

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

Verônica Possebon Oldoni

**MODELO ECONÔMICO-PROBABILÍSTICO PARA  
SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE  
PRODUÇÃO ENXUTA**

Porto Alegre

2017

Verônica Possebon Oldoni

**Modelo Econômico-Probabilístico para Seleção e Priorização de Projetos de  
Produção Enxuta**

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

Orientador: Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Porto Alegre

2017

Verônica Possebon Oldoni

## **Modelo Econômico-Probabilístico para Seleção e Priorização de Projetos de Produção Enxuta**

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

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.**

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto**

Coordenador PPGEP/UFRGS

### **Banca Examinadora:**

Prof. Camila Costa Dutra, Dr<sup>a</sup>. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFRGS)

Prof. Edson Zilio Silva, Dr. (Faculdade de Engenharia / PUCRS)

Prof. Guilherme Luz Tortorella, Dr. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFSC)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a minha família que sempre foi e sempre será minha fonte de inspiração para alcançar todos meus objetivos e sonhos. Ao meu pai, Pedro, pela sua bondade e amor genuíno. A minha mãe, Dolores, pelo modelo de garra, força, coragem e fé que certamente me motiva e me estimula a ir além dos meus limites. Ao meu irmão, Ezequiel, por seu inigualável carisma e bom-humor. Obrigada por terem me proporcionado pleno acesso à educação e por sempre acreditarem no meu potencial.

Agradeço aos demais membros da minha família que de alguma forma são minhas referências.

Ao meu namorado, Eduardo, por compreender os momentos de ausência e dedicação, pelo suporte nas horas difíceis e pelo companheirismo ao longo desses anos. Mais uma vez, obrigada pelo apoio e pelo incentivo nessa jornada.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro, pelos inúmeros ensinamentos durante minha carreira acadêmica e por sua inegável paciência nas discussões e orientações. Agradeço sua disponibilidade, agilidade e contribuições durante a realização deste e outros trabalhos.

Um singelo agradecimento aos colegas da Gerdau pelo apoio durante a realização desse projeto. Em especial, ao MEng. Vitor Hugo Nogueira da Silva por permitir que esse objetivo fosse atingido, ao MEng. Rafael Zimmermann Stefani por perpetuar este suporte e por se preocupar em garantir que eu tivesse o apoio necessário para tal e, por fim, mas não menos importante, ao Esp. Lucas Camboim de Abreu por me auxiliar na estruturação e coleta de dados deste trabalho, inclusive nas suas férias, garantindo a conclusão do mesmo.

E aos meus grandes amigos, pelo suporte e por compreenderem minha ausência durante a realização deste trabalho. A preocupação e as palavras de apoio de vocês foram fundamentais para me estimular neste período.

## RESUMO

A Produção Enxuta vem sendo aplicada em diversos setores, e a implantação dos seus princípios e práticas, elimina perdas nos processos e contribui para manter a competitividade das empresas. Desse modo, o objetivo principal desta dissertação é desenvolver um modelo econômico-probabilístico que auxilie a seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Este modelo quantifica os investimentos, benefícios e incertezas associadas através de uma análise econômica-probabilística que apresenta o retorno esperado dos projetos. Com base nesse retorno, a priorização dos projetos de produção enxuta torna-se mais precisa de ser executada pelos tomadores de decisão. O modelo contém 38 critérios qualitativos e quantitativos, os quais estão divididos em: (i) descrição do projeto, (ii) quantificação dos investimentos e (iii) quantificação dos benefícios. Para atingir o objetivo deste trabalho, foram necessárias cinco etapas: (i) selecionar os principais critérios para avaliação de projetos de produção enxuta; (ii) escolher o método para seleção e priorização dos projetos de produção enxuta; (iii) estruturar um modelo genérico que avalie o retorno e o impacto das incertezas envolvidas no resultado dos projetos de produção enxuta, baseado nos critérios e método selecionados nas etapas anteriores; (iv) aplicar o modelo em uma empresa; (v) analisar e verificar os resultados da aplicação prática para validar o modelo desenvolvido. A principal contribuição desta dissertação é fornecer ao tomador de decisão um modelo que o auxilie a quantificar o retorno dos projetos de produção enxuta, combinando métodos econômicos e probabilísticos. Os métodos econômicos são de fácil entendimento e mais amigáveis aos tomadores de decisão, já os métodos probabilísticos avaliam as incertezas associadas aos projetos de produção enxuta, permitindo uma visão mais completa do retorno esperado.

Palavras-chave: Seleção e Priorização de Projetos; Produção Enxuta; Simulação de Monte Carlo; Indicadores Econômicos.

## ABSTRACT

Lean Manufacturing has been applied in several sectors and the implementation of its principles and practices eliminate losses in the processes, contributing to sustain companies' competitiveness. Thus, this thesis main objective is to develop an economic-probabilistic model to aid lean manufacturing projects selection and prioritization. This model quantifies the investments, benefits and associated uncertainties based on an economic-probabilistic analysis, which presents the projects expected return. With the expected return, lean manufacturing projects prioritization becomes more precise to be performed by decision makers. The model contains 38 qualitative and quantitative criteria, divided into: (i) project description, (ii) investment quantification and (iii) benefits quantification. To achieve this study's objective, five steps were performed: (i) selecting the main criteria for lean production projects evaluation; (ii) choosing the method for lean manufacturing projects selection and prioritization; (iii) developing a generic model to evaluate return and associated uncertainties impact on results of lean manufacturing projects, based on the criteria and method selected in previous steps; (iv) applying the model in a company; (v) analyzing and verifying the results from practical application to validate the developed model. The main contribution of this study is to provide to the decision maker a model to quantify lean manufacturing projects returns, connecting economic and probabilistic methods. Economic methods are easy to understand and more user-friendly to decision makers and probabilistic methods can evaluate associated uncertainties on lean manufacturing projects, allowing a more complete vision of the expected returns.

**Keywords:** Project Selection and Prioritization; Lean Manufacturing; Monte Carlo Simulation; Economic Indicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação de métodos de seleção de portfólio de projetos. ....	21
Figura 2: Modelo simples de AHP. ....	25
Figura 3: Modelo de Árvore de Decisão.....	36
Figura 4: Pontos fortes e fracos dos métodos avaliados. ....	38
Figura 5: Métodos de seleção de projetos de melhoria contínua. ....	40
Figura 6: Principais critérios para descrição e entendimento de projetos. ....	47
Figura 7: Principais critérios para quantificação de investimentos em projetos.....	47
Figura 8: Principais métricas de Produção Enxuta e suas citações na literatura. ....	48
Figura 9: Relação entre os critérios e as métricas de Produção Enxuta. ....	50
Figura 10: Estrutura para avaliação de projetos de Produção Enxuta.....	54
Figura 11: Modelo para seleção e priorização de projetos de Produção Enxuta. ....	56
Figura 12: Lista de projetos de Produção Enxuta. ....	60
Figura 13: Avaliação dos critérios qualitativos do projeto TRF Equipamento 1. ....	62
Figura 14: Distribuição do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	63
Figura 15: Contribuição para a Variação do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	64
Figura 16: Correlação de Classificação do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	64
Figura 17: Distribuição do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1.....	65
Figura 18: Contribuição para Variação do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	65
Figura 19: Correlação de Classificação do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	65
Figura 20: Distribuição de Probabilidade do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1. ....	66
Figura 21: Contribuição para Variação do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.....	67
Figura 22: Correlação de Classificação do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.....	67
Figura 23: Distribuição de Probabilidade do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1. ....	68
Figura 24: Contribuição para Variação do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1. ....	68
Figura 25: Correlação de Classificação do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1. ....	68
Figura 26: Distribuição de Probabilidade do Payback do Projeto TRF Equipamento 1. ....	69
Figura 27: Contribuição para Variação do Payback no Projeto TRF Equipamento 1. ....	70
Figura 28: Correlação de Classificação do Payback no Projeto TRF Equipamento 1. ....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Priorização dos projetos considerando o Investimento Total Mediano. ....	76
Gráfico 2: Priorização dos projetos considerando o Benefício Total Mediano. ....	76
Gráfico 3: Priorização dos projetos considerando o Retorno Absoluto Mediano. ....	76
Gráfico 4: Priorização dos projetos considerando o Retorno Relativo Mediano. ....	77
Gráfico 5: Priorização dos projetos considerando o Payback Mediano. ....	77
Gráfico 6: Priorização dos projetos considerando a combinação do Retorno Mediano Absoluto e do Retorno Mediano Relativo. ....	78
Gráfico 7: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Investimento Total Mediano. ....	79
Gráfico 8: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Retorno Absoluto Mediano. ....	79
Gráfico 9: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Retorno Relativo Mediano. ....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores atribuídos ao projeto TRF Equipamento 1 pelo grupo de analistas.....	62
Tabela 2: Resultados da Análise de Sensibilidade do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	64
Tabela 3: Resultados da Análise de Sensibilidade do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1. ....	66
Tabela 4: Resultados da Análise de Sensibilidade do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1. ....	67
Tabela 5: Resultados da Análise de Sensibilidade do Retorno Relativo do TRF Equipamento 1.....	68
Tabela 6: Resultados da Análise de Sensibilidade do Payback no TRF Equipamento 1.....	70
Tabela 7: Estatísticas e Valores de Previsão do Projeto TRF Equipamento 1.....	71
Tabela 8: Percentis e Valores de Previsão do Projeto TRF Equipamento 1.....	71
Tabela 9: Valores probabilísticos para Investimento Total, Benefício Total e Retorno Absoluto para os projetos.....	73
Tabela 10: Valores probabilísticos para Retorno Relativo e Payback para os projetos.....	74

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. TEMA E OBJETIVOS .....	14
1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS .....	15
1.3. DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	16
1.3.1. Método de Pesquisa .....	16
1.3.2. Método de Trabalho .....	17
1.4. DELIMITAÇÕES DE ESTUDO.....	18
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	19
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1. MÉTODOS DE SELEÇÃO DE PROJETOS .....	20
2.1.1. Métodos Multicritério de Apoio à Decisão .....	21
2.1.1.1. Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT .....	22
2.1.1.2. Processo Analítico Hierárquico – AHP.....	23
2.1.1.3. Método Multicriterial PROMETHEE .....	26
2.1.2. Programação Matemática.....	29
2.1.3. Método Econômico/Financeiro .....	30
2.1.4. Métodos Probabilísticos .....	33
2.1.4.1. Simulação de Monte Carlo.....	33
2.1.4.2. Árvore de Decisão .....	35
2.1.5. Método Econômico-Probabilístico.....	37
2.2. SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA .....	39
<b>3. MÉTODO .....</b>	<b>44</b>
3.1. SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DOS PROJETOS DE PRODUÇÃO ENXUTA .....	45
3.2. ESCOLHA DE MÉTODO PARA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE PRODUÇÃO ENXUTA .....	51
3.3. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO INTEGRANDO CRITÉRIOS E MÉTODO .....	52
3.4. APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO .....	58
3.5. ANÁLISE E VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO PRÁTICA .....	58
<b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>59</b>

4.1.	APLICAÇÃO DO MODELO .....	59
4.2.	ANÁLISE E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO .....	61
4.2.1.	Exemplo de análise .....	61
4.2.2.	Priorização dos projetos do portfólio .....	72
4.2.3.	Discussão dos Resultados .....	80
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
5.1.	CONCLUSÕES.....	84
5.2.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	86
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As frequentes mudanças na tecnologia e condições de mercado, associadas a exigente demanda dos clientes, submetem as organizações a novos patamares de produtividade e resultados (DUTRA et al., 2014). Complementarmente, o aumento da concorrência obriga as empresas a considerar a adoção de novas abordagens de melhoria nos negócios. Nos últimos anos, muitas empresas de manufatura estão implementando Sistemas de Produção Enxuta como uma estratégia eficaz para sobreviver em um mercado altamente competitivo (ANAND; KODALI, 2008).

Os projetos são uma forma de transformar a visão das organizações em realidade. Para permanecerem ativas neste ambiente de negócios globalizado, as organizações devem selecionar e implementar projetos adequados de forma eficiente (DEY, 2006). Existem diversos relatos de falhas na implementação de projetos, causando perda de energia, recursos e, em alguns casos, fechamento de instalações (SALAH, 2015). Os projetos podem diferir em tamanho, duração, objetivos, incerteza, complexidade, ritmo, entre outras dimensões. Não importa o quão diferente ou único é um projeto, não há dúvida de que cada projeto contém algum grau de incerteza e que não há nenhum projeto sem risco (SU; CHOU, 2008).

A seleção de projetos é o processo de avaliar individualmente projetos ou grupo de projetos e, então, priorizar a implementação daqueles que auxiliam ou atingem os objetivos das organizações (SU; CHOU, 2008). Este processo de identificação de um subgrupo de projetos com o intuito de atingir eficientemente múltiplos objetivos é uma decisão crítica para muitas empresas de manufatura (HU et al., 2008).

A tomada de decisão sem um suporte quantitativo pode proporcionar riscos significativos ao negócio conforme o número de projetos disponíveis aumenta (HU et al., 2008). Na literatura, podem ser encontrados diversos métodos para seleção de projetos de qualquer natureza, os quais podem ser divididos em diversas categorias e podem ser qualitativos, quanti-qualitativos ou quantitativos (IAMRATANAKUL et al., 2008). Contudo, a priorização de projetos em muitas empresas ainda é apenas baseada em julgamentos subjetivos e na experiência dos tomadores de decisão (SU; CHOU, 2008; KORNFIELD; KARA, 2013b; MARRIOTT et al., 2013; KIRKHAM et al., 2014). O que ocorre é que há pouca estrutura oferecida às empresas para ajudá-los na definição de um portfólio global de projetos, especialmente os de melhoria, visto que a maioria do material disponível é mal

adaptado a complexidade do negócio real e grande parte destas informações não transcende os limites da literatura acadêmica para a imprensa popular (KORNFELD; KARA, 2011; 2013b).

Há poucos métodos desenvolvidos especificamente para seleção e priorização de projetos de melhoria contínua (ANTONY, 2004; SU; CHOU, 2008). A maioria da literatura sobre abordagens de melhoria contínua está focada em descrever e explicar conceitos, metodologias e ferramentas de cada abordagem, além de fornecer evidências empíricas sobre forças, fraquezas e fatores críticos de sucesso. Além disso, a maioria dos trabalhos que abordam a seleção de projetos de melhoria, não apresentam os efeitos das aplicações práticas na indústria (KORNFELD; KARA, 2013b).

Dentre as principais abordagens de melhoria contínua, destaca-se o Sistema de Produção Enxuta. A Produção Enxuta tem por objetivo reduzir o desperdício no esforço humano, nos estoques, no tempo para entrega ao mercado e no espaço de produção, a fim de tornar o negócio responsivo à demanda dos clientes, ao mesmo tempo em que produz produtos de alta qualidade de maneira eficiente e econômica (WOMACK; JONES, 1996; PAVNASKAR et al., 2003; BHUIYAN; BAGHEL, 2005). É considerada uma metodologia de qualidade eficaz, uma abordagem que pode melhorar o desempenho das organizações empresariais (HU et al., 2008) e o uso de suas práticas tem aumentado e são implementadas em diversos setores (MARODIN; SAURIN, 2013).

Para garantir o sucesso da implementação das práticas de produção enxuta, muitos autores afirmam que o processo de priorização deve incorporar um sistema de avaliação alinhado com as estratégias e critérios da organização (KORNFELD; KARA, 2011; 2013a; EL HANNACH et al., 2016). Geralmente os critérios disponíveis para os tomadores de decisão não são completos, o que gera incertezas no processo (DUTRA et al, 2014). Não obstante, as dimensões de impacto e esforço para implementação de cada projeto são difíceis de quantificar (SU; CHOU, 2008). Logo, salienta-se a importância de ter uma definição clara, completa e correta dos critérios para os tomadores de decisão na avaliação, seleção e priorização dos projetos (DUTRA et al, 2014), além de serem desenvolvidas dimensões de fácil quantificação (SU; CHOU, 2008).

Os projetos da produção enxuta buscam a implementação de uma nova filosofia ou cultura nas empresas através de conceitos, princípios, práticas e ferramentas específicos, eliminando atividades que não agregam valor (WOMACK; JONES, 1996), com o intuito de

manter as empresas competitivas. Essas características tornam esse tipo de projeto digno de uma análise, seleção e priorização robusta, tendo em vista a escassez de métodos desenvolvidos especificamente para seleção e priorização de projetos de produção enxuta e/ou de melhoria. Além disso, evita-se que sejam realizados julgamentos subjetivos e que a seleção e priorização dos projetos de produção enxuta não incorporem um sistema de avaliação alinhado com as estratégias da organização. Desse modo, torna-se imprescindível desenvolver um modelo simples, genérico e de fácil entendimento que auxilie os tomadores de decisão a otimizar recursos e ativos para implementação de projetos de produção enxuta. Por fim, este modelo deve considerar critérios que de forma clara e completa colem as informações necessárias para avaliar e quantificar esse tipo de projetos.

### **1.1. TEMA E OBJETIVOS**

O tema central de pesquisa deste trabalho é a gestão de portfólio de projetos, enfatizando a seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Os projetos de produção enxuta são baseados nas práticas e princípios do Sistema Toyota de Produção e, geralmente, são de curta duração para execução. Há diversos relatos na literatura de falhas na implementação desses projetos, devido à incorreta seleção e priorização dos mesmos. Além disso, a manutenção dos resultados atingidos com a aplicação destes projetos é imprescindível para garantir a manutenção das empresas em um cenário desafiador (MARODIN; SAURIN, 2013).

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um modelo econômico-probabilístico que auxilie na seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Este modelo quantifica os investimentos, benefícios e incertezas associadas através de uma análise econômica-probabilística que apresenta o retorno esperado nos projetos. Com base nesse retorno, a priorização dos projetos de produção enxuta que trazem o maior retorno para a empresa, torna-se mais precisa de ser executada.

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos são enunciados:

- (i) Selecionar os principais critérios e métricas para avaliação de projetos de produção enxuta;
- (ii) Selecionar o melhor método para seleção e priorização dos projetos de produção enxuta;

- (iii) Estruturar um modelo genérico que avalie o retorno econômico e o impacto das incertezas envolvidas no resultado dos projetos de produção enxuta;
- (iv) Testar e validar parcialmente, por tratar-se de um contexto específico, o modelo desenvolvido através de uma aplicação prática em uma empresa que está iniciando um programa para implementação de projetos de produção enxuta.

