

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DIEGO MARQUES MENDES

**PLANEJAMENTO E ALOCAÇÃO DE EQUIPES NO DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS DO SETOR CALÇADISTA: UM MODELO BASEADO EM AHP-
GAUSSIANO E MÚLTIPLAS MOCHILAS**

BENTO GONÇALVES

2025

DIEGO MARQUES MENDES

**PLANEJAMENTO E ALOCAÇÃO DE EQUIPES NO DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS DO SETOR CALÇADISTA: UM MODELO BASEADO EM AHP-
GAUSSIANO E MÚLTIPLAS MOCHILAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Odacir Deonísio Graciolli

BENTO GONÇALVES

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

M538p Mendes, Diego Marques

Planejamento e alocação de equipes no desenvolvimento de produtos do setor calçadista [recurso eletrônico] : um modelo baseado em AHP-Gaussiano e múltiplas mochilas / Diego Marques Mendes. – 2025.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2025.

Orientação: Odacir Deonísio Graciolli.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Processo decisório. 2. Processo decisório por critério múltiplo. 3. Engenharia de produção. I. Graciolli, Odacir Deonísio, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 658.5

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Carolina Machado Quadros - CRB 10/2236

DIEGO MARQUES MENDES

**PLANEJAMENTO E ALOCAÇÃO DE EQUIPES NO DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS DO SETOR CALÇADISTA: UM MODELO BASEADO EM AHP-
GAUSSIANO E MÚLTIPLAS MOCHILAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Odacir Deonísio Graciolli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Aprovado em 16/07/2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Odacir Deonísio Graciolli Orientador
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Alexandre Mesquita
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Volmir Eugênio Wilhelm /Convidado Externo
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Dedico este trabalho a todas as
pessoas que contribuíram para o seu
desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os envolvidos neste trabalho, em especial a minha esposa Roseane, pela paciência e apoio com o nosso pequeno Manoel, ao Prof Dr. Ademar Galelli pela iniciativa neste curso, ao meu orientador Prof Dr. Odacir Graciolli pelas inúmeras noites de conversas e esclarecimento, a Deus por possibilitar tudo isso acontecer na minha vida a toda a minha família pelos incentivos a continuar estudando, a um grande amigo Delmar Bernardes que me incentivou a voltar para a universidade e a Grendene por permitir a aplicação deste trabalho.

*“Se você só fizer o que sabe, nunca será nada
além do que já é”.*

Mestre Shifu

RESUMO

A crescente busca por competitividade exige das organizações a adoção de métodos eficazes para otimização de recursos e maior precisão nas decisões estratégicas. No setor de desenvolvimento de produtos, esses desafios são amplificados pela complexidade das atividades envolvidas e pela necessidade de alinhar demandas do mercado com prazos internos de entrega. No setor calçadista, caracterizado por alta competitividade e constantes lançamentos de novos produtos, o setor estratégico da empresa é responsável por definir uma série de produtos a serem lançados no mercado. Contudo, a capacidade produtiva é limitada, especialmente no que se refere às equipes especializadas responsáveis pelo planejamento do processo de desenvolvimento. Nesse cenário, priorizar adequadamente os produtos e alocar de forma eficiente essas equipes são etapas cruciais para evitar gargalos, assegurar o cumprimento de cronogramas, controlar custos e manter a qualidade dos lançamentos. Para enfrentar a complexidade dos processos decisórios em ambientes com equipes multidisciplinares e produtos de diferentes níveis de prioridade, é fundamental utilizar modelos estruturados que considerem múltiplos critérios e restrições operacionais. Nesse contexto, ferramentas da Pesquisa Operacional (PO) e da Análise de Decisão Multicritério (MCDA) desempenham um papel essencial na conversão de dados em decisões mais fundamentadas e eficazes. Este estudo propõe um modelo integrado de apoio à tomada de decisão para o setor de desenvolvimento de produtos de uma empresa calçadista. O modelo é estruturado em duas etapas principais: (i) o ranqueamento dos produtos de acordo com sua prioridade, utilizando o método AHP-Gaussiano considerando múltiplos critérios de decisão; e (ii) a alocação de tarefas do planejamento do processo produtivo às equipes, implementada por meio de um modelo combinatório das múltiplas mochilas. Esse modelo visa maximizar a alocação de tarefas associadas aos produtos de maior prioridade, respeitando as especificidades e capacidades das equipes disponíveis. A validação do modelo foi conduzida por meio da construção de uma prova de conceito baseada em dados reais, demonstrando sua aplicabilidade prática e flexibilidade para adaptação em diferentes etapas do desenvolvimento de produtos, bem como em outros contextos industriais com características semelhantes. A proposta também permite ajustes dinâmicos diante de alterações na disponibilidade de recursos e nas mudanças nas prioridades de mercado. Além dos benefícios operacionais, o modelo proposto contribui para a governança do processo decisório, ao registrar de forma clara os critérios utilizados e as escolhas realizadas, facilitando revisões e auditorias futuras. Minimiza também a influência humana na tomada de decisão, redução do tempo operacional e aumento da capacidade analítica, gerando ganhos qualitativos no planejamento. Dessa forma, a proposta não só otimiza processos internos, como também fortalece a sustentabilidade e a competitividade organizacional.

Palavras-chave: Tomada de decisão. Análise multicritério. AHP-Gaussiano. Problema das múltiplas mochilas. Alocação de tarefas.

ABSTRACT

The growing pursuit of competitiveness demands that organizations adopt effective methods for resource optimization and greater accuracy in strategic decision-making. In the product development sector, these challenges are amplified by the complexity of the activities involved and the need to align market demands with internal delivery deadlines. In the footwear industry—characterized by intense competition and constant new product launches—the company’s strategic sector is responsible for defining a set of products to be launched in the market. However, production capacity is limited, particularly with respect to the specialized teams responsible for planning the development process. In this context, properly prioritizing products and efficiently allocating these teams are crucial steps to avoid bottlenecks, ensure schedule compliance, control costs, and maintain the quality of product launches. To address the complexity of decision-making processes in environments with multidisciplinary teams and products with varying levels of priority, it is essential to use structured models that consider multiple criteria and operational constraints. In this regard, tools from Operations Research (OR) and Multicriteria Decision Analysis (MCDA) play a key role in converting data into more grounded and effective decisions. This study proposes an integrated decision support model for the product development sector of a footwear company. The model is structured in two main stages: (i) ranking products according to their priority using the Gaussian AHP method, which considers multiple decision criteria; and (ii) allocating production planning tasks to teams through a combinatorial multiple knapsack model. The objective is to maximize the allocation of tasks associated with higher-priority products, while respecting the specific capabilities and limitations of the available teams. The model was validated through a proof of concept based on real data, demonstrating its practical applicability and flexibility for adaptation across different stages of product development, as well as in other industrial contexts with similar characteristics. The proposed approach also allows dynamic adjustments in response to changes in resource availability and shifts in market priorities. In addition to operational benefits, the proposed model contributes to decision-making governance by clearly recording the criteria used and the decisions made, facilitating future reviews and audits. It minimizes human influence in decision-making, reduces operational time, and enhances analytical capacity, generating qualitative gains in planning. Thus, the proposed model not only optimizes internal processes but also strengthens organizational sustainability and competitiveness.

Keywords: Decision-making. Multicriteria Analysis. Gaussian AHP Method. Multiple knapsack Problem. Task Allocation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de processo de definição de amostra	18
Figura 2 – Evolução das publicações Multicritérios na Base Scopus	19
Figura 3 – Evolução das publicações Multicritérios na Base ISI of Science	19
Figura 4 – Evolução das publicações PM na Base Scopus	20
Figura 5 – Evolução das publicações PM na Base ISI of Science	20
Figura 6 – Evolução das publicações Combinatória na Base Scopus	21
Figura 7 – Evolução das publicações Combinatória na Base ISI of Science	21
Figura 8 – Níveis de planejamento de alocação de recursos	26
Figura 9 – Fluxo de interação Produto X Processo X Equipe	41
Figura 10 – Fluxo desenvolvimento de produto	51
Figura 11 – Estrutura hierárquica do problema	56
Figura 12 – Matriz de decisão	60
Figura 13 – Matriz de decisão normalizada	61
Figura 14 – Média dos critérios	61
Figura 15 – Desvio padrão dos critérios	62
Figura 16 – Fator Gaussiano	62
Figura 17 – Fator Gaussiano normalizado	62
Figura 18 – Matriz aplicado fator Gaussiano Normalizado	63
Figura 19 – Prioridade Global dos produtos	64
Figura 20 – Ranque dos produtos	65
Figura 21 – Gráfico capacidade das equipes	66
Figura 22 – Matriz de alocação	67
Figura 23 – Matriz binária	68
Figura 24 – Matriz de alocação preenchida	70
Figura 25 – Gráfico de ocupação das equipes	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas do AHP-Gaussiano	29
Tabela 2 – Relação dos cargos com a atividade	54
Tabela 3 – Relação dos cargos quanto aos critérios	55
Tabela 4 – Escala de valores para a complexidade da Matéria Prima	57
Tabela 5 – Escala de valores para a complexidade da Ferramentaria	58
Tabela 6 – Dias disponíveis para o lançamento dos produtos	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarcky Process
ANP	Analytic Network Process
CC	Cartela de Cor
CK	Knapsack Compartmentalised
DEA	Analise Envoltória de Dados
DNA	Deoxyribonucleic acid
DNP	Desenvolvimento de Novos Produtos
ELECTRE	Elimination Et Choice Translation Reality
EPC	Engineering Procurement Construction
IC	Índice de Consistência
IR	Índice Randomicidade
JCR	Journal Citation Report
KP	Knapsack Problem
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT	Multi attribute Utility Theory
MAX	Maximizar
MCDA	Multi-criteria decision Analysis
MCDM	Multi-criteria decision make
MCPSP	Multi-Objective Knapsack Formulation of the Multi-criteria Portfolio Selection Problem
MKP	Multiple Knapsack Problem
MOBO	Problema de Otimização Binária Multiobjetivo
MOKP	Multi-Objective Multi – Dimensional Binary Knapsack Problem
MP	Materia Prima
NCIC	Non – Traditional Capital Investment Criteria
ND	Novo Desenvolvimento
NP	Programações Difíceis
OR	Operations Research
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PG	Prioridade Global

PL	Programação Linear
PLB	Programação Linear Binária
PLI	Programação Linear Inteira
PM	Problemas das Mochilas
PML	Processor Modelling Language
PO	Pesquisa Operacional
POC	Prova de Conceito
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation
RC	Razão de Consistência
RP	Renovação de Produto
TOPISIS	Technique for order Preference by Similarity to the Ideal Solutions
VLSI	Very Large Scala Integration
VBA	Visual Basic for Application

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Contextualização	15
1.2	Justificativa	17
1.3	Justificativa teórica.....	17
1.4	Justificativa prática	22
1.5	Questão de pesquisa.....	22
1.6	Objetivos	22
1.7	Objetivo geral.....	22
1.8	Objetivos específicos	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1	Pesquisa Operacional	24
2.2	Métodos de apoio a decisões multicritérios	27
2.3	AHP – Gaussiano	29
2.4	Alocação de recursos	31
2.5	Problema da mochila	32
2.6	Combinação de modelos.....	35
3	MÉTODO	39
3.1	Método de pesquisa.....	39
3.2	Descrição do Problema.....	41
3.3	Modelo	42
3.3.1	Definição dos Critérios.....	43
3.3.2	Definição dos Pesos dos Critérios.....	43
3.3.3	Ranqueamento dos Produtos.....	43
3.3.4	Definição da Capacidade de Cada Equipe	47
3.3.5	Alocação das Tarefas às Equipes	47
3.3.6	Análise da Alocação.....	48
4	APLICAÇÃO	50
4.1	Descrição do processo.....	50
4.2	Coleta dos dados	53
4.3	Aplicação do Modelo	56
4.3.1	Definição dos Critérios	56

4.3.2	Definição dos Pesos	57
4.3.3	Ranqueamento dos produtos	59
4.3.3.1	Estabelecer a matriz de decisão.....	59
4.3.3.2	Calcular a Média das alternativas de cada critério.....	61
4.3.3.3	Calcular o desvio padrão das alternativas de cada critério.....	62
4.3.3.4	Calcular o fator Gaussiano de cada critério	62
4.3.3.5	Multiplicar o fator Gaussiano pela matriz de decisão.....	63
4.3.3.6	Obter o ranqueamento dos produtos.....	64
4.4	Definições das capacidades de cada processo.....	65
4.5	Alocação das tarefas	66
4.6	Análise da alocação.....	71
4.7	Discussão dos resultados	72
4.8	Implicações gerenciais	75
5	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO.....	88

1. INTRODUÇÃO

As organizações atuam sobre pressupostos relacionados à origem e à continuidade de seus negócios e seus objetivos, com a finalidade de produzir e entregar valores aos seus clientes da melhor forma possível (Drucker, 1999). Nesse ambiente, Carneiro & Martens (2012) relatam que muitos desafios são enfrentados, tanto no ambiente interno quanto externo à organização, como o aproveitamento de recursos, problemas de gestão financeira, melhora no comportamento de processos, de entusiasmo do cliente ou econômica.

A busca incessante pela eficiência e qualidade no setor de desenvolvimento de produtos tem levado as organizações a adotarem abordagens cada vez mais sofisticadas para auxiliar suas entregas. Uma das áreas cruciais nesse contexto é a área de planejamento e alocação dos recursos, que desempenha um papel fundamental na otimização de recursos, buscando atender os cronogramas de implantação dos produtos para evitar o espaçamento entre a necessidade do mercado e a disponibilidade do produto.

Determinar a capacidade de entrega ou o número de recursos necessário para cada etapa do desenvolvimento do produto não é uma tarefa fácil. Associado a fatores como o tempo de entrega de materiais, complexidade na confecção de ferramentais, processos produtivos e calendário de entrega, tornam o processo ainda mais desafiador para cumprir com o cronograma estabelecido para a entrega do produto. Muitas vezes estes processos de tomada de decisão resultam da experiência dos tomadores de decisão ou de uma equipe, no entanto, estes poderão apresentar resultados questionáveis. Esta tomada de decisão é sempre condicionada pelas informações disponíveis, sendo que quando se dispõe de informação fidedel e atualizada o processo torna-se mais fácil.

Muitos problemas reais de alocação de tarefas podem ser formulados como o problema da mochila (KP), que tem em sua função objetivo a busca por maximizar o uso de recursos limitados, por exemplo: problemas de corte de materiais; problemas de controle orçamental; problemas de embalagem; problemas de carregamento de equipamentos; problemas de seleção de projetos de investimento. Além destes exemplos, o problema da mochila também é interessante, uma vez que, pode ser visto como um subproblema de muitos problemas reais, como por exemplo, na constituição de tripulações de um voo, na partição e na concepção de circuitos eletrônicos (Martello & Toth, 1990).

O cenário analisado neste trabalho apresenta um complexo problema de tomada de decisão onde múltiplos critérios estão envolvidos, frequentemente muitos deles estão em conflito. O objetivo das metodologias MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis*) é ajudar ao

tomador de decisão a organizar e sintetizar a informação de modo a adotar uma decisão, explicitando e administrando a subjetividade envolvida e, ao mesmo tempo, minimizando a possibilidade de que a decisão tomada seja ótima a um dos critérios avaliador, mas seja inaceitável segundo outro (BELTON e STEWART, 2002). De maneira adicional, métodos multicritérios de tomada de decisão são fundamentais em análises que relacionam critérios subjetivos (BRIOZO; MUSETTI, 2015). Esses métodos permitem avaliar de forma matemática conjuntos de critérios complexos, conflituosos e incertos (ENSSLIN, 2010).

Diante do exposto, a atividade de ranquear os produtos e alocar as tarefas tornou-se um campo vasto para estudos e pesquisa dentro das organizações. Buscar estabelecer os critérios que orientam a tomada de decisão e a maximização dos recursos disponíveis (pessoas), pode ser um fator determinante na sustentabilidade do negócio. O trabalho é desenvolvido no setor de engenharia dentro da Grendene SA, uma empresa do ramo calçadista de grande porte da cidade de Farroupilha. Tendo em sua coleção anual de calçados em torno de 1600 produtos.

O trabalho está disposto em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, contextualização e justificativas do tema, evidenciando a importância do tema para o setor e abordando trabalhos e artigos relacionados ao assunto. Ainda neste capítulo busca-se apresentar as questões de pesquisa, o objetivo geral e os específicos. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico por meio de uma revisão bibliográfica acerca dos temas que estão sendo propostos na construção do trabalho.

O Capítulo 3 aborda o método de trabalho, adentrando de maneira detalhada na execução do estudo. O Capítulo 4 traz a descrição e análise dos resultados e suas implicações gerenciais. O trabalho finaliza no Capítulo 5 por meio de uma conclusão, onde busca-se resumir o que foi proposto no trabalho, analisando a posterior se de fato todos os objetivos foram atingidos. Complementando possibilidade de futuros estudos sobre o tema.

1.1 Contextualização

Segundo levantamento da *Associação Brasileira da Indústria de Calçados* (Abicalçados), durante o triênio 2020-2022, o Estado do Rio Grande do Sul se destacou como o segundo maior produtor de pares de calçados no país, com uma média de participação de 21,7% na produção nacional. Somente em 2022 foram produzidos 192,1 milhões de pares no Estado. O levantamento aponta ainda o Estado como o maior exportador do Brasil. No ano passado, 42,8 milhões de pares foram enviados para o exterior, com receita de US\$ 616,4 milhões. Nas exportações, o Rio Grande do Sul contribuiu com 47% do valor total exportado e

30% do número de pares. A participação do calçado no Produto Interno Bruto (PIB) da indústria gaúcha é de 6%.

Atualmente, o estado do Rio Grande do Sul abriga 34,5% de todas as empresas calçadistas do Brasil, contando com 1.500 fabricantes registrados. O setor emprega 87 mil pessoas, o equivalente a 29,1% do total nacional. Além disso, nove dos 25 municípios brasileiros que mais empregam na indústria de calçados estão localizados no Rio Grande do Sul: Sapiranga, Novo Hamburgo, Parobé, Campo Bom, Nova Hartz, Igrejinha, Três Coroas, Rolante e Dois Irmãos. Da produção total no Estado, 40% se concentram na região do Vale do Rio dos Sinos, 17% no Vale do Paranhana e 3,2% na região da Serra/Hortênsias.

O setor de desenvolvimento por sua vez se torna fundamental para que tal cenário exposto torne-se real, o uso correto dos recursos e a entrega do projeto em seu momento correto para estar disponível no mercado faz toda a diferença para o resultado da organização. Para tal condição é fundamental que os gestores tenham embasamento na tomada de decisão de qual produto ou atividade priorizar. Nesse sentido, surge a necessidade da adoção de um modelo para estabelecer os critérios que embasam a tomada de decisão, estabeleça um ranqueamento claro para os produtos e aloque de forma a maximizar os recursos disponíveis em um ambiente multiprodutos para uma empresa fabricante de calçados.

Nos últimos anos, o mercado foi inundado por software, para gestão e alocação de recursos, muito influenciado por atividades em que a equipe não está locada dentro da empresa e sim em suas residências, pode-se citar o Microsoft Project®, Monday.com®, Miro®, ClickUp®. Dentre as funcionalidades destes softwares está o controle de alocação e o nivelamento dos recursos. Tradicionalmente, esses pacotes de software usam algoritmos baseados em priorização de tarefas que serão executadas para alocação e nivelamento dos recursos, porém não oferecem maiores detalhes da programação ou as regras de prioridades desses algoritmos (KASTOR; SIRAKOULIS, 2009).

Dada a relevância do setor no cenário nacional e a dificuldade no processo de automatização na ordenação de produtos e alocação de tarefas, torna-se necessário a adoção de métodos para apoiar os tomadores de decisão no gerenciamento dos produtos e recursos, gerando ganhos em relação a custo, qualidade e tempo. O que se percebe é que poucas empresas, de fato, investem em seus processos de gerenciamento de entregas, por incertezas sobre o retorno ou até mesmo pela dificuldade de enquadrar a sua estrutura a um sistema pré-estabelecido, onde o custo e o tempo de personificação inviabilizam a implantação do sistema.

1.2 Justificativa

Esta seção apresenta a justificativa teórica, ou seja, a necessidade do estudo neste campo de aplicação, bem como a justificativa prática, evidenciando o problema tratado na empresa de estudo.

1.3 Justificativa teórica

O cenário complexo, onde o mundo encontra-se atualmente, traz a necessidade de métodos para tomadas de decisões com máxima eficiência, no qual a chance de obtenção de sucesso em negócios é o bem maior (Gomes, Araya e Carignano 2011). Para Marins, Souza e Barros (2009), a tomada de decisão em cenários complexos é dificultada por envolver dados imprecisos ou incompletos, múltiplos critérios e inúmeros agentes de decisão.

Para Vilas Boas (2006), atores – “facilitadores” e “decisores” tem papéis relevante no processo de evolução. Todavia o papel de “facilitador” é de esclarecer o processo de decisão e a partir disso construir um modelo que considere os pontos de vistas com seus respectivos valores. Já os “decisores” devem delegar o poder de decisão, e caso necessário intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação.

De acordo com Ayala e Frenk (2013) nos tempos recentes, a crescente relevância atribuída aos elementos intangíveis tem ampliado a necessidade de sua integração na esfera decisória, em conjunto com os tradicionais aspectos tangíveis. Neste cenário, emergem os métodos de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) como instrumentos essenciais para apoiar os tomadores de decisão, especialmente quando se defrontam com conflitos entre os diversos critérios considerados. A atratividade do MCDA se evidencia pelo desenvolvimento de uma pluralidade de métodos e pela proliferação de discussões acadêmicas a seu respeito.

Bennett e Saaty (1993), descrevem que processo de hierarquia analítica e técnicas de otimização da mochila são sugeridos como ferramentas para resolver esse desafio complexo, visando maximizar o benefício líquido dentro das restrições de recursos. São discutidas implicações computacionais e ilustradas variações realistas do problema da mochila, contribuindo para uma tomada de decisão mais sofisticada e inclusiva na alocação estratégica de recursos.

Stewart (1991) delineou uma abordagem para a resolução de um problema de priorização de projetos, contudo, as limitações computacionais da época restringiam os métodos de solução a heurísticas rudimentares, resultando em tempos de processamento consideráveis.

