



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO DE PRODUTOS  
CANDIDATOS A RECICLAGEM UTILIZANDO O MÉTODO FITRADEOFF:  
APLICAÇÃO EM EMPRESA DE RECICLAGEM**

TRBALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

POR

ANDRÉ FELIPE MENDES ANJO

Recife, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Orientador: Prof. Anderson Lucas Carneiro de Lima da Silva

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO DE PRODUTOS  
CANDIDATOS A RECICLAGEM UTILIZANDO O MÉTODO FITRADEOFF:  
APLICAÇÃO EM EMPRESA DE RECICLAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito  
parcial para obtenção do grau em  
Engenharia de Produção

Recife 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Anjo, André Felipe Mendes.

Modelo multicritério para ordenação de produtos candidatos a reciclagem utilizando o método FITradeoff: aplicação em empresa de reciclagem / André Felipe Mendes Anjo. - Recife, 2024.

46p.

Orientador(a): Anderson Lucas Carneiro De Lima Da Silva  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Produção - Bacharelado, 2024.

1. Resíduos sólidos. 2. Reciclagem. 3. Decisão multicritério. 4. FITradeoff. 5. Cadeira de suprimentos e Sustentabilidade. I. Silva, Anderson Lucas Carneiro De Lima Da . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO DE PRODUTOS  
CANDIDATOS A RECICLAGEM UTILIZANDO O MÉTODO FITRADEOFF:  
APLICAÇÃO EM EMPRESA DE RECICLAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito  
parcial para obtenção do grau em  
Engenharia de Produção

Aprovado em: 14/03/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Anderson Lucas Carneiro De Lima Da Silva (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. João Mateus Marques De Santana (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Aline Amaral Leal (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus por ter me concedido saúde e estrutura suficiente para chegar a esse momento.

Agradeço também aos meus pais, Reginaldo e Suely, por todo o amor, apoio, estrutura e investimento, além da educação e valores que me ensinaram e carregou comigo para sempre.

Aos meus irmãos, João e Carlos, os quais são os meus maiores críticos como também os melhores incentivadores na busca pelo sucesso profissional e pessoal.

A minha esposa, Andrielly, que acreditou no meu projeto desde o início e me incentiva dia a dia, a ser uma pessoa melhor, um estudante proativo, um profissional excelente e a continuar na busca pelo sucesso.

A minha filha, Ana Maria, que nasceu recentemente, mas já preenche meu coração de amor e esperança.

A minha família, entre tios, tias, primos e primas, em especial Renata que me ajudou em partes da graduação.

Agradeço também aos amigos que sempre me apoiaram a realizar uma graduação, seja fora da universidade como também aos amigos que fiz na graduação e me ajudaram na jornada.

Por fim, agradeço aos meus professores da graduação, que foram essenciais para minha evolução e em especial ao meu orientador Anderson Carneiro, pelo excelente apoio.

## RESUMO

Diante da crescente produção em massa como também geração descontrolada de resíduos sólidos, o mundo passa por discussões a cerca de formas alternativas de consumir sem impactar o meio ambiente de forma que as próximas gerações não sejam atingidas. Desse modo, empresas que investem na sustentabilidade, como a empresa em estudo, que trabalha com gerenciamento de resíduos sólidos, busca através da reciclagem retorno financeiro como também ecológico e social. Porém, o processo de escolha do produto a ser trabalhado é de grande importância, precisando integrar interesses e preferências. Sendo assim, o presente trabalho buscou resolver esse problema de decisão com método multicritério, focando na problemática de ordenação, utilizando assim o método FITradeoff para resolver o caso. Após a aplicação foi gerado um ranking dos produtos, sendo levadas em consideração alternativas como: Pneus, Ferro, Materiais perecíveis, Lixo eletrônico e Alumínio. A ordenação final teve o Lixo eletrônico na primeira colocação. O fato de o método gerar uma ordenação foi de grande valor para a empresa, visto que uma lista ordenada de alternativas auxilia, de forma mais rica e abrangente, uma decisão que pode optar por um produto, primeiro colocado, ou mais seguindo a ordem.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos; Reciclagem; Decisão multicritério; FITradeoff; cadeia de suprimentos; sustentabilidade.

## ABSTRACT

In the face of increasing mass production and uncontrolled generation of solid waste, the world is engaged in discussions about alternative ways of consumption that do not impact the environment, ensuring that future generations are not adversely affected. Consequently, companies committed to sustainability, such as the one under study, which specializes in solid waste management, seek both financial and ecological returns through recycling. However, the process of selecting the product to work with is of paramount importance, requiring the integration of interests and preferences. Therefore, this study aimed to address this decision problem using a multicriteria method, focusing on the issue of prioritization. The FITradeoff method was employed to resolve the case. After its application, a ranking of products was generated, considering alternatives such as Tires, Iron, Perishable Materials, Electronic Waste, and Aluminum. The final ranking placed Electronic Waste in the top position. The method's ability to provide an ordered list was highly valuable for the company, as it facilitates a more comprehensive decision-making process, allowing for the selection of the top-ranked product or subsequent options in order.

**Keywords:** Solid waste; Recycling; Multicriteria decision; FITradeoff; supply chain; sustainability.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 –	Framework de 12 etapas	21
Figura 2 –	Diagrama de Hasse das alternativas	23
Figura 3 –	Objetivos e Critérios	29
Figura 4 –	Ranking dos critérios	35
Figura 5 –	Ordenação Final	36
Figura 6 –	Diagrama de Hasse	36
Figura 7 –	Análise de Sensibilidade	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resumo de Critérios	30
Tabela 2 –	Matriz de consequências	32

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	<b>11</b>
1.1 Justificativa e Relevância	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivos Gerais	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Metodologia	15
1.4 Estrutura do Trabalho	16
<b>2. Referencial Teórico e Revisão de Literatura</b>	<b>17</b>
2.1 Fundamentação Teórica	17
2.1.1 Sustentabilidade	17
2.1.2 Reciclagem	17
2.1.3 Problema de decisão multicritério	18
2.1.4 Método FITradeoff para Ordenação	21
2.2 Revisão de Literatura	24
2.2.1 Problemas de sustentabilidade em organizações	24
2.2.2 Aplicações do Método FITradeoff	25
2.3 Síntese do Estado da arte e o posicionamento deste trabalho	25
<b>3. Modelo de Decisão para escolha de novo item a ser reciclado</b>	<b>27</b>
3.1 Caracterização do decisor e outros atores	27
3.2 Identificação dos objetivos	28
3.3 Estabelecimento de Critérios	29
3.4 Estabelecimento do espaço de ações e problemática	32
3.5 Identificação de fatores não controlados	33
3.6 Efetuação de modelagem de preferências	34
3.7 Efetuação da avaliação intracritério	34
3.8 Efetuação da avaliação intercritério	35
3.9 Avaliação das Alternativas	36
3.10 Efetuação da Análise de Sensibilidade	37
3.11 Análise de resultados e elaboração de recomendação	38
3.12 Implementação de decisão	38
3.13 Considerações Finais	38

<b>4. Conclusão</b>	<b>40</b>
4.1 Conclusões	40
4.2 Limitações e Trabalhos Futuros	41
<b>Referências</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tema sobre o meio ambiente vem ganhando notoriedade desde o desenvolvimento industrial desenfreado em que a população aumentou exponencialmente o consumo. Assim, o desequilíbrio ambiental vem sendo discutido, tema de preocupação entre Governo, Organizações e demais consumidores.

O aumento da população no mundo tem ritmo acelerado. Desde meados da revolução industrial até os dias atuais com o desenvolvimento da tecnologia, industrialização e avanço na medicina os índices de crescimento populacional só tendem a aumentar. Calcula-se que a quantidade de pessoas esteja aumentando 1% ao ano, que em 2030 o número de habitantes no planeta seja maior do que 8,5 bilhões e em 2050 alcance a marca de 10 bilhões de pessoas (Abubakar et al., 2022).

O número de pessoas continua crescendo, assim como a produção e o consumo de insumos, o que gera, conseqüentemente, um maior volume de resíduos que são devolvidos a natureza, muitas vezes de maneira inadequada (Ambrósio et al., 2017; Cardoso et al., 2017; Ribeiro, 2018).

O Cenário nacional, relacionado à sustentabilidade, é bastante promissor. Uma vez que o país investe em campanhas de diminuição da emissão de carbono, como também possui grande quantidade da fonte de energia sendo renovável, como a hidrelétrica.

Focando no impacto promovido pelos resíduos sólidos, percebe-se a necessidade de que os países desenvolvam políticas públicas para garantir o controle, manejo e tratamento adequado de resíduos, sobretudo de resíduos sólidos que apresentam um elevado impacto social, ambiental, sanitário e econômico (Santos; Pinto Filho, 2022).

No meio organizacional a prática sustentável vem sendo estimulada, uma vez que além de trazer benefícios a toda cadeia de suprimentos, traz retorno financeiro com a diminuição de custos. Outro ganho por investir em alternativas sustentáveis é impactar positivamente a sociedade como também o meio ambiente. Desse modo, dentro das empresas o tema desperdício é abordado como característica a ser minimizada, como também os resíduos, a fim de

otimizar espaço, diminuir riscos e fazer girar de forma consciente a cadeia de suprimentos.