## **1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS**

Os princípios de produção enxuta têm recebido grande atenção nos últimos anos. A produção enxuta tem sido apresentada como uma metodologia de qualidade e produtividade eficaz, capaz de melhorar drasticamente o desempenho das organizações (HU et al., 2008). Paralelamente, uma das principais razões para a falha na implementação de projetos de melhoria está relacionada com a forma como os projetos são selecionados e priorizados, já que isso afeta a efetividade da sua execução. É importante escolher os projetos adequados para ter sucesso em iniciativas de melhoria (SU; CHOU, 2008). Ademais, a abordagem para seleção de projetos deve ser estruturada a partir de uma série de atividades realizadas em uma certa sequência, a fim de escolher os projetos com maior prioridade (SALAH, 2015).

Quanto ao objetivo principal desta dissertação, que é propor um modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização de projetos de produção enxuta, salienta-se a necessidade deste tipo de contribuição tanto para o meio profissional quanto o acadêmico. Academicamente, o cerne desta dissertação é desenvolver um modelo alternativo ao uso de métodos complexos para selecionar e priorizar projetos. Um exemplo de modelo alternativo é aquele proposto por Dutra et al. (2014), que combina métodos econômicos e probabilísticos seguindo procedimentos razoavelmente simples e capazes de considerar incertezas entre projetos. Um exemplo oposto, ou seja, um modelo complexo para utilização, seria a proposta de Hu et al. (2008). Esses autores desenvolveram um modelo de programação matemática multi-objetivo para seleção de projetos de Produção Enxuta e Seis Sigma e não consideraram a incerteza envolvida na análise. Ademais, a programação matemática envolve técnicas mais complicadas de serem implantadas no cenário industrial brasileiro. Assim, o foco desta dissertação é adaptar o modelo de Dutra et al. (2014) ao escopo de projetos de produção enxuta.

Quanto à questão profissional, o modelo proporcionará maior robustez na seleção e priorização de projetos de produção enxuta nas empresas, tendo em vista que quando os tomadores de decisão identificam e priorizam os projetos geralmente utilizam abordagens quanti-qualitativas ou subjetivas para tal (HU et al., 2008; KORNFELD; KARA, 2013b; KIRKHAM et al., 2014) ao invés do uso de técnicas quantitativas. Além disso, há pouca estrutura e abordagens oferecidas às empresas para ajudá-los na seleção de um portfólio de projetos de melhoria e a maior parte do material não está adaptada a complexidade do negócio real (KORNFELD; KARA, 2011). Desse modo, o modelo proposto irá combinar duas técnicas quantitativas que se complementam e de conhecimento dos tomadores de decisão. A mensuração econômica é considerada como importante e amigável, uma vez que o resultado financeiro é claro para todos envolvidos (VERBANO; NOSELLA, 2010; DUTRA et al. 2014). Já a análise probabilística proporciona aos tomadores de decisão a possibilidade de vislumbrar as incertezas associadas aos critérios utilizados e aos projetos propostos, qualificando a decisão.

### **1.3. DELINEAMENTO DO ESTUDO**

Tendo em vista os objetivos desta dissertação e a justificativa da importância para seu desenvolvimento, esclarece-se, nesta seção, o delineamento do estudo com o qual pretende-se atingir esses objetivos. Assim, nesta subseção, são apresentados o método de pesquisa e o método de trabalho utilizados para tal.

#### **1.3.1. Método de Pesquisa**

Segundo à natureza, a presente dissertação configura-se como uma pesquisa aplicada, já que gera conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo seleção e priorização de projetos de produção enxuta (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Quanto à abordagem é uma pesquisa quantitativa, visto que os resultados da pesquisa envolvem a análise do retorno econômico e as incertezas dos projetos de produção enxuta através de técnicas estatísticas. Desse modo, as opiniões e informações são traduzidas em números para classificá-las e analisá-las (SILVA; MENEZES, 2005).

A seleção e a identificação dos principais critérios e variáveis para a seleção e priorização de projetos de produção enxuta caracterizam, quanto aos objetivos, a dissertação como pesquisa explicativa. As análises estatísticas e o levantamento dos dados

irão indicar a melhor priorização para os projetos analisados. Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e de uma pesquisa-ação. A estruturação teórica do trabalho é proveniente de material já publicado constituindo, assim, a pesquisa bibliográfica. Já a aplicação prática do modelo, na qual os pesquisadores e os participantes representativos da empresa estão envolvidos de modo cooperativo e participativo, caracteriza a pesquisa-ação. A aplicação prática define onde devem se concentrar as ações e projetos de produção enxuta e valida o modelo (GIL, 2010).

### **1.3.2. Método de Trabalho**

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em cinco etapas: (i) seleção dos principais critérios para avaliação de projetos de produção enxuta, (ii) escolha do método mais propício para seleção e priorização de projetos de produção enxuta, (iii) estruturação de um modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização dos projetos de produção enxuta, (iv) aplicação prática do modelo em uma empresa e (v) análise e verificação dos resultados da aplicação prática.

Na etapa (i) foi realizado um levantamento e seleção dos principais critérios para avaliação de projetos de produção enxuta com base em estudos anteriores publicados tanto em âmbito nacional quanto internacional. Esta pesquisa bibliográfica em bancos de dados contribuiu para a seleção das variáveis do modelo desenvolvido e teve grande influência do modelo desenvolvido por Dutra et al. (2014).

Uma pesquisa bibliográfica igualmente foi realizada na etapa (ii) com o intuito selecionar o método mais propício para seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Esse levantamento serviu de base para complementar o modelo proposto.

Os critérios levantados na etapa (i) e (ii) foram fundamentais para a estruturação do modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização de projetos de produção enxuta na etapa (iii). O modelo foi desenvolvido com as contribuições do trabalho desenvolvido por Dutra et al. (2014) e Marodin e Saurin (2013). Dutra et al. propuseram um modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização genérica de projetos de qualquer natureza. Para esta dissertação, o modelo foi reformulado e adaptado para ser testado especificamente em projetos de produção enxuta. Marodin e Saurin elencaram as principais métricas de produção enxuta identificadas através de uma revisão da literatura, a qual foi realizada com o intuito de revelar as principais áreas e oportunidades de trabalhos futuros na produção enxuta.

Após a estruturação, na etapa (iv) houve a aplicação prática do modelo em uma empresa siderúrgica que está iniciando a implementação de práticas enxutas. O modelo foi aplicado em 20 projetos de modo a priorizá-los e identificar a melhor ordem de implantação dos mesmos.

Por fim, na etapa (v) analisaram se os resultados da aplicação do modelo, a fim de otimizá-lo e aumentar sua robustez.

#### **1.4. DELIMITAÇÕES DE ESTUDO**

Apesar da pesquisa abordar diversos tipos de projetos no levantamento dos critérios de seleção e priorização de projetos, a dissertação concentra-se no portfólio de projetos de produção enxuta. Salienta-se que as demais etapas de gerenciamento de portfólio, tais como identificação de projetos e revisão do portfólio, não fazem parte do escopo deste trabalho, embora sejam imprescindíveis para o adequado cumprimento das atividades que envolvem gestão de projetos.

O modelo proposto para selecionar e priorizar projetos de produção enxuta considera a avaliação dos principais critérios encontrados na literatura. Contudo, outros critérios específicos para alguns tipos de projetos e/ou empresas não serão considerados. Desse modo, o modelo está aberto para exclusão ou adição de novos critérios específicos/exclusivos, em caso de novas aplicações.

O cenário de aplicação do estudo restringe-se a uma empresa multinacional do setor siderúrgico. Apesar das atividades dessa empresa envolverem projetos de natureza distinta, somente projetos de produção enxuta serão considerados. Embora o modelo tenha sido desenvolvido apoiado na literatura, que abrange vários tipos de projetos e empresas, o teste do modelo é feito em um cenário limitado. Testes em outras empresas seriam importantes para confirmar a abrangência do modelo proposto. Além disso, os motivos que levaram a seleção dos vinte projetos de produção enxuta analisados neste trabalho não serão abordados. A etapa de seleção dos projetos é específica para cada organização, já que o julgamento de quais e quantos projetos merecem ser avaliados variam de um negócio para outro e podem mudar dependendo dos objetivos estratégicos da organização na qual o modelo é aplicado.

A questão do sequenciamento dos projetos de produção enxuta baseada na interdependência das práticas e demais relações de precedência entre os projetos, não foi

abordada neste trabalho, visto que necessita de uma avaliação específica. Para atingir este objetivo deve-se realizar um levantamento dos principais fatores que afetam o sequenciamento de projetos de produção enxuta, requerendo análises e aplicações mais profundas. Ademais, as questões referentes as diferentes grandezas, escopos e níveis de complexidade dos projetos de produção enxuta em análise, as quais podem influenciar no sequenciamento e priorização dos projetos, também não faz parte do escopo deste trabalho.

### **1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, os quais são delineados a seguir.

No Capítulo 1, há uma breve introdução sobre o trabalho a ser desenvolvido. Na sequência, são apresentados o tema e os objetivos da pesquisa, bem como sua justificativa e delimitações. Um resumo sobre o delineamento do estudo também é apresentado neste capítulo.

O Capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica sobre o tema, apontando os principais métodos para seleção e priorização de projetos de qualquer natureza e para projetos de melhoria contínua, abordando os projetos de produção enxuta. Além disso, são identificados quais pontos devem ser considerados para garantir a correta avaliação dos projetos, tendo em vista as aplicações identificadas na literatura.

O desenvolvimento do modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização de projetos de produção enxuta, assim como o modelo proposto, são apresentados no Capítulo 3. Neste capítulo, são apresentados os principais critérios e métricas para avaliação, seleção e quantificação dos investimentos, benefícios e incertezas envolvidas nos projetos de produção enxuta.

Já o Capítulo 4 apresenta a aplicação prática do modelo desenvolvido em uma empresa e os resultados da validação deste modelo. A aplicação foi realizada em uma empresa siderúrgica, contemplando um portfólio de 20 projetos de produção enxuta, aplicados em diferentes setores, caracterizando uma amostra ampla e diversificada.

Por fim, no Capítulo 5, enfatizam-se as conclusões decorrentes deste estudo e as principais contribuições provenientes deste trabalho. Adicionalmente, são discutidas possíveis pesquisas futuras a serem desenvolvidas nesta área.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta revisão da literatura está dividida em duas seções: (i) Métodos de seleção de projetos e (ii) Seleção de projetos de melhoria contínua. A primeira seção apresenta os métodos de seleção de projetos de qualquer natureza reportados na literatura, indicando onde foram aplicados e os resultados obtidos. Já a segunda seção apresenta os métodos aplicados especificamente para a seleção de projetos de melhoria contínua e os resultados obtidos. Com esta abordagem pretende-se facilitar o entendimento do tema.

### **2.1. MÉTODOS DE SELEÇÃO DE PROJETOS**

A seleção e priorização de projetos de um portfólio está entre os pontos mais importantes no domínio da tomada de decisões, o que requer uma atenção especial por parte das organizações (YU et al., 2012). Algumas das razões que contribuem para as extensas pesquisas na área de seleção de projetos são: é um assunto desafiador para os departamentos de P&D, visto que sempre há novas oportunidades de pesquisa, e as pesquisas na seleção de projetos de um portfólio podem ser aplicadas em outras áreas, como seleção de tecnologias (IAMRATANAKUL et al., 2008).

A seleção de projetos é considerada um processo complexo, caracterizado por múltiplos e conflitantes objetivos que são difíceis de medir (DUTRA et al., 2014). Logo, é necessário desenvolver um sistema que priorize e determine quais projetos implementar em primeiro lugar (EL HANNACH et al., 2016). No entanto, as informações disponibilizadas aos tomadores de decisão são muitas vezes incompletas. Desse modo, deve-se incorporar a incerteza à complexidade do processo de priorização de projetos. Mais ainda, para garantir que todos os projetos selecionados gerem receita máxima, o processo de priorização deve incorporar um sistema de avaliação alinhado com as estratégias e critérios da organização (KORNFELD; KARA, 2011; KORNFELD; KARA, 2013a; EL HANNACH et al., 2016).

A fim de identificar os métodos utilizados para seleção de projetos, lamratanakul et al. (2008) realizaram uma revisão da literatura, identificando 37 métodos. O resultado dessa análise está na Figura 1, dividido em seis principais categorias. Os métodos comumente utilizados para seleção de projetos são os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, Métodos Matemáticos, Métodos Econômicos/Financeiros e Métodos Probabilísticos (DUTRA, 2012), os quais serão aprofundados a seguir.

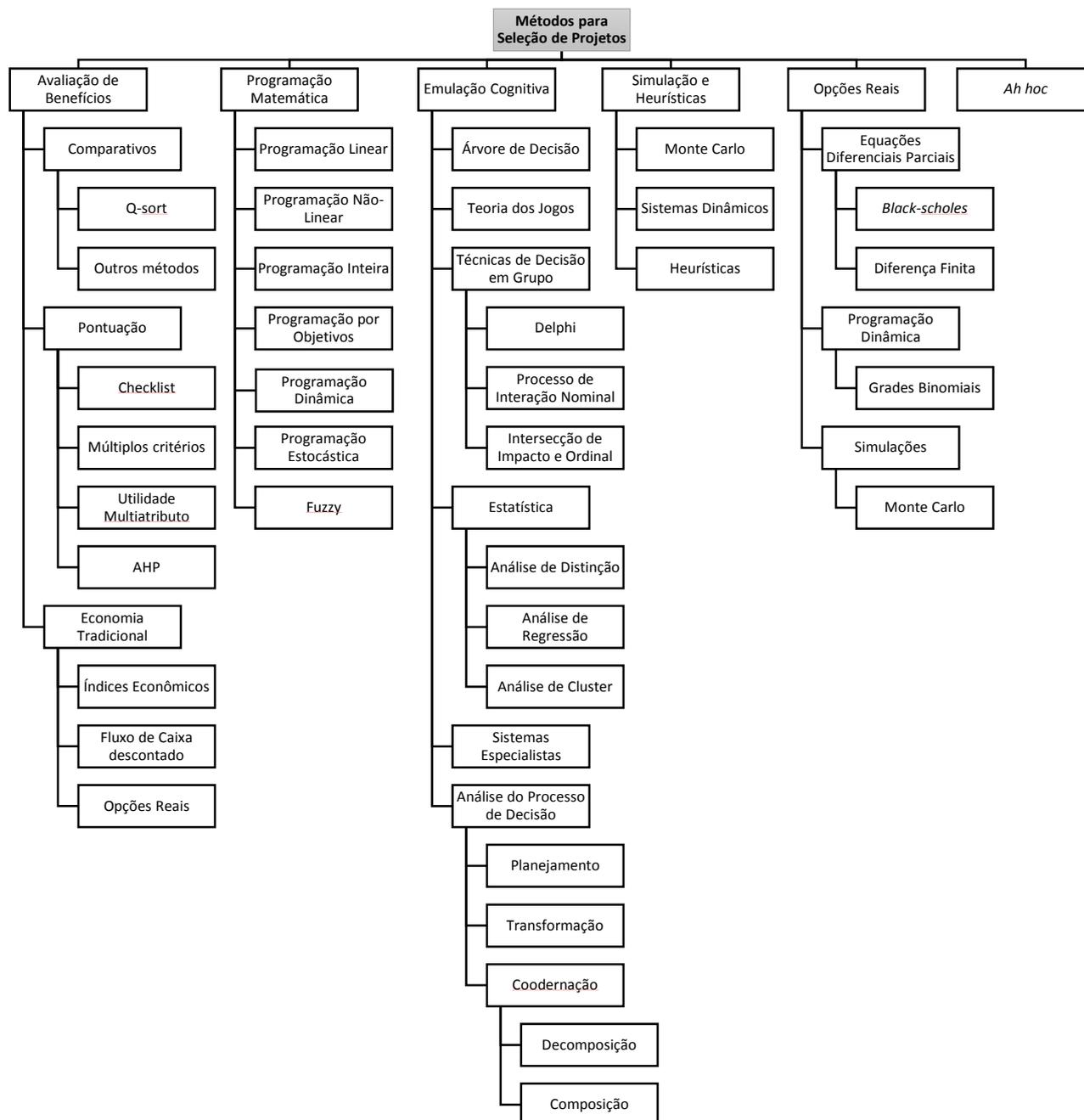


Figura 1: Classificação de métodos de seleção de portfólio de projetos.

Fonte: Adaptado de lamratanakul et al. (2008).

### 2.1.1. Métodos Multicritério de Apoio à Decisão

Os Métodos Multicritério de Apoio à Decisão (*Multiple-criteria decision-making – MCDM* ou *Multiple-criteria decision analysis - MCDA*) são uma família de métodos que permite ao tomador de decisão avaliar vários cursos de ação alternativos para alcançar um determinado objetivo. Isto é realizado avaliando-os ao longo de múltiplos critérios comuns. São atribuídos pesos relativos de importância em relação à meta aos critérios (AHIRE; RANA, 1995). Os principais métodos Multicritério de Apoio à Decisão são a Teoria da Utilidade

Multiatributo (MAUT), o Processo Analítico Hierárquico (AHP) e o PROMETHEE, os quais serão apresentados a seguir.

### 2.1.1.1. Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT

Os métodos multiatributos, muitas vezes chamados de Abordagens de Seleção, aplicam-se em modelos caracterizados por um número discreto e finito de alternativas que podem ser completamente compreendidas e comparadas pelo tomador de decisões em relação a todos os atributos (DUARTE; REIS, 2006). Dentre eles destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT). Este método calcula uma função de utilidade para cada projeto, que envolve atribuir pontuações individuais aos atributos e, em seguida, avaliar a utilidade geral do projeto com base em cada uma delas. Portanto, a principal característica deste método é a sua capacidade de dividir um problema complexo em um conjunto de sub-problemas que podem ser resolvidos individualmente de acordo com múltiplos objetivos (VERBANO; NOSELLA, 2010).

A MAUT foi idealizada pela Escola Americana, tendo como base os conceitos de modelagem de preferência tradicional e admitindo apenas duas situações, ambas transitivas: a preferência estrita (P) e a indiferença (I). Primeiramente, desenvolve-se uma função utilidade de agregação  $U(g_1, \dots, g_j, \dots, g_n)$  que agrega os critérios  $g_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) em um critério único de síntese, explicitando as preferências do decisor (MIRANDA; ALMEIDA, 2004). Dando forma a seguinte função:

$$U(g_j) = U(g_1, \dots, g_j, \dots, g_n) = f[u(g_1), \dots, u(g_j), \dots, u(g_n)]$$

Na sequência, desenvolve-se o modelo das preferências através da construção das funções utilidade  $U(g_j)$  (função utilidade de cada critério), as quais representam o desejo do decisor, associando um valor aos prêmios que ele poderá obter. De modo que, cada alternativa decisória resulte em consequências que são avaliadas pelo decisor (MIRANDA; ALMEIDA, 2004).