A despeito disso, o modelo original caiu em desuso, mas a demanda por um sistema de priorização de projetos ressurgiu em face de restrições orçamentárias mais acentuadas. Nesse contexto entende-se que o tema deve ser aprofundado, visto a evolução de processamento dos computadores e a necessidade das organizações em terem condições para tomar decisões com maior velocidade e precisão.

Assim uma análise foi realizada para aprofundar a consistência literária do tema abordado. Para Pilkington e Meredith (2009), bibliometria é definida como a técnica de investigação que tem como objetivo a análise do tamanho, crescimento e distribuição da bibliografia num determinado campo do conhecimento.

A amostra de artigos sobre problemas das mochilas e análise multicritério é definida a partir da escolha da base de dados, da identificação das palavras-chaves, da seleção das áreas de pesquisas e da determinação dos anos de publicação, conforme ilustrado no fluxograma (Figura 1).

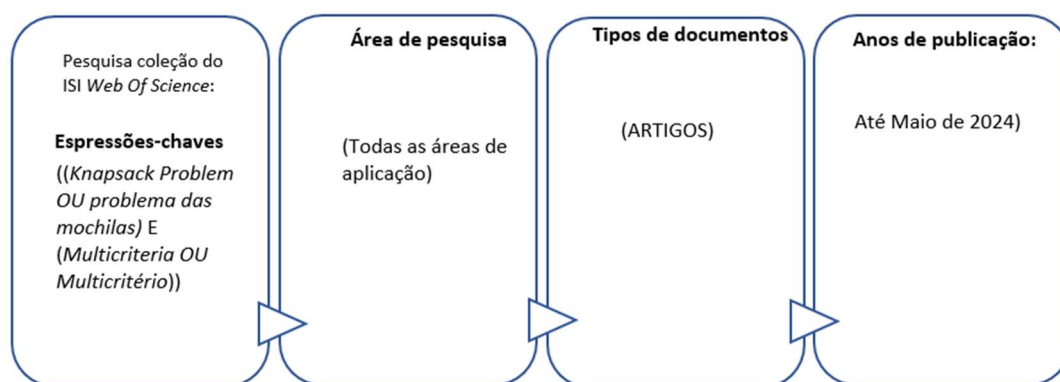


Figura 1. Fluxograma do processo de definição da amostra adaptado de (Endler *et al.*, 2015).

Quanto determinação da base de dados, optou-se por utilizar duas plataformas *ISI Web of Science* e *Scopus*, com intuito de compreender a condição de publicações e por incluir revistas com fator de impacto calculado no JCR (*Journal Citation Report*), além de fornecer um conjunto relevante de informações para a análise bibliométrica (CARVALHO *et al.*, 2013). Quanto à determinação do tipo de publicação – livros, patentes, artigos, anais de congressos, etc. – restringido a artigos. Entende-se que a escolha é válida, pois artigos acadêmicos geralmente antecedem livros consagrados e são considerados fontes seguras para pesquisas por apresentar rigor metodológico para publicação (ENDLER *et al.*, 2015). A composição da amostra, então, foi concluída considerando o período até maio de 2024, mesmo que o ano ainda não esteja completo.

A pesquisa foi aplicada considerando quatro linhas de análise, a primeira busca levantar as publicações relacionadas aos modelos multicritérios, a segunda em levantar as publicações ao caso do problema das mochilas, a terceira em levantar as publicações de otimização combinatória, Multicritérios e Problema das Mochilas e o quarto grupo de análise foi relacionar as três pesquisas acima, para entender o comportamento ao longo dos anos. Abaixo discorre-se sobre os resultados encontrados. Estas análises foram obtidas através de tabelas e gráficos ilustrativos gerados através do software Microsoft Excel®.

A primeira linha de pesquisa foi sobre as publicações relacionadas aos modelos multicritérios.

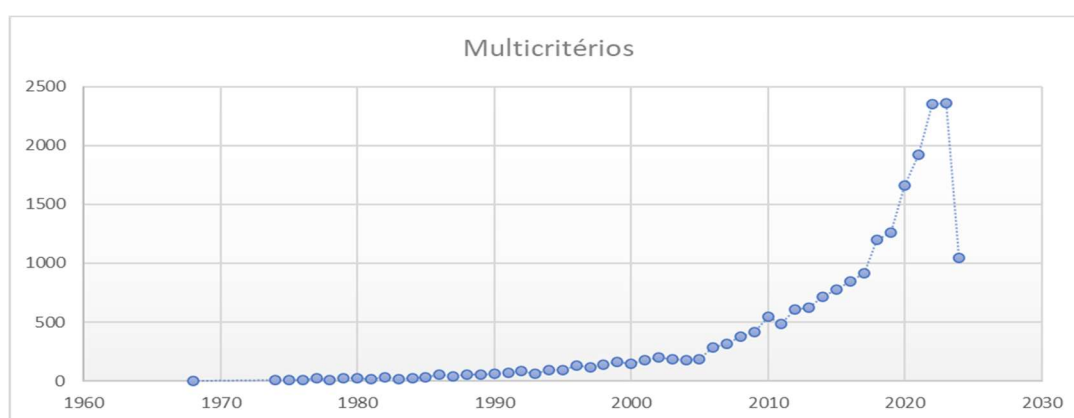


Figura 2. Evolução das publicações Multicritérios na Base *Scopus*.

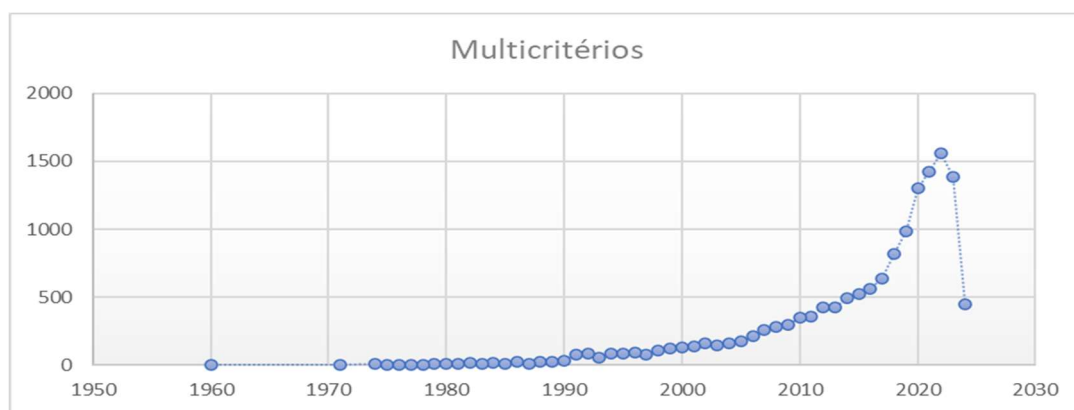


Figura 3. Evolução das publicações Multicritérios na Base *Web ISI of Science*.

Para ambas as bases há um comportamento similar quanto às publicações, apresentando um crescimento a partir do ano de 2015 com um pico no ano de 2021 (Figura 2 e 3). Isso sugere que o tema vem sendo cada vez mais abordado na busca de soluções e discussões sobre ambientes multicritérios.

A segunda etapa da pesquisa foi direcionada a entender o comportamento das publicações sobre o Problema das Mochilas, (Figuras 4 e 5).

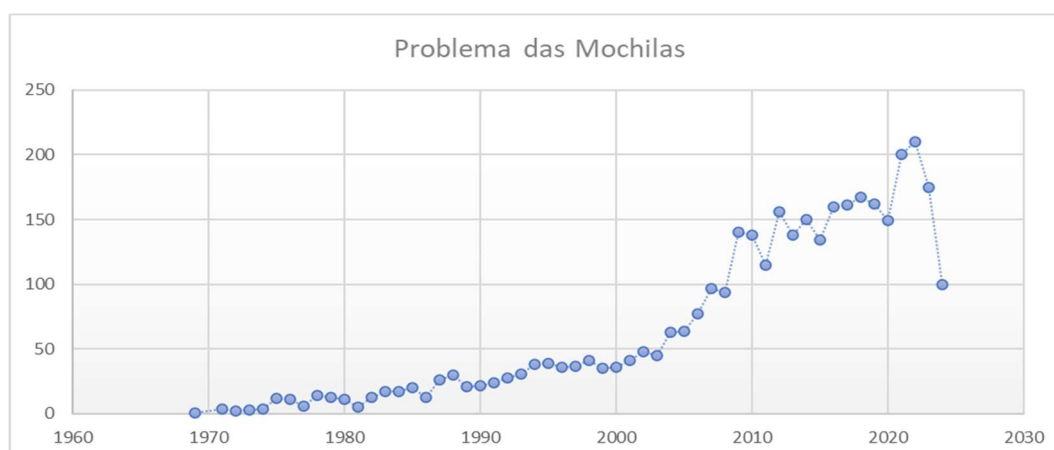


Figura 4. Evolução das publicações PM na Base *Scopus*.

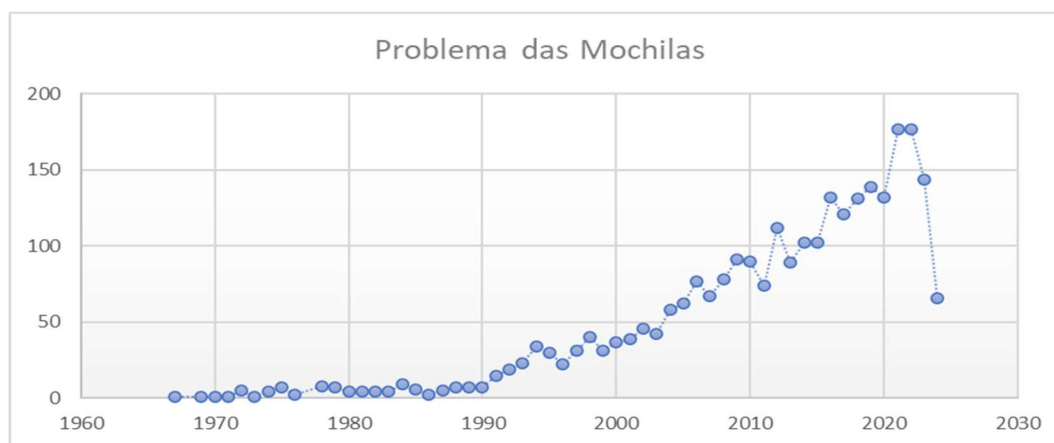


Figura 5. Evolução das publicações PM na Base *Web ISI of*

O comportamento quanto às publicações sobre o Problema das Mochilas segue uma similaridade entre as bases, em ambas as bases quando isoladas, apresentam o mesmo comportamento, uma pequena diferença na quantidade publicações na base *Scopus* em relação a *ISI of Science*.

A terceira etapa desta bibliometria aborda publicações onde houve a combinação dos métodos MDCA e PM para a solução de problemas (Figura 6 e 7).

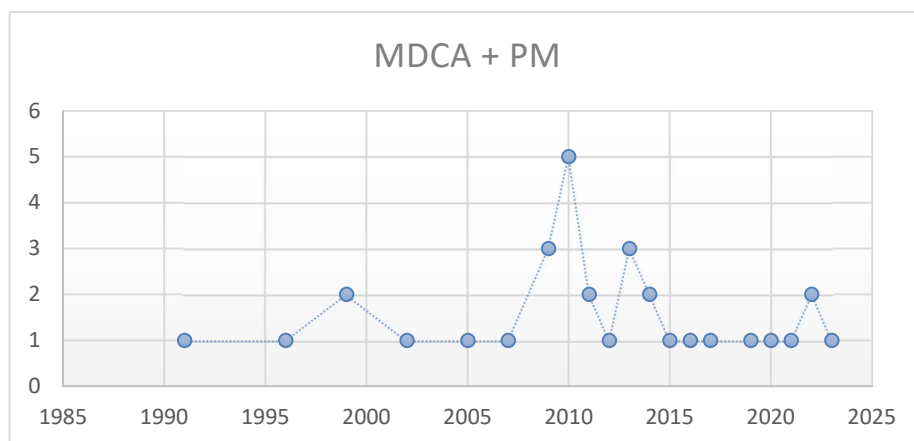


Figura 6. Evolução das publicações MDCA + PM na Base

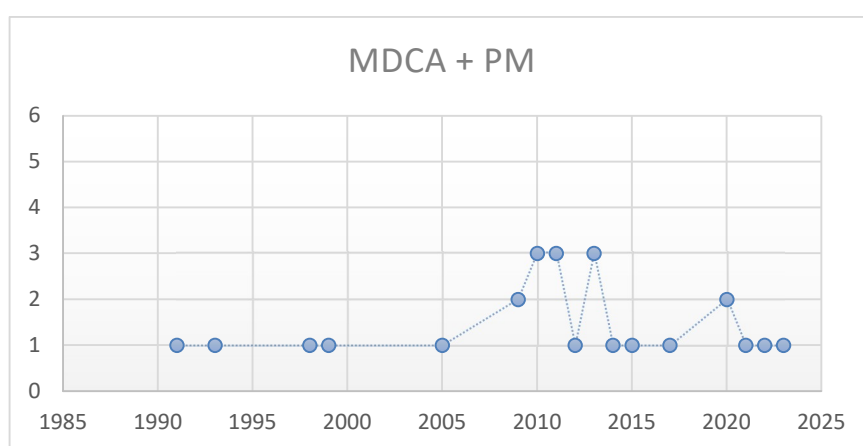


Figura 7. Evolução das publicações MDCA - PM na Base *ISI of*

Para ambas as bases o comportamento é semelhante, a partir dos anos de 1990 os Métodos Multicritérios apresentaram um aumento na quantidade de publicações, enquanto as publicações sobre o Problema das Mochilas mantiveram-se quase que constante até os anos de 2000, apresentando uma pequena variação para maior nos próximos anos. Contudo um fator muito importante para a proposta de aplicação de otimização combinatória é que a partir dos anos de 2005 este tema começou a apresentar publicações, ainda que timidamente. Analisando o comportamento dos temas Multicritério e Problema das Mochilas isolados, o início foi similar, poucas publicações, porém ao passar dos anos, com o avanço da capacidade de processamento computacional e o aumento das restrições e desafios dos cenários, os temas apresentaram forte evolução.

Finaliza esta análise bibliométrica com algumas questões a serem aprofundadas, para tais questões nos próximos passos desta dissertação serão abordados os temas pesquisados neste capítulo, a fim de gerar entendimento sobre as possíveis soluções e aplicações.

1.4 Justificativa prática

No cenário onde será aplicado o estudo, a atividade de analisar os produtos quanto aos critérios de decisão, determinar o ranque de priorização dos produtos e alocar as atividades, está diretamente orientada por pessoas. Analisando esta rotina, observou-se que existe uma grande quantidade de análise e decisões sendo executadas em um curto espaço de tempo. Outro fator relevante para o contexto é a quantidade de informações que estão embutidas em cada produto, sejam elas, data de entrega das amostras, tempo de entrega de matéria-prima, classificação do tipo de desenvolvimento (Novo Desenvolvimento, Renovação de Produto ou Cartela de Cores) e complexidade na confecção das ferramentas.

A complexidade deste processo é desafiadora para ser realizado manualmente, tornando os resultados questionáveis, as decisões influenciadas pelos vieses e desgastante para o tomador de decisão. A busca por métodos que auxiliem neste processo de ranqueamento e alocação fortalece a melhoria contínua como prática necessária nas organizações, qualifica a tomada de decisão e minimiza impactos humanos na tomada de decisão. Diante desta explanação sugere-se estudos na área de Pesquisa Operacional com intuito de buscar soluções para aprimorar esta etapa extremamente importante para a organização.

1.5 Questão de pesquisa

Qual modelo multicritério combinado a modelo de alocação de tarefas, pode auxiliar os tomadores de decisão nas análises diária?

1.6 Objetivos

Nessa seção, são apresentados os objetivos geral e específico do trabalho.

1.7 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é desenvolver e aplicar um modelo de apoio à tomada de decisão para o ranqueamento de produtos e a alocação otimizada de tarefas às equipes no processo de desenvolvimento de produtos da indústria calçadista.

1.8 Objetivos específicos

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) **Identificar e estruturar os critérios decisórios** relevantes ao processo de priorização de produtos, com base na experiência dos gestores e características técnicas das atividades;
- b) **Aplicar o método multicritério** para calcular, de forma objetiva e automatizada, os pesos dos critérios e gerar um ranqueamento confiável dos produtos a serem desenvolvidos;
- c) **Modelar a alocação de tarefas** utilizando modelo de otimização combinatória, de forma a respeitar as restrições de capacidade das equipes e otimizar o uso dos recursos humanos;
- d) **Aplicar o modelo proposto** por meio de uma prova de conceito (POC) baseada em dados reais da empresa, demonstrando sua aplicabilidade e flexibilidade na gestão dos recursos;
- e) **Analisar os ganhos operacionais e gerenciais** obtidos com a aplicação do modelo, incluindo melhoria na produtividade, redução da subjetividade na tomada de decisão e aumento da governança no processo de alocação de recursos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será abordado conceitos e métodos de Pesquisa Operacional como apoio a definição de critérios, ranqueamento dos produtos e alocação de tarefas a recursos.

2.1 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional, popularmente conhecida como PO, teve sua origem nas ações militares da Segunda Guerra Mundial, onde a escassez de recursos implicava na necessidade de alocá-los de forma eficaz (LACHTERMACHER, 2002). Para tanto, times multidisciplinares de cientistas foram designados a criar soluções para problemas estratégicos, táticos e operacionais, visando encontrar as melhores alternativas a serem escolhidas (ABENSUR, 2018). Hillier e Lieberman (2013), ainda mencionam que as pesquisas foram denominadas pesquisas sobre operações, dando assim origem ao termo utilizado atualmente para descrever o que conhecemos como Pesquisa Operacional.

Hillier e Lieberman (2013) também afirmam que os excelentes resultados obtidos através dos estudos realizados nas áreas militares, despertou em outros setores interesse pela Pesquisa Operacional. Posteriormente a guerra, diversos setores tiveram um grande desenvolvimento e, nesse cenário, problemas similares aos encontrados na guerra surgiram, porém dentro de uma nova perspectiva e contexto. Dessa forma, a Pesquisa Operacional foi introduzida ao mundo empresarial e, logo foi disseminada ao setor comercial, industrial e governamental.

Modelos matemáticos são simplificações da realidade, que permitem a avaliação de uma situação levando em consideração os aspectos relevantes à tomada de decisão (SAMBORANHA, 2013). De acordo com Cifuentes e Negrelli (2007), um modelo usa de hipóteses e aproximações para representar um recorte da realidade de forma simplificada. Segundo Biembengut (2000), a modelagem matemática consiste na obtenção de modelos que primeiramente funcionam para uma solução particular, mas que também possam ser replicados para as mais diversas situações. Bueno (2011) complementa dizendo que a modelagem é o processo de criação do exemplar, que é destinado ao estudo de uma situação. O mesmo ainda diz que a modelagem matemática pode ser caracterizada como a formalização em forma de sistema matemático que fornece possibilidade de extrair informações e compreendê-las por meio das estratégias e argumentos estabelecidos. Com o decorrer do tempo, modelos

matemáticos se tornaram ferramentas de auxílio à tomada de decisão presente no mundo empresarial (LACHTERMACHER, 2002).

Para Kreyszig (2010), a Programação Linear consiste na resolução de problemas de otimização que possuem função objetivo linear, esses problemas possuem limitações e as variáveis de controle são restritas por um conjunto de inequações também lineares. Alves e Delgado (1997) conceituam Programação Linear Inteira (PLI) como um caso de Programação Linear (PL) em que todas ou algumas variáveis devem assumir valores inteiros. Dentre as aplicações da PLI, pode-se citar a seleção de projetos, quantificação de máquinas e itens, dimensionamento de equipes entre outros (COLIN, 2007). Existe ainda a Programação Linear Binária (PLB), onde as variáveis podem assumir apenas os valores “zero” ou “um”, esses problemas são normalmente usados quando há apenas duas alternativas em relação aos recursos: usá-los ou não usá-los (ANDRADE; SCARPIN; STEINER, 2012; LACHTERMACHER, 2004). Dada essa ampla aplicabilidade, um problema genérico de otimização matemática pode ser formulado da seguinte forma:

Variáveis de Decisão: As variáveis de decisão são os valores que queremos otimizar. Elas são normalmente denotadas por um vetor $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, onde n é o número de variáveis.

Função Objetivo: A função objetivo é a função que desejamos maximizar ou minimizar. Ela é uma função das variáveis de decisão e pode ser denotada por $f(\mathbf{x})$. Dependendo do problema, a função objetivo pode ser linear ou não-linear. Conforme expressa equação (1):

$$\text{Minimize } f(\mathbf{x}) \quad (1)$$

Restrições: As restrições são condições que as variáveis de decisão devem satisfazer. Elas podem ser **igualdades** ou **desigualdades** e geralmente são expressas na forma de funções das variáveis de decisão. Conforme equações (2) e (3).

$$g_i(\mathbf{x}) = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$h_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, p \quad (3)$$

Dado a aplicabilidade da pesquisa operacional em diversos contextos, um desafio crescente nas organizações surge como uma oportunidade de pesquisa, a gestão dos produtos e recursos disponíveis. A maior parte das organizações se deparam com um ambiente onde diversos produtos ocorrem concomitantemente e, dessa forma, competem pelos mesmos

recursos para a sua realização. A esse ambiente, dá-se o nome de ambiente multi-produtos. Segundo Heimerl e Kolisch (2010), a discussão sobre a gestão de ambientes multi-produtos num contexto de recursos humanos pode, grosso modo, ser dividida em três grandes etapas (Figura 8).



Figura 8. Níveis de planejamento e alocação de recursos humanos em um contexto multi-produtos. Adaptado Heimer e Kolish (2010).

A seleção de projetos normalmente está relacionada a critérios que tornam um produto mais relevante que outro. A programação de projetos lida com a alocação dos projetos e suas atividades no tempo. Normalmente essa discussão é feita contemplando restrições de capacidade da equipe disponível à execução dos projetos. Finalmente, a terceira etapa, alocação de equipe, busca encontrar a melhor forma de distribuir as responsabilidades pela execução das atividades dos projetos entre os membros da equipe disponível a fim de atingir o cumprimento dos objetivos colocados. Adicionado a isso a necessidade de conjugar critérios tangíveis e intangíveis na tomada de decisão em diversos campos, como ambientais, sociais, políticos e de mercado na avaliação de projetos econômicos, tem levado ao auge à utilização de métodos de ajuda na análise multicritério (KEIKO *et al.*, 2004).