Historicamente, as organizações procuraram a competitividade por meio do aumento da produtividade. Porém, desde que o modelo de consumo em massa apresentou sinais de esgotamento, as organizações começaram a reunir os seus esforços em alternativas de vantagens competitivas (Gonçalves et al., 2011). Neste contexto, percebe-se, que o consumidor está buscando valorizar ações de sustentabilidade nas organizações (Garcia et al., 2008; Velter et al., 2009; Ribas, Smith, 2009; Battistella et al., 2012).

Uma alternativa para diminuir os impactos causados ao meio ambiente pelos resíduos produzidos é a reciclagem, a qual propõe utilizar de maneira mais consciente alguns produtos que poderiam ser descartados ou mesmo reutilizar parte da matéria-prima como base para produzir novamente outros compostos.

Desde a promulgação da lei federal nº12.305/2010 chamada “Política Nacional de Resíduos Sólidos” (PNRS), a qual estabelece a responsabilidade compartilhada entre indústrias, consumidores, sociedade civil e governo para a correta destinação dos resíduos sólidos, que houve uma pressão maior para medidas sustentáveis. Especificamente sobre os resíduos sólidos, no Brasil, há apenas 2,1% de reciclagem do que realmente foi produzido (SNIS, 2020). Nesse cenário surgiram empresas que fazem a gestão de resíduos sólidos, as quais fazem coleta, formatação e transporte de modo a agilizar e apoiar a reutilização das matérias primas, minimizando os impactos à natureza, além de gerar empregos.

De maneira direta ou indireta a sociedade, natureza e as empresas são impactadas por ações que buscam coletar e reaproveitar produtos que seriam descartados, gerando assim ganho financeiro, ecológico e bem social. Assim, é de grande importância a busca por produtos que tenham grande impacto, e realizar a escolha do próximo produto de forma assertiva a ter a melhor contribuição possível. Assim, dentre os objetivos do trabalho está o impacto ecológico, social, o retorno financeiro e o ganho logístico.

Acrescentar um produto na linha de produção a ser reciclado, mostra-se, portanto, um processo complexo e muito relevante para as empresas e demais envolvidos. Nos processos da empresa, não há racionalidade da escolha e

sempre escolhem o produto a ser reciclado pelo retorno financeiro. Porém, deste modo, não avaliam critérios compatíveis com objetivos mais amplos como ecológico e social. O produto a ser escolhido será transportado, formatado, empacotado em algumas vezes, estocado e distribuído, assim, é preciso ter uma ideia da viabilidade do mesmo na cadeia de suprimentos. Essas questões demonstram a complexidade do problema enfrentado pela empresa.

Uma abordagem compatível para auxiliar a tomada de decisão é a multicritério, na qual alternativas são avaliadas a partir de objetivos, levando em consideração as preferências para a solução (de Almeida, 2013). Existem vários métodos para resolver esse problema, assim, foi escolhido o método FITradeoff, o qual trabalha com as problemáticas de: escolha, classificação, ordenação e descrição. Para esta pesquisa foi utilizada a problemática de ordenação, já que seria mais adequada para apoiar a decisão de um ou mais produtos a serem reciclados, gerando uma recomendação de decisão para a empresa.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O presente trabalho tem foco na resolução de um problema de uma empresa real, a qual faz gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo, também, neste a proteção e cuidados com o meio ambiente, levando-se em conta a necessidade de usar os recursos de maneira sustentável, racional, pensando na atualidade e também nas gerações futuras.

Há também uma busca por melhores práticas sustentáveis nas etapas e processos da cadeia de suprimentos, logística, isto é, maior racionalidade nas decisões a fim de otimizar recursos, reutilizar produtos e economizar não somente em termos financeiros, mas também impacto ao meio ambiente.

As práticas sustentáveis são desenvolvidas para garantir a utilização dos recursos naturais com parcimônia, sem esgotá-los ou prejudicar os ecossistemas. Portanto, a sustentabilidade promove o consumo consciente, incentivando a conservação da biodiversidade, a redução do desperdício e a minimização da poluição.

Existem diversas práticas que visam diminuir o impacto ao ambiente, como reduzir, reutilizar e reciclar. Reduzir o consumo ao máximo, reutilizar produtos e

materiais enquanto puderem ser reutilizados e, por último, reciclar aqueles que tiverem chegado ao fim de sua vida útil.

O processo de reciclagem é uma ferramenta com potencial de mitigar os impactos causados ao meio ambiente, através de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, trazendo-os de volta ao ciclo produtivo, transformando objetos e materiais usados em novos produtos de consumo.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), o Brasil, em 2022, reciclou apenas 4% dos resíduos sólidos que produziu. São inúmeros produtos que se acumulam, e muitos dos quais são de valor significativo financeiro e para o impacto no meio ambiente.

Sendo assim, há uma complexidade no momento de escolher ou ordenar produtos a serem reciclados, uma vez que envolve diversos critérios. É preciso, por exemplo, incluir numa análise que dará apoio a uma tomada de decisão os possíveis impactos ecológicos, sociais, financeiros e logísticos que podem afetar a empresa, as pessoas e o meio ambiente. Por isso que se trata de uma abordagem multicritério, a qual inclui pelo menos duas alternativas. A partir dessa abordagem é possível gerar uma solução que contemple os diversos critérios associados aos objetivos e preferências do decisor, ordenando assim as alternativas, produtos com potenciais para serem reciclados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral é desenvolver um modelo multicritério, utilizando o método FITradeoff, que dê suporte à tomada de decisão na escolha do próximo ou próximos produtos a serem reciclados por parte da empresa de reciclagem a partir de um ranking de alternativas candidatas. Optar pelo primeiro produto do ranking ou mais de um seguindo a ordenação é uma solução mais rica e adequada ao contexto da empresa.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Com o propósito de alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o problema de decisão e seu contexto aplicado na empresa

de reciclagem

- Analisar os impactos causados pela decisão no hemisfério ecológico, social, financeiro e logístico
- Verificar alternativas sustentáveis
- Identificar os fatores importantes na problemática de ordenação dos produtos candidatos a serem trabalhados pela empresa de reciclagem.
- Estruturar o problema de decisão multicritério baseado nos múltiplos objetivos e critérios.
- Buscar uma solução para o problema de decisão multicritério envolvendo produtos recicláveis.
- Construir uma recomendação de decisão do ranking de produtos candidatos a serem trabalhados na empresa de reciclagem.

### 1.3 METODOLOGIA

Como este trabalho visa resolver um problema multicritério de uma empresa real, pode ser classificado como pesquisa de finalidade aplicada, ajudando assim a empresa na prática. Segundo Gil (1991) este tipo de pesquisa tem como principal interesse a aplicação e utilização do conhecimento resultante dele mesmo.

Visando a natureza da pesquisa, tem-se como combinada, pois há análises quantitativas através da modelagem a ser construída utilizando um método multicritério num sistema de apoio a decisão, como também, utiliza fontes de evidência de natureza qualitativa, na construção do contexto do problema, a fim de propor critérios, alternativas e escolha das preferências do decisor. (Cauchick, 2019)

Em relação ao objetivo, a pesquisa de caráter exploratório, uma vez que consiste num estudo introdutório quanto as decisões de escolha do próximo produto a ser trabalhado numa empresa de reciclagem e na implantação de um modelo para apoio à tomada de decisão.

Quanto aos dados, será utilizada a modelagem de problema em pesquisa operacional para solucionar o problema de decisão. Um sistema de apoio a

decisão (SAD), será utilizado com o método FITradeoff em atuação. Assim, a partir do método será gerada uma ordenação de alternativas de produtos candidatos a serem trabalhados pela empresa de reciclagem. Para obtenção dos dados relevantes para modelagem, um dos especialistas e diretor da empresa foi entrevistado, o qual compartilhou informações importantes.

Ao realizar-se um caso real, esse trabalho assume caráter de um estudo de caso, explorando o conjunto de decisões tomadas, a implementação e possíveis resultados a serem alcançados. (Yin, 2001)

A fim de conseguir uma melhor adequação a realidade da corporação, foram realizadas diversas entrevistas com o especialista sobre o decisor para confirmar as preferências do mesmo e garantir conformidade com o modelo atual, possibilitando, assim, sua aplicação futura.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos, sendo o primeiro dedicado à introdução, justificativa, objetivos e caracterização metodológica.

No segundo capítulo do trabalho, há um maior embasamento teórico, contemplando a fundamentação teórica e revisão da literatura. Dentro desses pontos, foram trazidos conceitos e trabalhos já realizados no contexto de sustentabilidade, reciclagem e decisões utilizando métodos multicritérios. O capítulo é finalizado com o estado da arte e posicionamento do trabalho.