Resumidamente, a MAUT pode ser aplicada através de sete etapas: (1) escolher um objetivo e estabelecer atributos; (2) determinar todas as alternativas possíveis; (3) determinar a forma da função de utilidade multiatributo; (4) derivar as funções de utilidade únicas para cada atributo; (5) calcular as constantes de escala na função de utilidade multiatributo; (6) agregar funções de utilidade únicas; e (7) classificar as alternativas com base no seu valor agregado de utilidade e fazer uma escolha (CHEN et al., 2010).

Um passo determinante para o uso da MAUT é a correta estruturação do problema, ou seja, definir atributos e escalas apropriadas para medir o grau em que os objetivos são alcançados e estimular os *trade-offs* entre atributos. Este passo ajuda o tomador de decisão, fornecendo-lhe uma compreensão dos valores e da capacidade de lidar com o problema (DUARTE; REIS, 2006).

A MAUT pode ser utilizada em diversas áreas e tipos de projetos, tendo aplicações em setores públicos (KARYDAS; GIFUN, 2006), área de transportes (TSAMBOULAS, 2007), indústria de óleo e gás (LOPES et al., 2015), entre outras. Duarte e Reis (2006) utilizaram a MAUT para o desenvolvimento de sistemas de decisão para ajudar a administração a escolher projetos utilizando financiamentos públicos com o intuito de combinar os recursos disponíveis e obter o máximo benefício. O sistema foi implementado em uma plataforma computacional e foram avaliados apenas quatro projetos diferentes, que abrangiam diferentes perfis de propostas. Contudo, os pesquisadores identificaram que quanto maior a gama de projetos elegíveis, maior a dificuldade de definir as escalas mais adequadas para avaliar todas as entidades beneficiárias.

Karydas e Gifun (2006) criaram um método para seleção de projetos de renovação de infraestrutura em uma universidade americana. Nesse modelo foram abordadas as idiosincrasias destes tipos de projetos e considerados os critérios e as restrições concorrentes que influenciam o julgamento dos tomadores de decisão, de modo que os tomadores de decisão participaram ativamente da construção do modelo. Tsamboulas (2007) desenvolveu um modelo de seleção de projetos de infraestrutura em uma rede multinacional de transportes. Para avaliar, selecionar e priorizar os 250 projetos e os 21 países envolvidos com a MAUT, utilizou critérios de viabilidade financeira e econômica e dimensões internacionais. Lopes et al. (2015) utilizaram a MAUT para propor um modelo de priorização de portfólio de projetos na indústria de óleo e gás avaliando as sinergias entre projetos, ou seja, consideraram e quantificaram a o efeito das sinergias entre os projetos.

#### **2.1.1.2. Processo Analítico Hierárquico – AHP**

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma das ferramentas Apoio Multicritério à Decisão mais populares para formular e analisar decisões (SUBRAMANIAN; RAMANATHAN, 2012). O AHP foi desenvolvido por Saaty (1990) na década de 1970 com o intuito de comparar um número finito de alternativas e garantir que os participantes selecionem apenas os fatores que são essenciais para decisão (PADOVANI et al., 2010). Isso elimina a

maior fragilidade da função de valor multiatributo, que é sua falha em incluir a verificação sistemática da consistência (SOUZA, 2008). O AHP pode ser integrado com diferentes técnicas como Programação Linear, Desdobramento da Função de Qualidade (QFD), Lógica Fuzzy, entre outros. Isso permite ao usuário extrair benefícios de todos os métodos combinados e, portanto, alcançar o objetivo desejado de maneira ótima (VAIDYA; KUMAR, 2006).

O AHP fornece uma maneira flexível e compreensível de analisar problemas complicados (DEY, 2006). Trata-se de uma técnica de decisão de múltiplos critérios que permite que fatores qualitativos e quantitativos sejam considerados no processo de tomada de decisão (GREINER et al., 2003; DEY, 2006; PADOVANI et al., 2010). O AHP permite a decomposição de um problema em uma hierarquia e possibilita a melhor decisão que envolve a comparação dos elementos de decisão (SU; CHOU, 2008). Além disso, permite a participação ativa dos tomadores de decisão em chegar a um acordo e dá aos gerentes uma base racional sobre a qual tomar decisões. Possibilita a integração, compartilhamento de informações, comprometimento entre os decisores e aprendizado à equipe (GREINER et al., 2003; PADOVANI et al., 2010).

O AHP baseia-se em três princípios: estrutura do modelo, julgamento comparativo e síntese de prioridades (DEY, 2006; AMIRI 2010). Greiner et al. (2003) apresentam como etapas para aplicação do método: (1) definir o problema; (2) definir o objetivo; (3) identificar as alternativas de solução e critérios (e/ou subcritérios) para avaliar as alternativas de solução; (4) classificar as definições anteriores em uma hierarquia sendo que o primeiro nível é o objetivo, o segundo nível apresenta os critérios que podem ser subdivididos nos níveis subsequentes e o último nível é destinado às alternativas; (5) comparar cada elemento do mesmo nível entre si considerando o nível superior; (6) determinar os vetores de priorização de cada nível e obter a partir destes vetores de priorização as alternativas de solução, identificando qual alternativa é a melhor.

As etapas (3) e (4) devem ser cuidadosamente realizadas, a fim de organizar os projetos de forma possam ser comparados por pares entre critérios, subcritérios e projetos. Caso contrário, podem ocorrer retrabalhos como houve com Padovani et al. (2010) que reclassificaram os projetos para aplicação do método. O AHP pode ser válido para qualquer tipo de portfólio de projetos, desde que os objetivos, critérios e subcritérios sejam revisados para cada caso (PADOVANI et al., 2010). A Figura 2 apresenta um modelo simples de AHP.

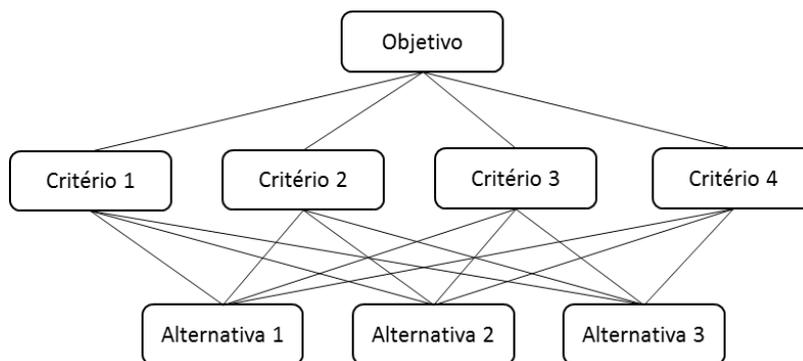


Figura 2: Modelo simples de AHP.

As principais premissas do AHP são: (i) a comparação recíproca, ou seja, os tomadores de decisão podem comparar e identificar a magnitude das suas preferências; (ii) a homogeneidade de preferências; (iii) os critérios são independentes das propriedades das alternativas; e (iv) a hierarquia é assumida como completa (VARGAS, 1990).

Ahire e Rana (1995) defendem o uso do método AHP quando se está prospectando uma abordagem piloto, já que o sucesso ou o fracasso a longo prazo da implantação depende em grande parte das experiências iniciais da administração. Assim, o uso de um processo de seleção baseada em atributos faz todo o sentido, tendo em vista que a organização não está só buscando melhorar, mas está tentando identificar o projeto que oferece maior probabilidade de sucesso dentre vários atributos.

Em uma revisão da literatura sobre o método AHP, Subramanian e Ramanathan (2012) identificaram que, no que tange a seleção e priorização de projetos, as primeiras aplicações concentravam-se na área de P&D. As aplicações recentes incluem verificação da viabilidade de terceirização de projetos, testes e atividades de inspeção e projetos Seis Sigma. Para a maioria dos casos, o AHP tem sido utilizado como uma metodologia autônoma. Além disso, as aplicações do AHP na gestão de projetos são encontradas apenas em alguns setores como oleoduto, centro espacial e investimento industrial. Os autores acreditam que há espaço para estender o uso do método para outras áreas, como a construção de aeronaves, indústrias de construção, indústrias de manufatura etc., que se caracterizam por tipos semelhantes de problemas.

No entanto, métodos de classificação como o AHP não são aplicáveis a decisões envolvendo restrições de recursos (GREINER et al., 2003; PADOVANI et al., 2010), interdependência de projetos (LEE; KIM, 2000) ou para problemas contínuos onde há uma necessidade de otimização (SOUZA, 2008). Embora o método seja mais adequado para

situações em que há certeza, ele também tem sido aplicado sob incerteza estocástica (KORNFELD; KARA, 2011). Amiri (2010) utilizou AHP para analisar a estrutura de seleção de projetos para desenvolvimento de campos petrolíferos. Greiner et al. (2003) analisaram 100 projetos do setor químico e identificaram que a análise do portfólio de projetos quanto às restrições de recursos é limitada com a aplicação isolada do AHP. Desse modo, o vetor de priorização das alternativas de solução obtido resulta em apenas uma entrada para a seleção de projetos, necessitando a aplicação de outras técnicas, como a programação inteira. Os resultados corroboram com Padovani et al. (2010), que analisaram 378 projetos e implementaram um modelo híbrido com AHP e programação inteira. Adicionalmente, verificaram que o método AHP não é o mais indicado para selecionar projetos quando o número de opções é superior a 100 projetos, pois há grande número de comparações por pares dos projetos para cada critério e subcritério, demandando muito esforço devido ao efeito combinatório dessas características, idem ao identificado por Kornfeld e Kara (2011).

#### **2.1.1.3. Método Multicriterial PROMETHEE**

O PROMETHEE (do inglês, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) é um dos mais recentes métodos MCDA e foi desenvolvido por Brans (1982) e posteriormente aprimorado por Vincke e Brans (1985). Compõe uma família de métodos de sobreclassificação usados para classificar e selecionar a partir de um conjunto finito de critérios, os quais geralmente são conflitantes (BEHZADIAN et al., 2010). Os dados utilizados devem ser quantitativos, logo, não deve ser aplicado onde há informação qualitativa, embora haja aplicação limitada com conjuntos de dados de entrada *fuzzy* (HALOUANI et al., 2009).

PROMETHEE é um método simples de classificação para concepção e aplicação, se comparado a outros métodos de análise multicritério (BRANS et al., 1986). Desse modo, o número de profissionais que estão aplicando o método PROMETHEE para problemas de decisão multicritério e de pesquisadores que estão interessados na análise de sensibilidade do método tem crescido nos últimos anos, evidenciado pelo aumento de publicações na área (BEHZADIAN et al., 2010).

A família PROMETHEE possui diversos modelos que são recomendados para aplicações específicas. O PROMETHEE I para uma classificação parcial das alternativas, PROMETHEE II para uma classificação completa das alternativas (VINCKE; BRANS, 1985), PROMETHEE III para uma classificação baseada em um intervalo, PROMETHEE IV para

classificação parcial ou completa de alternativas quando o conjunto de solução viáveis é contínuo, PROMETHEE V para problemas com restrições de segmentação (BRANS; MARESCHAL, 1992), PROMETHEE VI para avaliar o grau de confiabilidade de um problema em relação aos pesos dados aos critérios (BRANS; MARESCHAL, 1995), PROMETHEE GDSS para tomada de decisão em grupo (MACHARIS et al., 1998) e o módulo interativo visual GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) para representações gráficas (BRANS; MARESCHAL, 1994). Figueira et al. (2004) propôs duas extensões dos modelos de PROMETHEE, denominados PROMETHEE TRI para lidar com a ordenação de problemas e o PROMETHEE CLUSTER para classificação nominal. Maiores informações podem ser encontradas em Brans (2015), onde o autor apresenta aplicações e modelos desenvolvidos utilizando o PROMETHEE. Há dois softwares que podem ser utilizados para facilitar as aplicações do método: PROMCALC, o qual pode ser utilizado em qualquer problema multicritério e DECISION LAB, que é uma versão mais atual do software e possui as mesmas aplicações (BEHZADIAN et al., 2010).

O método é aplicado em duas etapas: a de construção e a de exploração. A etapa de construção engloba o Enriquecimento da Estrutura de Preferência, com a introdução do critério generalizado, a fim de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada critério e o Enriquecimento da Estrutura de Dominância, que estabelece um grau de preferência global de uma ação sobre a outra, considerando um par de ações. A etapa de exploração visa avaliar a relação de sobreclassificação de valor, apresentando ao decisor o desempenho de cada alternativa (BEHZADIAN et al., 2010).

Segundo a avaliação de Macharis et al. (2004), o método PROMETHEE tem algumas vantagens, e desvantagens, sobre o método AHP: as informações podem ser perdidas se as pontuações boas e ruins são agregadas quando são realizados *trade-offs* utilizando o AHP; o AHP é limitado devido ao uso de uma escala de nove pontos para avaliação; é possível realizar análises de sensibilidade sobre os resultados do PROMETHEE; e a geração de pesos no AHP é uma tarefa imparcial, mas não é trivial, já que é composta por uma sequência de comparações por pares seguidas pelo cálculo de autovetores para as matrizes resultantes.

Para a seleção e priorização de projetos em um portfólio, o método da família PROMETHEE costumeiramente utilizado é o PROMETHEE V (MAVROTAS et al. 2006; ALMEIDA et al., 2014; LÓPEZ; ALMEIDA, 2014). O método PROMETHEE V é a combinação do

método PROMETHEE II otimizado com a utilização da programação linear inteira para a problemática de portfólio (BRANS; MARESCHAL, 1992; VETSCHERA; ALMEIDA, 2012).

Mavrotas et al. (2006) utilizaram o método PROMETHEE II e o PROMETHEE V, juntamente com um modelo de programação inteira, para selecionar entre 123 projetos quais deles deveriam ser contemplados com o fundo público e otimizando o orçamento previsto. López e Almeida (2014) utilizaram o PROMETHEE V para a seleção de portfólio de projetos dentre 83 projetos de uma empresa de energia elétrica. Os resultados foram tão satisfatórios que os autores afirmam que o método pode ser replicado para outros portfólios, como P&D por exemplo, desde que os critérios para tal sejam alterados. Almeida et al. (2014) aplicaram o PROMETHEE V para selecionar portfólios de projetos de sistemas de informação, integrando a visão estratégica e organizacional. Foram avaliados e discutidos os resultados tanto da aplicação clássica do PROMETHEE V quanto da aplicação do modelo do PROMETHEE V com o uso do conceito do *c-optimal*, desenvolvido por Almeida e Vetschera (2012). Almeida et al. (2014) concluíram que novas aplicações devem ser realizadas, pois ambos os modelos apresentaram certas restrições para o problema em questão.

Com o intuito de facilitar o uso de dados qualitativos nos problemas de seleção de projetos, Halouani et al. (2009) desenvolveram um modelo que integra o PROMETHEE com o conceito da representação com 2-parâmetros (*linguistic 2-tuple*), o qual considera informações linguísticas, numéricas e intervalo de valores. O novo modelo foi denominado PROMETHEE-MD-2T-II e introduz novas possibilidades de informações ao tomador de decisão.

O método PROMETHEE pode ser aplicado juntamente com outros métodos para aprimorar seus resultados ou aumentar sua gama de atuação. Por exemplo, Shakhisi-Niaei et al. (2011) criaram um modelo para seleção de projetos sob incerteza e com restrições como segmentação, lógica e orçamentária. O modelo é aplicado em quatro etapas e consiste na combinação de três abordagens: PROMETHEE, Simulação de Monte Carlo e Programação Inteira. A união do PROMETHEE com a Simulação de Monte Carlo possibilita lidar com a incerteza, incluindo valores de desempenho, pesos de critérios e limiares de preferência. O modelo foi validado através da seleção entre 40 projetos propostos para um centro de pesquisas em telecomunicações.

### 2.1.2. Programação Matemática

Dentre os tipos de Programação Matemática destacam-se a Programação Linear, a Programação Não-linear, a Programação por Objetivos, a Programação Dinâmica e a Programação Inteira. Os modelos de Programação Linear são ferramentas quantitativas que utilizam programação linear, ou seja, utilizam equações lineares para resolver o problema. Já os modelos de Programação Não-linear são utilizados para problemas de natureza não-linear. Os modelos de Programação por Objetivo são úteis quando um tomador de decisão está geralmente fixando seu objetivo em uma situação da vida real. Os modelos de Programação Dinâmica são uma técnica matemática que pode ser utilizada para determinar o melhor caminho de ações para um conjunto de sequencial de decisões. E, por fim, os modelos de Programação Inteira utilizam a programação linear e todas, ou a maioria, das variáveis do problema pertencem aos números inteiros (IAMRATANAKUL et al., 2008). Os modelos de Programação Matemática são amplamente utilizados na seleção de portfólio de projetos e em diversas áreas de aplicações, com o intuito de maximizar o retorno dos projetos (CHEN; ASKIN, 2009) ou otimizar o uso dos recursos ou quaisquer outras restrições (PADOVANI et al., 2010; SOUZA et al., 2010). Exemplos de pesquisas quanto à otimização da alocação de recursos: Padovani et al. (2010) desenvolveram um modelo híbrido de AHP e Programação Inteira aplicado no setor químico, e Souza et al. (2010) utilizaram um modelo que incorpora análises econômicas (VPL) com a Programação Linear. Quanto a maximizar o retorno dos projetos: Chen e Askin (2009) utilizaram a programação inteira com esse intuito.

Outras aplicações podem ser avaliadas em: Solak et al. (2010) que desenvolveram um modelo de programação inteira estocástico de vários estágios considerando incerteza endógena. Este modelo envolveu o desenvolvimento de uma técnica de formulação que é passível de decomposição de cenários e utilizado para otimizar a seleção de projetos de P&D. YU et al. (2010) desenvolveram um modelo para seleção de projetos que utiliza um algoritmo genético, baseado em programação de números inteiros não lineares, para priorizar um portfólio de 50 projetos em um ambiente multicritério.

