Sim	\$ 39.96		20
Projeto 6	Peru	\$ 16	\$ 3,00	Não		\$ 4.99	40
Projeto 7	Marrocos	\$ 32	\$2,50	Não		\$9,84	40

Dados de valores de tonelada de carbono equivalente obtidas de *World Bank Group* (2022).

Custo médio da América Latina contempla: Argentina (\$4.99), Chile (\$5.00), Colômbia (\$5.01), Uruguai (\$137.30). Em função da diferença significativa entre o imposto de CO<sub>2</sub> praticado pelo Uruguai frente aos pares da América Latina, será adotado US\$ 5.00 / tCO<sub>2</sub>e para efeito de demonstração do artefato.

Custo médio África: base África do Sul (\$9,84)

Dado o final da Iteração 1, a pontuação obtida é comparada com a escala que define o bloco de cada um dos projetos conforme apresenta o Quadro 9. A Figura 17 apresenta o resultado atual do processo em relação aos blocos de seleção após a Iteração 1.

Quadro 9 — Aplicação da matriz MAUT prevista na Iteração 1.

Projetos	Período 0 (milhões)	Avaliação Projeto (I-1)	Definição Bloco (I-1)	Riscos Específicos (I-2)	Pontuação (I-1 + I-2)	Definição Bloco (I-1 + I-2)
Projeto 1	\$2	60	Avaliar	Definido na Iteração 2		
Projeto 2	\$6	0	Rejeitar			
Projeto 3	\$6	30	Avaliar			
Projeto 4	\$1	80	Investir			
Projeto 5	\$1	20	Rejeitar			
Projeto 6	\$3	90	Investir			
Projeto 7	\$2	60	Avaliar			

Figura 17 — Resultado de blocos de seleção após Iteração 1.



Após a validação dos dados da 1ª etapa, a Iteração 2 deverá iniciar somente com projetos que tiveram recomendações de Investir ou Avaliar, descartando os rejeitados. Nesta Iteração, também serão atribuídos dados artificiais assim como na Iteração para exemplificação do processo. O Quadro 10 apresenta o detalhamento da aplicação dos riscos específicos. Após a mensuração dos riscos específicos, estes resultados são incorporados ao *ranking* existente e modificam os resultados e a classificação em blocos apresentada anteriormente.

Quadro 10 — Detalhamento da aplicação de riscos específicos na Iteração 2.

Projeto	Modelagem Econômica		Legislativo		Tecnológico		Sequenciamento		Portfólio		Pontuação I-2
	Risco	Pontuação	Risco	Pontuação	Risco	Pontuação	Risco	Pontuação	Risco	Pontuação	Total
<b>Projeto 1</b>	Transição/ Comercial	0	Legislação existente	+10	Piloto	-20	Sim, outra unidade	+5	Sem conflito	+5	0
<b>Projeto 2</b>	Não aplicável										
<b>Projeto 3</b>	Transição/ Comercial	0	Legislação existente	+10	Piloto	-20	Sem benefícios	0	Conflito, via Rec.	0	-10
<b>Projeto 4</b>	Interno	+10	Legislação existente	+10	Consolidada	+20	Sem benefícios	0	Conflito, via Planej.	0	+40
<b>Projeto 5</b>	Não aplicável										
<b>Projeto 6</b>	Interno	+10	Leg. não existente	-10	Piloto	-20	Sim, outra unidade	+5	Conflito, via Rec.	0	-15
<b>Projeto 7</b>	Transição/ Comercial	0	Leg. não existente	-10	Piloto	-20	Sim, restringe desenvolvimento	+10	Sem conflito	+5	-15

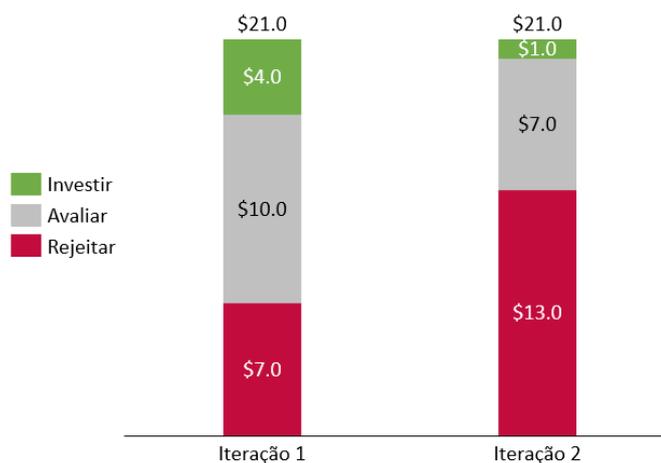
O Quadro 11 apresenta o resumo da Iteração 1 e 2, sendo definidas as recomendações de blocos para a lista de projetos apreciados por este ciclo de portfólio.

Quadro 11 — Avaliação de riscos específicos previstos na Iteração 2.