Tomando como referência a figura 10, a seleção dos projetos é a primeira e desta forma a mais importante etapa do fluxo para o resultado da organização. Critérios norteiam as decisões nas escolhas de quais projetos devem ser priorizados. Uma metodologia utilizada para apoiar na definição dos critérios são os MCDA, que têm como objetivo apoiar os tomadores de decisão neste contexto, dando suporte a decisões mais eficazes e consistentes. Os MCDM fornecem uma alternativa útil e bem-sucedida para lidar com três tipos principais de problemas decisórios: escolha, classificação e ordenação. Os dois primeiros são os problemas mais comumente

estudados, mas o terceiro oferece uma maneira de lidar com problemas MCDM do mundo real que requerem alternativas a serem ordenadas (ALVAREZ, ISHIZAKA; MARTÍNEZ, 2021).

A partir desta colocação, será abordado a seguir de forma mais ampla o que a teoria apresenta quanto a métodos MCDM, a fim de auxiliar a busca por um modelo que possa auxiliar a construção proposta por este trabalho.

2.2 Métodos de apoio a decisões multicritérios

Nos complexos problemas de tomada de decisão onde múltiplos critérios estão envolvidos, frequentemente muitos deles estão em conflito. O objetivo das metodologias MCDA é ajudar ao tomador de decisão a organizar e sintetizar a informação de modo a adotar uma decisão, explicitando e administrando a subjetividade envolvida e, ao mesmo tempo, minimizando a possibilidade de que a decisão tomada seja ótima sujeito a um dos critérios avaliadores, mas seja inaceitável segundo outro (BELTON e STEWART, 2002). Desde os primeiros sistemas de ajuda à escolha, que são atribuídos frequentemente a Jean-Charles de Borda (1733-1799) e ao marquês de Condorcet, Marie Jean Antonie Nicolas de Caritat (1743-1794) (FIGUEIRA, 2005), surgiram outros métodos criados para a solução de problemas que envolvem múltiplos critérios. Entre os métodos mais aplicados atualmente, podem-se destacar: MAUT, ANP, NCIC, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, AHP e AHP-GAUSSIANO. A seguir uma breve contextualização sobre cada método.

Segundo Frank e Ayala (2013), O MAUT permite tratar um problema complexo em uma simples hierarquia e avaliar subjetivamente um grande número de fatores quantitativos e qualitativos na presença de risco e incerteza, evitando qualquer preconceito que pudesse levar aos decisores a escolher uma alternativa não ótima (MIN, 1994; ELMISALAMI et al, 2006; CHEUNG e SUEN, 2002). Para a resolução de problemas de tomada de decisão que não podem ser estruturados hierarquicamente, onde existem interações e dependências entre os distintos elementos do mesmo nível ou de outros, Saaty propõe em 1996 um novo método, o ANP que se apresenta como uma generalização do AHP, onde um dos axiomas base (independência entre elementos) pode ser violado (MORITA et al., 1999; MIKHAILOV e SINGH, 2003; SAATY, 1996; JHARKHARIA e SHANKAR, 2007). O NCIC foi desenvolvido por Boucher e MacStravic (1991), principalmente para analisar investimentos de capital onde os critérios se mostram difíceis de ser quantificados monetariamente (GOGUS e BOUCHER, 1998). O método MACBETH foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994 (OLLAGUEZ, 2006). É um método iterativo, comumente utilizado através de um software

desenvolvido pelos mesmos autores, que mede o grau de preferência do tomador de decisão sobre um conjunto de alternativas e ajuda-lhe a quantificar a atratividade relativa de cada uma delas, transformando avaliações qualitativas em quantitativas (BANA E COSTA e CHAGAS, 2004). O método ELECTRE, baseado no conceito de sobre classificação, foi desenvolvido por Roy em 1968. A ideia do método é comparar par a par todas as alternativas, segundo cada critério examinado, para achar qual alternativa prevalece (termo em inglês: outranking) sobre a outra. Uma alternativa se considera dominante se supera certo valor umbral fixado de antemão arbitrariamente para cada critério (MÜLLER, 2005; MIRANDA e TEIXEIRA, 2007). O método PROMETHEE foi desenvolvido por Brans et al. (1986), numa tentativa de resolver as deficiências que existem no método ELECTRE (MÜLLER, 2005). Esse método se adapta bem a problemas onde um número finito de alternativas deve ser ranqueado considerando vários, e por vezes antagônicos, critérios (GOUMAS e LYGEROU, 2000). O método TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981 (MONTANARI, 2004). É baseado no conceito de que a alternativa escolhida deve estar o mais perto possível da alternativa “positiva ideal” e o mais longe possível da alternativa “negativa ideal”. São calculadas as distâncias relativas, comumente distâncias Euclidianas, das alternativas analisadas à alternativa fictícia ideal. Logo, a alternativa mais perto da alternativa ideal e mais afastada da alternativa ideal negativa é escolhida como a melhor (HWANG; YOON, 1981 apud KABASSI; VIRVOU, 2004). O AHP (Analytic Hierarchy Process) é um dos métodos mais utilizados em diferentes áreas para apoiar a tomada de decisões envolvendo critérios qualitativos, desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 com o objetivo de superar limitações cognitivas em problemas de seleção de alternativas com múltiplos critérios e atores (VILAS, 2008; RODRÍGUEZ, 2008). O método segue quatro etapas: decomposição do problema em árvore hierárquica, comparação par a par, determinação das prioridades relativas e agregação dos resultados (LUCENA, 2008; KEIKO et al., 2004). Saaty estabeleceu uma estrutura hierárquica em níveis, permitindo maior compreensão das relações entre elementos e facilitando comparações entre alternativas, conciliando lógica e intuição para alcançar consenso entre decisores (NORRIS e MARSHALL, 1995; RODRÍGUEZ, 2008; BERTOLINI et al., 2006). Além disso, a metodologia é compensatória, possibilitando que desempenhos inferiores em determinados critérios sejam equilibrados por melhores resultados em outros (OLIVEIRA et al., 2005).

AHP- Gaussiano é proposto por Santos, Costa e Gomes (2021), como sendo um modelo MCDM inspirado no AHP de Saaty, porém ajustado para eliminar a necessidade de ponderação manual dos critérios, uma limitação reconhecida do AHP (BELTON; GEAR, 1983; SANTOS; SANTOS; SOARES, 2022). Denominado *Analytic Hierarchy Process – Gaussian*

(AHP-Gaussiano), o método distribui os pesos por meio do fator gaussiano e sua análise de sensibilidade, dispensando o esforço humano na construção da matriz de critérios (SANTOS; COSTA; GOMES, 2021). 2.3 AHP (Analytic Hierarchy Process). Sendo este o modelo escolhido para ser aplicado neste trabalho, a seguir o modelo será explorado.

2.3 AHP – Gaussiano

O método consiste em um modelo MCDM, elaborado por Santos, Costa e Gomes (2021). O método tem como referência o AHP criado por Saaty, porém, os autores propuseram um ajuste a fim de não ser mais necessário a ponderação dos critérios para solucionar uma limitação apresentada pelo AHP. Com o aumento no número de critérios, se torna inviável e dispendioso arbitrar os pesos, além de se estar mais propenso aos erros, já que é uma tarefa manual e que depende da capacidade humana (BELTON; GEAR, 1983; SANTOS; SANTOS; SOARES, 2022).

Esse método foi denominado *Analytic Hierarchy Process – Gaussian* (AHP-Gaussiano), já que a distribuição dos pesos é calculada com base no cálculo do fator gaussiano e análise de sensibilidade desse fator. Com isso, também não é necessário esforço humano para construção da matriz de critérios (SANTOS, COSTA, GOMES, 2021).

É importante salientar que tanto AHP-Gaussiano, quanto o AHP, lidam apenas com valores quantitativos para os critérios. À saber, esse método conta com as seguintes etapas, em ordem, como apresentadas na Tabela 1.

Etapas de AHP-Gaussiano	
Passos	Descrição
1	Estabelecer a matriz de decisão
2	Calcular a média das alternativas
3	Calcular o desvio padrão das alternativas de cada critério
4	Calcular o Fator Gaussiano de cada critério
5	Multiplicar o Fator Gaussiano pela matriz de decisão
6	Normalizar os resultados
7	Obter o ranqueamento das decisões

Tabela 1. Etapas do AHP – Gaussiano Fonte: Santos, Costa e Gomes (2022).

Ao estabelecer a matriz de decisão é preciso definir quais os critérios monotônicos de custo, ou seja, que expressam impacto negativo, de modo que é desejável minimizar seus

valores. Então, inverte-se os valores desses critérios, com a divisão de 1 sobre o valor do critério, para que todos eles tenham a mesma tendência positiva de crescimento.

Para obter o fator gaussiano, também conhecido como coeficiente de variação, é necessário encontrar a média dos valores de cada critério, equação (4). Após calcular o desvio padrão destes valores, equação (5), e pôr fim o Fator Gaussiano, equação (6).

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (4)$$

Onde:

- m = número de alternativas,
- x_{ij} = valor da alternativa i no critério j ,
- $\bar{x}_j$ = média amostral do critério j .

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (5)$$

Onde:

- m = número de alternativas,
- x_{ij} = valor da alternativa i no critério j ,
- $\bar{x}_j$ = média dos valores do critério j ,
- σ_j = desvio padrão do critério j .

$$G_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} \quad (6)$$

Para Santos, Santos e Soares (2022), o Fatos Gaussiano é utilizado para indicar o impacto do conjunto de critérios sob cada alternativa. No cenário em que foi proposto, o AHP-Gaussiano foi utilizado para seleção de qual navio seria construído pela Marinha do Brasil, com

três possibilidades de escolha e nove critérios, entre econômicos e operacionais. Outra aplicação do método, foi para a aquisição de hospitais da rede privada de saúde, que comparou oito hospitais (ARAÚJO et al., 2022).

2.4 Alocação de recursos

Os problemas de alocação são aqueles onde se deseja combinar otimamente os elementos de dois ou mais conjuntos (PENTICO, 2007). Exemplos de aplicação desses problemas são a alocação de professores a classes, pessoas a trabalhos, tripulações a voos e assim por diante (RAVINDRAN, 2009). Pentico (2007) propõe uma classificação dos problemas de alocação num contexto de alocação de tarefas a agentes. Segundo ele esses problemas se dividem naqueles onde há no máximo uma tarefa por agente, modelos com múltiplas tarefas por agente e problemas de alocação multi-dimensionais que são aqueles onde se busca a alocação ótima de mais do que apenas dois conjuntos.

Uma série de exemplos da utilização desse tipo de abordagem existe na literatura, dentre eles, pode-se destacar o modelo proposto por Campbell (1999) para alocação das pessoas em turnos de trabalho. Campbell e Diaby (2002) trazem uma nova abordagem para o mesmo problema. Corominas et al. (2006) propõem um modelo para alocação de pessoas a tarefas onde cada pessoa é capaz de realizar um sub-conjunto dado das tarefas.

Blanck e Bandeira (2015) propõem um modelo para alocação a partir de características presentes em determinados ambientes usando a programação linear inteira, o modelo proposto visa maximizar o tempo de alocação das salas cirúrgicas em determinado período da semana. (Dickstein *et al.* (2011), busca propor um modelo para alocação de pessoas a projetos considerando restrições de alteração de equipes, habilidades e níveis de proficiência diversos entre as equipes. O modelo proposto é baseado em programação linear inteira multicritérios, onde seu objetivo é minimizar três elementos: Gap de proficiência para a realização de tarefas, tarefas não executadas e mudança de pessoas entre projetos.

Embora a alocação de recursos ou seus déficits, de diferentes pontos de vista, seja baseada na aplicação de informações quantitativas (com diferentes níveis de incerteza) e informações qualitativas, na prática, ela é realizada levando em consideração apenas informações quantitativas, muitas vezes ignorando completamente sua incerteza. Diante disso, em Ramalho *et al.* (2019), destaca que os modelos de tomada de decisão multicritério são baseados em avaliações essencialmente determinísticas das consequências de cada ação expressas em função de cada critério, podendo submeter os resultados formais e recomendações

a um grau de análise de sensibilidade. Essa abordagem pode ser justificada quando a fonte primária de complexidade na tomada de decisão está relacionada à natureza multicritério do problema e não à natureza incerta das consequências individuais

Kane e Tissier (2012) adaptam um modelo que Wiley *et al.* (1998) elaborou, para os requisitos atuais. Neste modelo usou-se o método de ilustração de redes (PERT), o modelo matemático trabalhou com três fatores: custo, recursos humanos e redução de tempo de execução das atividades, o modelo auxiliou na análise de movimentação do custo+recurso+tempo quando uma tarefa era priorizada com relação a outra, guiando a gestão onde de fato se mostra relevante para o negócio investir recursos.

Um dos métodos usados na solução de problemas na alocação de tarefas a recursos é o problema das mochilas (KP) e suas variantes, a seguir o tema é abordado de forma mais detalhada.

2.5 Problema da mochila

De acordo com Pisinger *et al* (2004), o problema da mochila tem sido estudado há séculos, pois é o protótipo mais simples de um problema de maximização. Este é de alguma forma um protótipo de uma redução de um programa inteiro geral para PM, provando assim que PM é pelo menos tão difícil de resolver quanto um programa inteiro. No entanto, não está claro como o nome "Problema da Mochila" foi inventado. Dantzig usou a expressão em seus primeiros trabalhos e, portanto, o nome pode ser uma espécie de folclore.

A primeira resolução do problema da mochila, data dos anos 50, por aplicação da função recursiva (programação dinâmica) de Bellman. A partir de então, foram propostos inúmeros melhoramentos: a definição do limite superior para o valor ótimo da função objetivo, por Dantzig em 1957; a resolução do problema pela técnica de partição e avaliação sucessivas, por Kolesar em 1967; a resolução de problemas de grandes dimensões, igualmente pela técnica de partição e avaliação sucessivas, por Harowitz e Sahni, nos anos 70; o primeiro procedimento de redução da dimensão do problema (por fixação do valor de algumas variáveis) de Ingargiola e Korsh em 1973; um novo limite superior, por Martello e Toth, em 1977; o algoritmo de Balas e Zemel, em 1980, baseado na ordenação de apenas um subconjunto de itens; um novo algoritmo de Martello e Toth que permite resolver instâncias difíceis (Martello e Toth, 1998).

Toda a classe de problemas da mochila pertence à família dos problemas NP - Difícil, porém, utilizando algoritmos de programação dinâmica, diversos problemas desta classe podem

ser resolvidos em tempo pseudo-polinomial. O tempo de execução, nestes casos, está diretamente relacionado com a dimensão das instâncias, com número de critérios e com tamanho da mochila. Estes resultados surpreendentes vêm de várias décadas de pesquisas que têm exposto as propriedades estruturais especiais do problema da mochila, que tornam o problema relativamente fácil de resolver.

Diferentes tipos de problemas de mochila ocorrem, dependendo da distribuição dos itens e da mochila.

O problema básico da Mochila 0 - 1, ou mochila binária, consiste em, dada uma mochila de capacidade C e n itens cujos peso w_i e valor de utilidade v_i são dados, escolher quais itens serão alocados na mochila. Considere a variável de decisão x_j de maneira que, se o item j é alocado na mochila, então $x_j = 1$, caso contrário, então $x_j = 0$. Desta forma a função objetivo, equação (7), tem por finalidade colocar o máximo de itens dentro da mochila, sujeito as restrições, equação (8), que restringe a somados pesos dos itens não pode ultrapassar a capacidade da mochila, e a equação (9) indica a validação da presença ou não do item na mochila.

$$\max \sum_{i=1}^n v_i x_i \quad (7)$$

$$s. a \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq C \quad (8)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (9)$$

onde,

- x_i : informa se o item i está ($x_i = 1$), ou não ($x_i = 0$), na mochila j .
- C_j : capacidade da mochila j .
- n : número de itens.
- w_i peso de cada item.
- v_i valor de utilidade de cada item.

O problema da Mochila Inteira, é uma variação mais genérica do problema anterior da mochila 0-1. Anteriormente, tínhamos apenas a opção de colocar, ou não, o item no recipiente, agora existe uma quantidade infinita do mesmo item para ser alocada, onde x_i é a quantidade do item i colocada na mochila, v_i é o valor de utilidade do item i , w_i é o peso do item i , C é a capacidade da mochila e n é o número de tipos de itens. É fácil notar a semelhança deste com o problema anterior. A diferença mais marcante é que a variável de decisão x_i não está mais sujeita ao conjunto binário $\{0, 1\}$, ela é livre para tomar qualquer valor dentro de N , incluindo o 0, caso o item não seja alocado.

No problema da Mochila Limitada, em problemas reais, nem sempre temos apenas um item de cada tipo no problema, e muito menos temos infinitos itens à nossa disposição. Normalmente dispomos de um intervalo fechado $[0, d_i]$ para cada variável $x_i \in N$, onde $d_i \in \mathbb{N}$ é a quantidade máxima de itens de peso w_i que podem ser alocados na mochila.

O problema da Mochila Compartimentada, consiste em determinar as capacidades adequadas de cada compartimento e como estes devem ser carregados de modo que o valor de utilidade total (soma dos valores de utilidade de todos os itens selecionados) seja máximo, descontando-se os custos dos compartimentos, os quais dependem dos agrupamentos com que foram preenchidos. Por ser um problema mais complexo, tanto para se enunciar como para resolver, foge do intuito deste trabalho. Para mais detalhes, veja Hoto (1996). Hoto (2001) e Marques e Arenales (2002).

Até o momento, foram abordados problemas onde buscou-se completar apenas uma mochila, mas existem problemas onde queremos carregar várias mochilas. Para cada problema descrito acima existe um semelhante envolvendo esta ideia de múltiplas mochilas. Martello e Toth (1990) fizeram uma modelagem matemática para o problema de múltiplas mochilas 0-1. expresso abaixo.

$$\max \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \quad (10)$$

$$s.a \sum_{i=1}^n w_i x_{ij} \leq C_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m \quad (13)$$

onde,

- x_{ij} : informa se o item i está ($x_{ij} = 1$), ou não ($x_{ij} = 0$), na mochila j .
- C_j : capacidade da mochila j .
- n número de itens.
- m : número de mochilas.

Na função objetivo, equação (10), em comparação com o problema da mochila básico, acrescenta-se a variável quantidade de mochilas, onde a busca é por maximizar a soma de todas as mochilas. Obedecendo as restrições, equações (11), indicam que a soma dos itens não pode ultrapassar a capacidade das mochilas, equações (12) indica que o mesmo item pode ser considerado apenas 1 vez na mochila, e equações (13), indica que deve se considerado uma

análise binária, onde valor =1, indica a presença do item na mochila e valor = 0 indica que o item não foi considerado na mochila.

Vimos até agora os problemas clássicos e mais comuns dentro do problema da mochila, ainda existem outros casos menos trabalhados, como o problema do troco, onde o peso carregado na mochila deve ser igual ao seu limite máximo e o problema da mochila fracionada, onde cada item pode ser dividido em itens menores e, conseqüentemente, com valor de importância proporcional.

2.6 Combinação de modelos

Seguindo o objetivo proposto neste trabalho, a combinação de dois modelos onde: um modelo buscará a geração de um ranqueamento dos produtos e outro a alocação das tarefas destes produtos a um grupo de pessoas é necessário explorar o caso de combinação na busca de soluções. Esta área engloba grande quantidade de problemas e que busca por soluções que façam melhor uso dos recursos envolvidos. Segundo Arenales et al. (2015), os problemas de otimização combinatória estão presentes em diversos contextos práticos, como o corte e empacotamento de materiais, o roteamento de veículos, o escalonamento de tarefas e a localização de centros de distribuição, sendo fundamentais para aumentar a eficiência produtiva e logística. Esses modelos também se aplicam a áreas de maior complexidade tecnológica, como o projeto de circuitos integrados (VLSI), o sequenciamento de DNA e o projeto de redes de telecomunicações, demonstrando sua relevância tanto em aplicações industriais quanto no campo acadêmico. Os problemas de otimização combinatória podem ser de minimização ou de maximização. Desta maneira, surge a necessidade de usar técnicas mais elaboradas para encontrar soluções de valor ótimo.

Brown et al (2004) utilizaram um modelo de mochila inteira limitada para resolver o problema de planejamento de capital militar. Mavrotas et al (2006) combinaram métodos MCDA com formulação de PM para priorização de projetos.

Sadi-Nezhad et al (2010) propuseram um PM difuso multidimensional 0–1 no qual cada oportunidade de investimento é representada como um projeto com três classes de recursos necessários (humanos, máquinas e matéria-prima), os requisitos de recursos, custos de investimento inicial, lucros e orçamento total disponível são representados com coeficientes fuzzy neste modelo.

Chang e Lee (2012) propuseram um modelo integrado de Análise Envoltória de Dados (DEA), formulação do problema da mochila e teoria dos conjuntos fuzzy para selecionar uma

carteira de projetos que atinja os objetivos organizacionais sem exceder recursos de capital limitados. Eles demonstram a aplicação do modelo em um estudo de caso na indústria de Engenharia-Aquisição-Construção (EPC), incluindo a utilização de técnicas de tratamento de restrições e o algoritmo Artificial Bee Colony para busca de soluções.

Segundo Bas (2012), a seleção de portfólios de projetos com múltiplos atributos pode ser tratada por meio de um modelo de mochila 0–1 multidimensional com parâmetros fuzzy, que permite lidar com incertezas associadas aos critérios de decisão. A proposta incorpora técnicas de defuzzificação baseadas em t-norms e t-conorms, além do uso de regras de normalização surrogate como multiplicadores, possibilitando a obtenção de soluções aproximadas a partir de modelos relaxados. Essa abordagem amplia a capacidade de representar cenários reais, nos quais múltiplos objetivos e restrições tornam inviável a utilização de modelos determinísticos tradicionais, oferecendo uma ferramenta mais robusta para apoiar decisões em ambientes complexos.

Bennett (1993), mostra que a mensuração de benefícios e custos por meio de Hierarquias Analíticas alcança um escopo de análise. Mas, uma vez obtidas estimativas de prioridades para projetos ou atividades, continua sendo necessário alocar recursos a eles de forma criteriosa e eficiente. Em vez de forçar o analista a escolher entre medir benefícios e custos inclusive usando hierarquias analíticas, mas depois alocar de forma ineficiente, ou alocar recursos de forma otimizada para projetos mal medidos, mostramos que há maneiras de combinar essas duas metodologias poderosas.