Considerando a interdependências entre projetos, a pesquisa desenvolvida por Schmidt (1993), a qual está entre as mais citadas na seleção de projetos de P&D, utiliza a programação não-linear inteira com restrições quadráticas. O método, testado apenas em cinco projetos hipotéticos, possibilita a análise de no máximo 10 projetos e considera a combinação de três tipos de interdependência (recurso, benefício e resultado). Assim, Eilat

et al. (2006) incorporou o *Balanced Scorecard* (BSC) ao modelo de Schmidt (1993) a fim de considerar interdependências no caso de várias entradas e saídas. O modelo avalia todos portfólios possíveis dentro de um conjunto reduzido de projetos candidatos e não considera o portfólio ótimo. Medaglia et al. (2007) combinaram um algoritmo revolucionário com múltiplos objetivos na função objetivo e uma estrutura linear para restrições de recursos para otimizar um portfólio de P&D de 20 projetos. Lee e Kim (2000) utilizaram a programação por objetivos 0-1 combinada com o processo de análise de rede (ANP) para selecionar projetos hipotéticos de sistemas de informação. Stummer e Heidenberger (2003) desenvolveram um modelo de programação linear inteira com múltiplos objetivos, aplicável em no máximo 30 projetos, e validaram em um exemplo numérico de portfólio de projetos de P&D. Considerando que a maioria desses modelos não foram aplicados em problemas de seleção de portfólio de projeto do mundo real e com o intuito de avaliar as interdependências dos projetos, Dutra (2012) incorporou a programação matemática linear a métodos probabilísticos (Simulação de Monte Carlo). O modelo foi aplicado em uma empresa do setor naval e outra do setor petrolífero, considerando seis projetos em cada empresa e apresentando resultados satisfatórios em ambas aplicações.

### **2.1.3. Método Econômico/Financeiro**

Na área da engenharia econômica existem diversos métodos que permitem avaliar a viabilidade dos investimentos no portfólio de projetos (FRANK et al., 2011). Estes temas aparecem com maior detalhe nos trabalhos de Casarotto Filho e Kopittke (2010). Segundo Souza (2008), há cinco métodos considerados como tradicionais na avaliação de econômico-financeira de um projeto. Três deles levam em consideração o dinheiro no tempo, baseados em fluxo de caixas descontados: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Índice de Lucratividade (IL). Já os outros dois métodos são considerados critérios de rentabilidade mais simples, contudo são muito utilizados por gestores ou tomadores de decisão: o Período de Recuperação do Capital Investido (*payback*) e a Taxa Média de Retorno. Esses métodos tem sido estudados com diversas aplicações e são muito difundidos na literatura (GALESNE et al., 1999; SMART et al., 2004; COPELAND et al., 2005; SOUZA, 2008; SOUZA et al., 2010).

O VPL calcula a diferença entre o valor presente do fluxo de caixa (receitas menos despesas) dos  $t$  períodos durante o projeto ( $FC_t$ ) e o investimento inicial requerido ( $FC_0$ )

para iniciar o projeto (FRANK et al., 2011), conforme a Equação 1. Além disso, deve-se considerar a taxa de interesse (Taxa Mínima de Atratividade - TMA) da empresa para o cálculo do valor presente das entradas, visto que se avaliam lançamentos futuros do projeto. Logo, quando o VPL é maior que zero, significa que o projeto supera as expectativas dos investidores em relação à TMA fixada e, portanto, deve ser implementado (GALESNE et al. 1999; COPELAND et al., 2005; SOUZA, 2008).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} + FC_0 \quad (1)$$

Quando são comparados os VPL de diferentes projetos no mesmo período de tempo, sugere-se avaliar a rentabilidade dos mesmos, tendo em vista que projetos mais rentáveis podem levar maior tempo para que se recupere o capital investido (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2010). Por conseguinte, utiliza-se o *payback* descontado para avaliar o tempo que os projetos demoram para se pagarem considerando a TMA da empresa (COPELAND et al., 2005). O *payback* descontado é calculado considerando VPL = 0 na Equação 1. Logo, o *payback* corresponde ao período  $t$  necessário para que o VPL seja zerado (FRANK et al., 2011).

A TIR é outra maneira de auxiliar o tomador de decisão a verificar se o projeto é ou não rentável para a empresa através da TIR resultante do projeto e a TMA desejada pela empresa (SOUZA, 2008). Para tal requer o cálculo de uma taxa que zera o VPL dos fluxos de caixa do projeto avaliado, conforme a Equação 2. Caso o valor resultante da TIR seja maior que a TMA estipulada, significa que os retornos do projeto serão maiores do que o esperado e, assim sendo, deve-se implementar o projeto (COPELAND et al., 2005; CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2010).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} + FC_0 = 0 \quad (2)$$

Já o Índice de Lucratividade (IL), ou método de Relação Benefício-Custo (B/C), calcula a razão entre o valor presente das entradas líquidas de caixa do projeto, descontando a TMA estabelecida pela empresa, e seu investimento inicial. Quando o IL for maior ou igual a 1, significa que o projeto é viável. Caso contrário, deverá ser rejeitado (GALESNE et al., 1999; SMART et al., 2004; CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2010). Quando o IL de um projeto for maior ou igual a 1, o VPL deste mesmo projeto necessariamente será maior ou igual a zero.

Assim sendo, tanto o VPL quanto o IL irão resultar nas mesmas conclusões na avaliação de um projeto (SOUZA, 2008).

Por fim, a Taxa de Retorno Contábil, ou Taxa Média de Retorno, avalia a divisão do valor médio dos lucros projetados, desconsiderados os impostos e a depreciação, pelo investimento inicial realizado no projeto (GALESNE et al., 1999; COPELAND et al., 2005). Este método desconsidera o valor do dinheiro no tempo, devido a utilização dos valores médios, sendo considerada uma técnica subjetiva para os tomadores de decisão e necessitando de informações contábeis para seu cálculo (SOUZA, 2008).

Segundo Altuntas e Dereli (2015), a dificuldade de priorizar projetos em um portfólio de investimentos é o resultado de dois fatores importantes. O primeiro é a falta de recursos de informação, como por exemplo, banco de dados, relatórios de projetos e relatórios estratégicos de comitês. O segundo fator está relacionado a dificuldade de prever com precisão o investimento no estado futuro do projeto.

As aplicações dos métodos Econômicos/Financeiros na seleção de projetos são comuns e tem ampla aceitabilidade, em virtude da facilidade que os tomadores de decisão tem em lidar com estes valores. Isso está de acordo com o trabalho de Cooper et al. (2001), que estudaram o processo de gestão do portfólio de projetos e sua implementação em diferentes empresas e identificaram que as empresas utilizam múltiplos métodos de gestão de portfólio, sendo os métodos financeiros os mais utilizados. Padovani et al. (2010) validaram estas observações através da aplicação de um modelo híbrido utilizando métodos financeiros.

Algumas aplicações práticas são encontradas em Tsamboulas (2007), Souza et al. (2010) e Campagnolo et al. (2012). Souza et al. (2010) desenvolveram um modelo prático para a definição de portfólio de projetos de investimentos de uma empresa do ramo automotivo utilizando métodos tradicionais de análise de investimentos como o Valor Presente Líquido (VPL) e incorporando atributos qualitativos da análise através do método de análise multicriterial. Adicionalmente, realizaram a otimização do portfólio de projetos a partir de programação linear. Campagnolo et al. (2012) desenvolveram um modelo semelhante para priorização de portfólio de projetos alinhados à estratégia organizacional em uma empresa de transporte público. Tsamboulas (2007) desenvolveu um modelo de seleção de projetos em uma rede multinacional de transportes. Para avaliar os projetos,

utilizou critérios para avaliar a viabilidade financeira e econômica dos projetos e suas dimensões internacionais.

#### **2.1.4. Métodos Probabilísticos**

Alguns autores consideram insuficiente a utilização de dados determinísticos, visto que as informações trabalhadas em uma análise geralmente são probabilísticas, exigindo um tratamento diferenciado (SOUZA, 2008). Os Métodos Probabilísticos consideram que os dados de entrada são variáveis que seguem algum tipo de distribuição de probabilidade. Destacam-se como os principais Métodos Probabilísticos para a seleção de projetos a Simulação de Monte Carlo e a Árvore de Decisão, as quais serão aprofundadas na sequência.

##### **2.1.4.1. Simulação de Monte Carlo**

A Simulação de Monte Carlo recebeu este nome devido a Monte Carlo (Mônaco) ser um local onde os cassinos são a principal atração, os quais possuem um comportamento randômico (aleatório). Esse comportamento é similar a como a simulação de Monte Carlo funciona gerando randomicamente inúmeros valores para variáveis consideradas incertas e simulando combinações de valores que geram resultados, os quais são o foco da análise (MOORE; WEATHERFORD, 2005).

O método de simulação de Monte Carlo investiga as permutações estocásticas das incertezas. Cada incerteza é abordada por uma função de distribuição adequada. O método é realizado executando um número de repetições. Em cada repetição, um valor da amostra é extraído de cada distribuição de probabilidade (SHAKHSI-NIAEI et al., 2011; MAVROTAS et al., 2015). A Simulação de Monte Carlo considera inúmeras combinações possíveis e, portanto, examina a distribuição completa dos resultados dos projetos. Por esse motivo, vem sendo utilizado com frequência na avaliação de riscos em projetos (BARALDI; ZIO, 2008).

É importante executar repetições suficientes para ter um valor de saída da simulação válido. Uma forma de determinar um número específico de repetições (isto é, 1000, 2000, 5000 e assim por diante) é considerar o tamanho dos projetos e a importância dos riscos. Outra maneira é parar o processo de simulação quando os valores amostrados são capazes de ajustar a distribuição de probabilidade da qual foram extraídos (SHAKHSI-NIAEI et al., 2011). Quanto maior o número de repetições realizadas, menor o erro de estimativa do método, ou seja, maior é a robustez do método (MAVROTAS et al., 2015).

O uso de sistemas computacionais tem tornando as aplicações de Simulação de Monte Carlo mais rápidas e fáceis de serem executadas. Alguns exemplos de softwares são o *@Risk*, *Crystal Ball* ou até mesmo planilhas eletrônicas. A simulação permite que as variáveis de entrada sejam modeladas como distribuição de probabilidade, frequentemente apresentadas em gráficos após a execução das repetições. A distribuição de saída identifica uma gama de resultados e probabilidades de ocorrência destes, baseada nas incertezas da relação modelada (TOGO, 2004).

A combinação da Simulação de Monte Carlo e da otimização, utilizando técnicas de Programação Matemática, tem se tornado popular devido aos últimos algoritmos desenvolvidos e as melhorias realizadas nos sistemas computacionais (MAVROTAS et al., 2015). Essa combinação auxilia a otimizar a seleção de projetos com inúmeras restrições e tem sido amplamente utilizada na literatura (LOCH; BODE-GREUEL, 2001; GABRIEL et al., 2006; MEDAGLIA et al., 2007; WEY, 2008; SHAKHSI-NIAEI et al., 2011; DUTRA et al., 2014; MAVROTAS et al., 2015).

Desse modo, Medaglia et al. (2007) realizaram a seleção de projetos através de uma otimização estocástica multi-objetivo com restrições lineares utilizando a Simulação de Monte Carlo para avaliar um problema de portfólio de P&D sob incerteza. Eles propuseram um método evolucionário para projetos parcialmente financiados, com múltiplos objetivos, interdependentes e com restrições de recursos. O método foi aplicado em 20 projetos e realizadas 1000 replicações para cada projeto utilizando um sistema computacional escrito em Java.

Gabriel et al. (2006) desenvolveram um modelo que integra a otimização multi-objetivo, Simulação de Monte Carlo e o Processo Analítico Hierárquico (AHP) para determinação a seleção ótima de projetos com múltiplos objetivos. As distribuições de probabilidade são utilizadas para descrever os custos de cada projeto. O modelo foi aplicado em 84 projetos do governo americano através de simulação computacional e proporcionou melhorias na eficiência da disposição orçamentária. Semelhante ao trabalho de Gabriel et al. (2006), Wey (2008) considerou a incerteza do orçamento disponível, a chance de sucesso e a alocação eficiente da equipe do projeto na seleção de projetos de renovação urbana. Três técnicas foram integradas: a otimização multi-objetivo com restrições inteiras, a Simulação de Monte Carlo e o Processo de Rede Analítica (ANP), onde as distribuições de

probabilidade são utilizadas para descrever os custos. O modelo foi aplicado em seis projetos e foram realizadas 1000 replicações para cada projeto.

Shakhsi-Niaei et al. (2011) desenvolveram um modelo que envolve quatro etapas: (i) definição do problema, (ii) Simulação de Monte Carlo I, (iii) Simulação de Monte Carlo II e (iv) Análise de Sensibilidade. O modelo foi aplicado em 40 projetos de telecomunicações, divididos em três categorias diferentes e cada categoria possuía um valor de orçamento. A primeira Simulação de Monte Carlo, a qual incorporava o método PROMETHEE, tinha como objetivo priorizar os projetos sob incerteza. O resultado da simulação foi utilizado para determinar as probabilidades de atingir diferentes priorizações para cada projeto e para analisar as incertezas que possuem maior impacto na priorização final. Foram realizadas 5000 replicações para cada projeto. A segunda Simulação de Monte Carlo, a qual incorporava um modelo de Programação Inteira, objetivava selecionar os melhores projetos sujeitos a restrições de segmentação, lógicas e custos. Foram realizadas apenas 100 replicações da simulação, pois, devido à complexidade do modelo de programação, o tempo para cada interação era maior.

Mavrotas et al. (2015) desenvolveram uma abordagem que utiliza a Simulação de Monte Carlo e a programação multi-objetivo inteira para solucionar um problema numérico de otimização de orçamento envolvendo 108 projetos. Foram realizadas duas análises: uma com duas funções objetivo e uma com três funções objetivo, a fim de avaliar o Pareto com a priorização de projetos gerado. Cada análise foi realizada com auxílio computacional e repetidas 1000 vezes para cada projeto.

#### **2.1.4.2.      Árvore de Decisão**

As Árvores de Decisão são empregadas nos casos em que o projeto é caracterizado por uma sequência de decisões, em que cada decisão é influenciada pelo resultado do anterior. Este modelo é frequentemente utilizado como uma ferramenta de apoio em conjunto com outras técnicas (VERBANO; NOSELLA, 2010). As Árvores de Decisão consideram que os cenários analisados possuem uma probabilidade de ocorrência (BARALDI; ZIO, 2008), ou seja, considera a probabilidade de ocorrência de diferentes eventos associados a um resultado. Para sua utilização, considera-se os critérios de Valor Monetário Esperado, o qual considera os possíveis eventos e suas respectivas probabilidades de ocorrência, determinando assim a melhor escolha para o projeto

(BREALEY et al., 2008). No final da sequência de escolhas, a matriz de escolhas e resultados de probabilidade são exibidos como uma árvore de decisão (IAMRATANAKUL et al., 2008).

Uma Árvore de Decisão possui quatro tipos diferentes de nós. O início da árvore é marcado pelo nó raiz, no qual o decisor deverá definir um futuro ainda incerto. Na sequência, apresenta-se o nó de decisão, o qual é caracterizado pela definição de um caminho ou escolha pelo tomador decisão. O terceiro nó é o de evento, que simboliza possíveis desfechos de uma aposta. O último nó é o de fim que determina o fim da árvore e apresenta o desfecho das decisões (HEIDENBERGER, 1996; SOUZA, 2008). A Figura 3 apresenta um modelo genérico de uma Árvore de Decisão, com seus respectivos nós, na qual  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  representam as alternativas existentes,  $p$  é a distribuição de probabilidade de ocorrência de cada evento e  $E$  são os eventos considerados.

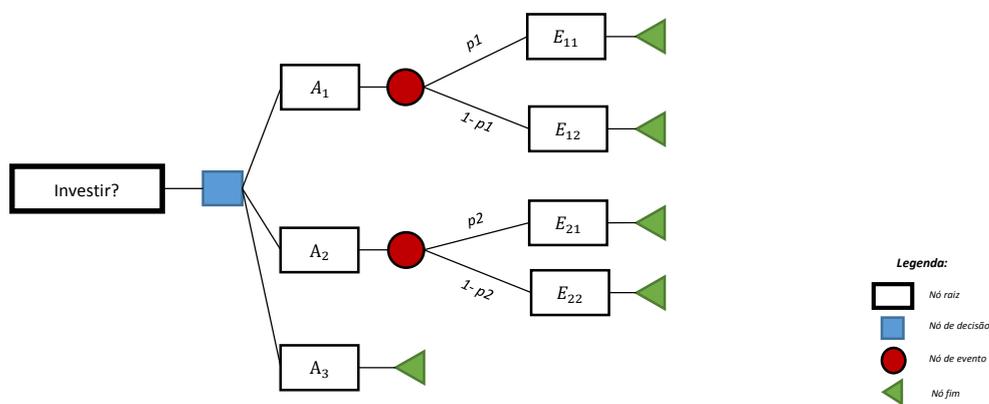


Figura 3: Modelo de Árvore de Decisão.

As aplicações de árvore de Decisão na seleção ou priorização de projetos são restritas. A maioria das aplicações são em planejamento de projetos (NOWAK; NOWAK, 2013), gestão de riscos (MOSQUERA et al., 2008; KARANOVIC et al., 2010; TAN et al., 2010; DEY, 2012) e avaliação de projetos (DE REYCK et al., 2008). Um motivo pode ser a dificuldade da comparação das árvores de decisão entre projetos distintos, sendo necessário um método complementar para tal, e a demora para criação da árvore de decisão, quando se trata de um projeto longo ou complexo.

Desse modo, Heidenberger (1996) aplicou o método de Árvore de Decisão juntamente com Programação Inteira Linear Mista para seleção de projetos de P&D dinâmicos e com financiamento sob risco devido a restrições de recursos. Os pesquisadores assumem que cada projeto será desdobrado em outros subprojetos, dando origem a árvore de decisão, e ressaltam que o modelo desenvolvido não pode ser aplicado em projetos com interdependência.

Já Loch e Bode-Greuel (2001) aplicaram o método de árvore de Decisão para priorizar um dos três grandes projetos de pesquisa estabelecidos em uma empresa farmacêutica. Uma equipe técnica estimou custos e probabilidades de sucesso em cada fase para cada projeto, estruturando uma análise financeira através do VPL, que, conseqüentemente, se tornou a árvore de decisão. Adicionalmente, para avaliar os riscos dos projetos foram realizadas Simulações de Monte Carlo. Os pesquisadores concluíram que a Árvore de Decisão é uma ferramenta útil para representar os riscos e as fontes de valor de um projeto, permitindo que o tomador de decisão receba as informações de uma maneira clara.