Projetos	Período 0	Avaliação Projeto (I-1)	Definição Bloco (I-1)	Riscos Específicos (I-2)	Pontuação (I-1 + I-2)	Definição Bloco (I-1 + I-2)
Projeto 1	\$2	60	Avaliar	0	60	Avaliar
Projeto 2	\$6	0	Rejeitar	Não aplicável		Rejeitar
Projeto 3	\$6	30	Avaliar	-10	20	Rejeitar
Projeto 4	\$1	80	Investir	+40	120	Investir
Projeto 5	\$1	20	Rejeitar	Não aplicável		Rejeitar
Projeto 6	\$ 3	90	Investir	-15	75	Avaliar
Projeto 7	\$ 2	60	Avaliar	-15	45	Avaliar

A aplicação da avaliação de riscos específicos resultará na reclassificação dos projetos entre os 3 blocos. A Figura 18 apresenta graficamente a movimentação entre blocos do montante financeiro avaliado pelas ferramentas de priorização de portfólio.

Figura 18 — Apresentação dos blocos de decisão após Iteração 2.



Por fim, a etapa final consiste na decisão de quanto capital estará disponível para o investimento em um próximo ciclo de portfólio. Tipicamente, a verba de portfólio é aprovada de acordo período do ciclo orçamentário utilizado pela organização, sendo ciclos anuais os

identificados com maior frequência. A aprovação do portfólio não substitui o processo de aprovação individual de cada projeto. Para fim de exemplificação, irá estipular-se que a empresa possui limitação do capital disponível para investimento neste portfólio. Estipula-se que o valor disponível para investimento no 'Período 0' será de \$ 7 milhões. Assim, as equações abaixo são propostas buscando uma solução ótima para o problema de seleção de portfólio a partir do *ranking* encontrados após as Iterações 1 e 2, e considerando o orçamento disponível.

$$60 \times x_1 + 120 \times x_4 + 75 \times x_6 + 45 \times x_7 = \text{Maximizar } \Sigma \quad (\text{Eq. 4})$$

$$X_i \geq 0; X_i = \leq 1; \text{ e } X = \text{inteiro} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$2 \times x_1 + 1 \times x_4 + 3 \times x_6 + 2 \times x_7 \leq y \quad (\text{Eq. 6})$$

$$y = \text{orçamento disponível} \quad (\text{Eq. 7})$$

Após a aplicação das equações acima propostas, os Projetos 1, 4 e 6 serão selecionados para implementação conforme demonstrado pelo Quadro 12.

Quadro 12 — Projetos selecionados após a Iteração 3.

Projetos	Valor Original de Portfólio	Bloco (I-1 + I-2)	Ranking numérico	Iteração 3	Decisão de Investimento
Projeto 1	\$2	Avaliar	60	X=1	Investir
Projeto 2	\$6	Rejeitar			
Projeto 3	\$6	Rejeitar	20	Rejeitar	
Projeto 4	\$1	Investir	120	X=1	Investir
Projeto 5	\$1	Rejeitar			
Projeto 6	\$ 3	Avaliar	75	X=1	Investir
Projeto 7	\$ 2	Avaliar	45	X=0	Avaliar
<b>Total</b>	<b>\$ 21</b>				

Uma limitação do uso da programação matemática é que este tipo de técnica não permite uma análise qualitativa no cronograma físico-financeiro de um determinado projeto. Por exemplo, a Tabela 2 apresentou uma previsão de desembolso anual por projeto. É preciso confirmar se este desembolso possui flexibilidade para eventuais ajustes de portfólio, assim sendo necessário rever a Equação 6 proposta acima. A Figura 19 apresenta a evolução do

processo de seleção de portfólio após a aplicação das 3 Iterações. O esforço requerido para obtenção de dados confiáveis para a análise de riscos econômico-financeiros e de riscos específicos é significativo para as equipes de projeto. Portanto, a realização da seleção de portfólio em etapas permite uma aplicação mais eficiente de recursos para a geração destes dados somente para projetos minimamente atrativos.

Figura 19 — Resultado das 3 Iterações de seleção de portfólio.



O exemplo utilizado seleciona os projetos com maior *ranking* dentro do orçamento proposto. No entanto, ainda há disponibilidade de orçamento para investimento no 'Período 0'. Recomenda-se uma discussão estratégica para definir se há o interesse em utilizar a folga no orçamento neste portfólio específico, se extingue-se a folga existente no orçamento, ou se discute-se uma readequação de cronograma físico-financeiro para os projetos que compõem este portfólio. Por exemplo, caso o Projeto 7 possa ter o seu cronograma estendido e o desembolso para o 'Período 0' seja replanejado de acordo com a verba disponível no portfólio, então uma revisão da programação linear deverá ser realizada para formalizar uma revisão da Iteração 3 no processo de seleção. Logo, a Equação 6 deverá ser substituída pela Equação 8 abaixo proposta.

$$2x \times 1 + 1 \times x4 + 3 \times x6 + 1 \times x7 \leq y \quad (\text{Eq. 8})$$

Por fim, um aspecto a ser observado é que o exemplo aqui apresentado demonstra de forma simplificada um processo de seleção considerando somente o orçamento previsto para o primeiro ano de execução de cada um dos projetos e que está começando do zero. Pressupõe-se que haverá um processo contínuo de seleção de portfólio de EC, seguindo o ciclo orçamentário de uma organização. No próximo ciclo de priorização de portfólio, deve-se então levar em consideração que há projetos em execução e que a verba disponível para a priorização de novos investimentos poderá ser limitada.