O *Multi-Objective Knapsack formulation of the Multi-Criteria Portfolio Selection Problem* (MCPSP) é um problema de decisão encontrado frequentemente em várias organizações, definido através de orçamentos dados para certos recursos e os custos associados com a seleção de diferentes possíveis projetos, com a finalidade de selecionar um portfólio de projetos a serem implementados, no qual os orçamentos não sejam ultrapassados e os benefícios sejam maximizados. Este problema pode ser formulado como um problema da mochila multiobjetivo, no qual o principal objetivo da otimização multiobjetivo é a identificação de soluções eficientes, e em muitas abordagens, as funções objetivos recebem pesos e são agregadas em uma única função.

Argyris et al (2011) desenvolvem uma abordagem interativa para identificar as soluções preferidas do problema de otimização binária multiobjetivo (MOBO), baseada na formulação do problema de enumeração do conjunto de soluções. Os métodos MOBO interativos foram desenhados para identificar soluções preferidas através do comprometimento do decisor e elicitando informações de preferência deles, sendo classificados pelo tipo de protocolo utilizado

(função valor implícita, protocolo de comunicação aberto), na qual a elicitación de informações de preferência pode ser direta ou indireta. Eles integram o espaço de decisão da variável binária com o espaço do peso dos critérios, para que as informações de preferência possam ser incorporadas diretamente de modo a apenas as soluções eficientes em acordo com as preferências sejam identificadas. Esse esquema de seleção de peso transforma a formulação do Multi-Objective Multi-Dimensional Binary Knapsack Problems (MOKP) em um problema de programação em dois níveis, onde o problema de nível baixo é parte das restrições do problema do nível superior, isto é, a identificação de um portfólio suportado não pode ocorrer até que o conjunto de pesos seja determinado.

Golabi *et al.* (1981) estende a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) para selecionar portfólio de projetos. Os autores utilizam o procedimento MAUT para avaliar os projetos individualmente e, de posse destas avaliações, utilizam uma transformação funcional para converter a função de utilidade de projetos em uma função para agregação ao nível do portfólio. Observa-se no trabalho uma preocupação com a percepção da existência de sinergia, porém, estas são considerações apenas posteriormente à aplicação do método, durante reuniões do comitê de seleção.

Um modelo baseado em Programação Linear Inteira 0-1 (PLI 0-1 ou PLI Binária) é proposto por Ghasemzadeh *et al.* (1999) para selecionar e programar um conjunto de projetos ótimo, considerando os objetivos organizacionais e restrições como limitações de recursos e outras interdependências entre projetos como técnica ou até mesmo de coleção a ser lançados ao mesmo tempo. A utilização da programação 0-1 justifica-se pela natureza discreta “seleciona ou não” do problema.

Este modelo baseado em PLI 0-1 é composto por duas fases. A primeira fase é aplicada apenas quando os projetos são caracterizados por múltiplos objetivos, os quais devem ser integrados em uma única função objetivo, que representa o valor relativo de cada projeto e serve como *input* para a segunda fase. Para esta primeira fase deve-se utilizar uma metodologia multicritério, sendo sugerido pelos autores a utilização de funções de valores aditivos onde cada critério recebe um peso de acordo com sua importância e cada projeto avaliado recebe um *score* para cada critério fornecido pelo decisor. O valor relativo do projeto é dado então pela soma ponderada dos *scores* do projeto. A segunda fase consiste na aplicação de um modelo de otimização, utilizando as avaliações obtidas na fase anterior. No caso em que se deseja maximizar apenas um objetivo quantitativo não é necessário obter *score* para os projetos, utilizando-se em seu lugar a avaliação do projeto para este critério. Caso isto ocorra, a primeira fase é eliminada e o modelo se resume ao método de Otimização Monocritério.

No próximo capítulo, é apresentado o modelo proposto para alocação de tarefas para equipes utilizando o método AHP Gaussiano para definir as prioridades das tarefas e o modelo das múltiplas mochilas para atribuição dessas tarefas às equipes.

3 MÉTODO

A metodologia adotada neste trabalho visa explicitar a estrutura central da proposta desenvolvida, de modo a possibilitar sua replicação em diferentes contextos organizacionais que enfrentem desafios semelhantes. Os aspectos técnicos e operacionais de cada etapa serão detalhados a seguir.

3.1 Método de pesquisa

A metodologia deste estudo foi delineada com o propósito de proporcionar uma estrutura clara e replicável, alinhando-se ao objetivo central de desenvolver um modelo decisório robusto para o ranqueamento de produtos e a alocação de tarefas no setor de desenvolvimento de calçados. Para tanto, a abordagem adotada contempla diferentes aspectos metodológicos, conforme apresentado a seguir.

Quanto à finalidade, este estudo classifica-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que seu desenvolvimento está diretamente voltado à solução de um problema prático, no contexto empresarial. Segundo Gil (1991), pesquisas aplicadas têm como principal objetivo não apenas a ampliação do conhecimento, mas a sua aplicação em situações concretas, visando a obtenção de resultados mais eficazes no ambiente analisado.

No que se refere aos objetivos, a pesquisa é de natureza descritiva, pois busca compreender e caracterizar as variáveis envolvidas no processo de priorização e alocação de tarefas. De acordo com Gil (1991), a pesquisa descritiva visa estabelecer relações entre variáveis, possibilitando uma análise mais aprofundada dos fenômenos observados. Como técnica de coleta de dados, foi utilizado o grupo focal, o qual, segundo Santos e Fogliatto (2002), é composto por um conjunto de participantes selecionados para discutir um tópico específico, conduzidos por um moderador.

A seguir, são descritas as etapas metodológicas que sustentam a condução deste trabalho:

- **Coleta de dados primários e secundários:** Esta etapa consistiu na obtenção de informações relevantes tanto internas quanto externas ao contexto empresarial estudado. Foram utilizados como fontes principais: documentos corporativos, sistemas internos de controle e entrevistas semiestruturadas com especialistas da área de desenvolvimento de produtos. Essas informações foram fundamentais para embasar a definição dos critérios e a modelagem do problema.

- **Levantamento e definição dos critérios de decisão:** A definição dos critérios que norteiam a priorização dos produtos e a alocação de tarefas foi realizada com base na análise documental e no conhecimento técnico dos gestores da empresa. Os critérios foram extraídos a partir da experiência dos tomadores de decisão, considerando as variáveis mais críticas no processo de desenvolvimento, tais como complexidade das ferramentas, tempo de entrega da matéria-prima e data de lançamento.
- **Aplicação do método AHP-Gaussiano:** Para a etapa de ranqueamento dos produtos, foi adotado o método AHP-Gaussiano, uma variação do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que dispensa a definição subjetiva de pesos por meio de julgamentos paritários. A lógica do modelo baseia-se no cálculo do fator gaussiano, considerando as etapas de normalização dos dados, cálculo da média, do desvio padrão e, posteriormente, da distribuição dos pesos conforme a sensibilidade dos critérios. Esse processo permitiu automatizar a priorização, reduzindo interferências humanas e aumentando a consistência dos resultados.
- **Aplicação do problema das múltiplas mochilas:** Com os produtos ranqueados, a etapa seguinte consistiu na alocação das tarefas às equipes, utilizando o modelo matemático do Problema das Múltiplas Mochilas (*Multiple Knapsack Problem*). Cada equipe foi considerada como uma "mochila" com capacidade limitada, e cada tarefa como um "item" com valor e custo associado. A modelagem matemática incluiu a definição da função objetivo, variáveis de decisão (binárias) e restrições operacionais, de forma a maximizar a ocupação dos recursos disponíveis sem ultrapassar suas capacidades.
- **Validação da proposta (prova de conceito):** A estrutura proposta foi testada e validada por meio de uma prova de conceito (PoC), utilizando dados reais da empresa estudada. Essa validação permitiu verificar a aplicabilidade do modelo, sua adaptabilidade a diferentes cenários e os ganhos potenciais relacionados à eficiência operacional, qualidade das decisões e aproveitamento dos recursos humanos.

A construção metodológica descrita acima oferece uma base sólida para o desenvolvimento da solução apresentada neste trabalho. A seguir, será detalhado o problema prático enfrentado pela organização, o qual motivou a concepção do modelo e sua aplicação no ambiente real.

3.2 Descrição do Problema

O desenvolvimento de novos produtos (DNP) no setor calçadista é um processo dinâmico e multifásico, que envolve desde a concepção inicial do produto, passando pela validação técnica e econômica, até o lançamento no mercado. Esse percurso é composto por diversas macro atividades, como o planejamento da produção, a produção piloto e a definição de estratégias comerciais. Entre essas etapas, o planejamento de recursos humanos e produtivos assume uma função estratégica, especialmente diante da limitação de recursos e da complexidade operacional de cada processo.

No contexto da empresa estudada, observou-se que diferentes produtos competem entre si pela alocação das mesmas equipes e processos produtivos, o que exige uma abordagem estruturada para priorizar produtos e alocar tarefas de forma eficiente. Para isso, o processo é iniciado com a análise de informações relevantes de cada item da linha de desenvolvimento, como a complexidade de confecção dos ferramentais, o tempo de entrega da matéria-prima e a data-alvo de lançamento. Com base nesses dados, estabelece-se um ranqueamento dos produtos, o que permite visualizar sua prioridade relativa no portfólio em desenvolvimento.

Em um segundo momento, cada produto é decomposto em processos produtivos específicos, os quais devem ser executados por diferentes grupos de trabalho especializados. A Figura 9 ilustra esse fluxo: a partir da lista de produtos, cada um se conecta a múltiplos processos, os quais, por sua vez, são executados por grupos específicos de profissionais. Essa estrutura evidencia a interdependência entre as atividades e reforça a necessidade de um modelo de alocação eficiente.

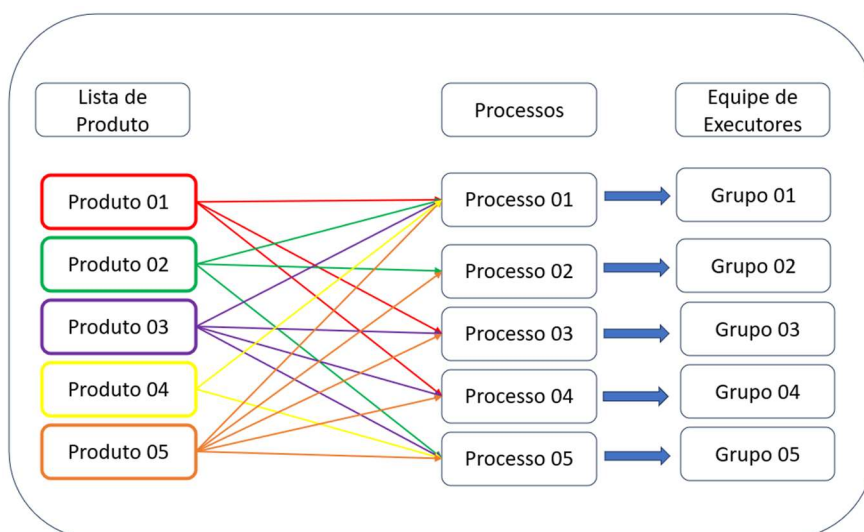


Figura 9. Fluxo de interação produto X Processo X Equipe.

A última etapa envolve uma análise integrada de capacidade versus demanda, levando em conta que os mesmos recursos — ou seja, os grupos de executores — são compartilhados entre diferentes produtos e etapas do desenvolvimento. Essa restrição de capacidade operacional, somada ao alto número de produtos em desenvolvimento simultâneo que em 2024 foram de 1670 produtos, torna o processo de ranqueamento e alocação ainda mais complexo. Nesse cenário, faz-se necessária a aplicação de métodos quantitativos e modelos de apoio à decisão, como o AHP-Gaussiano para ranqueamento e o modelo das múltiplas mochilas para alocação, que são aprofundados nas seções seguintes.

Esses métodos visam minimizar o impacto das decisões subjetivas, aumentar a eficiência no uso dos recursos disponíveis e melhorar a qualidade das decisões gerenciais no ambiente industrial. Diante dessa realidade, na próxima seção será detalhado o modelo proposto para a solução deste problema.

3.3 Modelo

A proposta deste trabalho consiste na construção de um modelo de apoio à decisão para o ranqueamento de produtos e a alocação de tarefas no processo de desenvolvimento de novos produtos, especificamente no setor calçadista. Considerando a complexidade e a interdependência entre as etapas do desenvolvimento, neste momento optou-se por isolar uma micro atividade para a realização de uma Prova de Conceito (POC), a qual servirá como base para futuras expansões do modelo para todo o fluxo de desenvolvimento.

Para a operacionalização desta proposta, o trabalho está estruturado nas seguintes etapas:

1. Definição dos critérios;
2. Definição dos pesos dos critérios;
3. Ranqueamento dos produtos;
4. Determinação da capacidade das equipes;
5. Alocação das tarefas às equipes;
6. Análise da alocação.

Cada uma dessas etapas é descrita a seguir, com base na fundamentação teórica e na realidade operacional da empresa em estudo.

3.3.1 Definição dos Critérios

A definição dos critérios é uma etapa fundamental para garantir que o ranqueamento reflita adequadamente as prioridades estratégicas da organização. Recomenda-se que esta definição seja realizada com a participação ativa dos tomadores de decisão da área de desenvolvimento, visto que estes profissionais detêm o conhecimento prático sobre os fatores que impactam diretamente a execução das atividades. Nesta etapa, propõe-se a aplicação da estrutura hierárquica do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), conforme proposto por Saaty (1980), no qual o objetivo da decisão é desdobrado em critérios e subcritérios que influenciam sua aplicação. A hierarquização dos elementos decisórios, de acordo com Bornia e Wernke (2001), permite ao decisor uma visão sistêmica dos componentes envolvidos, suas inter-relações e os impactos que exercem sobre o resultado.

3.3.2 Definição dos Pesos dos Critérios

A atribuição de pesos aos critérios, embora tradicionalmente realizada por meio de comparações pareadas no método AHP, neste estudo será conduzida com base nas métricas já utilizadas pelos gestores nas rotinas de priorização. Dessa forma, evita-se sobrecarregar o processo decisório com etapas redundantes e respeita-se o conhecimento tácito acumulado pela equipe. Assim, os pesos serão incorporados conforme a prática organizacional vigente, não sendo aplicada a escala fundamental de Saaty neste momento.

3.3.3 Ranqueamento dos Produtos

Nesta etapa, realiza-se o ranqueamento das alternativas (produtos) com base no método AHP-Gaussiano, conforme proposto por Santos, Costa e Gomes (2022). Essa metodologia combina os fundamentos do AHP (*Analytic Hierarchy Process*), tradicionalmente empregado na estruturação hierárquica e ponderação de critérios, com o conceito de distribuição normal, incorporando uma análise estatística que torna o modelo mais sensível às variações nos dados. O objetivo é atribuir um escore final a cada produto, refletindo seu grau de prioridade frente aos critérios estabelecidos.

A aplicação do método segue sete etapas sequenciais, descritas a seguir, com as respectivas equações matemáticas que possibilitam sua replicação em outros estudos.

Passo 1 – Estabelecer a matriz de decisão

A primeira etapa consiste na construção da matriz de decisão $X=[x_{ij}]$, é uma etapa fundamental para transformar julgamentos subjetivos em uma estrutura matemática que permite análise multicritério com maior robustez estatística, conforme equação (14).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Onde:

- x_{ij} representa o desempenho da alternativa i em relação ao critério j ,
- m (linhas) é o número de alternativas, (neste contexto, produtos),
- n (colunas) é o número de critérios utilizados.

Passo 2 – Calcular a média das alternativas para cada critério

Neste passo, calcula-se para cada critério j , calcula-se a média dos valores das alternativas i para cada coluna da matriz, conforme equação (15), detalhada no item 2.3:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (15)$$

Passo 3 – Calcular o desvio padrão das alternativas de cada critério

O desvio padrão de cada critério j é calculado com base na variabilidade dos valores em relação à média calculada no passo anterior, neste caso o desvio é calculado para cada coluna da matriz, equações (16).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (16)$$

Passo 4 – Calcular o Fator Gaussiano de cada critério

Com base nos valores calculados pelos passos 2 e 3, é possível encontrar o Fator Gaussiano, que determinar o peso relativo de cada critério com base na dispersão dos valores das alternativas x_{ij} . Critérios com maior dispersão (maior σ_j) têm maior poder de discriminação $\rightarrow$ maior G_j , equação (17).

$$G_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} \quad (17)$$

Onde:

- G_j = Fator gaussiano do critério j
- σ_j = Desvio padrão dos valores das alternativas no critério j
- $\bar{x}_j$ = Média dos valores das alternativas no critério j

Passo 5 – Multiplicar o fator Gaussiano pelos pesos dos critérios

Nesta etapa o fator gaussiano G_j calculado no passo 4 é aplicado diretamente sobre os valores da matriz de decisão x_{ij} , de modo a ponderar os dados conforme a dispersão estatística de cada critério. Essa ponderação transforma a matriz original em uma matriz ponderada x'_{ij} , onde os valores passam a refletir não apenas o desempenho da alternativa, mas também a importância relativa do critério, medida pela sua variabilidade. Equação (18).

$$x'_{ij} = x_{ij} \cdot G_j \quad (18)$$

Resulta em uma nova matriz ponderada $X' = [x'_{ij}]$, que incorpora a sensibilidade estatística de cada critério.

Passo 6 – Normalizar os resultados

A normalização tem como objetivo padronizar os valores ponderados da matriz de decisão para que possam ser comparados diretamente entre alternativas. Isso garante que os critérios estejam na mesma escala, permitindo que o escore final de cada alternativa seja calculado de forma justa e proporcional. Para cada critério j , os valores ponderados x'_{ij} são normalizados pela equação (19).

$$x''_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}}$$

(19)

Onde:

- x'_{ij} : valor ponderado da alternativa i no critério j (calculado no Passo 5),
- x''_{ij} : valor normalizado da alternativa i no critério j ,
- m : número de alternativas.

A normalização transforma os valores em proporções relativas, ou seja, cada valor passa a representar a contribuição percentual da alternativa dentro do critério. Isso elimina distorções causadas por escalas diferentes entre critérios (ex: custo em reais vs. tempo em dias). Após a normalização, todos os valores x''_{ij} estarão entre 0 e 1, e a soma dos valores de cada coluna será igual a 1.

Passo 7 – Obter o ranqueamento das decisões

O objetivo do Passo 7 é calcular o escore final de cada alternativa (produto) e ordená-las com base nesse valor, gerando um ranqueamento objetivo que orienta a priorização no processo decisório. Para tal aplica-se equação (20).

$$S_i = \sum_{j=1}^n x''_{ij}$$

(20)

Onde:

- S_i : escore final da alternativa i ,
- x''_{ij} : valor normalizado da alternativa i no critério j (obtido no Passo 6),
- n : número de critérios.

O escore S_i representa o desempenho global da alternativa i , considerando todos os critérios. Como os valores x''_{ij} foram normalizados, o escore final é uma soma ponderada proporcional, que permite comparação direta entre alternativas.

Alternativas com maior escore são consideradas mais prioritárias ou mais adequadas segundo os critérios definidos. Finalmente, as alternativas são ranqueadas com base nos valores normalizados, sendo atribuída maior prioridade àquelas com maior valor agregado. O ranqueamento final orientará a alocação de recursos e a sequência de execução no processo produtivo.

A adoção do método AHP-Gaussiano permite considerar simultaneamente os pesos atribuídos subjetivamente pelos decisores e a variabilidade estatística dos dados, resultando em uma análise mais robusta e confiável para problemas multicritério. Além disso, as fórmulas descritas possibilitam a replicação do modelo em diversos contextos decisórios, tais como priorização de projetos, seleção de fornecedores, avaliação de desempenho, entre outros.

3.3.4 Definição da Capacidade de Cada Equipe

A presente etapa tem como objetivo caracterizar a capacidade operacional de cada grupo de trabalho envolvido na execução dos processos de desenvolvimento dos produtos. A definição dessa capacidade é realizada por meio do mapeamento de informações relacionadas à alocação histórica de atividades, à disponibilidade de profissionais por grupo e à respectiva carga horária disponível em determinado horizonte de planejamento.

Assim, a modelagem da capacidade de cada equipe será realizada a partir de parâmetros agregados, levando em consideração:

- A quantidade de colaboradores disponíveis por grupo;
- A carga horária disponível (capacidade total);
- A especialização do grupo em relação aos processos a que está vinculado.

Vale destacar que, nesta etapa, não será considerada a proficiência individual dos membros das equipes, ficando esta análise sugerida para estudos futuros.

3.3.5 Alocação das Tarefas às Equipes

A alocação das tarefas será modelada como um Problema das Múltiplas Mochilas (*Multiple Knapsack Problem*). Neste contexto, cada equipe será representada como uma "mochila", e as tarefas, como "itens" a serem alocados. O objetivo é maximizar a ocupação dos recursos disponíveis, respeitando as capacidades de cada grupo.

A formulação matemática do modelo é apresentada a seguir:

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad (21)$$

$$s. a \sum_{i=1}^m p_i x_{ij} \leq L_j, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (23)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (24)$$

Onde:

- x_{ij} : variável binária que indica se a tarefa i está ($x_{ij} = 1$), ou não ($x_{ij} = 0$), na equipe j ;
- v_i : valor associado a tarefa i .
- p_i : peso (esforço necessário) da tarefa i .
- L_j : capacidade da equipe j .
- m : número de tarefas.
- n : número de equipes.

Na função objetivo, equação (21), o objetivo é maximizar o resultado da soma de todas as tarefas alocadas as equipes, que neste contexto serão os processos que cada produto contém. Obedecendo as restrições, equações (22), indicam que a soma das tarefas não pode ultrapassar a capacidade de cada equipe, equações (23) indica que a mesma tarefa não pode estar alocada a duas pessoas, e equações (24), indica que a alocação da tarefa é feita por análise binária, onde valor = 1, indica que está alocação, e valor = 0 indica que a tarefa não foi alocada.

Ressalta-se que, devido ao compartilhamento de recursos entre diferentes etapas do processo de desenvolvimento, a capacidade de cada "mochila" pode variar ao longo do tempo, exigindo flexibilidade na configuração das restrições.

3.3.6 Análise da Alocação

Dado que os recursos humanos são frequentemente considerados ativos estratégicos nas organizações, busca-se maximizar sua utilização. Assim, a última etapa da proposta metodológica consiste na análise da alocação realizada, com foco na identificação de ociosidade das equipes e demandas não atendidas.