#### **2.1.5. Método Econômico-Probabilístico**

As aplicações de métodos econômico-probabilísticos para seleção e avaliação de projetos é recente na literatura. Miorando et al. (2014) desenvolveram um modelo econômico-probabilístico que avalia o resultado final de um projeto através do Valor Presente Líquido (VPL) e uso de simulação estocástica. O modelo foi aplicado em uma instituição de ensino superior a fim de avaliar o risco em projetos de inovação tecnológica e, portanto, sua viabilidade econômica. Os autores avaliaram o fluxo de caixa de cada projeto considerando as categorias: Benefícios, Custo Financeiro, Infraestrutura, Licenças e Equipamentos, Mão-de-Obra, Treinamento, Serviços de Terceiros, Material de Consumo, Passagens e Diárias e Outras Despesas. Cada uma dessas categorias foi modelada através de Simulações de Monte Carlo, compondo o VPL final de cada projeto.

Dutra et al. (2014) combinaram técnicas econômicas com as probabilísticas através de um modelo que avalia economicamente os projetos realizando Simulações de Monte Carlo nos mais diversos cenários. O modelo foi aplicado em 120 projetos de uma empresa de distribuição de energia e foram avaliados o Retorno Absoluto, o Retorno Relativo e o *Payback* de cada projeto. Para as simulações foram utilizados o software *@Risk* e planilhas eletrônicas. Os autores afirmam que a parametrização dos critérios em unidades monetárias é árdua no início da implementação do modelo, mas que as etapas subsequentes são facilitadas devido a objetividade dos resultados.

A Figura 4 apresenta um resumo dos métodos enfatizados neste trabalho, bem como seus pontos fortes e fracos. Nesta compilação fica evidente as vantagens e desvantagens de

cada modelo e que a combinação dos métodos alavanca os resultados das aplicações suprimindo as deficiências dos métodos.

<b>Métodos</b>	<b>Pontos Fortes</b>	<b>Pontos Fracos</b>
<b>Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT)</b>	Avalia interdependência e complementaridade entre os projetos.	As formas mais sofisticadas desta técnica são complexas e muitas vezes requerem o uso de procedimentos matemáticos e a constante atenção do tomador de decisão.
<b>Processo Analítico Hierárquico (AHP)</b>	Intuitivo e relativamente fácil para a formulação e análise de decisões complexas.	Não é apropriado para portfólios que envolvem um grande número de projetos, pois o número de comparações pareadas necessárias inviabiliza o modelo.
<b>Método Multicriterial PROMETHEE</b>	Considera múltiplos critérios de decisão. Fácil entendimento pelos tomadores de decisão. É um dos métodos de tomada de decisão mais intuitivo.	Consegue tratar apenas informações quantitativas e pode não ser bem aplicado a informações qualitativas.
<b>Programação Matemática (não-linear, linear, por objetivos, inteira e dinâmica)</b>	Capazes de considerar interdependência entre projetos, como restrições ou dependência entre os recursos. A programação por objetivos e dinâmica permite o agendamento e sequenciamento de projetos.	Não possuem grande aceitação por tomadores de decisão por serem complexos e não permitirem a inclusão do julgamento, da experiência e da visão do decisor para o alcance das soluções dos problemas de seleção de portfólio. Exigem o uso de sistemas computacionais e a coleta de grande quantidade de dados de entrada e a maioria dos modelos são incapazes de incluir considerações de riscos.
<b>Métodos Econômicos/Financeiros</b>	São considerados mais amigáveis aos tomadores de decisão, uma vez que o seu procedimento é transparente e o resultado claro. As comparações entre projetos são em uma linguagem de fácil compreensão, os melhores projetos são claramente identificados pela medida calculada.	Necessidade de se estimar benefícios financeiros ou fluxos de caixa dos projetos em um horizonte de planejamento longo, e avaliar ou estimar dados de entrada em termos monetários, atividades consideradas difíceis pelos tomadores de decisão.
<b>Métodos Probabilísticos</b>	Consideram risco e incerteza, evidente na maioria dos projetos. Obriga a organização a entender cada componente do sistema e as interações entre eles. As Árvores de Decisão são úteis para casos onde os tomadores de decisão enfrentam uma sequência de decisões, sendo que cada decisão é influenciada pelo resultado da anterior.	Geralmente há necessidade de um software para sua utilização. As entradas devem ser adequadas para que o resultado seja satisfatório. Os modelos são diferentes para cada situação. A construção da Árvore de Decisão é demorada e pode ser confusa quando o problema é grande e complexo.

Figura 4: Pontos fortes e fracos dos métodos avaliados.

Fonte: Adaptado de Dutra (2012).

## 2.2. SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA

Gerar e priorizar projetos de melhoria críticos é um desafio e não há uma regra padrão unânime de como isso deve ser feito, uma vez que é baseado no julgamento subjetivo em muitas organizações (SU; CHOU, 2008; MARRIOTT et al., 2013). Além disso, alguns projetos são complicados, arriscados, relacionados a departamentos diferentes e difíceis de quantificar (SU; CHOU, 2008). Geralmente os projetos de melhoria são realizados com o intuito de resolver um problema crônico de satisfação de cliente, eliminar um risco, gerar benefícios externos, reduzir custos, aumentar a produtividade ou aumentar o fluxo de caixa (SALAH, 2015). Dentre as principais abordagens de melhoria contínua destacam-se a Produção Enxuta, o Seis Sigma e a Gestão da Qualidade Total (TQM) (KIRKHAM et al., 2014).

Não é possível conduzir todos os projetos de melhoria identificados simultaneamente devido as restrições de recursos em termos de tempo, capital e pessoal que a organizações enfrentam (MARRIOTT et al., 2013). Na literatura, há vários fatores mencionados no que tange a seleção e priorização de projetos ou intervenções de melhoria. Para ter sucesso em iniciativas de melhoria contínua, os projetos selecionados precisam ser de tamanho gerenciável, factíveis, de grande impacto no negócio e devem ser mensuráveis, caso contrário não podem ser controlados (SALAH, 2015). Uma priorização eficaz assegura que os recursos sejam alocados aos projetos mais benéficos para a organização. Também garante que os problemas associados, como múltiplos objetivos conflitantes, detalhes insuficientes do projeto, alocação inadequada de recursos e conflitos entre aqueles que desejam obter alocação de recursos sejam evitados (MARRIOTT et al., 2013).

Em uma revisão sobre seleção de projetos de melhoria contínua, Kornfeld e Kara (2011) concluíram que há surpreendentemente pouca estrutura oferecida às empresas para ajudá-los na definição de um portfólio global de projetos de melhoria. A maioria do material que está disponível é mal adaptado a complexidade do negócio real. Além disso, a maioria destas informações não transcende os limites da literatura acadêmica para a imprensa popular. Isso corrobora com o estudo realizado por Kornfeld e Kara (2013b) sobre a seleção de projetos de Produção Enxuta e Seis Sigma nas empresas. Os autores identificaram que os entrevistados colocaram revistas (artigos) e universidades no final da sua lista de fontes usadas para aprender sobre a melhoria contínua. A imprensa popular recomenda que os profissionais utilizem ferramentas como a Análise de custo-benefício, Matriz de causa e efeito, *Brainstorming* e Análise de Pareto para identificar e priorizar projetos. Estas

abordagens têm o benefício da simplicidade, contudo, criam um senso de objetividade na mente dos praticantes. Além disso, não fornecem nenhum meio para identificar projetos alternativos, avaliar as interações do projeto, avaliar o impacto global do portfólio sobre os objetivos de uma organização e nenhuma dessas abordagens diferencia o ótimo local do global. Ou seja, são um meio de filtrar um grande grupo de oportunidades em um punhado de ações. Adicionalmente, é possível que os entrevistados ignorassem o uso de alguns métodos como AHP, PROMETHEE, MAUT e Programação Matemática (KORNFELD; KARA, 2013b). Alguns exemplos de métodos de seleção de projetos de melhoria contínua, sua respectiva abordagem, autores e onde foi aplicado é apresentado na Figura 5.

MÉTODO	ABORDAGEM	AUTORES	APLICAÇÃO
FMEA e Mapeamento de Processo	Qualitativa	Mariott et al. (2013)	Melhoria Contínua
Modelo Descritivo	Qualitativa	Kornfeld e Kara (2011)	Melhoria Contínua
Modelo Descritivo	Qualitativa	Kornfeld e Kara (2013a)	Produção Enxuta e Seis Sigma
DMAIC e Matriz de Priorização	Qualitativa	Salah (2015)	Melhoria Contínua
AHP	Quanti-Qualitativa	Ahire e Rana (1995)	Gestão da Qualidade Total (TQM)
AHP	Quanti-Qualitativa	Water e De Vries (2006)	Melhoria Contínua
AHP e FMEA	Quanti-Qualitativa	Su and Chou (2008)	Seis Sigma
AHP e Programação Matemática	Quanti-Qualitativa	Kahraman e Buyukozkan (2008)	Seis Sigma
PROMETHEE	Quanti-Qualitativa	Anand e Kodali (2008)	Produção Enxuta
Programação Matemática	Quantitativa	Hu et al. (2008)	Produção Enxuta e Seis Sigma
Programação Matemática	Quantitativa	Saghaei e Didekhani (2011)	Seis Sigma
Programação Matemática e Opções Reais	Quantitativa	Padhy e Sahu (2011)	Seis Sigma

Figura 5: Métodos de seleção de projetos de melhoria contínua.

Quando os tomadores de decisão identificam e priorizam os projetos, geralmente utilizam abordagens quanti-qualitativas ou subjetivas (KORNFELD; KARA, 2013b; KIRKHAM et al., 2014). Por exemplo, *brainstorming* e a análise de custo-benefício foram os métodos mais comumente referenciado para seleção e priorização de projetos de melhoria contínua em empresas australianas em um estudo realizado por Kornfeld e Kara (2013b). No entanto, o *brainstorming* é uma técnica geralmente utilizada para ajudar os grupos a gerar um grande número de ideias, não possui ligações explícitas à estratégia e elemento quantitativo necessário para a priorização do projeto. Logo, não é um método apropriado para a priorização de projetos (KORNFELD; KARA, 2013b). O estudo realizado por Kirkham et al. (2014) elencou os principais métodos de seleção de projetos de melhoria contínua em empresas europeias. Tanto para as empresas de pequeno e médio porte quanto para as de

grande porte, sobressaíram-se como modelos objetivos a Matriz de Priorização, o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Pontuação Ponderada e Modelos Não-numéricos. Contudo, nos modelos subjetivos, as entrevistas foram as grandes campeãs para as empresas de pequeno e médio porte. Já nas empresas de grande porte destacou-se o *Brainstorming* e os Grupos Focados.

Outras abordagens quanti-qualitativas ou totalmente qualitativas são apresentadas por Kornfeld e Kara (2011), Kornfeld e Kara (2013a), Marriot et al. (2013) e Salah (2015). Kornfeld e Kara (2013a) desenvolveram uma estrutura para auxiliar os gestores de programas a desenvolver portfólios de projetos de melhoria direcionados para atender às necessidades de suas empresas e alinhá-los às medidas e objetivos das organizações. Kornfeld e Kara (2011) também propuseram um modelo descritivo para priorizar e selecionar projetos de melhoria baseado no potencial de avaliar o seu estado futuro desejado. O intuito do modelo é conectar a estratégia da empresa com os projetos selecionados, a fim de garantir que estejam alinhados. Marriot et al. (2013) apresentaram uma metodologia que integra o mapeamento de atividades do processo e o FMEA para priorizar projetos ou iniciativas de melhoria com base em dois objetivos de desempenho: custo e qualidade, os quais são especialmente importantes para fabricantes de produtos de baixo volume e alta integridade. Salah (2015) desenvolveu um modelo que integra o método DMAIC (*define-measure-analyse-improve-control*: definir, medir, analisar, melhorar, controlar) e uma Matriz de Priorização para selecionar e priorizar métodos de melhoria contínua.

O método AHP tem se apresentado como uma ferramenta para a seleção de projetos piloto de melhoria em empresas que estão iniciando sua jornada de melhoria contínua (AHIRE; RANA, 1995; WATER; DE VRIES, 2006) ou como uma ferramenta para a seleção de projetos em Seis Sigma (KAHRAMAN; BUYUKOZKAN, 2008; SU; CHOU, 2008). Ahire e Rana (1995) utilizaram o método AHP para desenvolver um modelo que auxilia a seleção de projetos piloto de implementação da Gestão da Qualidade Total. O modelo foi inicialmente aplicado em dois projetos de um hospital, contudo os autores acreditam que a aplicação pode facilmente ser estendida para outras empresas. Water e De Vries (2006) aplicaram o método AHP em uma empresa de tecnologia da informação para auxiliar a seleção de projetos piloto de melhoria contínua. O modelo desenvolvido possui três etapas: seleção do projeto de melhoria, seleção do departamento e alocação dos projetos nos

melhores departamentos. Os autores acreditam ser um modelo simples para auxiliar os tomadores de decisão a selecionar os projetos de maneira assertiva, agregando o conhecimento objetivo e subjetivo dos envolvidos e incluindo alternativas e critérios claros. Su e Chou (2008) propuseram uma abordagem para selecionar projetos críticos Seis Sigma e identificar a prioridade destes combinando o AHP e o método de análise de modo e efeitos de falha (FMEA). Kahraman e Buyukozkan (2008) desenvolveram um modelo que combina o AHP com a programação por objetivos *fuzzy* para selecionar projetos de Seis Sigma. Os objetivos principais do modelo eram maximizar benefícios financeiros, maximizar a capacidade do processo, maximizar a satisfação dos clientes, minimizar custos, minimizar o tempo de conclusão do projeto e minimizar riscos. Na sequência, o método AHP foi aplicado para avaliar a contribuição de cada objetivo para atingir o objetivo geral e selecionar os projetos.

Apesar de suas vantagens, o método PROMETHEE tem pouca aplicação na seleção de projetos de melhoria com apenas uma referência específica sobre seu uso potencial (BEHZADIAN et al., 2010). Anand e Kodali (2008) aplicaram o método PROMETHEE ao problema de selecionar um sistema de Produção Enxuta. O problema era trivial na medida em que havia apenas três alternativas binárias para selecionar. Contudo, os pesquisadores relataram que a metodologia era limitada, visto que forneceu classificações ao invés de avaliações. Além disso, a metodologia e a necessidade de utilização de um software obscureceram o processo e não lidou com incerteza ou dados incomensuráveis. Estes resultados corroboram com um estudo para seleção de projetos na indústria realizado por Kornfeld e Kara (2013), no qual nenhum dos 74 entrevistados indicou que usa o método PROMETHEE.

A Programação Matemática tem aumentado sua participação na avaliação e seleção de projetos de melhoria nos últimos anos (HU et al., 2008; KAHRAMAN; BUYUKOZKAN, 2008; PADHY; SAHU, 2011; SAGHAEI; DIDEHKHANI, 2011). Um sistema de apoio à decisão que utiliza uma formulação multi-objetivo para a seleção de projetos de Produção Enxuta e Seis Sigma foi desenvolvido por Hu et al. (2008). O modelo é baseado em uma abordagem de programação por objetivos, na qual os resultados esperados e pesos de cada projeto são entradas determinadas por discussões de grupo e brainstorming e o resultado final é expresso em um Pareto com a priorização dos projetos. Os dois objetivos principais considerados foram a maximização dos benefícios totais da empresa e a minimização dos

custos totais do portfólio de projetos. O método foi aplicado em 51 projetos de uma empresa de manufatura e foram utilizados os softwares Matlab™ e Cplex™ para solucionar o problema. Contudo, os próprios autores afirmam que se este modelo pode não apresentar a melhor solução ao tomador de decisão tendo em vista a simplicidade da avaliação e priorização dos projetos. Padhy e Sahu (2011) propuseram uma metodologia de duas etapas para selecionar um portfólio de projetos de Seis Sigma ideal. O modelo considera os objetivos e restrições de uma organização e é baseado em uma análise de opção reais e um modelo de programação linear inteiro zero-um. Saghaei e Didekhani (2011) projetaram uma metodologia abrangente para a avaliação e seleção de projetos de melhoria de Seis Sigma. A metodologia utiliza um sistema de inferência *fuzzy* adaptado capaz de considerar as inter-relações entre os critérios para derivar os projetos de utilidade global e um modelo de programação por objetivos *fuzzy* aditivo ponderado para obter o portfólio ótimo de projetos que devem ser implementados.

Observa-se que diferentemente do que ocorre com a seleção de projetos de qualquer natureza, os modelos para seleção de projetos de melhoria contínua são limitados e quase sempre qualitativos. Poucos trabalhos apresentam a abordagem quantitativa na avaliação, seleção e priorização dos projetos, sendo que quando é utilizada, restringe-se métodos de Programação Matemática.

### 3. MÉTODO

O Sistema de Produção Enxuta foi desenvolvido por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo na Toyota (PAVNASKAR et al., 2003) e é considerado uma metodologia de qualidade eficaz e uma abordagem que pode melhorar o desempenho das organizações empresariais (HU et al., 2008). Em virtude disso, o uso de práticas de Produção Enxuta tem aumentando e vem sendo implementadas em diversos setores (MARODIN; SAURIN, 2013). O objetivo da Produção Enxuta é reduzir o desperdício no esforço humano, nos estoques, no tempo para entrega ao mercado e no espaço de produção, a fim de tornar o negócio responsivo à demanda dos clientes, ao mesmo tempo em que produz produtos de alta qualidade de maneira eficiente e econômica (WOMACK; JONES, 1996; PAVNASKAR et al., 2003; BHUIYAN; BAGHEL, 2005). Os três princípios da Produção Enxuta são: melhoria no fluxo de material e informações na empresa; foco no cliente; e comprometimento da organização com a melhoria contínua (WOMACK et al., 1990; WOMACK; JONES, 1996).

Perdas são definidas como tudo que o cliente não está disposto a pagar, sendo que as práticas e princípios de Produção Enxuta são utilizados para eliminar o que não agrega valor para o processo (BHUIYAN; BAGHEL, 2005). Destacam-se como principais práticas de Produção Enxuta: a Produção Puxada Nivelada, a Redução do Tempo de Setup, a Manutenção Produtiva Total, a Automação, o Trabalho Padronizado, a Gestão à Vista, os Mapas de Fluxo de Valor, entre outras (MARODIN; SAURIN, 2013). Contudo, muitas vezes é preciso grande investimento de tempo e esforço para adotar e implantar esses conceitos em empresas de manufatura (ROWLANDS, 2003; FOWLER, 2004). Uma explicação para esse fator é que o processo de seleção de projetos é considerado um elemento complexo no processo de implantação das práticas de Produção Enxuta por executivos corporativos (HU et al., 2008). Normalmente, os tomadores de decisão escolhem um portfólio de projetos com base em sua experiência e preferências subjetivas. Contudo, à medida que aumenta o número de projetos disponíveis, a tomada de decisão sem apoio quantitativo pode acarretar riscos significativos (HU et al., 2008; SALAH, 2015).