Um aspecto que não foi abordado pelo *framework* de seleção é a forma com que as organizações financiam seus investimentos. Para o caso particular de organizações que utilizem o próprio caixa para o financiamento de seus investimentos, faz-se necessário expandir a análise de disponibilidade de caixa para a execução do portfólio proposto considerando todo o prazo de implementação do investimento, e não somente o primeiro ano. Métodos como o de cálculo da Máxima Exposição de Caixa podem ser utilizados para estes casos particulares.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Após a Etapa 4, que consiste na demonstração do artefato, a Etapa 5 irá avaliar se ele obteve a funcionalidade esperada em relação a sua utilidade, qualidade e eficiência.

A demonstração do artefato apresentou uma situação real de uma organização que busca adequar suas operações através da neutralização de emissões de carbono, em linha com o Acordo de Paris, e através da adoção de princípio da EC, com a criação de produtos mais sustentáveis e reutilização de resíduos atualmente não recicláveis em matéria-prima para produção de produtos circulares. Estas ações mostram alinhamento com a proposta de Pearce e Turner (1990), que propõem inicialmente a EC como um circuito fechado de consumo.

Para o atingimento de seus objetivos, os projetos terão como base ideias. Estas ideias serão desenvolvidas e demonstradas através de potenciais melhorias em KPIs, até se tornarem projetos com retorno objetivo em relação à situação atual que buscam aperfeiçoar. Como exposto, esta organização possui mais de 270 projetos em seu portfólio de investimentos de EC, de diferentes naturezas e segmentos. Na demonstração do artefato, foram identificados 7 projetos para exemplificação do processo de seleção proposto por esta dissertação.

Em relação ao critério de entrada e o formato de mensuração do progresso através do LCA, o artefato proposto teve a aplicação demonstrada. A partir da identificação dos

objetivos da organização em progredir em relação às emissões de gases de efeito estufa, e da identificação do indicador a ser mensurado pelos projetos, estabelece-se um processo transparente para todas as operações globais da empresa e para que haja um padrão comparativo entre quais projetos estão alinhados com o objetivo principal da empresa e como contribuirão para a meta de forma quantitativa.

Em relação ao processo proposto pela Iteração 1, o *framework* propõe a quantificação dos benefícios que cada um dos projetos trará para a organização sob o ponto de vista de sustentabilidade das operações, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. De forma simplificada, o processo de demonstração do artefato apresenta como efetivamente ocorre a quantificação em um grupo de projetos. A estruturação de uma análise econômica é um método conhecido, e projetos que não remuneram o capital comprometerão a estrutura de custos da organização impedindo o desenvolvimento sustentável de suas operações ao longo do tempo. A Iteração 1 é suficientemente genérica de forma que possa ser ajustada de acordo com métricas de avaliação priorizadas por diferentes segmentos, ou por diferentes organizações. Se por exemplo o VPL é a prioridade de uma organização em relação a TIR, o peso entre critérios poderá ser ajustado para uma avaliação que reflita os valores da entidade que aplicará o *framework* de seleção.

A Iteração 2 demonstrou a aplicação da incorporação de riscos específicos do ambiente de portfólio e da EC dentro da priorização do portfólio como um todo. Os riscos têm como base a revisão bibliográfica apresentada por esta dissertação, e deverão ser mensurados individualmente no contexto de cada projeto. O desenvolvimento de ferramentas com base em métodos probabilísticos de avaliação de riscos econômico-financeiros aumenta a robustez do processo de seleção, porém deverá ser baseada em dados de entrada confiáveis para a análise. Em função da aplicação de um exemplo genérico e sem dados de entrada reais, não é possível demonstrar aqui a aplicação de uma SMC a partir de probabilidades de cenários econômicos para cada um dos projetos que integrarão este portfólio. No entanto, a avaliação de riscos específicos de forma qualitativa incorpora o cenário de evolução da EC em relação aos aspectos legais e tecnológicos, e o ambiente de portfólio. À medida que o conceito de EC passe a estar mais estabelecido na sociedade, será necessário revisar a estrutura de riscos específicos frente a uma evolução do entendimento da sociedade na proposta de transição de um modelo linear para circular.

Por fim, a Iteração 3 consiste em estabelecer um processo para adequação do volume necessário de capital para a execução de um portfólio frente ao capital disponível para investimento. Sem propor cenários complexos, pois o objetivo não é provar ferramentas

matemáticas, mas sim a demonstração do formato de seleção com base em restrições sem considerar requisitos de capital para todo o ciclo de vida dos projetos.

Ao avaliar a funcionalidade do artefato proposto como um todo, a sua funcionalidade, qualidade e utilidade foram demonstradas através da aplicação em uma organização que busca implementar um formato de operação sustentável através da neutralização de suas emissões de carbono. Em função da confidencialidade de informações, foram utilizados dados artificiais para a demonstração do processo de seleção através da exemplificação. Ao aplicar o artefato, demonstrou-se um método de seleção que priorizou as iniciativas que trarão um maior benefício para a organização a partir de critérios pré-estabelecidos.