O terceiro capítulo apresenta a modelagem do problema de decisão multicritério com base no framework de 12 etapas, utilizada para o trabalho. Por fim, no quarto e último capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA**

Este capítulo traz a fundamentação teórica do trabalho, abordando a questão da sustentabilidade, reciclagem, problemas multicritério e o método FITradeoff. Uma revisão da literatura também compõe o capítulo, indicando o estado da arte e a forma que este trabalho busca se diferenciar e contribuir.

### **2.1 Fundamentação Teórica**

#### **2.1.1 Sustentabilidade**

Seguindo os estudos biológicos, o termo sustentabilidade tem relação com evitar a extinção, precisando assim sobreviver e reproduzir. Uma relação próxima com a longevidade. Se tratando de economia, há uma questão prioritária em reduzir impactos, economizar recursos e utilizar de maneira saudável. (Costanza; Patten, 1995).

Para alcançar a sustentabilidade, segundo Lugoboni et al. (2015), ações ambientais, econômicas e sociais precisam se unir. Esses três âmbitos são os pilares da sustentabilidade, uma vez que englobam três aspectos do desenvolvimento sustentável: pessoas, planetas e lucros (Alvarenga et al., 2013).

Rodrigues (2018) adiciona que a sustentabilidade viabiliza o crescimento econômico de maneira consciente, em que há uma exploração racional da natureza, levando em consideração a diversidade territorial.

Segundo Souza (2020), a sustentabilidade se refere a preservação ambiental, de modo que os recursos naturais (renováveis e não-renováveis) sejam aproveitados de maneira consciente, racional, respeitando os limites da natureza, a fim de garantir o equilíbrio.

#### **2.1.2 Reciclagem**

Não é hoje que o assunto de tentar aproveitar melhor os resíduos é veiculado, se estabelecendo cada vez mais de forma expressiva, não somente por razões econômicas, mas, principalmente, como uma forma de minimizar os impactos no meio ambiente (Wiebeck e Piva, 1999).

O conceito de consumo sustentável busca uma interação harmônica entre soluções para problemas ecológicos, como a reciclagem, e a produção industrial (Dolan, 2002).

Segundo Valle (2000) o ato de reciclar, tem haver com refazer o ciclo,

possibilitar o retorno a origem, sob forma de objetos que não se degradaram facilmente e que podem ser utilizados novamente, mantendo a estrutura básica. Assim, o processo de reciclagem foca na retomada de um determinado produto, viabilizando que volte ao estado inicial, o da matéria prima.

A educação ambiental propõe construir um indivíduo que tenha consciência coletiva, atitude que valorize a preservação ambiental. A reciclagem, por exemplo, ensina a população a não desperdiçar, a ver o resíduo como algo que pode ser útil (Scarlato; Pontin, 1992).

Cada produto reciclado possui um impacto diferente em relação ao meio ambiente, como também em critérios específicos. Por exemplo, reciclar o papelão é uma boa alternativa para empresa já que tem grande oferta e bom retorno financeiro, como também estimula a consciência sustentável. O plástico, um vilão para o meio ambiente, é também um produto que pode ser reciclado. O material perecível também possui grande importância ambiental e também social, uma vez que degradam mais rápido levando ao acúmulo de insetos e animais. Outro vilão social seria o Pneu, visto que acumula água para podendo gerar doenças para a sociedade. Sendo assim, cada produto possui um impacto ao meio ambiente.

Portanto, a reciclagem visa a coleta e reprocessamento de recurso virgem para ser formatado, buscando reduzir a retirada de matérias primas da natureza (Ribeiro et al, 2009).

A empresa em estudo faz o uso do gerenciamento de resíduos sólidos, sendo a reciclagem sua principal forma de processamento.

### **2.1.3 Problema de decisão multicritério**

Um problema de decisão multicritério está inserido num contexto em que há no mínimo duas alternativas de ação para escolher, e a alternativa escolhida é conduzida pelo interesse de se atender a múltiplos objetivos, podendo ser conflitantes entre si. As variáveis são atribuídas a esses objetivos como critérios, os quais permitem a avaliação de cada alternativa (De Almeida et al., 2013)

O decisor envolvido precisa resolver o problema, avaliando os múltiplos objetivos de forma conjunta, os quais podem ser representados por unidades de medidas diferentes. O decisor é o responsável pelas consequências da

decisão tomada. Na abordagem multicritério é possível existir decisão individual ou em grupo (mais de um decisor), neste trabalho será abordada a decisão individual. (De Almeida, 2013)

A decisão multicritério pode ser utilizada em problemáticas diversas, fazendo o decisor comparações sobre o conjunto de alternativas. Segundo Roy (1996) existem quatro tipos de problemáticas no contexto de decisão:

- Problemática  $P.\alpha$  - Problemática de escolha: decisão de escolha de um subconjunto do espaço de ações
- Problemática  $P.\beta$  - Problemática de classificação: objetiva alocar cada ação a uma classe
- Problemática  $P.\gamma$  - Problemática de ordenação: busca trazer uma ordem para as alternativas, posicionando-as em um ranking.
- Problemática  $P.\delta$  - Problemática de descrição: apoia a decisão a partir de uma descrição das ações e de suas consequências.

A escolha do método a ser utilizado para o modelo multicritério depende de diversos fatores, como a natureza do conjunto de alternativas, estrutura de preferências do decisor, racionalidade, avaliação de alternativas, tempo para tomada de decisão e implementação. (De Almeida, 2013)

Na racionalidade, um dos principais fatores de classificação é ser compensatório ou não compensatório. Nos métodos compensatórios o desempenho de uma alternativa em um critério pode ser compensado em outro critério, tendo assim tradeoffs entre consequências. Já em métodos não compensatórios esse modo não é considerado. Não há trade-off entre critérios. Neste caso, a relação de preferência não depende das diferenças de preferências entre os vários níveis em cada critério. Um exemplo de uma situação com racionalidade não compensatória é um jogo de vôlei ou a eleição dos Estados Unidos (De Almeida, 2013).

Alguns métodos utilizam a racionalidade compensatória, como o método FITradeoff (De Almeida et al., 2021), MACBETH (Bana E Costa, Vansnick, 2005), os métodos SMARTS e SMARTER (Edwards, Barron, 1994). Já racionalidade não compensatória é possível ser utilizada em métodos de sobreclassificação, como os da família ELECTRE (Roy, 1996) e os da família PROMETHEE (Brans, Vincke 1985).

Nos métodos que utilizam de racionalidade compensatória há

constante de escala, a qual informa o quanto o decisor está disposto a perder ou ganhar em cada critério, ou seja, o tradeoff entre eles (De Almeida 2013)

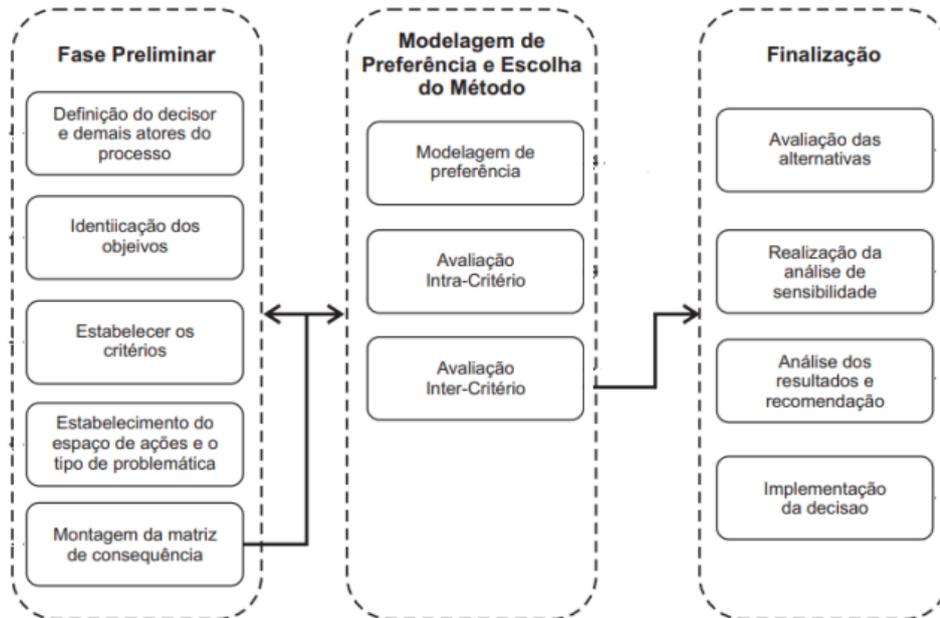
Generalizando, a classificação dos métodos MCDA se divide em três grupos (Roy, 1996; Vincke, 1992; Pardalos et al., 1995):

- Métodos de critério único de síntese: são métodos que unem critérios num único critério de síntese, baseados no modelo aditivo determinístico, destacando a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), a qual foi construída através da Teoria da Utilidade (Keeney, Raiffa, 1976) para contextos probabilísticos.
- Métodos de sobreclassificação (outranking): superação, prevalência ou subordinação, possível de ser destacado a família de métodos ELECTRE (Roy, 1996) e família de métodos PROMETHEE (Brans, Vincke 1985).
- Métodos interativos: associados a problemas discretos ou contínuos, sendo observados em problemas de programação linear multiobjetivo (PLMO).