Caso haja capacidade residual em alguma equipe, avalia-se a possibilidade de alocar frações de tarefas, com o intuito de aproveitar totalmente a capacidade disponível. Ainda que a

tarefa não seja finalizada no mesmo dia, sua fração remanescente poderá ser concluída posteriormente, sendo considerada na alocação do dia subsequente. Esta abordagem busca promover um uso mais equilibrado dos recursos e mitigar gargalos operacionais. Inicialmente, esta etapa será conduzida de forma manual, representando uma oportunidade futura de automação por meio de sistemas computacionais de apoio à decisão.

O modelo proposto será aplicado no capítulo seguinte, seguindo rigorosamente as seis etapas aqui descritas, a fim de testar sua viabilidade prática e contribuir com uma abordagem estruturada para a gestão de recursos no desenvolvimento de produtos.

4 APLICAÇÃO

Neste capítulo, inicialmente é apresentado o mapeamento do processo de desenvolvimento de produto, destacando a etapa de alocação de equipes, que é o foco deste trabalho. Em seguida, descreve-se a coleta de dados necessários para a construção do modelo proposto. Após isso, detalha-se a aplicação das seis etapas do modelo proposto no capítulo 3. Por fim, são discutidos os resultados da otimização da alocação das tarefas às equipes e suas implicações no processo de desenvolvimento de produto.

4.1 Descrição do processo

O processo de desenvolvimento de novos produtos é um conjunto de atividades que envolve a criação de um produto desde a ideia até o produto chegar ao cliente final. Desta forma para uma melhor compreensão do ambiente de aplicação do trabalho foi mapeado as principais atividades com interação direta com a áreas de engenharia, onde a atividade de ranqueamento e alocação ocorre, Figura 10.

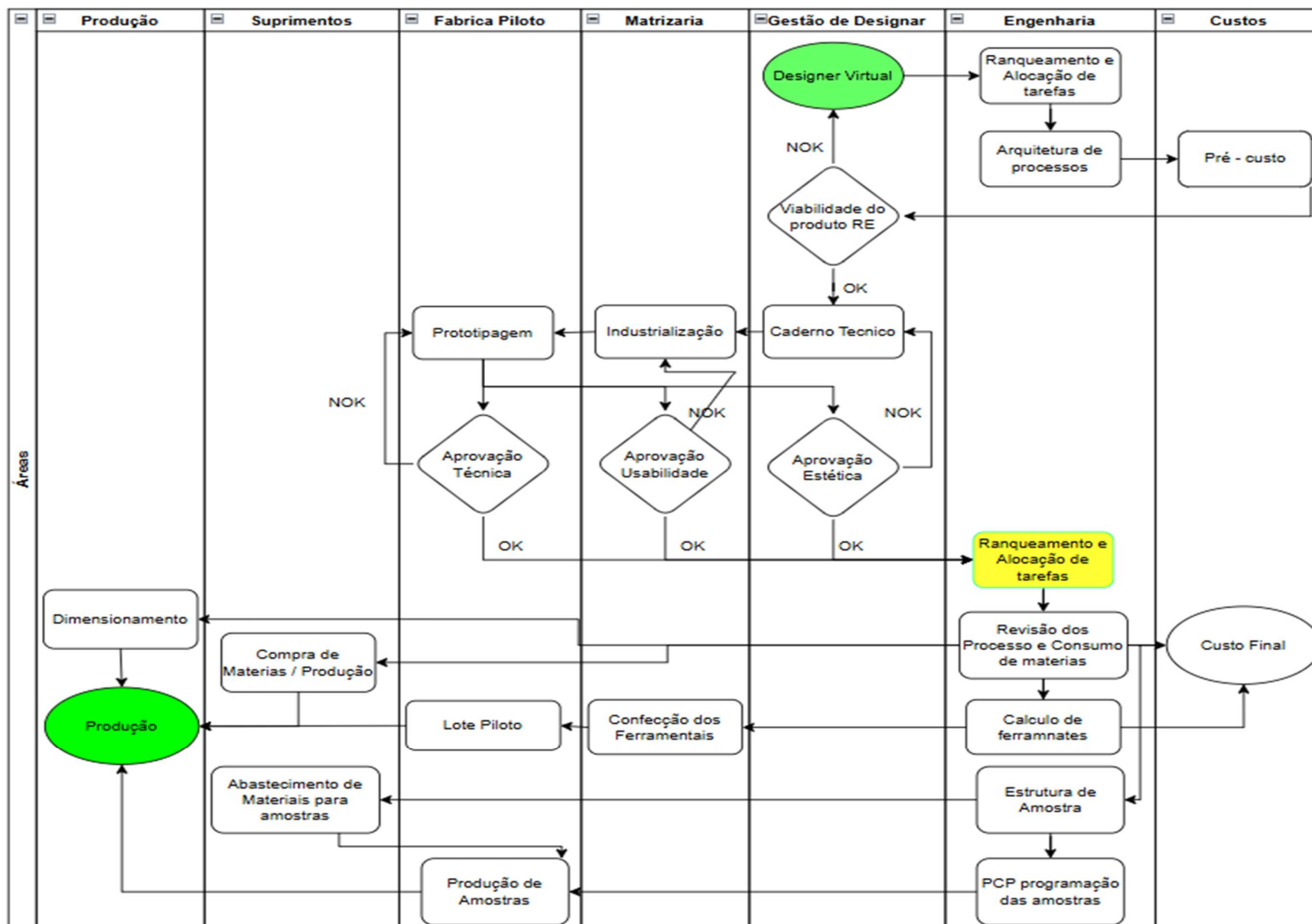


Figura 10. Fluxograma do desenvolvimento de Produto.

A atividade de mapear foi executada pelo próprio autor devido a interação já com o ambiente, o fluxo inicia pelo processo do desenho virtual, esta etapa entrega a primeira ideia do produto, seus traços, detalhes estéticos e descrições sobre tipo de materiais desejados no produto, após esta entrega acontece a primeira etapa de ranqueamento e alocação de tarefas a um grupo de pessoas. Este grupo estrutura a primeira arquitetura de processo dos produtos fazendo conexões com os times técnicos, gerando os primeiros padrões de produção, consumo de matérias primas, dimensionamento de pessoas e ferramentas. O processo seguinte recebe os dados para o pré-custo do produto, para que na sequência seja discutido em Reunião Estratégica (RE), onde se avalia a viabilidade do produto para o negócio. Aprovando o produto nesta etapa, inicia-se a prototipagem do produto, ferramentas, testes de materiais e técnicas produtivas. Novamente o produto passa por uma aprovação, estética, calce e técnica. Aprovado nesta etapa retorna para a atividade de ranqueamento e alocação das tarefas, onde propõe-se o estudo, devido ao grau de importância desta etapa para o negócio, é neste momento que o tomador de decisão realiza a complexa análise de identificar quais projetos devem ser priorizados devido ao grau de importância para o negócio. A entrega deste processo de Ranqueamento e alocação abastece a atividade de Revisão dos processos e consumo de materiais. O que justifica a escolha desta etapa para a abordagem do trabalho é a importância das informações geradas para o negócio abaixo destaca:

- Refinar a estrutura de processos de acordo com os dados coletados na etapa de prototipagem;
- Geração de dados reais para a produção das amostras;
- Consumo de materiais, que atende o MRP gerando a necessidade de compra da matéria prima para a produção;
- Produtividade de cada processo, para a análise do dimensionamento da produção;
- Dimensionamento de pessoas necessário para produzir a demanda prevista;
- Dimensionamento de ferramentas;
- Custo final e margem do produto.

Após a conclusão desta etapa inicia-se os processos de Produção das amostras, confecção das ferramentas da escala, testes de escala piloto dos ferramentais, abastecimento dos materiais e produção do produto. O objetivo deste mapeamento foi facilitar a compreensão do processo e onde o trabalho está sendo aplicado.

Na sequência será abordado o método proposto no capítulo 3, iniciando pela coleta dos dados junto a equipe que atua diretamente no processo, desta forma compreender os critérios que norteiam a análise de ranqueamento usando a hierárquica básica do método AHP, após a análise dos pesos para cada critério, seguindo para o ranqueamento dos produtos com a aplicação do modelo AHP-GAUSSIANO, na sequência a definição da capacidade de cada equipe, seguindo para a alocação das tarefas aplicando o problema das múltiplas mochilas e por fim a análise do aproveitamento de cada equipe.

4.2 Coleta dos dados

Com o propósito de entender o processo de ranqueamento e alocação das tarefas em um primeiro momento foi contatado a Analista de Engenharia responsável pelo processo, através de reunião sobre a aplicação do estudo no processo, neste momento identificou-se a necessidade de envolver um grupo maior de pessoas para complementar, sendo estas pessoas indicadas pela Analista responsável. Dentre as indicações, buscou-se por pessoas que interajam com o processo com intuito de compreender o processo de diferentes pontos de vista.

As pessoas selecionadas para esta conversas foram o Coordenador de Engenharia, a Supervisora de Gestão de projetos, o Supervisor do PCP, o Analista Líder de Projetos de melhorias e a Analista responsável pelo processo. Em uma agenda com os selecionados foi abordado os seguintes pontos:

- Qual a sua relação com a atividade;
- Quais as dificuldades e oportunidades no processo;
- Quais os critérios considerados no ranqueamento na etapa de Revisão.

Foi explorado cada ponto visando levantar informações para sustentar a aplicação deste trabalho e novas oportunidades de estudo, porém as oportunidades levantadas ficam como proposta de melhorias futuras.

Quanto a relação com a atividade, cada participante descreveu a sua interação com o processo, conforme Tabela 2 é possível entender o interesse e a relação de cada participante com a atividade.

Qual a sua relação com a atividade?	
Coordenador de Engenharia	Sou Gestor do Planejamento e da entrega das atividades de engenharia de processos, acompanhamento das rotinas de desenvolvimento dos produtos.
Supervisora de Gestão de Projetos	Gestão dos cronogramas de lançamentos, followup das entregas pendentes com as áreas industriais e sequenciamento de prioridades com plano mestre dos produtos
Supervisor do PCP	Gestão das entregas dos 3 estágios de desenvolvimento, planejamento e dimensionamento fabril da unidade de Farroupilha.
Analista de Engenharia	Planejamento, sequenciamento e dimensionamento das atividades das equipes de Manufatura da Engenharia.
Analista Líder de Projetos de melhorias	Líder de projetos de melhoria de performance e manutenção dos processo de Engenharia.

Tabela 2. Relação do cargo com a atividade.

O próximo ponto pautado foi as dificuldade e oportunidades do processo, descritas conforme Anexo 1.

Onde é possível observar pontos específicos como:

- Definição de Critérios;
- Precisão do tempo de execução das tarefas;
- Pessoas com níveis de conhecimento e habilidade diferentes;
- Sazonalidade da demanda;

Diante destes pontos, é possível comprovar que a definição de critérios é um dos problemas críticos para o processo, mas além conseguir mensurar estes critérios é o diferencial para o resultado da organização. Quanto aos demais pontos ficam como oportunidades de melhorias apontadas neste trabalho.

O último dos pontos explorado foi sobre os critérios que orientam as análises para o ranqueamento dos produtos, nesta etapa cada entrevistado trouxe a sua visão, isso é possível verificar na tabela 3.

Quais os critérios considerados no ranqueamento na etapa de Revisão?	
Coordenador de Engenharia	Para Sequenciar os produtos leva-se em conta o mês de lançamento , se ele compõem algum tipo de evento ou feira, entrega das amostras , criticidade de reposição de matéria prima , criticidade para confecção de ferramental , estratégia de produção (antecipação, estoque estratégico, equalização de equipamento gargalo).
Supervisora de Gestão de Projetos	Mês de Lançamento , entrega especial (feira ou eventos), amostras , criticidade de matéria prima e confecção de ferramental , processo gargalo.
Supervisor do PCP	Deadline de entrega das amostras , mês de lançamento , complexidade da entrada de MP e tipo do desenvolvimento .
Analista de Engenharia	Mês de lançamento , se possui alguma entrega especial (feira ou evento), entrega das amostras , criticidade de reposição de matéria prima e confecção de ferramental , processos gargalo/críticos, previsão de venda .
Analista Líder de Projetos de melhorias	Data de entrega das Amostras , Mês de lançamento , deadlines , previsão de vendas , gargalos de produção , feiras/eventos, etc.

Tabela 3. Relação dos cargos X Critérios.

Neste quadro um detalhe importante para o andamento do trabalho foi a sequência que cada um trouxe dos critérios, mostrando que para cada pessoa existe uma interpretação diferente de quais são os critérios e como cada um pesa na hora da decisão de qual produto sequenciar. Sendo assim é possível comprovar o que (BELTON; GEAR, 1983; SANTOS; SANTOS; SOARES, 2022) descrevem, que com o aumento no número de critérios, se torna inviável e dispendioso arbitrar os pesos, além de se estar mais propenso aos erros, já que é uma tarefa manual e que depende da capacidade humana. Com isso, também não é necessário esforço humano para construção da matriz de critérios (SANTOS, COSTA, GOMES, 2021).

Desta forma é finalizada a etapa da coleta das informações sobre o processo, as pessoas envolvidas, suas interações, visões quanto a oportunidade e quais são os critérios que norteiam as decisões do dia a dia na visão de cada pessoas, no próximo passo um maior detalhamento na definição dos critérios é necessário para organizar o processo, assim segue a definição dos critérios.

4.3 Aplicação do Modelo

Esta etapa apresenta a aplicação prática do modelo proposto com base em dados reais do setor, validando sua viabilidade por meio de uma Prova de Conceito (PoC). A aplicação foi conduzida em seis etapas: (1) definição dos critérios utilizados na priorização dos produtos; (2) definição dos pesos desses critérios conforme práticas já adotadas pela organização; (3) ranqueamento dos produtos com o uso do método AHP-Gaussiano; (4) determinação da capacidade produtiva de cada equipe envolvida nos processos; (5) alocação das tarefas às equipes utilizando o modelo matemático das múltiplas mochilas; e (6) análise da alocação resultante, considerando a eficiência no uso dos recursos disponíveis. Essas etapas permitiram estruturar e testar o modelo em um ambiente real, demonstrando seu potencial de apoio à tomada de decisão no planejamento de desenvolvimento de produtos.

4.3.1 Definição dos Critérios

Conforme tabela 4, é possível identificar que para os entrevistados existem critérios comum entre seus apontamentos, partindo desta constatação uma nova conversa foi necessária, para esta abordou-se o que Costa (2002) descreveu como construção de hierarquia, estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo. Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica, sendo que no primeiro nível da hierarquia corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro as alternativas.

Desta forma foi possível gerar um consentimento entre os membros quanto os critérios que de fato interferem nesta etapa do processo, sendo possível identificá-los na estrutura apresentada da Figura 11.

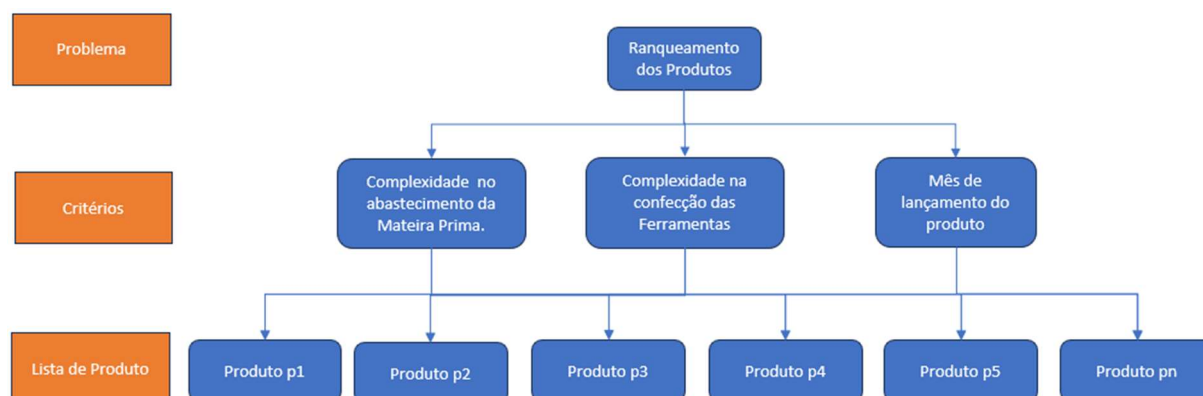


Figura 11. Estrutura Hierárquica do problema.

Na análise feita nos dados coletados foi possível estabelecer os critérios que norteiam as decisões nesta etapa do processo de desenvolvimento de produto, sendo: a) Complexidade no abastecimento de Matéria Prima, que está relacionada ao tempo em que determinado material leva para ser abastecido na produção, b) Complexidade na confecção das Ferramentas, este critério está relacionado a complexidade na confecção das ferramentas necessárias para a produção do produto e c) Mês de lançamento do Produto, este critério está relacionado ao tempo em que resta para o lançamento do produto no mercado. No terceiro nível temos os produtos, representado pelo produto $p1$ ao pn , indicando que pode haver um número infinito de produtos nesta análise.

Com os critérios estabelecido o próximo passo foi compreender a relação dos valores que auxiliarão na construção da hierarquia dos produtos, na próxima etapa será abordado a definição e estruturação destes valores.

4.3.2 Definição dos Pesos

Com os critérios estabelecidos buscou-se compreender como cada critério contribui na relação do peso para cada produto. A primeira análise está na compreensão de cada critério, assim segue:

a) Complexidade no abastecimento da Matéria prima:

Toda a matéria prima utilizada na produção de um produto tem um prazo de abastecimento que varia conforme sua particularidade como logística, processamento etc. Quanto maior o tempo de abastecimento destes itens maior será o valor a ser considerado para a matéria prima, mantendo a classificação já utilizada na análise feita pelo Analista. Tabela 4. Este item é considerado um critério de custo, neste caso quanto menor melhor.

Nível	Tempo para o abastecimento	Peso
MP2	2 Semanas	2
MP3	3 Semanas	3
MP4	4 Semanas	4
MP5	5 Semanas	5

Tabela 4. Escala de valores para a complexidade da Matéria Prima

Os níveis estão relacionados a quantidade de semanas que a matéria prima leva para ser abastecida na fábrica, para o trabalho foi adotado o mesmo valor para os pesos. Tomando o nível MP2 como exemplo o peso para este nível é: $MP2 = 2$. Assim segue para os demais níveis da matéria prima.

b) Complexidade na confecção das ferramentas:

Todo o produto quando é incluído no fluxo do desenvolvimento ele é classificado em função do tipo de desenvolvimento, podendo ser uma Cartela de Cor (CC), neste caso quando já existe um produto em linha e será apenas incluído uma nova cor. Renovação de Produto (RP), neste caso o produto usa uma base de um produto já em linha e será feito um novo componente, um cabedal, enfeite etc. Novo Desenvolvimento (ND), neste caso o produto tem todos os seus componentes novos, esta relação pode ser observada na Tabela 5. Este item é considerado um critério de custo, neste caso quanto menor melhor.

Nível	Complexidade na confecção das ferramentas	Peso
Cartela de Cor (CC)	Ferramentas existentes	1
Renovação de produto (RP)	Até 50% das ferramentas novas	2
Novo Desenvolvimento (ND)	Todas as ferramentas novas	3

Tabela 5. Escala de valores para a complexidade da Ferramentaria.

Para este critério os pesos estão relacionados ao nível de quantidade de ferramentas novas para o produto, sendo Peso 1 para Cartela de Cor (CC), Peso 2 para Renovação de Produto (RP) e Peso 3 para Novo Desenvolvimento (ND). Quanto maior a complexidade na confecção das ferramentas maior o seu peso e consequentemente mais crítico para o desenvolvimento é este produto.

c) Mês de Lançamento do Produto:

O mês de lançamento é quem reflete o cronograma de desenvolvimento, todas as principais entregas do produto estão atreladas a esta data, visto que este é o momento em que o produto deve chegar na loja para ficar disponível ao consumidor. Seu valor é estabelecido subtraindo a data em que o produto deve ser lançado pela data que a tarefa ficou apta a ser executada, o que expressa quantos dias tem disponível entre a atividade e o lançamento do produto. Quanto maior a quantidade de dias menos crítico é o produto para o desenvolvimento. Este peso será medido por quantidade de dias. Tabela 6 como exemplo.

Produto	Data Apto	Lançamento	Dias Disponíveis
10328	16/04/2025	22/05/2025	36
29570	18/04/2025	01/06/2025	44
47012	20/04/2025	25/05/2025	35
58247	22/04/2025	28/05/2025	36
63981	25/04/2025	30/05/2025	35

Tabela 6. Dias disponíveis para o Lançamento

Assim cada produto apresenta um valor de dias disponíveis. Este item é considerado um critério de benefício, neste caso quanto maior melhor.

Com os critérios estabelecidos é possível passar para a próxima etapa do modelo proposto.

4.3.3 Ranqueamento dos produtos

Com base nos critérios definidos e seus respectivos pesos, é possível aplicar o método AHP-Gaussiano para ranquear os produtos. A técnica permite calcular os escores de cada produto de forma automatizada, utilizando normalização estatística e função densidade da distribuição normal, o que garante maior consistência e reduz a subjetividade na priorização. Para esta etapa segue o proposto por Santos, Costa e Gomes (2022), as sete etapas do AHP-Gaussiano conforme descrito no item 2.2.4.

Todas o desenvolvimento da POC foi estruturado usando o software Microsoft Excel®, em VBA, devido a facilidade na linguagem e domínio do software.