No processo de revisão teórica e na demonstração do artefato, percebe-se a importância de um método estabelecido para a seleção de portfólio. Desta forma, gera-se conhecimento organizacional, a fim de mensurar a qualidade do processo decisório e aperfeiçoar os critérios estabelecidos para decisão. A utilização de dados reais no processo de seleção poderia alterar os projetos que seriam selecionados para este exemplo, somente porque haveria uma classificação diferente de prioridades. Em termos metodológicos para o processo de seleção, a utilização de dados reais não traria outros benefícios práticos para a demonstração do artefato.

O artefato demonstrou que poderá ser utilizado como *framework* de seleção de portfólio, proporcionando efetividade no gerenciamento deste processo de acordo com as premissas propostas por Patanakul (2015). Pode-se afirmar que através do Critério de Entrada, o artefato restringe a entrada de projetos que não estejam alinhados com os objetivos estratégicos da organização. Ao incorporar riscos específicos e permitir a personalização dos critérios de seleção de acordo com cenários e progressão da EC, o artefato é adaptável a mudanças internas e externas e permite visualizar projetos que possuam alto impacto ou benefício frente ao Critério de Entrada. As métricas propostas para quantificação dos benefícios do projeto, e consequentemente do portfólio, estão alinhadas com as melhores práticas e recomendações da pesquisa científica de avaliação de investimentos e de EC, contribuindo para a previsibilidade dos investimentos que passarão por este processo. Utilizando o formato de apresentação proposto por Mavrotas *et al.* (2021), o artefato proporciona a visualização do processo de seleção trazendo transparência ao processo para os *stakeholders* que validarão a decisão final.

Por fim, um dos aspectos observados na proposta do *framework* e na sua demonstração é o seu potencial de adaptabilidade. O primeiro aspecto é o critério de entrada, que pode ser alterado para objetivos estratégicos de diferentes organizações. Já na Iteração 1,

o método de decisão multicriterial aqui selecionado foi o MAUT, em função de sua flexibilidade e adaptabilidade. No entanto, caso uma determinada organização opte pelo uso do AHP, a estrutura proposta pelo *framework* pode ser adaptada, mantendo a essência do processo e a dinâmica de seleção. No caso de haver o interesse em modificar critérios e pesos, a matriz MAUT proposta pela Tabela 1 pode ser ajustada para o atendimento dos critérios da preferência dos decisores. Da mesma forma, a incorporação dos riscos específicos poderá ser expandida para avaliação de aspectos específicos de um segmento em relação ao ambiente da EC. No que tange a Iteração 3, a programação matemática é uma ferramenta que poderá ser personalizada conforme a necessidade do ciclo de priorização, e disponibilidade de recursos. Organizações orientadas para um processo de seleção com maior uso de ferramentas matemáticas poderão explorar diferentes variações da aplicação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a proposição de um *framework* de seleção de investimentos para organizações que possuam como objetivo em sua estratégia corporativa os princípios de EC, como por exemplo, a neutralização das emissões de carbono. Para que este objetivo fosse cumprido, a revisão teórica realizada no 2º capítulo apresentou os principais conceitos que deverão ser considerados para as 3 áreas do conhecimento abordadas por esta dissertação: EC; gerenciamento de portfólio de projetos; e análise de viabilidade econômica e de riscos em investimentos. O método do trabalho proposto foi apresentado no 3º capítulo, que trouxe as etapas previstas pela metodologia do DSR para a criação de artefatos a partir da pesquisa científica. O processo design, desenvolvimento do artefato, demonstração e avaliação foram discutidos no 4º capítulo, identificando os principais fatores a serem considerados e principalmente como a dinâmica de seleção proposta por esta dissertação deveria ocorrer para um grupo de projetos.

Apesar do amplo debate sobre o conceito de EC, torná-la uma realidade ainda é um desafio a ser superado por governos, indústria, consumidores e o público em geral (YANG *et al.*, 2021). De forma a contribuir com a EC, o objetivo principal deste trabalho foi cumprido através da proposta do *framework* apresentado no 4º capítulo. O artefato proposto é propositalmente genérico para que seja apenas um passo inicial na avaliação e seleção de investimentos que tem como objetivo a transformação do modelo econômico linear para circular. Ghisellini *et al.* (2016) sustentam, que a EC apresenta uma proposta com potencial de transformar radicalmente o modelo de negócios atual para um formato que prioriza maior balanceamento entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável. Desta forma, diferentes produtos/serviços e segmentos poderão utilizar o artefato proposto por este trabalho como ponto de partida para o seu processo de seleção de portfólio e contribuir para o tema, que é complexo e requer interdisciplinaridade na abordagem.

Uma das vantagens do *framework* proposto para seleção de portfólio de investimentos para EC é a utilização em conjunto do LCA com a modelagem econômica. Como indicado por Souza (2008), o levantamento de dados para modelagem do fluxo de caixa do projeto é uma das dificuldades em realizar a etapa econômica, apresentando certa fragilidade. A metodologia proposta pela ABNT NBR ISO 14040 promove o mapeamento das entradas e saídas de um processo de produção de bem ou serviço em variáveis quantitativas, facilitando

assim o entendimento global do processo e a sua conversão para métricas econômico-financeiras.

Os objetivos específicos definidos para este trabalho foram: (i) identificar por meio de revisão teórica o que é EC, como funciona este novo modelo econômico, e quais os principais riscos associados à sua implementação; e (ii) demonstrar a aplicação deste *framework* em projetos de diferentes segmentos.