A fim de evitar postura tendenciosa pela familiaridade, a análise dos fatores passa a ser importante na decisão sobre o método a ser adotado (De Almeida 2013). De fato, utilizar-se de um método que apoie a decisão de maneira racional, conectada com as preferências do decisor e ainda, assim, seja prática, objetivo e intuitivo, estimula sua utilização. Sendo assim, o método visto é dividido em fases e etapas que estruturam o apoio a decisão.

De Almeida (2013) aponta um framework que segue 3 fases, compostas por 12 etapas (figura 1) para a resolução de problemas de decisão multicritério, com a intenção de facilitar a elaboração e solução do problema. É possível definir, através das 3 fases, os atores do processo decisório, a escolha do método adequado e os resultados obtidos.

Figura 1 – Framework de 12 etapas



Fonte: De Almeida (2013, p. 165) adaptada.

A primeira fase é composta por 5 etapas, as quais buscam definir as características do problema de decisão. Essas informações prévias são capazes de influenciar de modo definitivo o modelo final que vai ser construído para analisar o problema (De Almeida, 2013).

Já a segunda fase é diretamente ligada ao método escolhido, sendo possível de ser executada em qualquer ordem. A fase entrega no fim o modelo de decisão pronto para ser utilizado (De Almeida, 2013).

Na terceira fase, o modelo já está estabelecido, assim visa trabalhar na finalização da resolução do problema e implementação da ação recomendada. A etapa de análise de sensibilidade é bem importante para o modelo, uma vez que pode conferir robustez ao modelo como também pode direcionar mudanças em fases anteriores (De Almeida, 2013).

#### 2.1.4 Método FITradeoff para Ordenação

O método FITradeoff (Flexible and Interactive Tradeoff) (De Almeida et al.,

2016, 2021, 2023), o qual utiliza da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT), é baseado no procedimento *tradeoff* de quem herda a estrutura axiomática (Keeney and Raiffa, 1976). De todo modo, o método FITradeoff se diferencia por analisar informação parcial, resolvendo assim os problemas de inconsistências do método tradicional (De Almeida et al, 2016; Weber and Borcherding, 1993).

O método FITradeoff foi desenvolvido originalmente para resolver problemas de seleção (DE ALMEIDA et al, 2016). Entretanto, Frej et al. (2017) demonstram uma forma de resolver problemas de ordenação, cujo resultado é um ranking de alternativas. Reiteram ainda que a principal diferença entre o FITradeoff de seleção e o de ordenação está na modelagem de programação linear. No de seleção a programação linear avalia as potenciais alternativas ótimas, considerando os pesos. Já no método de ordenação a avaliação das potenciais alternativas ótimas é trocada pela verificação de relações de dominância par a par entre alternativas (Frej et al., 2017).

Comentado [AC1]: Não seria 2019?

De acordo com Roy (1996), seguir um método de ordenação tem como consequência uma ordenação de alternativas crescente de preferência, assim, no final, é sugerida uma ordem, completa ou parcial, formando classes que contêm alternativas consideradas equivalentes (Roy, 1996).

No FITradeoff de ordenação, há uma análise de todos os pares de alternativas  $a_i, a_k$  calculando a diferença máxima entre seus valores globais, sujeitos ao espaço atual de pesos formado pelas desigualdades vistas na equação (1) a seguir:

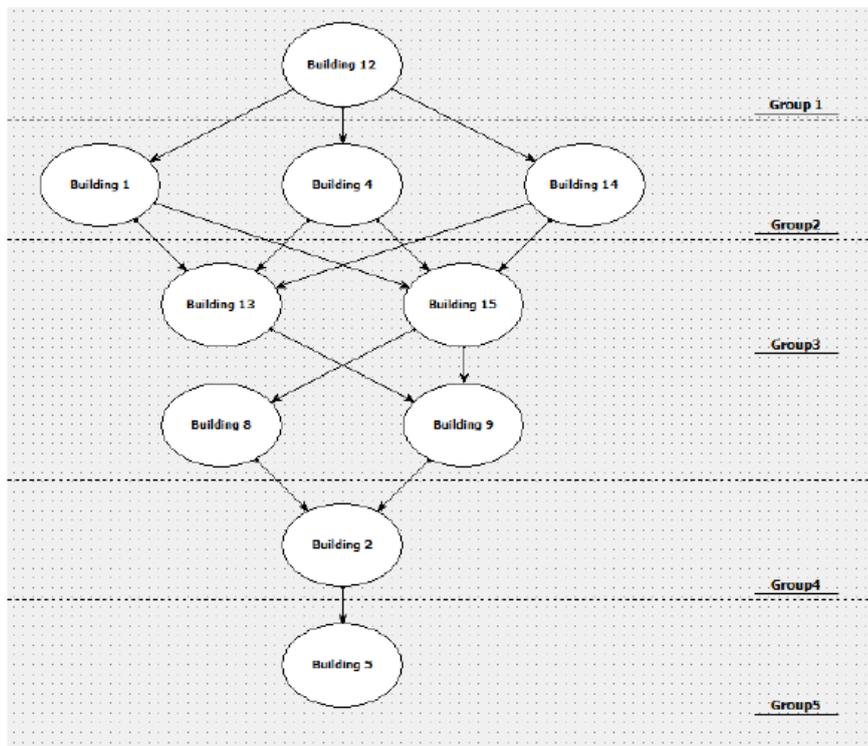
$$\begin{aligned}
 &Max \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) - \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{kj}) \\
 &s. t: \\
 &k_1 > k_2 > \dots > k_j > k_{j+1} > \dots > k_m \quad (1) \\
 &k_j v(x'_j) \geq k_{j+1} + \varepsilon \\
 &k_j v(x''_j) \leq k_{j+1} + \varepsilon \\
 &\sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{zj}) \\
 &\sum_{j=1}^m k_j = 1
 \end{aligned}$$

Uma relação de dominância para  $a_i$  sobre  $a_k$  é estabelecida se o valor global de  $a_k$  for menor do que o valor global de  $a_i$  para qualquer valor de pesos dentro do espaço atual. Há sempre, a cada interação, testes de dominância para todos os pares de alternativas. Assim que uma relação de dominância entre um

par de alternativas é estabelecida, continua desta forma até o fim do processo, sem a necessidade deste par ser testado.

Até a obtenção de uma solução final, o FITradeoff permite a verificação de resultados parciais através do diagrama de Hasse das alternativas, conforme se pode verificar na figura 2. O que vai influenciar o resultado é o nível de informação fornecido pelo decisor, podendo incluir pares de alternativas ainda incomparáveis, ou seja, pares sobre os quais uma relação de dominância não pode ser estabelecido.

Figura 2 – Diagrama de Hasse das alternativas



Fonte: de Almeida (2022)

Diante de uma situação de incomparabilidade existe a possibilidade de realizar avaliações holísticas para resolver de forma mais rápida. Assim, cada vez que o decisor responde uma questão de elicitación, uma nova desigualdade

é gerada, de tal forma que o espaço de pesos é atualizado e os modelos de programação linear são executados novamente para buscar novas relações de dominância entre alternativas e com isso refinar o ranking. Por fim, o processo termina quando se obtém um ranking completo das alternativas ou quando o ranking parcial é suficiente ao olhar do decisor (Frej et al.,2019).

A incorporação de dois paradigmas no FITradeoff (de Almeida et al, 2021) demonstra características de sua flexibilidade, em que é possível realizar a avaliação das alternativas e do espaço de consequências obtendo resultados mais precisos. Frej et al (2019) também ressalta que é possível identificar os resultados parciais ao longo do processo de decisão, através de uma checagem gráfica do ranking a cada iteração, auxiliando no processo de tomada de decisão, exibindo as relações de dominância e indiferença entre as alternativas.

## 2.2 Revisão da Literatura

### 2.2.1 Problemas de sustentabilidade em organizações

Para (Sachs 2017, p. 13, Seager, 2008; Almeida, 2002) Desenvolvimento Sustentável visa nortear os países para uma direção de desenvolvimento social e econômico, através dos objetivos apontados pelo Desenvolvimento Sustentável.

Logo, é importante identificar que mesmo sendo considerada uma ideologia normativa, o Desenvolvimento Sustentável caracterizou-se como base para conscientização da população, sendo instrumento para cobrar o enquadramento das indústrias e como ferramenta para que os governos estabeleçam suas políticas com foco sustentável. Desse modo, o Desenvolvimento Sustentável é o princípio fundamental para se construir um ambiente e organização mais equilibrado e justo ambiental, social e economicamente (Alves, 2019)

Xu e Yeh (2017), em pesquisa, abordou um problema de sustentabilidade relacionado a reciclagem de lixo eletrônico. Desenvolverem uma nova abordagem para tomar decisões de seleção para operações de reciclagem com base no impacto sustentável na dimensão ambiental, econômica e social, melhorando com isso a eficiência dos trabalhos de processamento de reciclagem de lixo eletrônico.