4.3.3.1 Estabelecer a matriz de decisão

A primeira etapa é estabelecer a matriz de decisão, onde é relacionado a lista de produtos, os critérios conforme estabelecidos anteriormente e seus respectivos pesos. A visualização da matriz foi limitada para apenas alguns produtos para facilitar a visualização no trabalho, porém que a matriz está apta para receber até 150 produtos. Neste momento é preciso definir quais os critérios monotônicos de custo, ou seja, que expressam impacto negativo, de modo que é preferível minimizar seus valores. Então, inverte-se os valores desses critérios, com

a divisão de (1) sobre o valor do critério, para que todos eles tenham a mesma tendência positiva de crescimento. Neste caso o critério “mês de lançamento” foi considerado como critério de custo, tendo seus valores invertidos, visto que quanto maior a quantidade de dias menor é a prioridade do produto. Abaixo é possível visualizar a matriz, conforme Figura 12.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J
2				Rankeamento e alocação das tarefas					
3	 Atualizar Informação								
6									
7	Item	Produtos	Complexidade de ferramentas	Peso	Mês Lançamento	Peso	Complexidade da Materia Prima	Peso	
8									
9	1	83840	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP2	2	
10	2	34482	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP5	5	
11	3	26603G	1CC	1	01/04/2025	-0,04	MP5	5	
12	4	27011F	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP4	4	
13	5	23196A	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP5	5	
14	6	19224	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP5	5	
15	7	23311	2RP	2	01/05/2025	0,50	MP2	2	
16	8	23302	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP2	2	
17	9	34469	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP3	3	
18	10	83866	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP2	2	
19	11	83519C	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP5	5	
20	12	83772	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	
21	13	11956F	1CC	1	01/06/2025	0,03	MP3	3	
22	14	19225	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	
23	15	19226	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP5	5	
24	16	23272	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP5	5	
25	17	37437	3ND	3	01/07/2025	0,02	MP2	2	
26	18	37622	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP2	2	
27	19	35758B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	
28	20	35759B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	
29	21	35950A	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	
30	22	32944C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP2	2	
31	23	32803D	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	
32	24	12406C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP4	4	
33	25	33520D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
34	26	33521E	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
35	27	33522D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
36	28	35965A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
37	29	35966A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
38	30	35967A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
39	31	36240A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	
40	32	36244A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	
41	33	35783B	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
42	34	35785C	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	
43	35	34486	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	
44	36	82898G	2RP	2	01/11/2025	0,01	MP3	3	

Figura 12. Matriz de decisão.

Nesta figura apresenta-se a lista de produtos, coluna “C”, os respectivos critérios com suas importâncias colunas “E” a “J”, conforme descrito 4.3.2. Para o critério Mês de Lançamento, é possível identificar que algumas importâncias apresentam valor negativo, isso é o resultado apresentado quando o produto está atrasado com relação à data que deveria ser executada a atividade para manter o projeto dentro de um cronograma de desenvolvimento.

O próximo passo é necessário fazer a normalização dos pesos, para que os critérios possam ser equiparados na mesma ordem de grandeza. A normalização consiste na divisão do peso de cada critério pela soma total dos pesos, sendo que a soma dos valores normalizados para cada critério de ser igual a 1. Figura 13.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2				Ranqueamento e alocação das tarefas								
6			Atualizar Informação	Normalizado								
7		Item	Produtos	Complexidade de ferramentas	Peso	Mês Lançamento	Peso	Complexidade da Materia Prima	Peso	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima
9	1	83840	3ND	3	01/04/2025	-0,03	MP2	2	0,0484	0,0582	0,0145	
10	2	34482	3ND	3	01/04/2025	-0,03	MP5	5	0,0484	0,0582	0,0362	
11	3	26603G	1CC	1	01/04/2025	-0,03	MP5	5	0,0161	0,0582	0,0362	
12	4	27011F	2RP	2	01/04/2025	-0,03	MP4	4	0,0323	0,0582	0,0290	
13	5	23196A	2RP	2	01/04/2025	-0,03	MP5	5	0,0323	0,0582	0,0362	
14	6	19224	3ND	3	01/05/2025	-0,20	MP5	5	0,0484	0,4075	0,0362	
15	7	23311	2RP	2	01/05/2025	-0,20	MP2	2	0,0323	0,4075	0,0145	
16	8	23302	3ND	3	01/05/2025	-0,20	MP2	2	0,0484	0,4075	0,0145	
17	9	34469	3ND	3	01/05/2025	-0,20	MP3	3	0,0484	0,4075	0,0217	
18	10	83866	2RP	2	01/06/2025	0,04	MP2	2	0,0323	-0,0784	0,0145	
19	11	83519C	2RP	2	01/06/2025	0,04	MP5	5	0,0323	-0,0784	0,0362	
20	12	83772	3ND	3	01/06/2025	0,04	MP2	2	0,0484	-0,0784	0,0145	
21	13	11956F	1CC	1	01/06/2025	0,04	MP3	3	0,0161	-0,0784	0,0217	
22	14	19225	3ND	3	01/06/2025	0,04	MP2	2	0,0484	-0,0784	0,0145	
23	15	19226	3ND	3	01/06/2025	0,04	MP5	5	0,0484	-0,0784	0,0362	
24	16	23272	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP5	5	0,0323	-0,0364	0,0362	
25	17	37437	3ND	3	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0484	-0,0364	0,0145	
26	18	37622	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0323	-0,0364	0,0145	
27	19	35758B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0234	0,0362	
28	20	35759B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0234	0,0362	
29	21	35950A	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	-0,0234	0,0217	
30	22	32944C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP2	2	0,0161	-0,0234	0,0145	
31	23	32803D	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	-0,0234	0,0217	
32	24	12406C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP4	4	0,0161	-0,0234	0,0290	
33	25	33520D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
34	26	33521E	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
35	27	33522D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
36	28	35965A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
37	29	35966A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
38	30	35967A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
39	31	36240A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	-0,0173	0,0290	
40	32	36244A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	-0,0173	0,0290	
41	33	35783B	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
42	34	35785C	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	-0,0173	0,0290	
43	35	34486	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	-0,0173	0,0362	
44	36	82898G	2RP	2	01/11/2025	0,01	MP3	3	0,0323	-0,0114	0,0217	
163									Soma=	1	1	1

Figura 13. Matriz com critérios Normalizados

Com os valores normalizados o próximo passo consiste no cálculo da média dos critérios.

4.3.3.2 Calcular a Média das alternativas de cada critério

Com a Matriz normalidade é possível calcular a média para cada critério de acordo com o descrito no item 3.3.3 Passo 2.

Com a aplicação encontra-se a média, Figura 14.

	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima
Média	0,0278	0,0278	0,0278

Figura 14. Média dos critérios.

O próximo passo é calcular o desvio para cada critério.

4.3.3.3 Calcular o desvio padrão das alternativas de cada critério

Aplicando conforme item 3.3.3 Passo 3, o resultado apresenta-se na Figura 15.

	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima
Média	0,0278	0,0278	0,0278
Desvio Padrão	0,0137	0,0718	0,0092

Figura 15. Desvio Padrão dos critérios.

Seguindo na metodologia o próximo passo é encontrar o Fator Gaussiano conforme segue.

4.3.3.4 Calcular o fator Gaussiano de cada critério

Conforme descrito no item 3.3.3 Passo 4, chega-se ao Fator Gaussiano. Figura 16.

	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima
Média	0,0278	0,0278	0,0278
Desvio Padrão	0,0137	0,0718	0,0092
Fator Gaussiano	0,4929	2,5832	0,3329

Figura 16. Fator Gaussiano.

A próxima etapa do método é a normalização dos valores encontrados no Fator Gaussiano. A normalização do fator gaussiano é obtida através da divisão do fator gaussiano de cada critério pela soma do fator gaussianos de todos os critérios. Figura 17.

	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima
Média	0,0278	0,0278	0,0278
Desvio Padrão	0,0137	0,0718	0,0092
Fator Gaussiano	0,4929	2,5832	0,3329
Fator Gaussiano Normalizado	0,1446	0,7578	0,0977

Figura 17. Fator gaussiano normalizado.

O valor de cada critério indica quanto cada critério contribuirá no valor total de cada produto. Pode-se observar que o fator Mês de Lançamento neste caso é o fator com a maior contribuição no resultado. A Complexidade das Ferramentas apresenta um valor bem inferior ao Mês de Lançamento e por último a fator Matéria Prima. Um ponto muito importante nesta análise é de que este resultado pode variar dependente do momento em que o setor estiver

quanto as condições de entregas dos produtos em desenvolvimento. A próxima etapa é aplicar o Fator Gaussiano na matriz de decisão normalizada.

4.3.3.5 Multiplicar o fator Gaussiano pela matriz de decisão

Com o Fator Gaussiano calculado é necessário multiplicar o valor de cada critério pelo valor de contribuição de cada produto, desta forma é possível verificar o valor que cada critério vai contribuir no valor final do produto, colunas “N,O e P”. Figura 18.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
2	Rankeamento e alocação das tarefas														
3															
6	 Atualizar Informação								Normalizado			Gaussiano			
7	Item	Produtos	Complexidade de ferramentas	Peso	Mês Lançamento	Peso	Complexidade da Materia Prima	Peso	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	
8	1	83840	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP2	2	0,0484	-0,0162	0,0145	0,0070	-0,0123	0,0014	
10	2	34482	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0484	-0,0162	0,0362	0,0070	-0,0123	0,0035	
11	3	26603G	1CC	1	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0161	-0,0162	0,0362	0,0023	-0,0123	0,0035	
12	4	27011F	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP4	4	0,0323	-0,0162	0,0290	0,0047	-0,0123	0,0028	
13	5	23196A	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0323	-0,0162	0,0362	0,0047	-0,0123	0,0035	
14	6	19224	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP5	5	0,0484	0,2264	0,0362	0,0070	0,1716	0,0035	
15	7	23311	2RP	2	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0323	0,2264	0,0145	0,0047	0,1716	0,0014	
16	8	23302	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0484	0,2264	0,0145	0,0070	0,1716	0,0014	
17	9	34469	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP3	3	0,0484	0,2264	0,0217	0,0070	0,1716	0,0021	
18	10	83866	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0323	0,0137	0,0145	0,0047	0,0104	0,0014	
19	11	83519C	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0323	0,0137	0,0362	0,0047	0,0104	0,0035	
20	12	83772	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	
21	13	11956F	1CC	1	01/06/2025	0,03	MP3	3	0,0161	0,0137	0,0217	0,0023	0,0104	0,0021	
22	14	19225	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	
23	15	19226	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0484	0,0137	0,0362	0,0070	0,0104	0,0035	
24	16	23272	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP5	5	0,0323	0,0072	0,0362	0,0047	0,0054	0,0035	
25	17	37437	3ND	3	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0484	0,0072	0,0145	0,0070	0,0054	0,0014	
26	18	37622	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0323	0,0072	0,0145	0,0047	0,0054	0,0014	
27	19	35758B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	
28	20	35759B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	
29	21	35950A	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	
30	22	32944C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP2	2	0,0161	0,0048	0,0145	0,0023	0,0037	0,0014	
31	23	32803D	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	
32	24	12406C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0048	0,0290	0,0023	0,0037	0,0028	
33	25	33520D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
34	26	33521E	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
35	27	33522D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
36	28	35965A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
37	29	35966A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
38	30	35967A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
39	31	36240A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	
40	32	36244A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	
41	33	35783B	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
42	34	35785C	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	
43	35	34486	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	
44	36	82898G	2RP	2	01/11/2025	0,01	MP3	3	0,0323	0,0024	0,0217	0,0047	0,0018	0,0021	

Figura 18. Matriz aplicado fator gaussiano normalizado.

Com isso, chega-se à última etapa do AHP-GAUSSINO, obter a Prioridade Global dos produtos. A prioridade global é o valor resultante da soma das Colunas “N,O e P”, encontrando assim a importância final de cada produto. Figura 19, coluna Q.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
2	Ranqueamento e alocação das tarefas															
3																
6									Normalizado			Gaussiano				
7	Atualizar	Informação														
8	Item	Produtos	Complexidade de ferramentas	Peso	Mês Lançamento	Peso	Complexidade da Materia Prima	Peso	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	Prioridade Global	
9	1	83840	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP2	2	0,0484	-0,0162	0,0145	0,0070	-0,0123	0,0014	-0,004	
10	2	34482	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0484	-0,0162	0,0362	0,0070	-0,0123	0,0035	-0,002	
11	3	26603G	1CC	1	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0161	-0,0162	0,0362	0,0023	-0,0123	0,0035	-0,006	
12	4	27011F	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP4	4	0,0323	-0,0162	0,0290	0,0047	-0,0123	0,0028	-0,005	
13	5	23196A	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0323	-0,0162	0,0362	0,0047	-0,0123	0,0035	-0,004	
14	6	19224	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP5	5	0,0484	0,2264	0,0362	0,0070	0,1716	0,0035	0,182	
15	7	23311	2RP	2	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0323	0,2264	0,0145	0,0047	0,1716	0,0014	0,178	
16	8	23302	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0484	0,2264	0,0145	0,0070	0,1716	0,0014	0,180	
17	9	34469	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP3	3	0,0484	0,2264	0,0217	0,0070	0,1716	0,0021	0,181	
18	10	83866	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0323	0,0137	0,0145	0,0047	0,0104	0,0014	0,016	
19	11	83519C	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0323	0,0137	0,0362	0,0047	0,0104	0,0035	0,019	
20	12	83772	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	0,019	
21	13	11956F	1CC	1	01/06/2025	0,03	MP3	3	0,0161	0,0137	0,0217	0,0023	0,0104	0,0021	0,015	
22	14	19225	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	0,019	
23	15	19226	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0484	0,0137	0,0362	0,0070	0,0104	0,0035	0,021	
24	16	23272	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP5	5	0,0323	0,0072	0,0362	0,0047	0,0054	0,0035	0,014	
25	17	37437	3ND	3	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0484	0,0072	0,0145	0,0070	0,0054	0,0014	0,014	
26	18	37622	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0323	0,0072	0,0145	0,0047	0,0054	0,0014	0,012	
27	19	35758B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	0,010	
28	20	35759B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	0,010	
29	21	35950A	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	0,008	
30	22	32944C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP2	2	0,0161	0,0048	0,0145	0,0023	0,0037	0,0014	0,007	
31	23	32803D	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	0,008	
32	24	12406C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0048	0,0290	0,0023	0,0037	0,0028	0,009	
33	25	33520D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
34	26	33521E	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
35	27	33522D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
36	28	35965A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
37	29	35966A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
38	30	35967A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
39	31	36240A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	
40	32	36244A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	
41	33	35783B	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
42	34	35785C	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	
43	35	34486	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	
44	36	82898G	2RP	2	01/11/2025	0,01	MP3	3	0,0323	0,0024	0,0217	0,0047	0,0018	0,0021	0,009	

Figura 19. Prioridade global dos produtos

Com a prioridade global é possível passar para última etapa, o ranqueamento dos produtos.

4.3.3.6 Obter o ranqueamento dos produtos

Para obter o ranqueamento dos produtos, aplica-se a fórmula do Excel =ORDEM(Intervalo de análise). Com esta aplicação é possível encontra o ranque de prioridades de execução dos produtos aptos, conforme coluna "R" *RANQUE*, Figura 20. Com esta ordenação é possível identificar qual produto deve ser priorizado pela equipe.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2	Ranqueamento e alocação das tarefas																
3																	
6	Atualizar Informação								Normalizado			Gaussiano					
7	Item	Produtos	Complexidade de ferramentas	Peso	Mês Lançamento	Peso	Complexidade da Materia Prima	Peso	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	Ferramentaria	Lançamento	Materia Prima	Prioridade Global	RANQUE	
9	1	83840	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP2	2	0,0484	-0,0162	0,0145	0,0070	-0,0123	0,0014	-0,004	33	
10	2	34482	3ND	3	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0484	-0,0162	0,0362	0,0070	-0,0123	0,0035	-0,002	32	
11	3	26603G	1CC	1	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0161	-0,0162	0,0362	0,0023	-0,0123	0,0035	-0,006	36	
12	4	27011F	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP4	4	0,0323	-0,0162	0,0290	0,0047	-0,0123	0,0028	-0,005	35	
13	5	23196A	2RP	2	01/04/2025	-0,04	MP5	5	0,0323	-0,0162	0,0362	0,0047	-0,0123	0,0035	-0,004	34	
14	6	19224	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP5	5	0,0484	0,2264	0,0362	0,0070	0,1716	0,0035	0,182	1	
15	7	23311	2RP	2	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0323	0,2264	0,0145	0,0047	0,1716	0,0014	0,178	4	
16	8	23302	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP2	2	0,0484	0,2264	0,0145	0,0070	0,1716	0,0014	0,180	3	
17	9	34469	3ND	3	01/05/2025	0,50	MP3	3	0,0484	0,2264	0,0217	0,0070	0,1716	0,0021	0,181	2	
18	10	83866	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0323	0,0137	0,0145	0,0047	0,0104	0,0014	0,016	9	
19	11	83519C	2RP	2	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0323	0,0137	0,0362	0,0047	0,0104	0,0035	0,019	8	
20	12	83772	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	0,019	6	
21	13	11956F	1CC	1	01/06/2025	0,03	MP3	3	0,0161	0,0137	0,0217	0,0023	0,0104	0,0021	0,015	10	
22	14	19225	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP2	2	0,0484	0,0137	0,0145	0,0070	0,0104	0,0014	0,019	6	
23	15	19226	3ND	3	01/06/2025	0,03	MP5	5	0,0484	0,0137	0,0362	0,0070	0,0104	0,0035	0,021	5	
24	16	23272	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP5	5	0,0323	0,0072	0,0362	0,0047	0,0054	0,0035	0,014	12	
25	17	37437	3ND	3	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0484	0,0072	0,0145	0,0070	0,0054	0,0014	0,014	11	
26	18	37622	2RP	2	01/07/2025	0,02	MP2	2	0,0323	0,0072	0,0145	0,0047	0,0054	0,0014	0,012	13	
27	19	35758B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	0,010	14	
28	20	35759B	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0048	0,0362	0,0023	0,0037	0,0035	0,010	14	
29	21	35950A	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	0,008	26	
30	22	32944C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP2	2	0,0161	0,0048	0,0145	0,0023	0,0037	0,0014	0,007	31	
31	23	32803D	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP3	3	0,0161	0,0048	0,0217	0,0023	0,0037	0,0021	0,008	26	
32	24	12406C	1CC	1	01/08/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0048	0,0290	0,0023	0,0037	0,0028	0,009	16	
33	25	33520D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
34	26	33521E	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
35	27	33522D	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
36	28	35965A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
37	29	35966A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
38	30	35967A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
39	31	36240A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	28	
40	32	36244A	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	28	
41	33	35783B	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
42	34	35785C	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP4	4	0,0161	0,0036	0,0290	0,0023	0,0027	0,0028	0,008	28	
43	35	34486	1CC	1	01/09/2025	0,01	MP5	5	0,0161	0,0036	0,0362	0,0023	0,0027	0,0035	0,009	18	
44	36	82898G	2RP	2	01/11/2025	0,01	MP3	3	0,0323	0,0024	0,0217	0,0047	0,0018	0,0021	0,009	17	

Figura 20. Ranque dos produtos.

Assim finaliza-se a aplicação das sete etapas do método AHP-GAUSSIANO e consequentemente a finalização da terceira etapa do método proposto a este trabalho. Na sequência, será abordada a definição da capacidade de cada processo.

4.4 Definições das capacidades de cada processo

Para definir a capacidade de cada processo, houve o envolvimento do analista responsável pela atividade, como não há uma definição da quantidade de recurso fixado em função do formato de trabalho atual e a flutuação da demanda, visto que a mão de obra é compartilhada nas demais etapas do desenvolvimento. Neste caso, foi proposto o congelamento de um período equivalente a 2 dias. Considerando a disponibilidade de 7 horas diárias conforme gráfico abaixo.

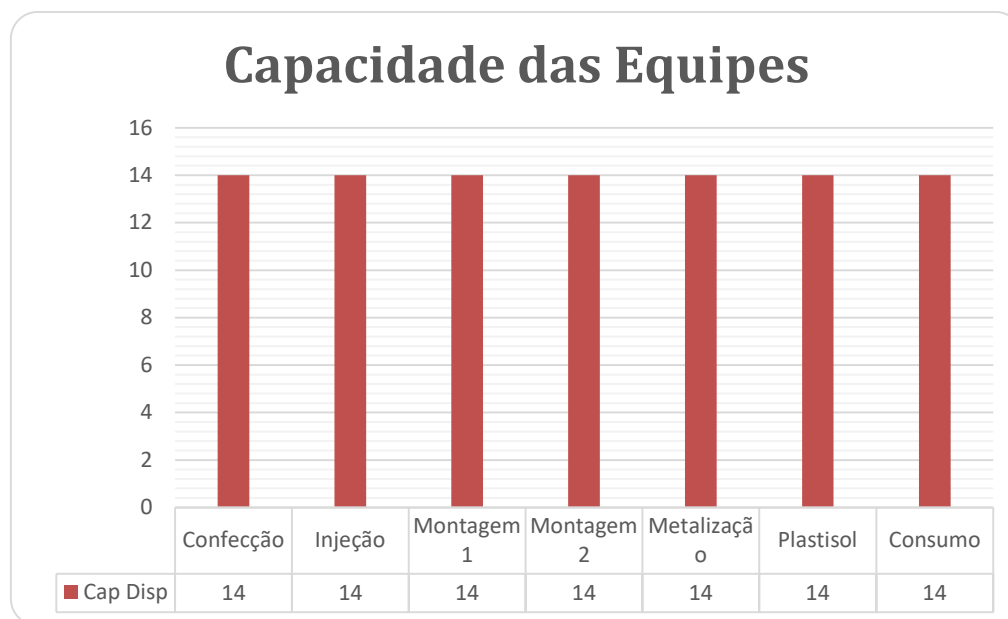


Figura 21. Gráfico Capacidade das Equipes.

No gráfico é possível verificar que cada processo tem sua capacidade disponível, o objetivo é tornar visível a disponibilidade do recurso no período de análise, pode-se observar que para o processo de montagem está visível montagem 1 e montagem 2, neste caso devido ao processo já apontar a necessidade de 2 pessoas, mas pode ser representado por um único bloco com o somatório das horas, neste caso a separação favorece a visão de disponibilidade por pessoa e distribuição das tarefas com maior equidade entre os recursos. Os demais processos têm apenas uma pessoa para a execução da atividade. Concluído esta etapa o próximo passo é gerar a alocação das tarefas dos produtos ranqueados a cada processo.

4.5 Alocação das tarefas

Para a alocação das tarefas, é proposto o Modelo Problema das Múltiplas Mochilas devido a necessidade de analisar vários blocos de entrega ao mesmo tempo com o objetivo de maximizar a capacidade de entrega total da etapa. Junto a matriz de decisão usada para o ranqueamento foi agregada a Matriz de Alocação conforme pode ser visto na Figura 22. A ferramenta foi estruturada para representar cada processo, Confecção, Injeção, Montagem, Metalização, Plastisol e Consumo. Cada processo tem uma coluna “Tempo” que apresenta o tempo da atividade em horas, outra coluna indicando o recurso “C1, I1, M1, M2”, para o processo de Montagem é considerado 2 pessoas, M1 e M2 devido ao histórico da necessidade de recurso.