Relativo ao 1º objetivo específico, a metodologia de pesquisa selecionada para este trabalho prevê a busca em pesquisa bibliográfica de soluções para o problema que o artefato busca solucionar, previsto na Etapa 2 do DSR. Através da apresentação da pesquisa teórica no 2º capítulo deste trabalho, pode-se afirmar que o objetivo foi plenamente cumprido.

Quanto ao 2º objetivo específico, a demonstração da aplicação do *framework* também é parte do DSR e é previsto na Etapa 4. A partir do exemplo de uma empresa que comunica o desejo de transformar as suas operações de um modelo linear para circular, o *framework* de seleção de portfólio foi aplicado através de exemplos reais de projetos, utilizando dados artificiais para descrever a sua aplicação. Assim, pode-se também afirmar que o 2º objetivo específico foi plenamente atingido.

Ao revisar o objetivo principal deste trabalho, seus objetivos específicos e a forma como o processo de pesquisa foi desenvolvido e apresentado por esta dissertação, demonstra-se a contribuição realizada por este trabalho para a implementação da EC na prática. Durante todo o processo de pesquisa, não foram identificados trabalhos semelhantes que propusessem um formato de seleção de investimentos de EC, quais fatores econômico-financeiros deverão ser considerados para este tipo de projeto, qual o ambiente de risco que deverá ser observado para estes projetos, e por fim estabelecer uma dinâmica de seleção de projetos que estruture a análise e encontre uma solução final para a seleção de portfólio. Pela combinação de fatores proposta por este trabalho, uma abordagem genérica foi definida como um dos objetivos da pesquisa de forma que possa contribuir de maneira abrangente para a evolução do tema na sociedade.

Recomenda-se, que trabalhos futuros utilizem o *framework* proposto por esta dissertação, com a aplicação em segmentos específicos e com dados reais. Assim, estes contribuirão para a definição dos *trade-off* entre os critérios de seleção e poderão trazer lições assimiladas para melhoria do processo.

Sugere-se também que este *framework* seja replicado com certa consistência para a avaliação do seu comportamento ao longo de diversos ciclos de seleção de portfólio. Em função da necessidade de concluir projetos para mensurar o grau de satisfação com os

investimentos selecionados, entende-se que a manutenção de um processo constante será benéfica para o desenvolvimento do conhecimento científico na área de seleção de portfólio de EC.

De forma mais abrangente, foram apresentados por este trabalho diversos fatores de risco de EC e que a sua implementação ainda é incerta. Uma análise mais abrangente sobre riscos corporativos é recomendada para que haja um cenário mais definido em longo prazo sobre os riscos específicos da área. Os métodos e processos do *Enterprise Risk Management* (ERM) poderão ser utilizados para tal fim.

## REFERÊNCIAS

- AACE. **18R-97: Sistema de Classificação para Estimativa de Custos – Conforme Aplicado à Engenharia, Contratação e Construção para Processos Industriais**. American Association of Cost Engineering, 2016.
- ABBASI, D.; ASHRAFI, M.; GHODSYPOUR, S. H. A multi objective-BSC model for new product development project portfolio selection. **Expert Systems with Applications**, v. 162, p. 113757, 30 dez. 2020.
- ABBASSI, M.; ASHRAFI, M.; SHARIFI TASHNIZI, E. Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. **Technovation**, v. 34, n. 1, p. 54–63, jan. 2014.
- ABNT. **NBR ISO 14040:2006 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006
- ABNT. **NBR ISO 31000:2009 – Gestão de riscos: princípios e diretrizes**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
- AKALU, M. M. Re-examining project appraisal and control: developing a focus on wealth creation. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 7, p. 375–383, 2001.
- ARVIDSSON, R. *et al.* Environmental Assessment of Emerging Technologies: Recommendations for Prospective LCA. **Journal of Industrial Ecology**, v. 22, n. 6, p. 1286–1294, 1 dez. 2018.
- AYRES, R. U.; KNEESE, A. V. Production, Consumption, and Externalities. **The American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282–297, 1969.
- BAI, L. *et al.* Project portfolio risk analysis with the consideration of project interdependencies. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2021.
- BASF. **ChemCycling™: Environmental Evaluation by Life Cycle Assessment (LCA)**. Disponível em: <<https://www.basf.com/us/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html>>. Acesso em: 3 nov. 2022.
- BOULDING, K. E. The Economics of the Coming Spaceship Earth. **Economics, Ecology, Ethics: Essay towards a Steady State Economy**, 1966.
- BRADLEY, S. P.; HAX, A. C.; MAGNANTI, T. L. **Applied Mathematical Programming**. Boston: Addison-Wesley, 1977.

BRIGGS, A.; SCULPHER, M. Sensitivity analysis in economic evaluation: A review of published studies. **Health Economics**, v. 4, n. 5, p. 355–371, set. 1995.

CABALLERO, H. C.; CHOPRA, S.; SCHMIDT, E. K. **Project portfolio selection using mathematical programming and optimization methods**. PMI® Global Congress. Project Management Institute, 2012.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos - Manual Para Solução de Problemas e Tomadas de Decisão**. 12<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2019. v. 3

CHEVRON. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<https://www.chevron.com/newsroom/2021/q4/chevron-sets-net-zero-aspiration-and-new-ghg-intensity-target>>. Acesso em: abr. de 2022.