Considerando esses aspectos, é importante desenvolver um processo de priorização de projeto para orientar os tomadores de decisão em vários níveis da organização a avaliar os projetos propostos a fim de construir um portfólio equilibrado e considerar projetos adicionais, caso novos requisitos surjam durante a análise (EL HANNACH et al., 2016). Além disso, esse processo deve estar alinhado com a estratégia da empresa (KORNEFELD; KARA,

2013a, 2013b; SALAH, 2015) e gerar receitas máximas dentro dos limites dos recursos disponíveis (financeiros e não financeiros), minimizando os riscos associados à incerteza do ambiente econômico atual (EL HANNACH et al., 2016).

Desse modo, pode-se considerar o seguinte caso: uma empresa está considerando a implementação dos conceitos de Produção Enxuta. Existem N propostas de projetos para atingir as metas da produção enxuta, sendo que cada projeto pode ter submetas, orçamentos e consumo de recursos diferentes. Cada projeto tem um gerente de projeto e pertence a uma categoria pré-especificada. A empresa possui um certo orçamento geral e outras restrições de recursos, como capacidade, recursos humanos, entre outros. Com o intuito de implementar os conceitos de Produção Enxuta com êxito, o tomador de decisão deve escolher um grupo de projetos que minimiza o investimento e maximiza o benefício da empresa. Neste contexto, os benefícios da empresa traduzem-se em melhorar o desempenho, a produtividade e a rentabilidade, reduzindo defeitos, desperdício e *lead time*, através da melhoria da qualidade e confiabilidade do produto (HU et al., 2008).

Para a solução do problema proposto, propõe-se a construção do modelo para seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Para a construção deste modelo são necessárias as seguintes etapas: (i) seleção dos critérios, (ii) definição do método, (iii) estruturação do modelo integrando critérios e método selecionado, (iv) aplicação prática do modelo e (v) análise e validação dos resultados da aplicação prática. Estas etapas serão descritas a seguir.

### **3.1. SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DOS PROJETOS DE PRODUÇÃO ENXUTA**

O primeiro passo para o desenvolvimento do modelo é selecionar os principais critérios para a avaliação dos projetos de produção enxuta. Essa etapa é crucial para garantir que os projetos corretos serão selecionados e priorizados. Dutra et al. (2014) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre critérios de avaliação e seleção de projetos, analisando 73 estudos publicados no período de 2000 a 2011. Os autores identificaram inicialmente 443 critérios, os quais foram as terminologias padronizadas, as redundâncias, superposições e especificidades eliminadas, resultando em 35 critérios de seleção independentes. Esse conjunto de critérios foi avaliado por seis especialistas em gestão de projetos (três acadêmicos e três gestores da indústria), os quais analisaram o

conjunto e propuseram pequenas alterações, resultando em um conjunto final de 37 critérios. Esse conjunto de critérios foi considerado completo, genérico e passível de aplicação em diferentes tipos de projeto, auxiliando na tomada de decisão qualificadas e refletindo a realidade da gestão de projetos nas empresas.

Por esses motivos, os critérios identificados por Dutra et al. (2014) para seleção e priorização de projetos de qualquer natureza foram utilizados como base para a definição dos critérios a serem utilizados no modelo em desenvolvimento neste trabalho. Partindo do escopo inicial de 37 critérios, os mesmos foram avaliados e, primeiramente, selecionados: (i) critérios que auxiliassem a descrição e o entendimento de projetos de produção enxuta e (ii) critérios que quantificassem os investimentos necessários para implementação de projetos de produção enxuta. Desse modo, foram selecionados 14 critérios simples e claros que favorecem o entendimento dos projetos e cinco critérios considerados principais para quantificação de investimentos em projetos de produção enxuta, resultando em 19 critérios selecionados. Dos critérios restantes, três foram automaticamente desconsiderados por não serem compatíveis com as especificidades dos projetos de produção enxuta e os 15 critérios restantes foram reservados para serem reavaliados na etapa de quantificação de benefícios dos projetos de produção enxuta.

Assim, os critérios selecionados para *descrição e entendimento* dos projetos de produção enxuta e a descrição de cada um desses critérios estão apresentados na Figura 6. A avaliação deste subconjunto de critérios objetiva garantir que há uma boa descrição e entendimento do que trata cada projeto, de modo que sejam entendidos os principais custos e benefícios destes. Já os critérios para *quantificação de investimentos* em projetos de produção enxuta, bem como a descrição de cada um deles, estão apresentados na Figura 7 e tem por objetivo auxiliar o tomador de decisão a elencar de maneira concisa os gastos envolvidos para implementar cada um dos projetos.

Na etapa seguinte, foram selecionados os critérios para *quantificação dos benefícios* dos projetos de produção enxuta. Para estruturar estes critérios, primeiramente, foram consideradas as métricas de produção enxutas elencadas por Marodin e Saurin (2013). Esses autores realizaram uma revisão da literatura e avaliaram 102 trabalhos publicados durante o período de 1996 e 2012, com o intuito de identificar as principais áreas e oportunidades para trabalhos futuros para sistemas de produção enxuta. Neste trabalho, foram

<b>CRITÉRIOS PARA DESCRIÇÃO E ENTENDIMENTO DOS PROJETOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Escopo do projeto	Descreve o que será feito no projeto e suas características principais.
Prazo do projeto	Tempo (em meses) para desenvolvimento do projeto.
Complexidade do projeto	Classifica o projeto de acordo com a sua complexidade técnica (Considerar para classificação: Localização, materiais, tecnologias, conhecimento, fornecedores e áreas envolvidas).
Facilidade de execução	Classifica o projeto de acordo com a facilidade de execução do projeto.
Facilidade de manutenção	Classifica o projeto de acordo com a facilidade de manutenção dos resultados.
Relacionamento com outros projetos	Identifica outros projetos do portfólio que apresentam interdependência com este.
Incertezas envolvidas	Identifica as incertezas (custo, técnica, tempo, ...) envolvidas no desenvolvimento do projeto.
Cientes envolvidos	Identifica os clientes que serão beneficiados com o resultado do projeto.
Urgência na realização do projeto	Identifica a urgência do projeto: mandatório ou eletivo.
Grau de inovação	Classifica o grau de inovação do projeto dentro da empresa. Considerando aspectos como: emprego de novos materiais, tecnologias, procedimentos e conhecimentos.
Potencial de replicabilidade ou expansão	Analisa o potencial de replicabilidade ou expansão do projeto dentro da empresa.
Melhoria da competitividade	Analisa se o desenvolvimento do projeto melhora a competitividade da empresa.
Atendimento a aspectos regulatórios	Analisa se a realização do projeto contribui para o atendimento de aspectos regulatórios (saúde e segurança, ambiental, qualidade (Ex.: INMETRO)).
Alinhamento estratégico	Analisa se o projeto está alinhado com as estratégias da empresa.

Figura 6: Principais critérios para descrição e entendimento de projetos.

Fonte: Adaptado de Dutra et al. (2014).

<b>CRITÉRIOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO INVESTIMENTO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Investimento em Infraestrutura	Quantifica os investimentos em infraestrutura.
Investimento em Tecnologia	Quantifica os investimentos em aquisição ou utilização de novas tecnologias.
Investimento em RH	Quantifica os investimentos em recursos humanos para planejamento, execução e finalização do projeto.
Investimento em Fornecedores	Quantifica os investimentos em desenvolvimento, capacitação de fornecedores.
Investimento em Logística e Distribuição	Quantifica os investimentos em logística e distribuição.

Figura 7: Principais critérios para quantificação de investimentos em projetos.

Fonte: Adaptado de Dutra et al. (2014).

identificadas 45 métricas de produção enxuta e a frequência de utilização de cada uma. Para o modelo atual, foram selecionadas as métricas que possuíam acima de três citações na literatura, as quais estão listadas na Figura 8. Essas métricas formam um bom conjunto para o tomador de decisão compreender e quantificar os benefícios que a implementação de cada um dos projetos de produção enxuta pode proporcionar.

MÉTRICA DE PRODUÇÃO ENXUTA	CITAÇÕES
Estoque WIP	6
Lead time até o cliente	6
Lead time de produção	6
Produtividade	6
Custo de sucata e retrabalho	5
Eficiência dos equipamentos	5
Número médio de fornecedores por número de peça	5
Custo unitário	4
Distância de peças transportadas	4
Estoque de produtos acabados	4
Estoque total	4
Número de colaboradores dedicados à qualidade e inspeção	4
Porcentagem de funcionários treinados	4
Porcentagem de peças entregues JIT	4
Porcentagem de produtos defeituosos	4
Porcentagem de funcionários trabalhando em times	4
Qualidade na fonte (Taxa da qualidade)	4
Tempo (ou custo) de treinamento por colaborador por ano	4
Entrega de fornecedores no momento certo	3
Estoque de matéria-prima	3
Número de sugestões dos colaboradores por ano	3
Satisfação de clientes	3
Tamanho do lote	3
Tempo de setup	3

Figura 8: Principais métricas de Produção Enxuta e suas citações na literatura.

Fonte: Adaptado de Marodin e Saurin (2013).

Com o intuito de facilitar a quantificação dos benefícios projetos de produção enxuta e uniformizar a linguagem utilizada no modelo, estas métricas foram transformadas em critérios. Para isso, as métricas foram compiladas em grupos e cada grupo foi convertido em um critério, totalizando nove critérios. Para complementar os critérios de quantificação de benefícios, foram reavaliados os 15 critérios de seleção de projetos de Dutra et al. (2014) separados na etapa anterior. Da reavaliação desses critérios, foram selecionados mais oito critérios para compor o modelo. A junção dos nove critérios provenientes das métricas de

Marodin e Saurin (2013) e dos oito critérios de Dutra et al. (2014) resultou em 17 critérios para quantificação de benefícios de projetos de produção enxuta. Após uma análise crítica destes 17 critérios, foram incluídos mais dois critérios considerados importantes para projetos de produção enxuta e que estavam ausentes na seleção. Assim, finalmente, foram elaborados e selecionados os 19 critérios que compõem a etapa de quantificação de benefícios de projetos de produção enxuta e estão apresentados na Figura 9 com suas respectivas descrições. Adicionalmente, a Figura 9 revela a relação entre os critérios e as métricas de produção enxuta, as quais foram traduzidas em critérios claros para os tomadores de decisão. Esta etapa possibilitou que a estrutura de avaliação seja uniforme, considerando apenas critérios na avaliação de projetos, apesar de as métricas auxiliarem a quantificação econômica dos benefícios. Os 19 critérios estão agrupados em cinco blocos distintos, classificados em Aumento da Receita, Redução de Custos, Benefício Social, Benefício Ambiental e Benefício Ampliado em outros projetos. Essa divisão está de acordo com os moldes do Sistema de Produção Enxuta que prioriza estes elementos nas tomadas de decisão. A descrição de cada critério, explicando a definição destes e presente nas Figuras 6, 7 e 9, foi elaborada com base nos levantamentos realizados por Dutra et al. (2014) e nas revisões de literatura sobre produção enxuta. Essa descrição auxilia o tomador de decisão a compreender o que deve ser avaliado em cada critério e garante o entendimento dos projetos em análise. Os critérios foram classificados em qualitativos e quantitativos. Os critérios qualitativos referem-se a aspectos que não são diretamente quantificáveis, mas são essenciais para facilitar a análise posterior dos critérios quantificáveis. Neste modelo, são representados pelos critérios que favorecem a descrição e entendimento do projeto e estão presentes na Figura 6. Os critérios quantitativos combinam os aspectos referentes aos investimentos e/ou despesas e benefícios de cada projeto, de modo a permitir a avaliação do retorno de cada projeto e foram apresentados nas Figuras 7 e 9.

Os critérios, tanto para entendimento do projeto como para quantificação dos investimentos e dos benefícios, e as métricas selecionados foram avaliados por especialistas de projetos e especialistas de produção enxuta. Os especialistas consideraram os critérios e as métricas plausíveis e eficazes para avaliação de projetos de produção enxuta. Para esta análise foram consultados quatro especialistas, dois acadêmicos e dois responsáveis pelo gerenciamento de práticas enxutas na indústria.

CRITÉRIO	QUANTIFICAÇÃO DO BENEFÍCIO		MÉTRICA DE PRODUÇÃO ENXUTA
	DESCRIÇÃO		
Benefício Econômico Direto - Aumento de Receita	Quantifica o aumento do faturamento com a implantação do projeto.		
Redução de Lead Time	Analisa os ganhos com a diminuição do tempo de atravessamento dos produtos internamente e até o cliente final.		Lead time até o cliente Lead time de produção Porcentagem de peças entregues JIT
Aumento Produtividade	Analisa os ganhos com o aumento da eficiência dos equipamentos, redução de interrupções de manutenção e redução de atividades que não agregam valor (Ex: movimentações, processamentos desnecessários, ...).		Produtividade Eficiência dos equipamentos Distância de peças transportadas
Interação e Satisfação de Clientes	Analisa os benefícios com o aumento das interações e satisfação de clientes (Ex: redução de reclamações, entregas no prazo, ...).		Número de colaboradores dedicados à qualidade e inspeção Satisfação de clientes
Benefício Econômico Direto - Redução de Custos	Quantifica o aumento do faturamento com a implantação do projeto (redução de custos pela melhoria do produto ou processo, ...).		
Redução de Sucatas, Produtos com defeito e Retrabalhos	Analisa os ganhos com o aumento da qualidade dos produtos (redução de sucatas, defeito e retrabalhos).		Custo de sucata e retrabalho Porcentagem de produtos defeituosos Qualidade na fonte (Taxa da qualidade)
Redução de Estoques	Analisa os ganhos com a redução de WIP, estoques e matéria-prima.		Estoque WIP Estoque de produtos acabados Estoque total Estoque de matéria-prima Entrega de fornecedores no momento certo Tamanho do lote
Diminuição de Setups	Analisa os ganhos com a diminuição do tempo de setup ou do número de setups no processo.		Tempo de setup
Reutilização de partes/sistemas	Analisa a possibilidade de reutilização de partes pela implantação do projeto.		
Redução do número de fornecedores	Analisa os ganhos com a redução de fornecedores na cadeia de suprimentos.		Número médio de fornecedores por número de peça
Redução de perdas no emprego de material	Quantifica o retorno com o aumento de rendimento ou redução de perdas de emprego de material no processo.		Custo unitário
Benefício Social	Quantifica o benefício social do projeto.		
Atendimento às necessidades dos colaboradores	Analisa os benefícios gerados para os colaboradores com a implantação do projeto.		
Aprendizagem e conhecimento	Analisa se o desenvolvimento do projeto aumenta a aprendizagem e conhecimento da equipe envolvida.		Porcentagem de colaboradores treinados Porcentagem de funcionários trabalhando em times Tempo (ou custo) de treinamento por colaborador por ano Número de sugestões dos colaboradores por ano
Benefício Ambiental	Quantifica o benefício ambiental com o desenvolvimento do projeto.		
Redução de emprego de material ou recursos naturais	Quantifica o benefício gerado com a redução de emprego de materiais ou recursos naturais na produção.		
Redução de emissões ou poluição	Quantifica o retorno com a redução de emissões atmosféricas ou poluição.		
Benefício ampliados em outros projetos	Quantifica os benefícios do projeto sobre outros projetos do portfólio.		
Impacto nos projetos relacionados	Analisa o impacto do projeto em outros projetos do portfólio em termos de recursos necessários e benefícios esperados.		

Figura 9: Relação entre os critérios e as métricas de Produção Enxuta.

### **3.2. ESCOLHA DE MÉTODO PARA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE PRODUÇÃO ENXUTA**

Para auxiliar na escolha do método, foram avaliados os principais métodos utilizados para a seleção de projetos de qualquer natureza e os métodos utilizados para seleção de projetos de melhoria contínua. O trabalho de lamratanakul et al. (2008), baseado em uma revisão da literatura, identificou 37 métodos utilizados para seleção de projetos de qualquer natureza. Ademais, Dutra (2012) avalia que os métodos comumente utilizados para seleção de projetos são os métodos de Apoio Multicritério à Decisão, a Programação Matemática, os Métodos Econômicos/Financeiros e os Métodos Probabilísticos. Observa-se que estes métodos são quantitativos ou quanti-qualitativo.

No entanto, quando são avaliados projetos de melhoria contínua, a maioria dos trabalhos apresenta abordagens qualitativas ou quanti-qualitativo (HU et al., 2008). Paralelamente, sabe-se que os tomadores de decisão têm preferência e afinidade por resultados quantitativos, especialmente financeiros, tendo em vista o domínio do assunto que possuem (VERBANO; NOSELLA, 2010).

Assim sendo, na escolha do método de seleção de projetos, objetivou-se atender as seguintes características para garantir sua aplicação prática: (i) a possibilidade de incorporar múltiplos critérios, (ii) a possibilidade de considerar incertezas, (iii) a facilidade dos tomadores de decisão para entendimento do modelo, (iv) a facilidade de alterar ou ajustar o modelo com as mudanças de cenários e (v) a viabilização de um modelo econômico para seleção de projetos de produção enxuta. As características avaliadas foram semelhantes as adotadas por Dutra et al. (2014). Adicionalmente, considerou-se o uso de uma abordagem híbrida de métodos, já que potencializa os resultados da aplicação dos modelos e supre deficiências dos métodos em uso (LOCH; BODE-GREUEL, 2001; GABRIEL et al., 2006; VAIDYA; KUMAR, 2006; MEDAGLIA et al., 2007; WEY, 2008; SHAKHSI-NIAEI et al., 2011; DUTRA et al., 2014; MAVROTAS et al., 2015).

Portanto, um método híbrido que envolve procedimentos econômicos e probabilísticos foi selecionado. Esse método foi aplicado por Dutra et al. (2014) e Miorando et al. (2014). Miorando et al. (2014) utilizaram a abordagem para analisar riscos em projetos de TI e avaliar o retorno econômico de um projeto ajustado ao risco, considerando a distribuição de probabilidades do VPL e a forma como a variabilidade impacta cada fator de risco e altera o retorno do projeto. Dutra et al. (2014) utilizaram a abordagem híbrida para

selecionar e priorizar 120 projetos em uma empresa de distribuição de energia. O modelo avaliou o retorno (através da abordagem econômica) e a probabilidade de retorno (através da abordagem probabilística) de cada projeto. Ambos autores obtiveram resultados consistentes e validaram seus modelos, considerando que os mesmos podem ser aplicados em outras áreas de negócio, devido a generalidade dos modelos.