 Grendene Ranqueamento e alocação das tarefas																						
Atualizar Informações				Confecção			Injeção			Montagem				Metalização			Plastisol			Consumo		
Item	Produtos	Prioridade Global	RANQUE	Tempo (Atividade)	C1		Tempo (Atividade)	I1		Tempo (Atividade)	M1	M2	Soma	Tempo (Atividade)	M1		Tempo (Atividade)	P1		Tempo (Atividade)	C1	
20	12432D	0,018	21	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
21	12348C	0,016	25	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
22	23272	0,019	17	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
23	26748F	0,019	17	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
24	83567B	0,019	17	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
25	37437	0,019	20	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
26	37622	0,015	26	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
27	36158A	0,014	29	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
28	32938B	0,012	45	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
29	32944C	0,011	50	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
30	32803D	0,012	45	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
31	35950A	0,012	45	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
32	35685B	0,011	50	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
33	35748A	0,012	45	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
34	35758B	0,014	29	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
35	35759B	0,014	29	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
36	12406C	0,013	40	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
37	34486	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
38	35965A	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
39	35966A	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
40	35967A	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
41	35783B	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
42	35785C	0,012	42	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
43	33520D	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
44	33521E	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
45	33522D	0,013	32	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
46	36240A	0,012	42	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
47	36244A	0,012	42	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
48	83772	0,015	28	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
49	82898G	0,013	41	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
50	83846	0,015	27	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
51	83859	0,012	49	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	0	-	-	0	-
				0,0			0,0			Cap Usada	0	0			0		0			0		
				35			35			Cap Disp	35	35			35		35			35		
				0			0						0		0		0			0		
				Valor Total			Valor Total						Valor Total				Valor Total			Valor Total		
																				Máx=	0	

Figura 22. Matriz de alocação.

A matriz de decisão binária 0 - 1, tem por objetivo classificar a tarefa do produto, se 0 indica que a tarefa não foi alocada ao executor, se 1 indica que a tarefa foi alocada para o executor. Para resolver este problema de maximização foi utilizado o Open Solver, suplemento do software Microsoft Excel®. Após a aplicação chega-se ao resultado conforme Figura 23.

	Produtos	Confeção	Injeção	Montagem		Metalização	Plastisol	Consumo
		C1	I1	M1	M2	M1	P1	C1
1	83840	0	0	0	0	1	0	0
2	27395	0	0	0	0	1	0	0
3	34482	0	0	0	1	0	0	1
4	12527	0	1	0	0	0	0	0
5	23222 AC	0	1	0	1	0	0	0
6	23311	0	1	0	1	0	0	1
7	23307	0	1	0	0	0	0	0
8	35963A	1	1	1	0	0	0	1
9	34469	0	1	1	0	0	0	1
10	37830	0	1	0	0	0	0	0
11	83863	0	1	0	0	0	0	0
12	83864	0	1	0	0	0	0	0
13	83866	0	1	0	1	0	0	1
14	27390	0	1	0	0	0	0	0
15	19225	0	1	0	0	1	0	0
16	11956F	0	1	0	0	0	0	0
17	12432D	0	1	0	0	0	0	0
18	12348C	0	1	0	0	0	0	0
19	26748F	0	1	0	0	0	0	0
20	23272	0	1	0	0	0	0	1
21	83567B	0	1	0	0	0	0	0
22	37622	0	1	0	0	0	0	0
23	37437	0	1	0	0	0	0	0
24	36158A	0	1	0	0	0	0	0
25	35950A	0	1	0	0	0	0	0
26	35685B	0	1	0	0	0	0	0
27	35748A	0	1	0	0	0	0	0
28	35758B	0	1	0	0	1	0	0
29	35759B	0	1	0	0	1	0	0
30	32938B	0	1	0	0	0	0	0
31	32944C	0	1	0	0	0	0	0
32	32803D	0	1	0	0	0	0	0
33	12406C	0	1	0	0	0	0	0
34	33520D	0	1	1	0	0	0	1
35	33521E	0	1	1	0	0	0	1

Figura 23. Matriz binária.

Com o resultado de alocado igual a 1, não alocado igual 0, a informação já aparece na matriz de alocação, como pode ser visto no processo de Montagem, nas colunas M1 e M2 que representa os executores, se 1 indica que a tarefa daquele produto da respectiva linha está alocada a este executor e na coluna “Alocado” indica o tempo em horas que o executor tem para entregar a tarefa. O tempo de cada tarefa foi disponibilizado pela equipe de planejamento, que e usa estes valores para dimensionar as equipes. Na parte inferior na figura é possível

identificar a soma da quantidade de horas alocadas e a capacidade de cada processo. Para obter a maximização do resultado foi gerado o SOMAPRODUTO entre a coluna “Alocado” e “Prioridade Global” para cada processo, o resultado da soma destes valores é possível chegar à Maximização do resultado conforme célula **MAX**. Figura 24.

Quanto a alocação de tarefas, é possível verificar no processo de montagem a distribuição das tarefas de forma mais equalizada, onde cada executor recebe sua sequência de produtos a ser executada, dentro da sua capacidade, não permitindo a escolha aleatória.

Após a alocação das tarefas é possível gerar a análise do aproveitamento dos recursos disponíveis, explorado no item a seguir.

Ranqueamento e alocação das tarefas																											
		Atualizar Informação																									
			Confeção			Injeção			Montagem				Metalização			Plastisol			Consumo								
Item	Produtos	Prioridade Global	RANQUE	Tempo (Atividade)	C1	Alocado	Tempo (Atividade)	I1	Alocado	Tempo (Atividade)	M1	M2	Soma	Alocado	Tempo (Atividade)	M1	Alocado	Tempo (Atividade)	P1	Alocado	Tempo (Atividade)	C1	Alocado				
1	23263	0,030	4	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
2	19306	0,028	5	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	1	0	1	3,3	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
3	27422	0,033	1	-	0	-	-	0	-	3,3	0	1	1	3,3	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
4	27424	0,033	1	-	0	-	-	0	-	3,3	0	1	1	3,3	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
5	37766	0,028	5	-	0	-	-	0	-	3,3	0	1	1	3,3	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
6	37832	0,033	1	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	2,5	1	2,5	-	0	-	-	0	-	-			
7	37802	0,022	8	-	0	-	1,3	1	1,3	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-			
8	37858A	0,017	31	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
9	37838	0,019	23	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
10	38067	0,022	10	-	0	-	0,4	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	-	0	-			
11	74041	0,019	23	-	0	-	0,4	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	1,0	0	-	-	1,0	0	-			
12	83893A	0,014	39	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
13	34485	0,021	14	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	1	0	1	3,3	-	0	-	4,2	1	4,2	-	1,0	1	1,0			
14	27433	0,022	10	-	0	-	0,4	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	-	0	-			
15	27450A	0,018	28	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
16	23268 AC	0,025	7	-	0	-	1,3	1	1,3	7,0	1	0	1	7,0	-	0	-	-	0	-	-	1,5	1	1,5			
17	23283	0,019	23	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
18	12210E	0,016	38	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
19	10738AG	0,019	23	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
20	10808AF	0,022	10	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	1	0,5			
21	11768I	0,018	28	-	0	-	-	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
22	12454A	0,014	39	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
23	12448B	0,022	8	-	0	-	-	0	-	-	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
24	12507A	0,018	28	-	0	-	0,4	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
25	12468A	0,013	45	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
26	12268F	0,013	45	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
27	12214C	0,013	45	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
28	18954F	0,019	19	-	0	-	-	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
29	27357B	0,016	33	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
30	34486	0,016	33	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
31	35702B	0,013	45	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
32	35967A	0,016	33	-	0	-	-	0	-	2,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	-	0	-			
33	36121	0,020	16	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
34	36106A	0,013	45	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
35	83861	0,019	19	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
36	83862	0,019	19	-	0	-	0,4	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
37	83843A	0,016	33	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
38	83794	0,019	19	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
39	36261A	0,016	33	-	0	-	-	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
40	37847	0,020	16	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	0	0	0,0	1,3	1	1,3	1,0	1	1,0	-	1,0	1	1,0			
41	37849	0,020	16	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	0	0	0,0	2,5	1	2,5	-	0	-	-	1,5	0	-			
42	37486	0,021	13	-	0	-	1,3	1	1,3	3,3	0	1	1	3,3	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
44	27437	0,018	27	-	0	-	0,4	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
45	35762A	0,014	42	0,8	1	0,8	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
46	35781C	0,014	42	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	0,5	1	0,5	-	0	-	-	0,5	0	-			
48	36100A	0,014	42	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	0,5	0	-			
49	83858	0,014	41	-	0	-	0,4	0	-	1,0	0	0	0	0,0	-	0	-	8,5	1	8,5	-	1,5	0	-			
52	37800	0,016	32	-	0	-	1,3	0	-	3,3	0	0	0	0,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	0	-			
53	37898	0,020	15	-	0	-	1,3	1	1,3	1,0	0	1	1	1,0	-	0	-	-	0	-	-	1,0	1	1,0			
				0,8				13,8	Cap Usada			13,5	14				6,75				13,666667				14		
				14				14	Cap Disp			14	14				14				14				14		
				0,011427				0,295809							0,731334				0,162603				0,2289844				0,344705
				Valor Total				Valor Total							Valor Total				Valor Total				Valor Total				Valor Total
Máx= 1,775																											

Figura 24. Matriz de alocação preenchida.

4.6 Análise da alocação

Após a alocação das tarefas para as equipes, é possível analisar o quanto cada processo está ocupando do recurso disponível, Figura 25.

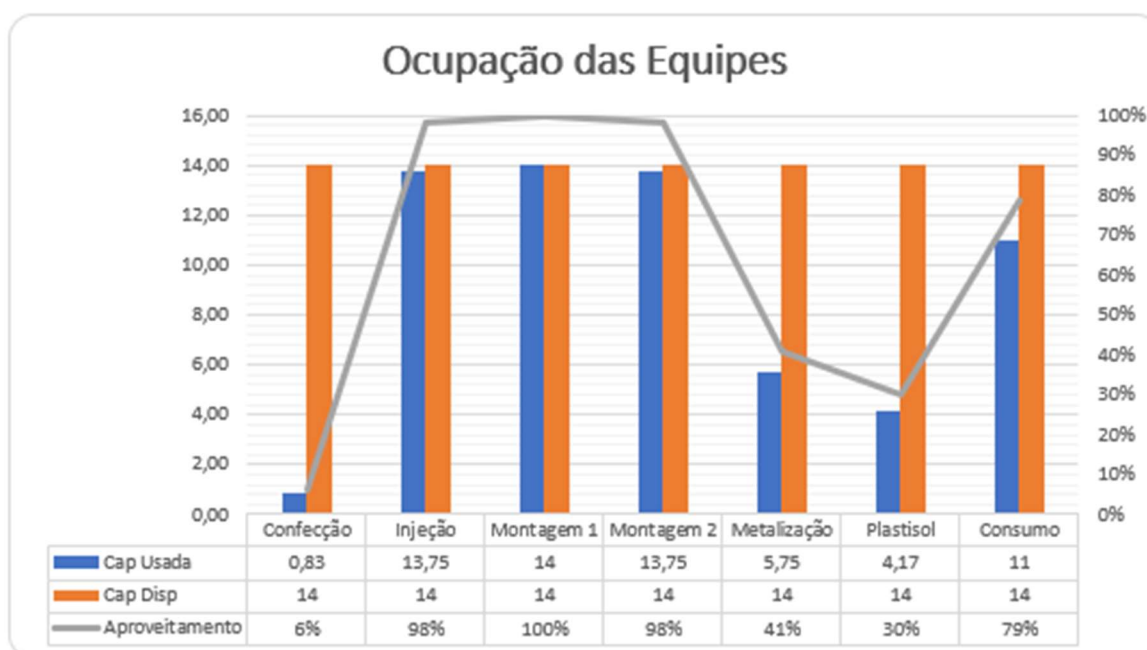


Figura 25. Gráfico de Ocupação das equipes.

Na figura é possível analisar a capacidade versus a necessidade de cada processo, todos os valores estão em horas. Com esta análise é possível gerar ação quanto a necessidade ou ociosidade do recurso e gerar ações rápidas para disponibilizar a ociosidade para outra etapa do desenvolvimento ou solicitar incremento de capacidade caso a demanda não possa ser postergada. Como exemplo o processo de Confecção, que apresenta uma baixa demanda e consequentemente sobra de capacidade, pode gerar ação de realocar o recurso em excedente para outra etapa do desenvolvimento, já os processos de Montagem e injeção apresentam uma demanda além da capacidade, que pode ser visto pela Figura 20, onde alguns produtos ficaram sem alocação, isso sinaliza para o analista a necessidade de incremento de capacidade para não gera atrasos nos cronograma de desenvolvimento de cada produto.

4.7 Discussão dos resultados

Neste tópico, discute-se a aplicação do modelo proposto para ranqueamento de produtos e alocação de tarefas, considerando os resultados obtidos na organização estudada e confrontando-os com o referencial teórico apresentado ao longo do trabalho. A proposta metodológica combinou o método *Analytic Hierarchy Process* – Gaussiano (AHP-Gaussiano), utilizado na definição das prioridades dos produtos, com o modelo das Múltiplas Mochilas (*Multiple Knapsack Problem* – MKP), aplicado à alocação de tarefas, compondo uma abordagem integrada de apoio à tomada de decisão no setor de desenvolvimento de produtos calçadista.

A escolha do método AHP-Gaussiano, conforme proposto por Santos, Costa e Gomes (2021), facilitou o processo de análise de ranqueamento, reduzindo a subjetividade inerente ao processo tradicional de ponderação dos critérios. Esta adaptação permitiu que os pesos fossem definidos a partir de uma análise de sensibilidade baseada em estatísticas descritivas, sem a necessidade de julgamentos paritários, conforme apontado por Belton e Gear (1983) como uma das principais limitações do AHP original.

A integração do modelo das múltiplas mochilas (Martello & Toth, 1990) foi adequada ao contexto de alocação de tarefas em um ambiente multiproduto, uma vez que cada equipe de trabalho foi tratada como uma "mochila" com capacidade limitada (tempo disponível), enquanto as tarefas foram consideradas como "itens" com peso (tempo de execução) e valor (prioridade do produto). Esta analogia é amplamente sustentada na literatura, sobretudo por autores como Bennett e Saaty (1993), que destacam a eficiência da combinação entre hierarquias analíticas e técnicas de otimização em problemas de alocação estratégica de recursos.

Tais achados dialogam diretamente com os trabalhos de Mavrotas et al. (2006), Chang e Lee (2012) e Ghasemzadeh et al. (1999), que também exploraram a integração de métodos multicritério com modelos de otimização para priorização e alocação de recursos. A originalidade do presente estudo, no entanto, reside na aplicação concreta em um ambiente industrial específico, com dados reais de uma empresa calçadista de grande porte, o que amplia sua aplicabilidade e relevância prática.

Verificou-se consonância com a literatura quanto à eficácia do uso de modelos combinatórios para resolução de problemas complexos de alocação, especialmente em ambientes com múltiplas restrições e critérios conflitantes (Belton e Stewart, 2002; Ayala; Frenk, 2013). Contudo, diferentemente de estudos anteriores, este trabalho aplicou o modelo

diretamente em um setor caracterizado por alta sazonalidade, ampla variedade de produtos e intensa concorrência por recursos entre diferentes macroatividades do desenvolvimento de produto.

Além disso, a aplicação do AHP-Gaussiano representou um avanço metodológico, ao mitigar vieses cognitivos que poderiam comprometer a consistência dos julgamentos de decisão, como apontado por Vilas Boas (2006) e Kangas e Kangas (2005). Ao automatizar a geração dos pesos, a metodologia ganhou em reprodutibilidade e eficiência, características fundamentais para sua adoção em ambientes produtivos dinâmicos.

Dentre os aspectos positivos observados durante a aplicação do modelo, destaca-se a objetividade no processo de priorização de produtos. O uso do AHP-Gaussiano contribuiu para uma definição mais precisa da ordem de execução dos projetos, reduzindo o tempo de análise e promovendo maior clareza na justificativa das decisões tomadas. Isso está em consonância com os argumentos de Stewart (1991), ao defender o uso de modelos baseados em análise hierárquica como ferramentas facilitadoras da racionalidade organizacional.

No que se refere à alocação de tarefas, o modelo de múltiplas mochilas proporcionou uma distribuição mais equitativa das atividades entre as equipes, respeitando suas capacidades e especialidades. A inclusão da análise fracionada das tarefas, pode ser vista como uma oportunidade futura, para um melhor aproveitamento da capacidade ociosa das equipes, contribuindo para a otimização dos recursos humanos disponíveis, conforme sugerido por Ramalho et al. (2019). Além disso, a estrutura modular do modelo possibilita sua expansão futura para outras etapas do processo de desenvolvimento, o que evidencia seu potencial de escalabilidade e flexibilidade, características relevantes em ambientes produtivos altamente variáveis.

Apesar dos avanços alcançados, algumas limitações foram identificadas durante a aplicação do modelo. A principal delas refere-se à não consideração dos níveis de proficiência individuais dos membros das equipes, o que pode comprometer a assertividade da alocação em tarefas de maior complexidade. Este aspecto é salientado por Dickstein et al. (2011), que apontam a importância de considerar habilidades e experiências distintas na alocação de recursos humanos, pois atualmente o tempo de uma tarefa é igual independentemente do nível de conhecimento do executor.

Além disso, observou-se a necessidade de atualização contínua das informações relativas à disponibilidade de recursos e à evolução das tarefas, o que demanda uma infraestrutura de dados confiável e integrada aos sistemas corporativos, conforme também discutido por Kane e Tissier (2012).

Em síntese, os resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto demonstram sua efetividade como ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo de ranqueamento e alocação de tarefas. A combinação entre o AHP-Gaussiano e o modelo das múltiplas mochilas mostrou-se coerente com os desafios enfrentados pela organização estudada, contribuindo para a melhoria da eficiência operacional e para a racionalização dos recursos humanos disponíveis.

Ao alinhar-se aos princípios da Pesquisa Operacional (Hillier e Lieberman, 2013) e aos fundamentos da Análise Multicritério (Ensslin, 2010), o modelo proposto representa uma contribuição relevante tanto para a prática gerencial quanto para o avanço do conhecimento científico na área de Engenharia de Produção. Apesar das limitações observadas, os resultados obtidos indicam que a proposta é viável e passível de ser expandida e aperfeiçoada em estudos futuros, sobretudo com o apoio de ferramentas computacionais que automatizem os processos de análise e decisão.

4.8 Implicações gerenciais

A aplicação do modelo combinatório proposto nesta pesquisa gerou resultados práticos significativos no contexto analisado. O modelo permitiu a sistematização do processo de priorização de produtos e de alocação de tarefas, contribuindo para o uso mais racional e eficiente dos recursos humanos no setor de desenvolvimento de calçados. Ao substituir decisões baseadas exclusivamente na experiência individual por um modelo estruturado e orientado por dados, observou-se um ganho em consistência, agilidade e transparência na tomada de decisão.

O uso do método AHP-Gaussiano, ao eliminar a necessidade de ponderações subjetivas dos critérios, permitiu a geração de ranqueamentos mais estáveis e justificáveis. Esse fator é importante em ambientes de alta rotatividade de decisores ou em situações de pressão por resultados rápidos. Por sua vez, a utilização do modelo das Múltiplas Mochilas trouxe uma abordagem otimizada para a distribuição das tarefas entre as equipes, considerando restrições reais de capacidade e tempo. A análise da ocupação das equipes agilizou a identificação de ociosidade, ou falta de capacidade e aumento da eficiência na tomada de decisão quanto a distribuição dos recursos.

No caso da Grendene, a implantação do modelo resultou em maior previsibilidade na execução das entregas, melhorando o alinhamento entre as demandas e a capacidade interna do setor. Com a proposta os gestores relataram aumento da confiança no processo decisório e maior facilidade em justificar suas escolhas frente às demais demandas. Ademais, a visualização hierárquica das prioridades permitiu maior assertividade na orientação quanto execução das atividades, favorecendo a atuação coordenada entre equipes.

A estrutura modular do modelo proposto favorece sua aplicação em outras empresas, inclusive fora do setor calçadista. Organizações que operam com portfólios extensos de produtos e equipes multidisciplinares podem se beneficiar significativamente da metodologia, especialmente quando enfrentam dificuldades em priorizar demandas e distribuir recursos escassos. Setores como indústria moveleira, eletroeletrônica, moda e até mesmo setores de serviço com alta complexidade operacional, como tecnologia da informação e engenharia civil, apresentam potencial para aplicação da solução aqui proposta.

Além disso, a metodologia pode ser adaptada a contextos de seleção de projetos, gestão de portfólio, planejamento de produção e gestão de tarefas em geral. A flexibilidade do modelo permite sua expansão para problemas com múltiplos objetivos, desde que sejam adequadamente definidos os critérios de decisão e as restrições do sistema. O uso de ferramentas

computacionais para automatização do processo também surge como um caminho viável para ampliar ainda mais a aplicabilidade do modelo.

Em suma, os resultados práticos obtidos indicam que o modelo proposto é uma ferramenta com alto potencial de disseminação e adaptação em diferentes contextos organizacionais. Sua aplicação contribui para uma tomada de decisão mais objetiva, eficiente e alinhada às necessidades estratégicas das empresas.

5 CONCLUSÃO

A crescente complexidade no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), aliada à competitividade global e à necessidade de entregas rápidas ao mercado, impõe desafios significativos às organizações. Em especial, empresas do setor calçadista convivem com a necessidade de lançar grande quantidade de produtos em ciclos curtos, atendendo às exigências do consumidor e às tendências da moda. Nesse cenário, torna-se essencial adotar modelos que auxiliem na tomada de decisão quanto à priorização de projetos e à alocação eficiente de tarefas, considerando múltiplos critérios e restrições operacionais.

Diante disso, este trabalho propõe um modelo combinatório de apoio à tomada de decisão para o planejamento do setor de desenvolvimento de produtos, com aplicação prática em uma empresa calçadista de grande porte. O modelo integra dois métodos, (AHP-Gaussiano), utilizado para o ranqueamento dos produtos, e o modelo das Múltiplas Mochilas (*Multiple Knapsack Problem* – MKP), empregado para a alocação de tarefas às equipes de desenvolvimento. A proposta visa estabelecer uma priorização objetiva dos produtos com base em critérios estratégicos e realizar a alocação racional de tarefas, respeitando as capacidades disponíveis e otimizando o uso dos recursos humanos.