CHIAPPETTA JABBOUR, C. J. *et al.* Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 110416, 15 jun. 2020

COCA-COLA. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<https://www.coca-colacompany.com/sustainability/climate/science-based-targets>>. Acesso em: abr. de 2022.

COSTANTINO, F.; DI GRAVIO, G.; NONINO, F. Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 8, p. 1744–1754, 1 nov. 2015.

DELL. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<https://www.dell.com/en-us/dt/corporate/social-impact/advancing-sustainability/sustainable-operations/climate-change-and-resource-management.htm>>. Acesso em: abr. de 2022.

DUNCAN, K. J.; MERRICK, J. R. W. An Introduction to R&D Portfolio Decision Analysis. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2011.

DUTRA, C. C. **Modelo Econômico-Probabilístico Para Seleção e Priorização de Projetos**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Financing the circular economy Capturing the opportunity**. 2020.

EPA. **GHG Inventory Development Process and Guidance**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/climateleadership/ghg-inventory-development-process-and-guidance>>. Acesso em: maio de 2022.

ERKMAN, S. Industrial ecology: An historical view. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 1997.

EUROPEAN COMMISSION. **European Green Deal**. Bruxelas: Comissão Europeia, 2019. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). Acesso em: set. 2022.

FAO. **The concept of SARD**. Disponível em: <https://www.fao.org/3/w7541e/w7541e04.htm>. Acesso em: 21 ago. 2022

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. 1. ed. New York: Springer New York, NY, 2005.

FRANK, A. G. *et al.* Sistemática para avaliação multicriterial de investimentos no desenvolvimento de produtos. **Produção**, v. 21, n. 4, p. 570–582, 2011.

FREIRES, A. *et al.* Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, v. 21, 1 mar. 2011.

FÜCHSL, S.; RHEUDE, F.; RÖDER, H. Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review. **Cleaner Materials**, v. 5, p. 100119, 1 set. 2022.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Chapter 3 - (1970) The Entropy Law and the Economic Problem. **Energy and Economy Myths**. [s.l: s.n.]. p. 53–60.

GHG PROTOCOL. **The GHG Protocol for Project Accounting**. [s.l.] World Business Council for Sustainable Development, 2005.

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, 15 fev. 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da Decisão**. ed. São Paulo: [s.n], 2007.

GOOGLE. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: <https://sustainability.google/commitments/>. Acesso em: abr. de 2022.

GÖTZE, U.; NORTHCOTT, D.; SCHUSTER, P. **Investment appraisal: Methods and models**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2008.

GUAN, D. *et al.* Risk reduction in a project portfolio. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 26, n. 1, p. 3–22, 1 fev. 2017.

GULDMANN, E.; HUULGAARD, R. D. Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 118160, 10 jan. 2020.

HAIMES, Y. Y.; LI, D.; TULSIANI<sup>2</sup>, V. Multiobjective Decision-Tree Analysis<sup>1</sup>. **Risk Analysis**, v. 10, n. 1, p. 111–127, 1990.

HAIMES, Y. Y.; SAGE, A. P. Chapter 6 - Defining Uncertainty and Sensitivity Analysis. Em: **Risk Modeling, Assessment, and Management**. 3. ed. [s.l.] Wiley, 2008. p. 255–305.

HANSEN, L. K.; SVEJVIG, P. Seven Decades of Project Portfolio Management Research (1950–2019) and Perspectives for the Future. **Project Management Journal**, v. 53, n. 3, p. 277–294, 1 jun. 2022.

HERTZ, D. B. Risk Analysis in Capital Investment. **Harvard Business Review**, 1979.

HEVNER, A. R. A Three Cycle View of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, 2007.

HEVNER, A. R. *et al.* Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**Global Warming of 1.5°C. [s.l.] Cambridge University Press, 9 jun. 2018.

JONES, D.; TAMIZ, M. **Practical Goal Programming**. 1. ed. New York, NY: Springer, 2010. vol. 1.

KAISER, M. G.; EL ARBI, F.; AHLEMANN, F. Successful project portfolio management beyond project selection techniques: Understanding the role of structural alignment. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 1, p. 126–139, 1 jan. 2015.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 190–201, 1 ago. 2018.

KIRCHHERR, J. *et al.* Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). **Ecological Economics**, v. 150, p. 264–272, 1 ago. 2018.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221–232, 2017.

KOCK, A.; GEMÜNDEN, H. G. Project Lineage Management and Project Portfolio Success. **Project Management Journal**, v. 50, n. 5, p. 587–601, 1 out. 2019.

KOPMANN, J. *et al.* Business Case Control in Project Portfolios - An Empirical Investigation of Performance Consequences and Moderating Effects. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 62, n. 4, p. 529–543, 1 nov. 2015.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37–46, 1 jan. 2018.

LEFLEY, F. The payback method of investment appraisal: A review and synthesis. **International Journal of Production Economics**, v. 44, n. 3, p. 207–224, 1996.

LINDER, M.; WILLIANDER, M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. **Business Strategy and the Environment**, v. 26, n. 2, p. 182–196, 1 fev. 2017.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. Em: **Case Study Research in Logistics**. [s.l: s.n.]. p. 83–101, 2003.