Os procedimentos econômicos permitem analisar o Retorno Relativo, o Retorno Absoluto e o tempo de retorno de cada projeto (*Payback*). As abordagens econômicas são consideradas amigáveis, simples e claras para os tomadores de decisão. Adicionalmente, os projetos que devem ser priorizados são facilmente identificáveis após a análise dos resultados, dependendo da classe de projetos em avaliação (VERBANO; NOSELLA, 2010; DUTRA et al. 2014).

Já os procedimentos probabilísticos auxiliam os tomadores de decisão a compreender o grau de incerteza envolvido nos critérios utilizados para seleção dos projetos. Para facilitar essa análise, optou-se pelo uso da Simulação de Monte Carlo, a qual gera randomicamente inúmeros valores para variáveis consideradas incertas e simula combinações de valores estipulando resultados (MOORE; WEATHERFORD, 2005). Assim, a Simulação de Monte Carlo considera as incertezas nos relacionamentos entre entradas e saídas dos projetos, expondo as consequências possíveis de investir em um projeto, apresentando ao tomador de decisão informações probabilísticas sobre o retorno dos projetos e a viabilidade dessas estimativas através do valor esperado do retorno financeiro e da respectiva dispersão (DUTRA et al. 2014). Não obstante, a combinação de uma abordagem econômica e probabilística atende uma limitação que aponta que métodos econômicos não devem ser utilizados de forma isolada (COOPER et al., 2001).

### **3.3. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO INTEGRANDO CRITÉRIOS E MÉTODO**

Após a seleção dos critérios, métricas e método, iniciou-se a elaboração do modelo para seleção e priorização de projetos de produção enxuta. O modelo aborda duas etapas. A primeira etapa contempla a estrutura de avaliação, a qual tem interface com os tomadores de decisão. A segunda etapa refere-se ao procedimento de avaliação dos projetos de produção enxuta, o qual conduz à seleção e priorização dos projetos.

A compilação dos critérios das Figuras 6, 7 e 9 resultou na estrutura de avaliação dos projetos de produção enxuta, apresentada na Figura 10. A estrutura contém 38 critérios e

está dividida em (i) descrição do projeto, contemplando 14 critérios qualitativos, (ii) quantificação dos investimentos, abordando cinco critérios e (iii) quantificação dos benefícios, apresentando 19 critérios e sendo esta considerada a etapa mais difícil de ser quantificada. A estrutura foi validada por especialistas de projetos e especialistas de produção enxuta, sendo consultados quatro especialistas, dois acadêmicos e dois responsáveis pelo gerenciamento de práticas enxutas na indústria. A estrutura e sua divisão foram consideradas adequadas e contemplando todos critérios essenciais para avaliação de projetos de produção enxuta. Além disso, está de acordo com os critérios elencados por Antony (2004) e Anand e Kodali (2008). Antony (2004) realizou uma pesquisa em 23 empresas e identificou os principais critérios para seleção e priorização de projetos de Seis Sigma. Os critérios são: impacto do projeto nos resultados financeiros; impacto do projeto na satisfação do cliente; redução de custos da não qualidade; custos envolvidos na execução do projeto; alinhamento com as metas e objetivos estratégicos do negócio; risco envolvido no projeto; e nível de especialização necessário para o projeto. Já Anand e Kodali (2008) realizaram uma revisão na literatura e conversaram com especialistas, o que resultou em uma lista com os 38 principais elementos para seleção de sistemas de Produção Enxuta. Esses elementos estão divididos em oito categorias: Financeiro/Custo, Organizacional, Papel da Alta Gerência, Impacto nos Colaboradores, Impacto nos Fornecedores, Impacto nos Clientes e Benefícios Percebidos.

A fim de construir os indicadores econômicos globais, os quais fazem parte do modelo de seleção e priorização de projetos de produção enxuta apresentado na Figura 11, deve-se garantir que todos critérios estejam na mesma base de mensuração. Tendo em vista que esses critérios geralmente são expressos em unidades monetárias, considerou-se esse princípio para parametrização dos critérios quantitativos, expressando-os através do Valor Presente (VP) para cada projeto em avaliação. No entanto, alguns critérios quantitativos são de difícil mensuração, especialmente os que estão contemplados nos blocos Benefício Social, Benefício Ambiental e Benefício ampliado em outros projetos. Isso deve-se ao fato de que são de natureza subjetiva e não são usuais para os tomadores de decisão, como os critérios nos blocos de Aumento de Receita e Redução de Custos. A Figura 9 corrobora esse fato, tendo em vista que praticamente não há métricas de produção enxuta provenientes do trabalho de Marodin e Saurin (2013) relacionadas aos blocos de

DESCRIÇÃO DO PROJETO	
Escopo do projeto	Descreve o que será feito no projeto e suas características principais.
Prazo do projeto	Tempo (em meses) para desenvolvimento do projeto.
Complexidade do projeto	Classifica o projeto de acordo com a sua complexidade técnica (Considerar para classificação: Localização, materiais, tecnologias, conhecimento, fornecedores e áreas envolvidas).
Facilidade de execução	Classifica o projeto de acordo com a facilidade de execução do projeto.
Facilidade de manutenção	Classifica o projeto de acordo com a facilidade de manutenção dos resultados.
Relacionamento com outros projetos	Identifica outros projetos do portfólio que apresentam interdependência com este.
Incertezas envolvidas	Identifica as incertezas (custo, técnica, tempo, ...) envolvidas no desenvolvimento do projeto.
Cientes envolvidos	Identifica os clientes que serão beneficiados com o resultado do projeto.
Urgência na realização do projeto	Identifica a urgência do projeto: mandatório ou eletivo.
Grau de inovação	Classifica o grau de inovação do projeto dentro da empresa. Considerando aspectos como: emprego de novos materiais, tecnologias, procedimentos e conhecimentos.
Potencial de replicabilidade ou expansão	Analisa o potencial de replicabilidade ou expansão do projeto dentro da empresa.
Melhoria da competitividade	Analisa se o desenvolvimento do projeto melhora a competitividade da empresa.
Atendimento a aspectos regulatórios	Analisa se a realização do projeto contribui para o atendimento de aspectos regulatórios (saúde e segurança, ambiental, qualidade (Ex.: INMETRO)).
Alinhamento estratégico	Analisa se o projeto está alinhado com as estratégias da empresa.
QUANTIFICAÇÃO DO INVESTIMENTO	
Investimento em Infraestrutura	Quantifica os investimentos em infraestrutura.
Investimento em Tecnologia	Quantifica os investimentos em aquisição ou utilização de novas tecnologias.
Investimento em RH	Quantifica os investimentos em recursos humanos para planejamento, execução e finalização do projeto.
Investimento em Fornecedores	Quantifica os investimentos em desenvolvimento, capacitação de fornecedores.
Investimento em Logística e Distribuição	Quantifica os investimentos em logística e distribuição.
QUANTIFICAÇÃO DO BENEFÍCIO	
Benefício Econômico Direto - Aumento de Receita	Quantifica o aumento do faturamento com a implantação do projeto.
Redução de Lead Time	Analisa os ganhos com a diminuição do tempo de atravessamento dos produtos internamente e até o cliente final.
Aumento Produtividade	Analisa os ganhos com o aumento da eficiência dos equipamentos, redução de interrupções de manutenção e redução de atividades que não agregam valor (Ex: movimentações, processamentos desnecessários, ...).
Interação e Satisfação de Clientes	Analisa os benefícios com o aumento das interações e satisfação de clientes (Ex: redução de reclamações, entregas no prazo, ...).
Benefício Econômico Direto - Redução de Custos	Quantifica o aumento do faturamento com a implantação do projeto (redução de custos pela melhoria do produto ou processo, ...).
Redução de Sucatas, Produtos com defeito e Retrabalhos	Analisa os ganhos com o aumento da qualidade dos produtos (redução de sucatas, defeito e retrabalhos).
Redução de Estoques	Analisa os ganhos com a redução de WIP, estoques e matéria-prima.
Diminuição de Setups	Analisa os ganhos com a diminuição do tempo de setup ou do número de setups no processo.
Reutilização de partes/sistemas	Analisa a possibilidade de reutilização de partes pela implantação do projeto.
Redução do número de fornecedores	Analisa os ganhos com a redução de fornecedores na cadeia de suprimentos.
Redução de perdas no emprego de material	Quantifica o retorno com o aumento de rendimento ou redução de perdas de emprego de material no processo.
Benefício Social	Quantifica o benefício social do projeto.
Atendimento às necessidades dos colaboradores	Analisa os benefícios gerados para os colaboradores com a implantação do projeto.
Aprendizagem e conhecimento	Analisa se o desenvolvimento do projeto aumenta a aprendizagem e conhecimento da equipe envolvida.
Benefício Ambiental	Quantifica o benefício ambiental com o desenvolvimento do projeto.
Redução de emprego de material ou recursos naturais	Quantifica o benefício gerado com a redução de emprego de materiais ou recursos naturais na produção.
Redução de emissões ou poluição	Quantifica o retorno com a redução de emissões atmosféricas ou poluição.
Benefício ampliados em outros projetos	Quantifica os benefícios do projeto sobre outros projetos do portfólio.
Impacto nos projetos relacionados	Analisa o impacto do projeto em outros projetos do portfólio em termos de recursos necessários e benefícios esperados.

Figura 10: Estrutura para avaliação de projetos de Produção Enxuta.

maior dificuldade para mensuração, exceto pelo critério Aprendizagem e Conhecimento. Para sanar esse problema, optou-se por utilizar uma forma de ponderação que atribui valores financeiros considerando a ordem de grandeza ou impacto desses critérios comparado aos demais. Desse modo, muitas vezes, os valores envolvidos são pequenos e acabam apenas resultando em critério de desempate na priorização. Caso algum desses critérios tenha um impacto significativo no projeto, será facilmente identificado e priorizado na avaliação. Assim sendo, será possível considerar e avaliar os critérios quantitativos no modelo, apesar do esforço resultante.

O modelo deste trabalho, apresentado na Figura 11, pode ser avaliado como uma abordagem adaptada para selecionar e priorizar projetos de produção enxuta. Além disso, considera incertezas dos projetos, é de fácil entendimento para os tomadores de decisão e segue um procedimento relativamente simples de aplicação. A aplicação do modelo inicia com a Análise Qualitativa de 14 critérios que permitem o entendimento do projeto, seus potenciais benefícios e custos. Esta etapa tem por objetivo garantir o consenso entre os envolvidos e gerar discussão e aprofundamento do projeto antes de avaliá-lo financeiramente. Na sequência é realizada a Análise Quantitativa dos critérios que avaliam os investimentos e os benefícios de cada projeto de produção enxuta. Para a quantificação dos investimentos são considerados cinco critérios apresentados em seus valores monetários mínimo, mais provável e máximo para cada projeto avaliado. Devem ser consideradas as incertezas envolvidas e distribuir os valores de acordo. Da mesma forma, para a quantificação dos benefícios, são estipulados os valores monetários mínimo, mais provável e máximo de cada critério, avaliando as incertezas envolvidas e distribuindo os valores de acordo. São considerados cinco critérios na avaliação: Benefício Direto - Aumento da Receita, Benefício Direto – Redução de Custos, Benefício Social, Benefício Ambiental e Benefício Ampliado em outros projetos. Os critérios de Aumento de Receita e Redução de Custos podem ser quantificados com maior facilidade considerando seu impacto nas métricas de produção enxuta. Já a análise dos benefícios social, ambiental e ampliado é realizada transformando os critérios qualitativos (pequeno, médio e grande impacto) em quantitativos através do seu entendimento e análise do provável efeito em cada projeto de produção enxuta analisado. São considerados dois critérios qualitativos sociais, dois critérios qualitativos ambientais e um critério qualitativo referente ao impacto

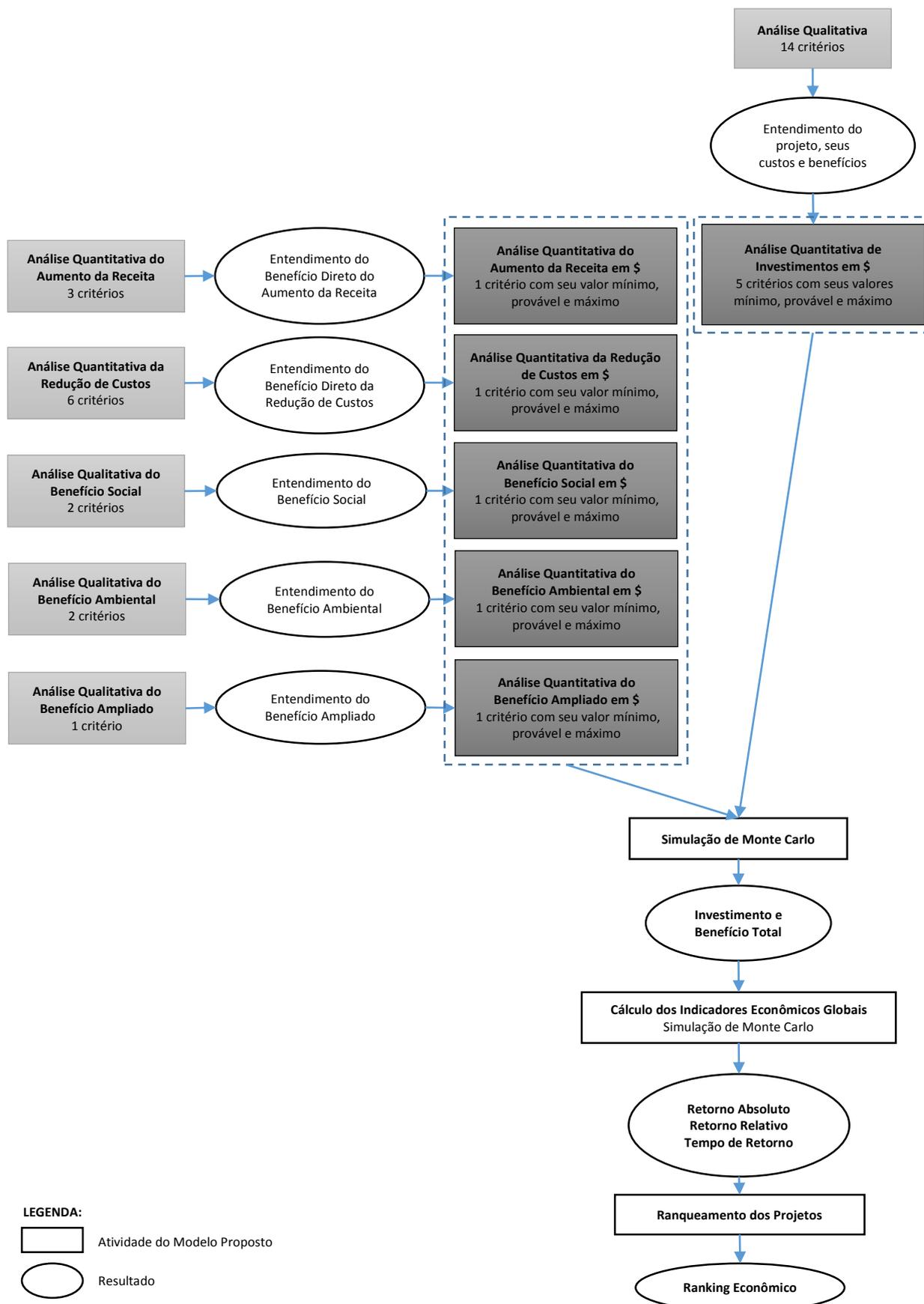


Figura 11: Modelo para seleção e priorização de projetos de Produção Enxuta.

em outros projetos, os quais são respectivamente transformados em um critério quantitativo que os representa.

A análise probabilística é implementada através de uma distribuição triangular que apresenta o valor monetário mínimo, mais provável e máximo de cada critério quantitativo, considerando as incertezas envolvidas. A simplicidade dessa forma de distribuição foi determinante para seleção da mesma (DUTRA et al., 2014). A fim de permitir o cálculo do tempo de retorno do investimento, deve-se considerar que os valores atribuídos para os respectivos investimentos e benefícios de cada projeto sejam distribuídos ao longo do tempo de análise em questão (FRANK et al., 2011). Por fim, a Simulação de Carlo é usada para avaliar a distribuição do investimento e benefício através da soma das seis variáveis estocásticas (critérios avaliados), resultando em distribuições de probabilidade para o investimento total, benefício total (soma dos cinco critérios avaliados), retorno relativo e retorno absoluto de cada projeto de produção enxuta. Assim, a Simulação de Monte Carlo permite o cálculo dos indicadores econômicos globais utilizados para a seleção e priorização dos projetos (DUTRA et al., 2014). Para o cálculo do Retorno Absoluto considera-se a diferença entre o benefício total e o investimento total de cada projeto, apresentadas como distribuições de suas variáveis estocásticas. Quanto maior o Retorno Absoluto maior será a viabilidade do respectivo projeto, indicando um potencial projeto priorizado. Já o Retorno Relativo é avaliado considerando-se a divisão do benefício total pelo investimento total. Os projetos que apresentarem maiores quocientes devem ser priorizados na seleção. Finalmente, o Tempo de Retorno (*payback*) apresenta como os investimentos e benefícios do projeto se comportam ao longo do tempo, avaliando o momento em que os investimentos se equiparam aos benefícios do projeto. Esse indicador foi calculado considerando-se uma Taxa Mínima de Atratividade mensal.

Estes indicadores econômicos globais são apresentados aos tomadores de decisão através de paretos, auxiliando-os na decisão e permitindo a seleção e priorização dos projetos de produção enxuta que apresentem o melhor retorno no menor tempo de retorno para as empresas. Os tomadores de decisão podem considerar o uso da média ou dos percentis das distribuições de probabilidade provenientes da análise como critério de corte na seleção dos projetos. Por exemplo, para perfis conservadores podem ser considerados o percentil de 25% do retorno absoluto ou relativo. Para perfis neutros, os valores médios e para perfis agressivos, o percentil de 75% do retorno absoluto ou relativo,

conforme recomendado por Dutra et al. (2014). Os cálculos da Simulação de Monte Carlo podem ser realizados em planilhas eletrônicas e são relativamente fáceis de serem implementados e obtidos.

### **3.4. APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO**

Após a construção do modelo, foi realizada uma aplicação prática para testar e avaliar a aplicabilidade do modelo. O modelo foi aplicado em 20 projetos de produção enxuta de sete diferentes setores de uma empresa siderúrgica. A análise dos projetos contou com a participação de representantes de cada um dos setores envolvidos, especialistas em produção enxuta e um especialista em custos, totalizando nove envolvidos. Em virtude da multidisciplinariedade do time, considera-se que as pessoas envolvidas possuíam conhecimento e dados suficientes para avaliar com razoável precisão os critérios e os projetos em questão.