Florenço da Silva (2017) mostra em sua pesquisa feita em empresas de

São Paulo, com trabalhadores de diferentes empresas, que propostas de ações sustentáveis podem resultar em benefícios para o meio ambiente, como também para a motivação de funcionários, através de conscientizações, minimizando assim o impactos e problemas ambientais.

### 2.2.2 Aplicações do Método FITradeoff

É possível analisar que o método FITradeoff é utilizado para diversas problemáticas. No contexto de problemática de escolha o método é vastamente utilizado para seleção de fornecedores, como podemos ver no artigo criado por Santos, Roseli, da Silva e Alencar (2020) visando escolher o melhor fornecedor para uma varejista; ou mesmo no artigo de Fossile et al (2020), no qual utilizaram o FITradeoff em uma problemática de seleção para definir qual fonte de energia renovável é mais viável para portos brasileiros fazerem investimentos.

Frej et al (2017), também em uma problemática de seleção através do método FITradeoff, modelaram uma solução para seleção de fornecedores em uma indústria alimentícia. O problema avaliou 5 diferentes alternativas (fornecedores) com base em sete critérios diferentes.

Frej et al (2021) incorporaram o FITradeoff em uma problemática de portfólio com informações de preferência incompletas, que levaram em consideração custo-benefício aplicado a um portfólio de projetos em uma empresa elétrica brasileira.

No artigo de Ferreira, D., de Gusmão, APH, & de Almeida, JA (2021) foi utilizado um modelo multicritério para avaliação de maturidade no contexto da indústria 4.0.

Já em ZANAZZI , ZANAZZI JL & PONTELLI D (2023) foi utilizado numa priorização de ações de melhoria na produção industrial. método FITradeoff para ordenar ações de melhoria identificadas por meio da análise de modos e efeitos de falhas (FMEA).

CABRAL & CASTRO (2018) utilizaram o método FITradeoff ranking para ordenação das alternativas de contratação de jogadores de futebol num clube.

### 2.3 Síntese do Estado da arte e o posicionamento deste trabalho

Na revisão da literatura foi percebido que há diversos trabalhos utilizando decisão multicritério, sendo uma área explorada pelo meio acadêmico com potencial de suportar os mais variados problemas de decisão, sobretudo em

contextos organizacionais.

Diante de um cenário mundial cada vez mais voltado para desenvolvimento econômico, práticas sustentáveis passou a ser uma vertente importante dentro de projetos e nas ações organizacionais. Desse modo, impactar o meio ambiente da maneira mais racional possível, agora, faz parte de muitas empresas.

Uma forma de atribuir valores conscientes e apoiar a decisão pensando numa forma custo-benefício, uma solução multicritério passou a ser importante nesse cenário.

Foram vistos inúmeros artigos que contemplam métodos multicritérios de apoio a decisão, mas poucos foram utilizados para o tema da reciclagem.

A fim de aprofundar estudos na área de sustentabilidade, especificamente em reciclagem, este estudo busca mostrar um problema de escolha do produto a ser reciclado por uma empresa de reciclagem, num caso de problemática ordenação, aplicando o modelo num caso real, podendo servir como bases para outros estudos e empresas.

Portanto essa pesquisa tem potencial facilitar os processos dentro das organizações, como também, de auxiliar a tomada de decisão de várias empresas do ramo de reciclagem.

### **3 Modelo de Decisão para escolha do próximo produto a ser reciclado**

O problema de decisão explorado está relacionado a uma empresa do ramo de gerenciamento de resíduos recicláveis situada em Caruaru, no agreste pernambucano. Os principais resíduos trabalhados pela empresa são o papelão e o plástico, sendo o papelão em maior quantidade.

O setor em que a empresa trabalha está em alta, de grande importância para a economia como também para o meio ambiente. Por um lado, investir em propostas alternativas e produtos reciclados colabora para um menor desperdício, melhor utilização dos recursos, otimização logística e consequentemente vantagens financeiras. Por outro, gera empregos, diminui lixos, entulhos e incentiva a proteção do meio ambiente, ganhando assim notoriedade social e ecológica. Por esse motivo o Brasil vem tentando investir em estratégias para mitigar o impacto ambiental como a reciclagem, uma vez que o país, em 2023, reciclou apenas 4% do total de resíduos sólidos produzidos, segundo a Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). Número bem inferior ao apresentado por países europeus, em que possuem uma média de 40% de reciclagem.

No cenário sustentável das organizações, há um ponto de vista de importância para a cadeia de suprimentos, um ganho logístico, uma vez que visam melhorias a fim de obterem mais retorno financeiro, como também, cuidados ambientais, sociais e ecológicos.

Existe uma grande diversidade de produtos que podem ser reciclados, tendo cada um sua complexidade a ser trabalhado como também impacto sobre a sociedade. Como a intenção de toda empresa é se manter competitiva no mercado, escolher os produtos a serem reciclados é uma etapa de grande importância. Desse modo, o uso da abordagem multicritério mostra-se como ótima solução para suportar a decisão, visto que o processo de decisão leva em consideração características do produto, mas também da empresa, da cadeia de suprimentos e das preferências do decisor.

#### **3.1 Caracterização do decisor e outros atores**

A tomada de decisão é um processo de seleção, escolha de uma opção

e exclusão de outras alternativas, na qual envolve pessoas, dados e informações que avaliem um caminho estratégico a ser tomado. Segundo Roy (1985), atores são as instituições e pessoas que de alguma forma participam da decisão, seja indireta ou diretamente, sustentada por seus valores, interesses e/ou preferências. Neste trabalho iremos destacar os atores e características funcionais envolvidos na problemática.

Na diretoria há um time que estabelece a política, visão missão da empresa, normalmente responde aos acionistas. Cabe ao diretor definir estratégias de negócios, planejar e orientar a execução de ações que visam alcançar os objetivos da empresa. Aqui, o diretor desempenha o papel de decisor, após o problema passar pelas demais etapas e atores do processo de decisão. Já os gerentes atuam como especialistas ligados diretamente aos diretores, fazendo parte de negociações e cálculos a fim de garantir os resultados. Os gerentes se dividem em logística, financeiro, comercial e de produção.

### **3.2 Identificação dos objetivos**

A estruturação do problema possui como objetivo principal encontrar os melhores produtos possíveis a serem reciclados de maneira a impulsionar o retorno ecológico, social, financeiro e logístico.

A fim de alcançar esses objetivos, o produto precisa ter:

- Problemas ambientais ou sociais gerados por seu acúmulo. Por exemplo, pneus, em que acumula água parada podendo potencializar a dengue.
- Tamanho e peso compatível com a cadeia logística existente. Como a linha de produção já é adequada a um determinado tamanho e tipo de produto, quanto mais compatibilidade tiver, melhor. Assim favorece a otimização logística, isto é, ganho de tempo e agilidade.
- Demanda estável que garanta o retorno financeiro esperado. Isto é, quanto mais demanda o produto tiver por ano, melhor, sem ocorrer grandes variações.
- Tenha impacto na população local, gerando empregos. Há produtos que podem contar com a mão de obra local, seja na captação,

formatação ou distribuição.

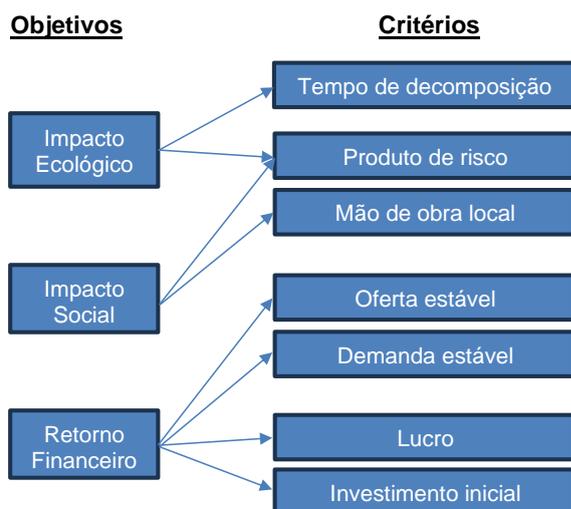
- Gere retorno financeiro ao mesmo tempo que respeite o meio ambiente. Assim, quanto maior o retorno financeiro e menor impacto ao meio ambiente, melhor.

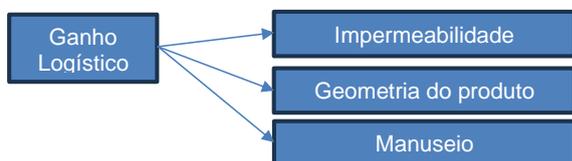
### 3.3 Estabelecimento dos Critérios

A partir dos objetivos identificados, é possível estabelecer os critérios a serem considerados no processo de modelagem, os quais serão abordados com mais detalhes adiante. No estudo presente, alguns objetivos, como os impactos sociais e ecológicos, além de ganho financeiro e logístico, puxaram critérios interessantes para empresas que trabalham no gerenciamento dos resíduos sólidos, como tempo de decomposição, risco, mão de obra, oferta, demanda, lucro, investimento inicial, impermeabilidade e geometria do produto. A figura 3 contém os objetivos referentes aos seus respectivos critérios.