A aplicação do AHP-Gaussiano permitiu definir as prioridades dos produtos sem a necessidade de julgamentos subjetivos por parte dos decisores, utilizando estatísticas descritivas para representar o comportamento dos critérios avaliados. Com isso, foi possível mitigar vieses comuns aos métodos de decisão tradicionais e alcançar um ranqueamento mais consistente e reproduzível. Já o modelo das múltiplas mochilas possibilitou a alocação das tarefas a múltiplas equipes de forma rápida e autônoma.

Os resultados obtidos demonstraram a aplicabilidade do modelo proposto. Houve melhorias na organização das tarefas, na transparência do processo decisório e na previsibilidade do cronograma de entregas. A abordagem contribuiu para a otimização do tempo ocioso das equipes e para a redução de conflitos na distribuição de atividades. Ainda, permitiu aos gestores uma visão mais estratégica e integrada do processo, fortalecendo a cultura de decisões baseadas em dados.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho oferece uma contribuição relevante ao propor uma integração metodológica pouco explorada na literatura, com alto potencial de replicabilidade em outros setores industriais. O modelo pode ser adaptado a diferentes realidades organizacionais, desde que se respeitem suas premissas básicas e os critérios de decisão sejam ajustados ao contexto específico.

As limitações observadas na aplicação do modelo incluíram a necessidade de atualizações frequentes das capacidades, a ausência de consideração de níveis individuais de proficiência nas equipes, e a realização manual da alocação fracionada. Tais fatores representam oportunidades para aprimoramentos futuros, como o desenvolvimento de ferramentas computacionais que automatizem o processo e a incorporação de variáveis adicionais aos critérios de alocação.

A elaboração desta dissertação também representou um importante processo de formação do pesquisador, tanto na compreensão quanto na aplicação prática dos métodos da Pesquisa Operacional. O desenvolvimento do modelo exigiu o aprofundamento em conceitos teóricos e práticos para resolver um problema real de elevada complexidade. O envolvimento com a empresa permitiu a vivência de desafios reais do setor produtivo, contribuindo para a formação de uma visão sistêmica e crítica sobre os processos organizacionais. Nesse sentido, a experiência adquirida reafirma a relevância da interação entre meio acadêmico e indústria como eixo estruturante da inovação aplicada.

Conclui-se que o modelo desenvolvido nesta dissertação representa uma solução prática e inovadora para apoiar a gestão do desenvolvimento de produtos em ambientes industriais complexos. Ao integrar métodos quantitativos com fundamentos teóricos robustos, a proposta fortalece a capacidade analítica das organizações e promove ganhos em eficiência, assertividade e competitividade. A interação entre academia e indústria, promovida por este estudo, reforça a importância da pesquisa aplicada como instrumento de transformação das práticas produtivas e de geração de valor sustentável para as empresas.

REFERÊNCIAS

- ABENSUR, E. O.** *Pesquisa operacional para cursos de engenharia de produção*. São Paulo: Blucher, 2018.
- ALVES, R.; DELGADO, C.** *Programação linear inteira*. 1997.
- ANAVI-ISAKOW, S.; GOLANY, B.** Managing multi-project environments through constant work-in-process. *International Journal of Project Management*, v. 21, n. 1, p. 9-18, jan. 2003.
- ANDRADE, P. R. L.; SCARPIN, C. T.; STEINER, M. T. A.** Geração da grade horária do curso de engenharia de produção da UFPR através de programação linear binária. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 44., 2012, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Paraná, 2012. p. 1052-1063.
- ANGELONI, M. T.** Elementos intervenientes na tomada de decisão. *Ciência da Informação*, v. 32, n. 1, p. 17-22, 2003.
- ARAÚJO, C.** Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, v. 2, p. 11-32, 2006.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H.** *Pesquisa Operacional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- ARGYRIS, N.; FIGUEIRA, J. R.; MORTON, A.** Identifying preferred solutions to Multi-Objective Binary Optimisation problems, with an application to the Multi-Objective Knapsack Problem. *Journal of Global Optimization*, v. 49, n. 2, p. 213–235, fev. 2011.
- AYALA, N. F.; FRANK, A. G.** Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas. In: *XIII SEPROSUL – Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana*, jun. 2013.
- BAS, Esra.** *A fuzzy multidimensional 0–1 knapsack model for multi-attribute project portfolio selection*. *Computers & Industrial Engineering*, v. 63, n. 4, p. 1036-1043, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.05.016>.
- BAS, E.** Surrogate relaxation of a fuzzy multidimensional 0–1 knapsack model by surrogate constraint normalization rules and a methodology for multi-attribute project portfolio selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 25, n. 5, p. 958–970, 2012.
- BELTON, V.; STEWART, T.** *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. London: Springer, 2002.

- BENNETT, P.; SAATY, L.** Knapsack allocation of multiple resources in benefit-cost analysis by way of the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 17, n. 4/5, p. 55-72, 1993.
- BENTES, A. V. et al.** Multidimensional assessment of organizational performance: integrating BSC and AHP. *Journal of Business Research*, v. 65, n. 12, p. 1790-1799, 2012.
- BERTOLINI, M.; BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G.** Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, v. 24, n. 5, p. 422-430, 2006.
- BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N.; LOSS, G. S.** *Modelagem matemática no ensino de matemática na engenharia*. São Paulo, 2009.
- BLANCK, M.; BANDEIRA, D.** Análise de capacidade operacional de um centro cirúrgico: modelagem matemática aplicada ao dimensionamento e alocação de recursos. *REGE*, v. 22, n. 4, p. 565-583, 2015.
- BOUCHER, T.; GOGUS, O.; WICKS, E.** A comparison between two multiattribute decision methodologies used in capital investment decision analysis. *The Engineering Economist*, v. 42, n. 3, p. 179, 1997.
- BOUCHER, T.; MACSTRASIC, E.** Multiattribute evaluation within a present value framework and its relation to the AHP. *The Engineering Economist*, v. 37, n. 1, p. 1-13, 1991.
- BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A.** Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24h. *Gestão e Produção*, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.
- BROWN, G. G.; DELL, R. F.; NEWMAN, A. M.** Optimizing military capital planning. *Interfaces*, v. 34, n. 6, p. 415-425, 2004.
- BUENO, V. C.** *Modelagem matemática: quatro maneiras de compreendê-la*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
- BUFREM, L.; PRATES, Y.** O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação. *Ciência da Informação*, v. 34, n. 2, p. 9-25, 2005.
- BURAK, D.** Modelagem matemática e a sala de aula. In: *ENCONTRO PARANAENSE DE MODELAGEM EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA*, 5., 2004, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.
- CAMPBELL, G.** Cross-utilization of workers whose capabilities differ. *Management Science*, v. 45, n. 5, 1999.

- CAMPBELL, G.; DIABY, M.** Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers. *European Journal of Operational Research*, v. 138, p. 9-20, 2002.
- CARNEIRO, K. D. A.; MARTENS, C. D. P.** Análise da maturidade em gestão de portfólio de projetos: o caso de uma instituição financeira de pequeno porte. *Gestão e Projetos: GeP*, v. 3, n. 1, p. 252-279, 2012.
- CARVALHO, M.; FLEURY, A.; LOPES, A. P.** An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 7, p. 1418-1437, 2013.
- CHANG, P. T.; LEE, J. H.** A fuzzy DEA and knapsack formulation integrated model for project selection. *Computers & Operations Research*, v. 39, n. 1, p. 112–125, 2012.
- CHEUNG, S.; SUEN, H.** A multi-attribute utility model for dispute resolution strategy selection. *Construction Management and Economics*, v. 20, n. 7, p. 557–568, 2002.
- CIFUENTES, J. C.; NEGRELLI, L. G.** Modelagem matemática e método axiomático. In: BARBOSA, J. C.; CALDEIRA, A. D.; ARAÚJO, J. L. (orgs.). *Modelagem matemática na educação matemática brasileira: pesquisas e práticas educacionais*. Recife: SBEM, 2007. p. 215-232.
- COLIN, E. C.** *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- COROMINAS, A.; PASTOR, R.; RODRÍGUEZ, E.** Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry. *International Journal of Production Economics*, v. 103, p. 3-9, 2006.
- CORREIA, J.; GONÇALVES, E.; ESTELLITA, M.** Análise multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense com o uso do método MACBETH. *Revista Produção*, v. 11, n. 2, p. 53-67, 2002.
- CORREIA, J. et al.** Conceitos básicos do apoio multicritério à decisão e sua aplicação no projeto aerodesign. *Engevista*, v. 5, n. 8, p. 22-35, 2003.
- COSTA, D.; TEIXEIRA, A.** Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 3, 2006.
- COUTO, A. B. G. do; GOMES, L. F. A. M.** A tomada de decisão em recursos humanos com dados replicados e inconsistentes: uma aplicação da teoria dos conjuntos aproximativos. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 3, p. 657-686, 2010.
- DANTZIG, G. B.** Discrete variable extremum problems. *Operations Research*, v. 5, p. 266-277, 1957.

DICKSTEIN, R.; CARDOSO, V.; CHAGASTELLES, T.; BURMANN, F.; MAURO, P. Modelo para alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos. In: *XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2011.

DRUCKER, P. F. Knowledge-worker productivity: the biggest challenge. *California Management Review*, v. 41, n. 2, p. 79-94, 1999.

EDWARDS, W. How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 8, n. 5, p. 326-340, 1977.

ELMISALAMI, T.; WALTERS, R.; JASELSKIS, E. Construction IT decision making using multiattribute utility theory for use in a laboratory information management system. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 132, n. 12, 2006.

ENDLER, K. D.; STEINER, M. T. A.; SOUZA, P. L. B. D. Operations scheduling in permutation flow shop systems: a bibliometric contribution. *IEEE Latin America Transactions*, v. 13, n. 12, p. 3966-3973, dez. 2015.

ENSSLIN, L. et al. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, p. 125-152, 2010.

FERNANDES, F. Problemas de alocação de recursos humanos: proposta de solução pelo método AHP e programação linear inteira. Curso de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Pampa, 2019.

FERNÁNDEZ, G.; ESCRIBANO, M. Utilización del método ELECTRE IS de ayuda a la Decisión Multicriterio en la valoración y selección de alternativas de inversión. In: *ACTAS DE LAS X JORNADAS ASEPUMA*, Universidad San Pablo, CEU, Madrid, 2002.

FERREIRA, M.; JÚNIOR, S.; RAMALHO, J.; EGUCHI, T.; SILVA, C.; SERRA, C. Escolha dos métodos de multicritério à tomada de decisão com o auxílio de um sistema especialista formulado a partir de um fluxograma. *Brazilian Applied Science Review*, v. 2, n. 5, p. 1593-1608, 2018.

FIGUEIRA, J. et al. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, 2005.

FOGLIATTO, F. *Pesquisa operacional I: modelos determinísticos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.

GHASEMZADEH, F.; ARCHER, N. P.; IYGUN, P. A zero-one model for project selection and scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, v. 50, p. 745-755, 1999.

GOGUS, O.; BOUCHER, T. Fuzzy NCIC. *The Engineering Economist*, v. 43, n. 3, p. 203, 1998.

GOLABI, K.; KIRKWOOD, C. W.; SICERMAN, A. Selecting a portfolio of solar energy projects using multi-attribute preference theory. *Management Science*, v. 27, n. 2, p. 174–189, 1981.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

GONÇALVES, R.; PINHEIRO, P.; DE SOUSA, M. Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu – Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Marcos%20Airton%20de%20S.%20Freitas/Métodos%20multicritérios.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

GOUMAS, M.; LYGEROU, V. An extension of the PROMETHEE method for decision-making in fuzzy environment: ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, v. 123, p. 606–613, 2000.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado anuncia medida de incentivo ao setor calçadista. 26 set. 2023. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/governo-do-estado-anuncia-medida-de-incentivo-ao-setor-calcadista>. Acesso em: 14 out. 2023.

HANS, E. W. et al. A hierarchical approach to multiproject planning under uncertainty. *Omega Journal*, v. 35, n. 5, p. 563–577, out. 2007.

HEIMERL, C.; KOLISCH, R. Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce. *OR Spectrum Journal*, v. 32, n. 2, p. 343–368, abr. 2010.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à pesquisa operacional*. São Paulo: McGraw-Hill Brasil, 2013.

HO, W.; MA, X. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 2017.

HOTO, R. S. V. Otimização no corte de peças unidimensionais com restrições de agrupamento. 1996. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

HOTO, R. S. V. O problema da mochila compartimentada aplicado no corte de bobinas de aço. 2001. Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

JHARKHARIA, S.; SHANKAR, R. Selection of logistics service provider: an analytic network process (ANP) approach. *Omega*, v. 35, n. 3, p. 274–289, 2007.

JUNIOR, C.; PIRATELLI, C.; PACHECO, B. Métodos de apoio à decisão multicritério: uma revisão sobre aplicações em avaliação da educação. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, p. 6129-6143, 2022.

KABASSI, K.; VIRVOU, M. A technique for preference ordering for advice generation in an intelligent help system. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS*, 2004.

KANE, H.; TISSIER, A. A resources allocation model for multi-project management. In: *9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELING, OPTIMIZATION & SIMULATION*, 2012.

KASTOR, A.; SIRAKOULIS, K. The effectiveness of resource levelling tools for resource constraint project scheduling problem. *International Journal of Project Management*, v. 27, n. 5, p. 493-500, 2009.

KEIKO, L.; SHIMIZU, T.; JANSEN, U. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. In: *XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2004, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ABEPRO, 2004.

KIMURA, H.; SUEN, A. Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriterial. *Revista de Administração de Empresas*, v. 2, n. 1, p. 1, 2003.

KÖCHE, J. C. *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. Petrópolis: Vozes, 2002.

KREYSZIG, E. *Advanced engineering mathematics*. 10. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

LACHTERMACHER, G. *Pesquisa operacional na tomada de decisões*. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

LACHTERMACHER, G. *Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

LEÓN-GROSS, T. A.; RIVERA-HERNÁNDEZ, A.; REDONDO-ESCUADERO, M. International correspondents in Spain facing Government and information sources: evaluation of problems by analytic hierarchy process (AHP). *El Profesional de la Información (EPI)*, v. 27, n. 4, p. 813-821, 2018.

LINKOV, I.; STEEVENS, J. Appendix A: Multi-criteria decision analysis. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 619, p. 815-829, 2008.

LISBOA, E. F. A. *Pesquisa operacional*. Apostila da disciplina. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: https://datospdf.com/download/apostila-do-curso-pesquisaoperacional-5a45146cb7d7bc422ba97255_pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 41., 2009. Anais [...]. Porto Alegre: SBPO, 2009.

MARINS, F. A. S. *Introdução à pesquisa operacional*. São Paulo: Cultura Acadêmica; Universidade Estadual Paulista, 2011.

MARQUES, F. P.; ARENALES, M. N. O problema da mochila compartimentada e aplicações. *Pesquisa Operacional*, v. 22, n. 3, p. 285-304, 2002.

MARTELLO, S.; TOTH, P. *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. Chichester: John Wiley & Sons, 1990.

MARTELLO, S.; TOTH, P. A new algorithm for the 0-1 knapsack problem. *Management Science*, v. 34, p. 633-644, 1988.

MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: a combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, v. 171, n. 1, p. 296–308, 2006.

MIKHAILOV, L.; SINGH, M. Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 33, n. 1, p. 33-41, 2003.

MIN, H. International supplier selection: a multi-attribute utility approach. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 24, n. 5, p. 24-33, 1994.

MIRANDA, C.; TEIXEIRA, A. Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. *Pesquisa Operacional*, v. 27, n. 2, p. 201-214, 2007.

MONTANARI, R. Environmental efficiency analysis for thermo-power plants. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, p. 403–414, 2004.

MOREIRA, R. Análise multicritério dos projetos do Sebrae/RJ através do ELECTRE IV. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MORITA, H.; SHIMIZU, T.; LAURINDO, F. Modelos para estruturar e avaliar alternativas de decisão em tecnologia da informação. In: *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 19., 1999, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 1999.

MÜLLER, R. Knowledge sharing and trading on electronic market places. 2005. PhD Thesis – Freie Universität Berlin, Berlin, 2005.

NORRIS, G.; MARSHALL, H. Multiattribute decision analysis method for evaluating buildings and building systems. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1995.

OLIVEIRA, S.; PILLOTTI, E.; LEÃO, G.; SELLITTO, M. Metodologia para avaliação de desempenho ambiental em fabricação utilizando um método de apoio à decisão multicriterial. *Estudos Tecnológicos*, v. 1, n. 2, p. 21-29, 2005.

OLLAGUEZ, D. Criterios de selección de personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico: aplicación en la selección de personal para la empresa Exotic Foods S.A.C. 2006. Monografía (Licenciatura) – Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú, 2006.

OLSON, D. Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes. *European Journal of Operational Research*, v. 130, n. 3, p. 576-587, 2001.

PENTICO, D. Assignment problems: a golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, v. 176, p. 774-793, 2007.

PILKINGTON, A.; MEREDITH, J. The evolution of the intellectual structure of operations management – 1980-2006: a citation/co-citation analysis. *Journal of Operations Management*, v. 27, p. 185-209, jun. 2009.

RAVINDRAN, A. *Operations research methodologies*. Boca Raton: CRC Press, 2009.

RODRÍGUEZ, S. Toma decisión multicriteria con AHP, ANP y lógica difusa. Universidad Nacional de Colombia, 2008. Disponível em: http://srodriguezbo.googlepages.com/estado_arte_evaluar.pdf. Acesso em: 2 set. 2008.

RUCHS, E. L. Modelo matemático para tomada de decisões no processo produtivo e de esmagamento da soja. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2011.

SAATY, T. L. *The analytical hierarchy process: planning, priority, resource allocation*. Pittsburgh: RWS Publications, 1980.

SAATY, T. L. *The analytic network process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SADI-NEZHAD, S.; DAMGHANI, K. K.; PILEVARI, N. Application of 0–1 fuzzy programming in optimum project selection. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 64, n. 40, p. 335–340, 2010.

SAMBORANHA, F. K. et al. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. *Ciência Agronômica*, v. 44, n. 4, p. 815-824, 2013.

SANTOS, G. T.; FOGLIATTO, F. S. Grupos focalizados: uma proposta de roteiro para identificação de atributos de preferência. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

SAUAIA, A. C. A. et al. Jogos de empresas e economia experimental: um estudo da racionalidade organizacional na tomada de decisão. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 13, n. 2, p. 189-209, 2009.

SELAMEAB, T.; YEH, S. Evaluating intangible outcomes. *American Journal of Evaluation*, v. 29, n. 3, p. 301-316, 2008.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, B. W. Pesquisa operacional: visão geral. 2011. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/pesquisa-operacional-visao-geral/57475/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

STEWART, T. A multi-criteria decision support system for R&D project selection. *Journal of Business Economics*, v. 86, p. 23–33, jan. 1991.

VILAS BOAS, C. L. Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado a uso múltiplo de reservatórios: estudo da Barragem do Ribeirão João Leite. 2006. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

VILAS, C. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. 2006. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/Analise_da_Aplicacao_de_Metodos_Multicriterios.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

VOSS, C. et al. Case research in operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

VREEKER, R. Evaluating effects of multiple land-use projects: a comparison of methods. *Journal of Housing and the Built Environment*, v. 21, n. 1, p. 33-50, 2006.

WINSTON, W. L. *Operations research: applications and algorithm*. 4. ed. Belmont (CA): Duxbury Press, 2004.

ZOPOUNIDIS, C. Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, v. 119, p. 404-415, 1999.

ANEXO 1: Relação do Cargo X Oportunidades

Quais as dificuldades e oportunidades no processo?	
Coordenador de Engenharia	Temos diferentes níveis de treinamento e expertise, com um tempo único de execução isso distorce a previsibilidade. Além disso a conclusão de uma etapa depende de mais de uma tarefa, que tem capacidades diferentes isso também dificulta a previsibilidade. O que pode melhorar é criação de tempos diferentes para níveis de treinamento. Outra sugestão é experimentar uma fatia de programação congelada, para que mesmo que se um projeto mais "urgente ficou apto", ele deve entrar na próxima fatia, minha visão é que isso reduz o tempo de execução ao invés de aumentar.
Supervisora de Gestão de Projetos	Falta de clareza dos critérios para elencar prioridades; Padrões e tempos de processo que por vezes podem não retratar a realidade; Sequenciamento das atividades anteriores, em alguns períodos os setor fica ocioso e em outros com sobrecarga; O que poderia ser melhorado? Acredito que precisaria ter uma visao online dos projetos que vão ficando aptos ao longo do dia e ter claro qual é a prioridade dos mesmo para que o "sistema" consiga alterar o seu sequenciamento caso necessário; Precisa ter um estudo para entender quais as variáveis realmente são relevantes para essa atividade e em que momento elas estarão disponíveis. Além disso também é preciso avaliar quais são os fatores que orientam o sequenciamento(dead line de amostras - um dos principais norteadores, dead de ferramental pronto, mês de lançamento entre outro).
Supervisor do PCP	Atualmente as informações não são integradas e isso gera um grande esforço em cada estágio para sequenciamento das fábricas. Ex: Cronograma de matrizes, matéria prima, kit NE. Padrões e tempos de processos para o desenvolvimento carecem de estudos para projeção de dimensionamento.
Analista de Engenharia	Níveis de habilidade de cada colaborador e multifuncionalidade fora da área principal de atuação (ineficiência de cada um varia conforme conhecimento e prática de cada atividade), estágios que dependem de mais de um processo para entrega, com capacidades diferentes e que dependem de informações de outras áreas, produtos que são desenvolvidos em fase de protótipo sem considerar as ferramentas ou processos adequados e são liberados pelas fábricas, travam nossas liberações de processos pois não há definição correta, em grande parte das vezes acabamos liberando os mesmos de forma estimada para não travar o andamento do cronograma e, após isso, absorvemos os retrabalhos, mudanças de prioridades e atravessamentos de atividades ao longo do dia. Trabalhar com visão congelada de prioridades ao longo do dia (ou fatia), liberação de produtos pela fábrica apenas com todos os processos e ferramentas 100% definidos e consideração de ineficiências por colaborador de acordo com seu nível de habilidade e prática.
Analista Líder de Projetos de melhorias	Acredito que os dois principais problemas para priorizações são: A volatilidade das informações utilizadas, que alteram frequentemente, forçando o replanejamento. A falta de clareza sobre quais são exatamente os critérios de priorização.