MAGEE, J. F. Decision Trees for Decision Making. **Harvard Business Review**, 1964.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

MARTINSUO, M.; GERALDI, J. Management of project portfolios: Relationships of project portfolios with their contexts. **International Journal of Project Management**, v. 38, n. 7, p. 441–453, 1 out. 2020.

MAVROTAS, G.; MAKRYVELIOS, E. Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece. **European Journal of Operational Research**, v. 291, n. 2, p. 794–806, 1 jun. 2021.

MEYER, P.; ROUBENS, M. Choice, Ranking and Sorting in Fuzzy Multiple Criteria Decision Aid. Em: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. (Eds.). **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York, NY: Springer New York, 2005. p. 471–503.

MEYS, R. *et al.* Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 162, p. 105010, 1 nov. 2020.

MORGAN, K. M.; CRAWFORD, A.; KOWALCYK, B. B. Risk-based Decision-Making Definition: A Scoping Review of Food, Agricultural, Environmental, and Medical Literature. **Risk Analysis**, v. 42, n. 9, p. 2107–2121, 2022.

MUNDA, G. Multiple Criteria Decision Analysis and Sustainable Development. Em: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. (Eds.). **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York, NY: Springer New York, 2005. p. 953–986.

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, 1 fev. 2017.

PATANAKUL, P. Key attributes of effectiveness in managing project portfolio. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 5, p. 1084–1097, 1 jul. 2015.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. [s.l.] The Johns Hopkins University Press, 1990.

PEFFERS, K. *et al.* A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, dez. 2007.

PEÑA, C. *et al.* Using life cycle assessment to achieve a circular economy. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 2, p. 215–220, 1 fev. 2021.

PETROBRAS. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/en/society-and-environment/environment/climate-changes/>>. Acesso em: abr. de 2022.

PFIZER. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: [https://www.pfizer.com/news/articles/carbon\\_neutral\\_by\\_2030\\_how\\_pfizer\\_is\\_fighting\\_climate\\_change\\_with\\_ambitious\\_science\\_based\\_goals](https://www.pfizer.com/news/articles/carbon_neutral_by_2030_how_pfizer_is_fighting_climate_change_with_ambitious_science_based_goals)>. Acesso em: abr. de 2022.

PHILLIPS, L. D.; BANA E COSTA, C. A. Transparent prioritization, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. **Annals of Operations Research**, v. 154, n. 1, p. 51–68, out. 2007.

PMI. **PMBOK - A guide to the Project Management Body of Knowledge**. 6. ed. [s.l.] Project Management Institute, 2017b.

PMI. **The standard for portfolio management**. 4. ed. [s.l.] Project Management Institute, 2017a.

POLYASHUK, M. V. A formulation of portfolio selection problem with multiple criteria. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 13, n. 2–3, p. 135–145, 2005.

POTTING, J. *et al.* **Circular Economy: Measuring Innovation in the Production Chain**. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 27 jan. 2017.

PRC. **Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China**. 1 Jan. 2009.

RAYCHAUDHURI, S. **Introduction to Monte Carlo simulation**. 2008 Winter Simulation Conference. **Anais...IEEE Service Center**, 2008.

RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. **Our World in Data**, 2020.

RODE, A. L. G.; SVEJVIG, P.; MARTINSUO, M. Developing a Multidimensional Conception of Project Evaluation to Improve Projects. **Project Management Journal**, v. 53, n. 4, p. 416–432, 1 ago. 2022.

ROGELJ, J. *et al.* Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. **Nature**, v. 534, n. 7609, p. 631–639, 29 jun. 2016.

ROOS LINDGREEN, E. *et al.* Exploring the effectiveness of grey literature indicators and life cycle assessment in assessing circular economy at the micro level: a comparative analysis. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 11, p. 2171–2191, 1 nov. 2021.

ROY, B. Paradigms and Challenges. Em: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. (Eds.). **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York, NY: Springer New York, 2005. p. 3–24.

SBTI. **Science Based Targets**. Disponível em: <https://sciencebasedtargets.org/>. Acesso em: jun. de 2022.

SCHLOSSER, R.; CHENAVAZ, R. Y.; DIMITROV, S. Circular economy: Joint dynamic pricing and recycling investments. **International Journal of Production Economics**, v. 236, p. 108117, 1 jun. 2021.

SCHUYLER, J. R. Decision analysis in projects: modeling techniques - part 1. **PM Network**, p. 26–32, 1994.

SELAMEAB, T.; YEH, S. Evaluating Intangible Outcomes: Using Multiattribute Utility Analysis to Compare the Benefits and Costs of Social Programs. **American Journal of Evaluation**, v. 29, n. 3, p. 301–316, 2008.

SHELDON, R. A. Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, n. 1, p. 32–48, 2 jan. 2018.

SHOU, M.; DOMENECH, T. Integrating LCA and blockchain technology to promote circular fashion – A case study of leather handbags. **Journal of Cleaner Production**, v. 373, p. 133557, 1 nov. 2022.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4a Edição ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SONCINI, P. **Modelagem Multicriterial para Análise de Projetos de Investimento - O caso de uma distribuidora de energia Elétrica**. Dissertação—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SONY. **Metas estabelecidas para a redução de gases de efeito estufa**. Disponível em: [https://www.sony.com/en/SonyInfo/csr/eco/RoadToZero/gm\\_en.html](https://www.sony.com/en/SonyInfo/csr/eco/RoadToZero/gm_en.html). Acesso em: abr. de 2022.