Empresas recicladoras procuram fazer valer ainda mais, neste século que muito se fala sobre sustentabilidade, o modelo de economia circular que tem como pilares a redução, reutilização e reciclagem de materiais e energia, com foco no retorno de materiais já utilizados para o processo produtivo, visando o reaproveitamento ou descarte ecológico de materiais e a preservação do meio ambiente.

Figura 3 – Objetivos e Critérios





Fonte: Esta pesquisa (2024)

Nesse caso em específico existe uma finalidade de escolher um novo produto a ser reciclado entre vários que existem, portanto, devendo levar em consideração os seguintes critérios:

- **Tempo de Decomposição:** todo produto leva um certo tempo para entrar em decomposição na natureza ou mesmo no lixo, sendo assim um problema para gestão de resíduos de uma cidade. Assim, este critério visa avaliar o impacto ecológico.
- **Produto de Risco:** avaliação do grau de risco para a sociedade que o produto traz, seja por acúmulo de lixos ou por toxicidade, tendo a intenção de retirar ou diminuir os produtos de descartes e assim diminuir o impacto desses produtos no meio ambiente.
- **Mão de Obra local:** Atores da cadeia de suprimentos que sejam da comunidade local.
- **Oferta estável:** Avaliação da estabilidade de oferta do produto durante o ano
- **Demanda estável:** Avaliação da estabilidade da demanda do produto durante o ano
- **Lucro:** Avaliação quantitativa do lucro gerado em relação a todos os gastos
- **Investimento inicial:** Avaliação quantitativa em relação ao custo inicial para viabilidade da operação
- **Impermeabilidade:** Quando o produto é resistente a água consegue ficar exposto em qualquer local aguardando ser recolhido diminuindo os custos. Assim este critério visa definir a

permeabilidade.

- **Geometria do produto:** Avaliação do produto em relação ao peso, tamanho e compatibilidade ao encaixe para ser transportado. Visa avaliar a otimização de espaço e maquinário.
- **Manuseio:** Avaliação do qual fácil é de manusear o produto, facilitando o seu recolhimento e processamento. Visa avaliar a otimização das ações logísticas.

O resumo dos critérios é demonstrado na Tabela 1, em que há informações também sobre o tipo, natureza, descrição, escala e unidade dos critérios.

Tabela 1- Resumo dos Critérios

Critério	Tipo	Natureza	Descrição	Escala	Unidade
Tempo de decomposição	Maximização	Construído	Tempo para entrar em decomposição	1: Muito baixo 2: Baixo 3: Médio 4: Alto 5: Muito alto	Pontuação
Produto de risco	Maximização	Construído	Risco gerado pelo produto	1: Baixo 2: Médio 3: Alto	Pontuação
Mão de obra local	Maximização	Construído	Número de colaboradores locais	1: Baixo 2: Médio 3: Alto	Pontuação
Oferta estável	Maximização	Construído	Potencial de oferta do produto pelo mercado	1: Baixo 2: Médio 3: Alto	Pontuação

Demanda estável	Maximização	Construído	Potencial de demanda pelo produto do mercado	1: Baixo 2: Médio 3: Alto	Pontuação
Lucro	Maximização	Natural	Número resultante da diferença entre receita e gasto	0 a infinito	R\$
Investimento inicial	Minimização	Natural	Valor mínimo viável para iniciar a operação	0 a infinito	R\$
Impermeabilidade	Maximização	Construído	Quão impermeável é o produto	1: pouco 2: médio 3: muito	Pontuação
Geometria do produto	Minimização	Construído	Quão é compatível com a operação	1: pouco 2: médio 3: muito	Pontuação
Manuseio	Minimização	Construído	Quão fácil de manusear é o produto	1: Baixo 2: Médio 3: Alto	Pontuação

Fonte: Esta pesquisa (2024)

### 3.4 Estabelecimento do espaço de ações e problemática

O problema é composto por um processo de decisão que visa avaliar os produtos analisados ordenando-os com base nos critérios descritos acima. As alternativas de produtos considerados pela empresa são:

- Alumínio: Se destaca por ser maleável, boa estabilidade de mercado e alto valor de venda.
- Lixo eletrônico: Possui um grande potencial já que há grande oferta, materiais de alto valor e grande interesse comercial e ecológico.

- Material perecível: Grande interesse social, além de ser barato.
- Pneu: Possui um grande interesse ecológico, social e também financeiro.
- Ferro: Nem sempre está na geometria perfeita, mas possui boa oferta e grande interesse comercial.

Uma matriz de consequências correlaciona os critérios com as alternativas, através das preferências do decisor, como é visto na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Matriz de consequências

Alternativas	Tempo de decomposição	Produto de risco	Mão de obra local	Oferta estável	Demanda estável	Lucro	Investimento Inicial	Impermeabilidade	Geometria do produto	Manuseio
Alumínio	4	1	3	2	2	250000	1000000	4	3	2
Lixo Eletrônico	4	3	3	1	3	300000	1200000	1	2	2
Material perecível	1	3	2	3	3	225000	900000	1	1	3
Pneu	5	2	1	3	1	237500	950000	5	2	1
Ferro	3	1	1	3	3	212500	850000	4	3	2

Fonte: Esta pesquisa (2024)

### 3.5 Identificação de fatores não controlados

Os fatores não controlados existem em possíveis estados da natureza ou fatores que possam impactar na decisão que estão fora do controle do decisor, como fatores climáticos ou de legislação. No caso em questão, a estabilidade da demanda ou da oferta pode ser afetada por algum fenômeno atípico. Como também o lucro, investimento inicial e até a mão de obra são fatores não controlados. De toda forma as variáveis consideradas são assumidas como determinísticas nesse trabalho para fins de simplificação, sem prejuízo para o tratamento do problema, uma vez que as variações possíveis dos estados da natureza tendem a não ser significativas. Além disso, será preformada uma análise de sensibilidade mais adiante a fim de avaliar a robustez do modelo dada tais simplificações.

### **3.6 Efetuação da modelagem de preferências**

De acordo com o problema da empresa, que busca escolher um novo produto a ser reciclado, este trabalho utilizou a problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ), a qual estabelece um ranking das alternativas de maneira completa ou parcial, de acordo com as preferências do decisor.

Para a modelagem de preferências, inicialmente, foi definida, junto ao decisor, a racionalidade do problema, sendo esta compensatória, já que tem critério da empresa de reciclagem que consegue compensar em desempenho em outro critério.

Para esse problema foi identificado que a estrutura ( $P,I$ ), preferência estrita e indiferença, expressaria de forma mais adequada as preferências do decisor sobre o conjunto de consequências de seu problema de decisão. Dessa maneira, possibilita o uso do modelo tradicional, no qual se incluem os métodos de critério único de síntese, tal como o modelo de agregação aditivo. (DE ALMEIDA, 2013)

Um SAD desenvolvido no Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID) foi utilizado no presente trabalho. Este é voltado para o problema de ordenação, com base nas preferências do decisor descritas anteriormente.

### **3.7 Efetuação da avaliação intracritério**

Na avaliação intracritério, há uma avaliação de cada alternativa  $i$  para cada critério  $j$ , construindo com isso a função valor ( $v_j(x_i)$ ) para cada elemento, traduzindo as preferências do decisor. Através desta avaliação, o problema é representado por uma matriz de consequências na forma de valores obtidos para cada critério. Desse modo, o SAD do FITtradeoff realiza a avaliação intracritério após a adição da matriz de consequências.

Neste problema de decisão, as funções valores foram obtidas dentro do SAD do FITtradeoff a partir de um procedimento de elicitación pela bisseção, no qual dois ranges de valores são apresentados e é solicitado ao DM que informe qual dos dois indica o melhor incremento. A partir de uma série de perguntas para cada critério, uma função pode ser encontrada. No problema, apenas os critérios Lucro e Investimento Inicial foram lineares.

### 3.8 Efetuação da avaliação intercritério

Na avaliação intercritério, busca-se agregar os critérios do problema de forma a viabilizar a avaliação das alternativas, necessitando, para isso, das constantes de escala. Para realizar a elicitaco delas, inicialmente o sistema entrega dois cenários para o decisor, para que ele escolha qual a consequência prefere, indicando, assim, a constante de escala de qual critério gostaria que fosse maximizado, por exemplo. O processo se repete várias vezes até que seja determinado uma ordem completa das constantes de escala, como será visto na Figura 4.

Figura 4 – Ranking dos critérios

**Ranking of criteria scaling constants**  
By pairwise comparison  
Answer the following questions by choosing consequences A or B

**Consequences**

**Consequence A**

Tempo	(W1) 1	(B1) 3
Manuseio	(W2) 2	(B2) 1
Mo d	(W3) 1	(B3) 3
Ofert	(W4) 1	(B4) 3
Deman	(W5) 1	(B5) 3
Lucro	(W6) 212600	(B6) 30000
Inves	(W7) 1200000	(B7) 80000
Imper	(W8) 1	(B8) 3
Geome	(W9) 2	(B9) 1
Risco	(W10) 1	(B10) 3

**Consequence B**

Tempo	(W1) 1	(B1) 3
Manuseio	(W2) 2	(B2) 1
Mo d	(W3) 1	(B3) 3
Ofert	(W4) 1	(B4) 3
Deman	(W5) 1	(B5) 3
Lucro	(W6) 212600	(B6) 30000
Inves	(W7) 1200000	(B7) 80000
Imper	(W8) 1	(B8) 3
Geome	(W9) 2	(B9) 1
Risco	(W10) 1	(B10) 3

**Which consequence do you prefer?**

Consequence A  
 Consequence B  
 Indifferent  
 Go back one step

Restart OK

**Legend:**

- Tempo-Tempo de Decomposio
- Manuseio-Manuseio
- Mo d-Mo de Obra Local
- Ofert-Oferta Estvel
- Deman-Demanda Estvel
- Lucro-Lucro
- Inves-Investimento Inicial

**Chosen order of scaling constants:**

1. Tempo
2. Manuseio

Continue

Help Reset

W1 is the worst outcome of criterion C1  
B1 is the best outcome of criterion C1

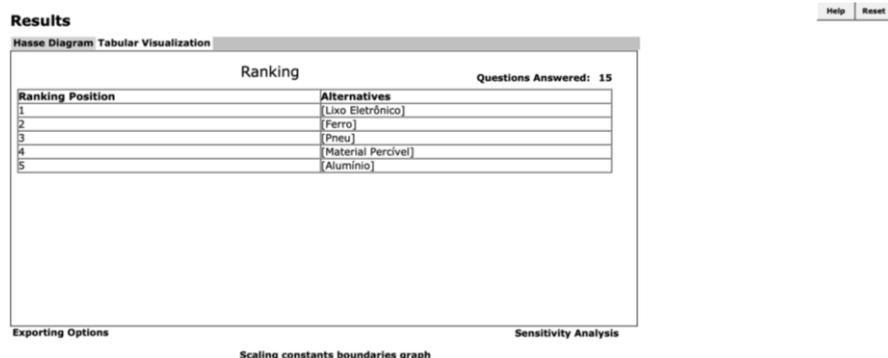
Alternatively the ranking of scaling constants can be done by Overall evaluation.

Fonte: Esta pesquisa

O decisor alimenta o sistema com respostas indicando a posio sobre o critério, escolhendo entre consequência A, B ou indiferena. Após 17 perguntas, o sistema pediu uma confirmao em relao ao ranking de critérios, o qual foi composto primeiramente por Lucro, seguido por Demanda Estável, Tempo de Decomposio, Oferta Estável, Investimento Inicial, Mão de Obra Local, Produto de Risco, Geometria do Produto, Manuseio e por ltimo Impermeabilidade. As informaes até aqui providas, contudo, não geraram uma ordem completa. Nesse momento, o decisor teve a opo de fornecer mais informaes de preferência através da avaliao holística ou na elicitaco por decomposio a

fim de obter uma ordem completa, optando, o decisor, a seguir pela elicitaco por decomposio. Desse modo, respondendo mais 19 perguntas, um ranking com 5 níveis foi obtido conforme indicado na Figura 5.

Figura 5 - Ordenao final

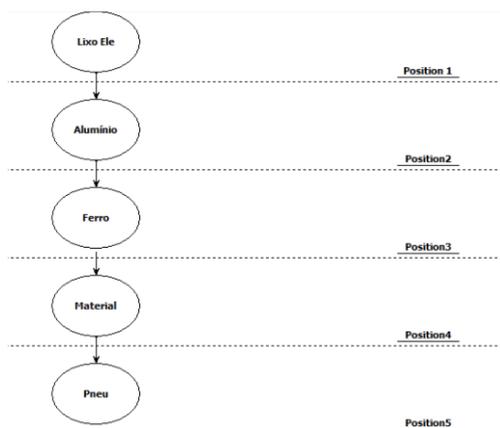


Fonte: esta pesquisa

### 3.9 Avaliao das alternativas

A partir das informaoes de preferência fornecidas foi possível alcanar uma ordem completa para as alternativas do problema. Essa ordem trouxe em primeiro lugar Lixo eletrônico, na segunda posio o Alumínio, na terceira posio o Ferro, na quarta o Material Percvel e na última posio o Pneu, conforme indicado na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de Hasse



Fonte: esta pesquisa

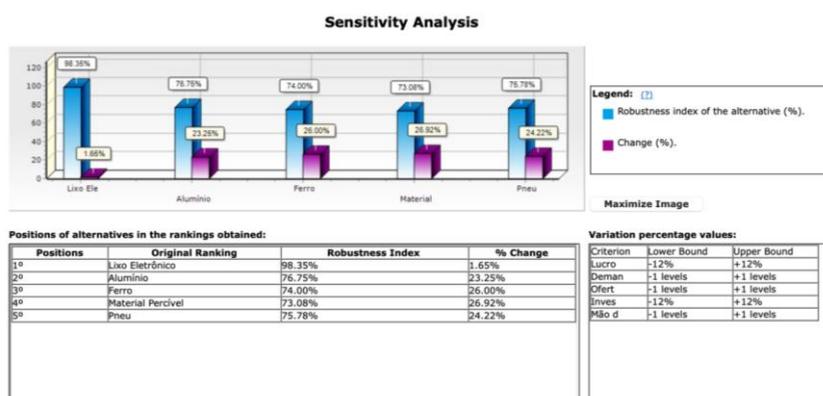
Em vista ao resultado proposto, percebe-se uma ordenação definida em que a alternativa Lixo eletrônico é o produto candidato a ser reciclado.

### 3.10 Efetuação da análise de sensibilidade

Para finalizar, foi realizada uma análise de sensibilidade a fim de avaliar a posição das alternativas com a variação nos desempenhos dos seguintes critérios: mão de obra, oferta estável, demanda estável, lucro, investimento inicial. Os critérios Lucro e Investimento Inicial foram variados em 12% para mais e para menos, já os critérios Demanda, Oferta e Mão de obra local foram variados em um nível para mais e para menos. Tais percentuais foram definidos pelo decisor a partir da sua percepção de incerteza associada a partir de experiências passadas.

O lixo eletrônico, o primeiro do ranking, apresentou um índice de robustez de 98,35%, sendo considerado muito bom. Para as demais posições, os valores foram menores, embora consideradas boas (acima de 70%), o que se pode justificar pelas características das demais alternativas nos critérios escolhidos para variação. Porém, como o foco do problema é definir o próximo produto a ser inserido no processo de reciclagem, os resultados aqui obtidos foram satisfatórios. Mais detalhes podem ser vistos na Figura 7 a seguir:

Figura 7 – Análise de sensibilidade



Fonte: esta pesquisa

### **3.11 Análise de resultados e elaboração da recomendação**

Conforme visto anteriormente, o produto Lixo eletrônico foi a melhor alternativa de produto candidato a ser trabalhado pela empresa de reciclagem. Analisando dentro da matriz de consequências, em relação aos outros, este produto se destaca como melhor em 4 dos 10 critérios abordados, sendo no lucro, critério com maior constante de escala no problema, a opção com melhor posição. Essas diferenças elevaram sua contribuição para o resultado na ordenação obtida. Vale salientar que a formulação dos critérios foi definida com a decisor, bem como o preenchimento do desempenho de cada uma das alternativas.

### **3.12 Implementação da decisão**

Com o resultado pronto, houve uma validação da ordenação com o decisor, o qual confirmou as preferências utilizadas e o resultado obtido.

De fato, trata-se de um problema complexo que envolve diversas variáveis, assim, é possível que a ordenação tenha gerado insights para a resolução do problema. Assim, juntando a percepção e experiência dos atores do processo decisório com o modelo gerado, é possível avaliar melhor os próximos passos que a empresa seguirá para que se tenha sucesso na implementação da recomendação de decisão.

Ressalta-se ainda que é de grande importância para o sucesso dos resultados que o decisor esteja presente na implementação da decisão, uma vez que através de suas preferências foi gerada a solução.

### **3.13 Considerações finais**

O presente trabalho apresentou uma abordagem multicritério para solucionar o problema de decisão com problemática de ordenação na escolha de um produto ou mais produtos a serem reciclados.

Foi gerada uma recomendação, indicada por solução a problemática de ordenação, sendo esta possível de ser aplicada na realidade da organização ou similares do setor.

O trabalho também buscou a familiarização do decisor com o sistema para que em médio prazo ele possa utilizar o método FITradeoff em decisões futuras.

## **4. Conclusão**

### **4.1 Conclusões**

Cada vez mais as corporações estão se preocupando com a sustentabilidade dentro da operação, com estratégias que criem alternativas que protejam o meio ambiente. Pensando na reciclagem como grande alternativa, a análise do produto a ser reciclado é um processo fundamental para toda organização atualmente. Sendo assim, o presente trabalho buscou, a partir de um estudo de caso, elaborar o processo de decisão através do método multicritério, com o objetivo de tornar o processo mais racional e profissional, além de fornecer um instrumento prático para ser utilizado pela empresa em situações futuras.