SOUZA, J. S. **Proposta de uma sistemática para análise multicriterial de investimentos**. Dissertação - Porto Alegre: UFRGS, 2008.

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 435–438, 2016.

STEFANOVIC, M.; STEFANOVIC, I. **Decisions, decisions—**. PMI® Global Congress. **Anais...Project Management Institute**, 2005.

STRANG, K. D. Portfolio Selection Methodology for a Nuclear Project. **Project Management Journal**, v. 42, n. 2, p. 81–93, mar. 2011.

SVEN, K. *et al.* Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders' groups. **Journal of Cleaner Production**, v. 316, p. 128166, 20 set. 2021.

TURA, N. *et al.* Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 90–98, 1 mar. 2019.

UE. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives**. 2018.

UNFCCC. **Paris Agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change**. 2015.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1–29, 16 fev. 2006.

VAN AKEN, J.; CHANDRASEKARAN, A.; HALMAN, J. Conducting and publishing design science research: Inaugural essay of the design science department of the Journal of Operations Management. **Journal of Operations Management**, v. 47–48, p. 1–8, 1 nov. 2016.

VAN BUREN, N. *et al.* Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. **Sustainability**, v. 8, n. 7, p. 647, 8 jul. 2016.

VOM BROCKE, J.; MAEDCHE, A. The DSR Grid: Six Core Dimensions for Effectively Planning and Communicating Design Science Research Projects. **Electronic Markets**, v. 29, n. 3, p. 379–385, 1 set. 2019.

WEAVER, P. **The meaning of risk in an uncertain world**. PMI® Global Congress. **Anais...**Newton Square, PA: Project Management Institute, 2008.

WORLD BANK GROUP. **Carbon Pricing Dashboard**. Disponível em: <[https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map\\_data](https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data)>. Acesso em: nov. de 2022.

YANG, Y. *et al.* On the sustainability of lithium-ion battery industry – A review and perspective. **Energy Storage Materials**, v. 36, p. 186–212, 1 abr. 2021.

ZAK, J.; KRUSZYŃSKI, M. Application of AHP and ELECTRE III/IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 820–830, 2015.

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; SOARES, S. R. How Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is aiding Life Cycle Assessment (LCA) in results interpretation. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 609–622, 20 jan. 2018.

ZHANG, A. *et al.* Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, 1 jan. 2020.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multi-criteria decision aid in financial decision making: Methodologies and literature review. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 11, n. 4–5, p. 167–186, 2002.

**APÊNDICE A**  
**Escalas Incorporadas na Iteração 2**

<b>Fator de Risco</b>	<b>Cenário a ser considerado</b>	<b>Ação</b>	<b>Pontuação Adicional</b>
<b>Modelagem Econômica</b>	Estrutura de custos é interna e não apresenta riscos de dados.	Atualizar <i>ranking</i> .	+5
	Estrutura de custos depende de cenários de transição e/ou comerciais.	Realizar estudo específico para os produtos impactados e atualizar métricas econômicas com modelagem probabilística.	0
<b>Legislativo</b>	Legislação local aplicável ao projeto já atualizada para EC.	Atualizar <i>ranking</i> .	+10
	Legislação local aplicável ao projeto parcialmente atualizada para EC.	Atualizar <i>ranking</i> e métricas econômicas com modelagem probabilística de cenários com crédito de emissões.	+0
	Legislação local aplicável ao projeto não incorpora a EC.	Atualizar <i>ranking</i> e métricas econômicas com modelagem probabilística com crédito de emissões.	-10
<b>Tecnológico</b>	Tecnologia consolidada, estado da arte já atingido.	Atualizar <i>ranking</i> .	+20
	Tecnologia em desenvolvimento, potencial atualização durante ciclo de vida da Operação prevista pelo projeto.	Realizar análise específica de risco, avaliar atualização do modelo econômico por modelos probabilísticos.	0
	Tecnologia em desenvolvimento, em fase piloto ou lançamento de escala comercial.	Realizar análise específica de risco, avaliar atualização do modelo econômico por modelos probabilísticos.	-10
<b>Sequenciamento</b>	Projeto é uma restrição para sequência de futuros projetos para o portfólio de EC.	Atualizar <i>ranking</i> .	+10
	Projeto permite replicação em outras unidades.	Atualizar <i>ranking</i> .	+5
	Projeto não traz benefícios em sequenciamento.	Atualizar <i>ranking</i> .	0
<b>Portfólio</b>	Projeto não possui conflitos com outros projetos e recursos de portfólio.	Atualizar <i>ranking</i> .	+5
	Projeto possui conflitos com outros projetos e recursos de portfólio, sendo a administração do conflito eliminada com planejamento integrado.	Realizar planejamento integrado, validando cronograma físico e financeiro dos projetos que apresentam conflito.	0
	Projeto possui conflitos com outros projetos e recursos de portfólio, não sendo possível a administração do conflito via ferramentas de planejamento.	Incorporar ações mitigatórias dentro do escopo dos projetos impactados, e replanejar cronograma físico e financeiro.	0