Em relação à escolha dos próximos produtos para reciclagem, as decisões tomadas anteriormente ao modelo não seguiam metodologia ou prática que envolvesse análises e definição de critérios. Sendo assim, a pesquisa possui um potencial grande para contribuir de forma efetiva para a empresa em questão e outras do ramo, oferecendo um modelo de referência que pode ser usado com ajustes para os mais variados contextos.

A modelagem do problema de decisão foi feita através da listagem dos objetivos, sendo de forma geral o ganho financeiro, ecológico, social e logístico da corporação em questão. Desses objetivos foram desdobrados 9 critérios através dos quais foram analisadas cinco alternativas, sendo os produtos candidatos a serem trabalhados pela empresa de reciclagem, sendo eles: Lixo eletrônico, Alumínio, Ferro, Material perecível e Pneus.

Já acerca da escolha do método, o FITradeoff (DE ALMEIDA et al., 2021) se mostrou propício, oferecendo uma abordagem rápida e simples de ser aplicada, viabilizando a futura implementação do SAD associado por parte da empresa para seus processos.

Assim, de modo geral, o estudo contribui não só para a empresa em questão, mas para a área de sustentabilidade, reforçando a utilidade de ferramentas de apoio a decisão para problemas associados, demonstrando de maneira prática como a abordagem multicritério pode ser útil na busca de soluções que integrem a dimensão social, ambiental e econômica. Além disso, o estudo mostra o papel

da engenharia de produção para o desenvolvimento sustentável, mais especificamente, na área de pesquisa operacional.

#### **4.2 Limitações e Trabalhos Futuros**

O modelo obtido através da utilização do SAD do FITradeoff é capaz de ajudar a corporação em processos de decisão de escolha do produto a ser reciclado, principalmente pensando em cenários competitivos que exijam a diversificação de seus produtos. Contudo, conforme registrado na Seção 3.5, o modelo não levou em consideração fatores climáticos ou sazonalidades específicas, no caso do produto candidato, pois nesse caso não era relevante neste momento para a organização. Para outros trabalhos esse e outros fatores podem vir a ser bastante relevantes, portanto, sendo necessário acrescentá-los nos critérios de avaliação.

Além disso, no presente estudo, a resolução se deu através da problemática de ordenação a qual pode não ser adequada em muitos contextos que busquem, por exemplo, a formação de um portfólio. O FITradeoff, como já mencionado, está disponível em diferentes versões para problemáticas distintas e que podem ser utilizadas pelas mais variadas organizações.

Por fim, destaca-se a racionalidade presente no problema que foi a compensatória. Estudos futuros podem abordar a modelagem para a racionalidade não compensatória em problemas de reciclagem, aplicando métodos específicos como os de sobreclassificação.

## REFERÊNCIAS

Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., Alshihri, F. S., Alshammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G., & Alrawaf, T. I. (2022). Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12717.

ALVARENGA, R. A. M.; MATOS, F. R. N.; MACHADO, D. Q.; SOBREIRA, M. C.; MATOS, L. B. S. Arranjo Produtivo Local e Desenvolvimento Sustentável: uma Relação Sinérgica no Município de Marco – Ceará. *Revista de Administração do Mackenzie*, São Paulo, v. 14, n. 5, p. 15-43, set.-out. 2013.

BANA E COSTA, Carlos A.; VANSNICK, Jean-Claude. MACBETH — An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research*, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BRANS, J.P.; VINCKE, PH. A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, Vol 31 No 6, 1985.

CABRAL, E. L. S.; CASTRO, W.; FILGUEIRA, L.; CÂMARA, J. M. D. A.; SOUZA, R. P. Aplicação dos métodos ahp e fitradeoff ranking para ordenação das alternativas de contratação de jogadores de futebol em um clube norte-rio-grandense., 2018.

CAUCHICK MIGUEL, P. (org.). *Metodologia Científica Para Engenharia*, Elsevier, 2019.

COSTANZA, R. ; PATTEN, B. C. Defining and predicting sustainability. *Ecological Economics*, v.15, n.3, p.193-196. 1995

DE ALMEIDA, A.T. *Processo de decisão nas organizações*. São Paulo: Editora Atlas, 2013

DE ALMEIDA, A.T., FREJ, E.A. & ROSELLI, L.R.P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. *Cent Eur J Oper Res* 29, 7–47, 2021.

DE ALMEIDA, A. T.; DE ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S. ; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. *European Journal of Operational Research*, v. 250, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A., ROSELLI, L.R.P., COSTA, A. P. C. S. A summary on FITradeoff method with methodological and practical developments and future perspectives. *Pesq. Oper.* 43-1. 2023

DOLAN, P. The Sustainability of "Sustainable Consumption". *Journal of Macromarketing*. Vol. 22, n. 2, p. 170- 181, dec. 2002.

EDWARDS, W.; BARRON, F.H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational behavior and human decision processes*, 60(3): 306-325, 1994.

FERREIRA, D. V.; GUSMÃO, A. P. H. DE; SOUSA, E. E. M. Industry 4 . 0 maturity models assessment - a multicriteria approach. *The 7th International Conference on Decision Support System Technology – ICDSST 2021*. Anais...Loughborough: 2021

FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; ARAÚJO DE ALMEIDA, JÔNATAS; DE ALMEIDA, A. T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2017, p. 1- 9

FREJ, E. A ; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A P C S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*. v. 19, p. 1-22, 2019

FOSSILE, Dayla, FREJ, Eduarda, DA COSTA, Sergio, DE LIMA, Edson, DE ALMEIDA, Adiel. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. *Journal of Cleaner Production*, Vol 260, Julho/2020.

GARCIA, M. N.; SILVA, D.; PEREIRA, R. S.; ROSSI, G.B.; MINCIOTTI, S. A Inovação no comportamento do consumidor: recompensa às empresas sócioambientalmente responsáveis. *RAI - Revista de Administração e Inovação*, v.5, n.2, p. 73-91, 2008.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 2. ed. SP: Atlas, 1991.

Gonçalves, Carlos Alberto; de Freitas Coelho, Mariana; de Souza, Érika Márcia VRIO: Vantagem competitiva sustentável pela organização *Revista Ciências Administrativas*, vol. 17, núm. 3, setembro-dezembro, 2011, pp. 819- 855

GÜNTHER, Wanda Maria Risso e WIEBECK, Hélió e PIVA, Ana Magda. Reciclagem de plásticos: necessidade de maior incentivo. *Revista Limpeza Pública*, n. 51, p. 20-24, 1999

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decision analysis with multiple conflicting objectives*. Wiley & Sons, New York, 1976

LUGOBONI, L. F. et al. Importância da sustentabilidade para as empresas do setor de energia elétrica: utilização de relatório de sustentabilidade com base no Global Reporting Initiative. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade.*, São Paulo, v. 5, n 3, 2015.

PARDALOS, Panos, SISKOS, Yannis, ZOPOUNIDIS, Constantin. *Advances in Multicriteria Analysis*. Kluwer Academic Publisher, Springer, 1995.

ROY, Bernard, *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publisher, Springer, 1996

RIBAS, J. R.; SMITH, S. B. O marketing verde recompensa? Cadernos Gestão Social, v.2, n.1, p. 87-104, 2009.

RIBEIRO, Joabson Araujo. Et al. A reciclagem como uma ação econômica, social e ambiental. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Campo Grande, 2009.

RODRIGUES, D. O. F. Otimização e sustentabilidade de agroecossistemas. 101f. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa – PB: 2018.

SANTOS, Inês, ROSELLI, Lucia, DA SILVA, André, ALENCAR, Luciana. A Supplier Selection Model for a Wholesaler and Retailer Company Based on FITradeoff Multicriteria Method. Building Mathematical Models for Multicriteria and Multiobjective Applications. Vol. 2020, Article ID 8796282, 2020.

SANTOS, Francisca Kennia Nunes dos e FILHO, Jorge Luís de Oliveira Pinto. Revisão integrativa sobre a gestão ambiental de resíduos sólidos em pequenos municípios, 2022

SCARLATO, F. C.; PONTIN, J. A. Do nicho ao lixo: Ambiente, sociedade e educação. São Paulo: atual, 1992.

SEAGER, T. P. The Sustainability Spectrum and the Sciences of Sustainability. Business Strategy and the Environment, v. 17, p. 444-53, 2008.

SOUZA, César Augusto Martins de e CRUZ, Marcos Murrelle Azevedo. Sustentabilidade socioambiental e diversidade na Amazônia, vol. 8, n.2, 2020

VALLE, Cyro Eyer. Qualidade ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo: Pioneira, 1995.

VELTER, A. N., BATISTELLA, L.F.; GROHMANN, M,Z.; CASTRO, A. E.;

COSTA, V. F.; HERMANN, R.E. Atitudes dos consumidores a partir da teoria das pistas e da consciência ambiental: contribuições ao estudo do green marketing. Revista de Administração da UFSM, v.2, n.3, p. 399-416, 2009.

VINCKE, Philippe. Multicriteria Decision-Aid by Philippe Vincke. Wiley, 1992.

YIN, Robert. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Bookman, 2001.