### **3.5. ANÁLISE E VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO PRÁTICA**

Por fim, realizou-se uma análise e uma verificação dos resultados provenientes da aplicação do modelo. Esta etapa é crucial para realizar eventuais ajustes e validar o modelo, a fim de permitir a sua aplicação em outros conjuntos de projetos de produção enxuta. Para validação, foram elaborados gráficos com os retornos de cada projeto e elaborado um *ranking* com os projetos com maior retorno. Além disso, foram realizadas outras análises para verificar o comportamento de cada projeto em cada cenário (mínimo, mais provável e máximo) e comparado com os demais projetos. Para a Simulação de Monte Carlo foram utilizadas planilhas eletrônicas e o software *Crystal Ball*, a fim de realizar as análises dos resultados da aplicação do modelo nos projetos, sendo que os cálculos são realizados em pouco segundos.

A empresa na qual o modelo foi aplicado está iniciando sua jornada de implementação de práticas enxuta. Assim, o modelo pode auxiliar a empresa a selecionar e priorizar os projetos nos quais deve se concentrar e alocar seus recursos, identificados através do ranqueamento dos projetos proveniente da aplicação prática.

## 4. ESTUDO DE CASO

Para a validação do modelo desenvolvido, realizou-se uma aplicação do mesmo com o intuito de verificar sua aplicabilidade e desempenho na seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Assim, nesta seção serão abordados os tópicos relativos à aplicação do modelo desenvolvido em uma empresa e serão apresentadas as análises e resultados desta aplicação, bem como os projetos priorizados.

### 4.1. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo desenvolvido foi aplicado em uma empresa siderúrgica. A empresa já implementou algumas práticas e conceitos de produção enxuta no passado, mas de forma isolada e selecionando apenas algumas práticas. Iniciou-se um projeto estratégico para implementar os conceitos e práticas de produção enxuta adequados em toda unidade e de forma consistente. Desse modo, foram elencados 20 projetos de produção enxuta do portfólio da empresa, os quais estão listados na Figura 12. Os nomes dos projetos sofreram alguns ajustes, a fim de preservar a identidade da empresa. Os projetos pertencem a sete setores diferentes, e existe a necessidade de priorizar os projetos para otimizar o uso dos recursos disponíveis. Além disso, os projetos envolvem uma variedade de práticas e conceitos de produção enxuta. Mais especificamente, há a presença das seguintes práticas e conceitos: Análise de Tempos e Movimentos, Gerenciamento de Estoques e Matérias-Primas, Intervenção Rápida de Manutenção, Mapeamento de Fluxo de Valor, Otimização de Layout, Manutenção Produtiva Total, Troca Rápida de Ferramentas, *Hoshin Kanri* e *Gemba Walk*. Essa variedade permite testar a aplicabilidade no modelo em diversos cenários e projetos de produção enxuta.

Primeiramente, foi realizada uma aplicação piloto para identificar as possíveis dificuldades quando o modelo fosse aplicado junto ao conjunto completo de projetos e seus respectivos setores. Foram identificadas dificuldades para mensuração financeira de alguns critérios na etapa de quantificação dos benefícios do projeto. Desse modo, foram realizados alguns ajustes do modelo, os quais já estão contemplados no modelo apresentado na seção anterior. Adicionalmente, foi sugerido o desenvolvimento de uma planilha de apoio para otimizar e agilizar a quantificação dos benefícios de cada projeto. Essa planilha contém os principais custos, dados e resultados de indicadores dos setores envolvidos e auxilia o cálculo de investimentos e benefícios a partir das informações prestadas pelos envolvidos

na análise. A planilha foi elaborada com o auxílio do responsável pelo setor de custos da empresa, o responsável pelo acompanhamento dos projetos na empresa e o responsável pela implementação dos projetos de produção enxuta. Outro ponto elencado foi a realização das avaliações em pequenos grupos contendo apenas a participação do especialista em custos, especialista em projetos de produção enxuta e um ou dois representantes do setor envolvido no projeto, ao invés da aplicação em um grande grupo. O uso da planilha de apoio possibilita e agiliza essa forma de avaliação. Sabe-se que os representantes dos outros setores poderiam evidenciar ou sugerir outros pontos para serem avaliados e quantificados nos projetos, contudo, considerando-se a empresa em avaliação e a forma como os setores estão constituídos, a visão dos outros setores na avaliação não resultaria em contribuições importantes e tornaria o processo de avaliação mais moroso.

<b>Nº</b>	<b>PROJETOS DE PRODUÇÃO ENXUTA</b>
1	Análise de Tempos e Movimentos na troca de refratário
2	Análise de Tempos e Movimentos na troca de seção
3	Gerenciamento das Matérias-Primas
4	IRM Forno Aciaria
5	MFV Aciaria
6	Alteração layout Laboratório Metalúrgico
7	Alteração layout Laboratório Químico
8	Aumento OEE Laminador
9	TRF Laminador
10	Otimização estoque no setor de expedição
11	Otimização de roteiros de equipamentos móveis grande porte
12	Otimização de roteiros de equipamentos móveis pequeno porte
13	Gerenciamento de Estoques Almoxarifado
14	Aumento OEE Linha de Inspeção
15	IRM Linha de Inspeção
16	TRF Equipamento 1 Linha de Inspeção
17	TRF Equipamento no setor de Acabamento
18	TRF Equipamento 2 Linha de Inspeção
19	Aplicar <i>Hoshin Kanri</i>
20	Implementar <i>Gemba Walk</i>

Figura 12: Lista de projetos de Produção Enxuta.

Após os ajustes do modelo e a elaboração da planilha de apoio, iniciou-se a aplicação do modelo nos vinte projetos de produção enxuta elencados. Para a análise de cada um dos projetos, foi necessário em torno de uma hora para cada projeto e foram

realizadas sete reuniões, compatibilizando a agenda dos representantes de cada setor onde o projeto seria aplicado. Foram envolvidas nove pessoas durante a aplicação do modelo: um especialista em custos, um especialista em produção enxuta e sete representantes dos setores abrangidos com os projetos. A explicação do modelo, bem como os projetos em análise, foram apresentados no início da aplicação para cada representante do setor avaliado. O tempo da aplicação do modelo foi reduzindo à medida que os envolvidos na análise ficavam mais entrosados com a forma de avaliação.

## **4.2. ANÁLISE E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO**

Devido a questões de confidencialidade da empresa na qual o modelo foi aplicado, os valores reais de cada projeto foram multiplicados por um fator de correção. No entanto, o uso do fator de correção não altera os resultados da aplicação do modelo, visto que a proporção dos valores se mantém. Além disso, apenas uma amostra dos vinte projetos do portfólio será detalhada, com o intuito de apresentar minúcias do processo de cálculo. Os vinte projetos foram analisados da mesma forma e, na seção 4.2.1, será apresentada a análise e os resultados obtidos.

### **4.2.1. Exemplo de análise**

O projeto selecionado como exemplo aborda a implementação da prática de Troca Rápida de Ferramentas em um equipamento na Linha de Inspeção, sendo aqui denominado como projeto de TRF Equipamento 1. A avaliação dos critérios qualitativos de descrição do projeto de TRF Equipamento 1 está apresentada na Figura 13. Essa avaliação auxilia o entendimento do escopo do projeto e favorece a avaliação posterior dos critérios quantitativos, os quais estão apresentados na Tabela 1. A Tabela 1 apresenta os critérios quantitativos, divididos em Investimento e Benefício, e seus respectivos valores mínimo, mais provável e máximo, determinados pelos especialistas. Os valores da Tabela 1 estão expressos em milhares e foram utilizados para a realização das Simulações de Monte Carlo através do software *Crystal Ball*, que é um *add-in* do Excel. Foram realizadas 10.000 avaliações para cada projeto e calculados o Investimento e Benefício Total e os Indicadores Econômicos de Retorno Absoluto, Retorno Relativo e Tempo de Retorno (*Payback*).

Para a Simulação de Monte Carlo completa foi necessário um tempo total de execução de 17,45 segundos para realizar as 10.000 avaliações. A média foi de 573

CRITÉRIOS QUALITATIVOS	TRF EQUIPAMENTO 1
<b>Entendimento do Projeto</b>	
Escopo do projeto	Implementar TRF no Equipamento 1 da Linha de Inspeção, capacitar operação e padronizar novo modelo de trabalho
Prazo do projeto	6 meses
Complexidade do projeto	Média, depende da aceitabilidade da operação
Facilidade de execução	Média, depende da aceitabilidade da operação
Facilidade de manutenção	Alta após desenvolvimento de padrões de operação
Relacionamento com outros projetos	Não, mas influencia diretamente os resultados do processo
Incertezas envolvidas	Possibilidade de alterar formato das guias para facilitar setup e aderência da operação
Clientes envolvidos	Postos seguintes da Linha de Inspeção e Cliente Final
Urgência na realização do projeto	Mandatário por tratar-se do equipamento gargalo da Linha de Inspeção e devido ao aumento de setups no processo
Grau de inovação	Baixo, prática já foi implementada no passado em outros equipamentos da unidade
Potencial de replicabilidade ou expansão	Alto, pode ser replicado nos equipamentos semelhantes das outras Linhas de Inspeção e nos demais equipamentos da própria Linha
Melhoria da competitividade	Sim, otimização do gargalo e aumento de produtividade do setor
Atendimento a aspectos regulatórios	Não, apenas melhorias de processo e de segurança para a operação
Alinhamento estratégico	Sim, aumento de produtividade de um setor crítico para a unidade
<b>Benefício Social</b>	
Atendimento às necessidades dos colaboradores	Melhoria de aspectos ergonômicos e redução da exposição à carga suspensa
Aprendizagem e conhecimento	Integração da operação na realização do projeto
<b>Benefício Ambiental</b>	
Redução de emprego de material ou recursos naturais	Não há
Redução de perdas no processo	Não há
<b>Benefício Ampliados em outros projetos</b>	
Impacto nos projetos relacionados	Por ser o gargalo, tem impacto em toda Linha de Inspeção

Figura 13: Avaliação dos critérios qualitativos do projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 1: Valores atribuídos ao projeto TRF Equipamento 1 pelo grupo de analistas.

CRITÉRIOS QUANTITATIVOS		PROJETO		
		Mín.	Prov.	Máx.
Investimento	Investimento em Infraestrutura e Materiais*	24,0	32,0	72,0
	Investimento em Tecnologia*	-	-	-
	Investimento em RH*	0,2	0,6	1,0
	Investimento em Fornecedores*	0,4	0,6	1,0
	Investimento em Logística e Distribuição*	-	-	-
Benefício	Aumento de Receita*	41,3	62	82,7
	Redução de Custos*	4,0	7,0	8,6
	Benefício Social*	2,4	3,8	5,0
	Benefício Ambiental*	-	-	-
	Benefício Ampliados em outros projetos*	16,5	24,8	33,1

\* Valores expressos em milhares de reais.

avaliações por segundo e foram gerados 4.012 números aleatórios por segundo. Neste caso, foram avaliados sete pressupostos (Investimento em Infraestrutura e Materiais, Investimento em RH, Investimento em Fornecedores, Aumento de Receita, Redução de Custos, Benefício Social e Benefício Ampliados em outros projetos), os quais variaram de projeto para projeto. E foram realizadas as mesmas cinco previsões (Investimento Total, Benefício Total, Retorno Absoluto, Retorno Relativo e *Payback*) para todos os projetos do portfólio.

Para o Investimento Total, o nível de certeza apresentado é de 95%, avaliando a média e os percentis de 5% e 95%. A distribuição de probabilidade está apresentada na Figura 14. O intervalo de certeza é de R\$ 28.308,08 (percentil de 5%) a R\$ 66.298,20 (percentil de 95%) e o intervalo inteiro compreende a faixa de R\$ 25.327,72 a R\$ 72.785,19. Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é R\$ 104,82. O investimento médio é de R\$ 43.953,40. Verifica-se que a distribuição de probabilidade é assimétrica a direita (assimétrica positiva), ou seja, a maior frequência dos valores da previsão encontra-se abaixo da média. Apesar disso, o risco desse indicador não é tão elevado porque não apresenta valores negativos na sua distribuição.

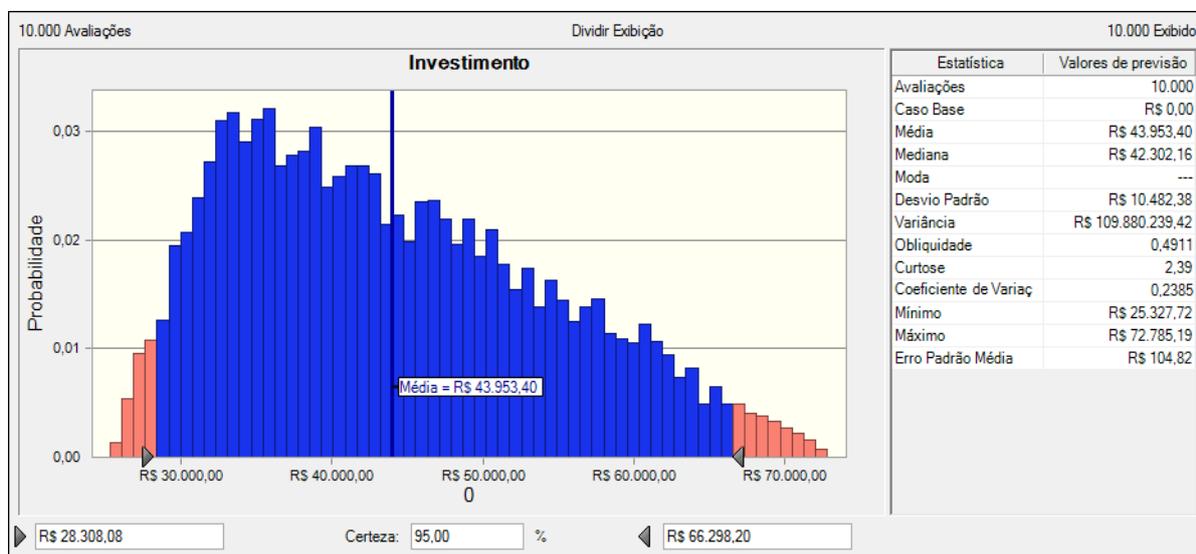


Figura 14: Distribuição do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1.

Na sequência, realizou-se a Análise de Sensibilidade para verificar o impacto de cada pressuposto no Investimento Total. A Figura 15 apresenta a porcentagem de contribuição de cada pressuposto para variação do Investimento Total e a Figura 16 demonstra a correlação de classificação de cada pressuposto no Investimento Total. A Tabela 2 compila

os resultados da análise de sensibilidade para cada um dos pressupostos e está ordenada por impacto no resultado, validando o grande impacto do Investimento em Infraestrutura e Materiais na análise do Projeto TRF Equipamento 1. Esse grande impacto é proveniente da aquisição de novos materiais para viabilizar a redução de tempo de setup, o que acabou superando os gastos com RH, tendo em vista que, geralmente, a aplicação de TRF necessita de várias análises e o envolvimento de todas as pessoas presente nos cenários onde a prática será aplicada. Os pressupostos de Investimento em RH e Investimento em Fornecedores praticamente não tiveram impacto no resultado final do indicador.

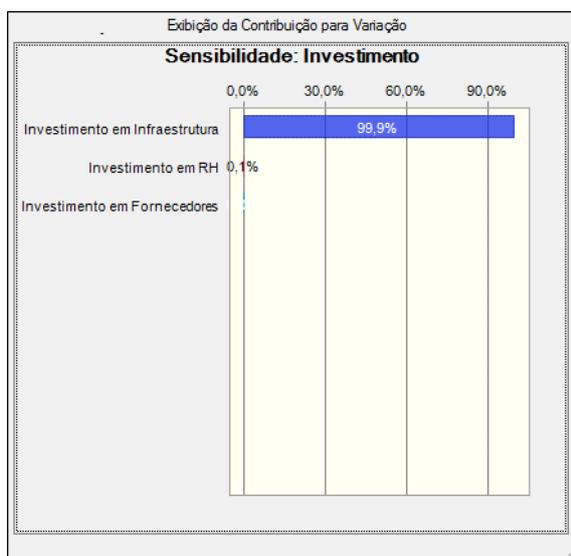


Figura 15: Contribuição para a Variação do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1.

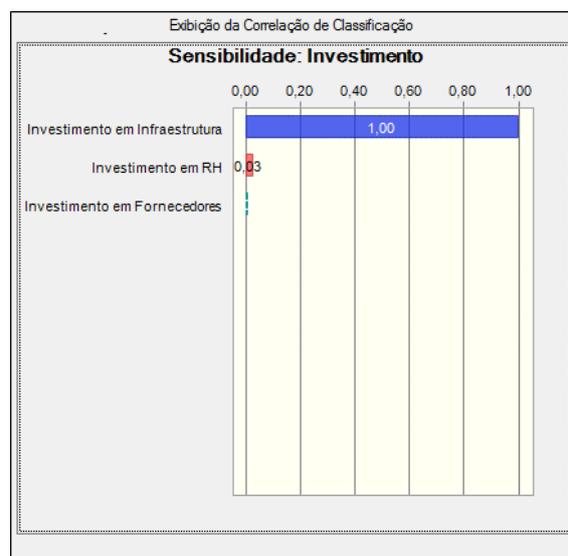


Figura 16: Correlação de Classificação do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 2: Resultados da Análise de Sensibilidade do Investimento Total do Projeto TRF Equipamento 1.

PRESSUPOSTOS	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	
	Contribuição para Variação	Correlação de Classificação
<b>Investimento em Infraestrutura e Materiais</b>	99,9%	1,00
<b>Investimento em RH</b>	0,1%	0,03
<b>Investimento em Fornecedores</b>	0,0%	0,00

Da mesma forma, para o Benefício Total, o nível de certeza apresentado é de 95%, avaliando a média e os percentis de 5% e 95%. A distribuição de probabilidade está apresentada na Figura 17, a qual aparentemente está simétrica e não apresenta valores de distribuição negativos. O intervalo de certeza é de R\$ 79.686,49 (percentil de 5%) a R\$ 114.375,09 (percentil de 95%). O intervalo inteiro compreende a faixa de R\$ 70.288,32 a R\$ 124.165,80 e o valor médio da distribuição é de R\$ 97.127,11. Após 10.000 avaliações, o

erro padrão associado à estimativa da média é R\$ 90,33, considerado baixo apesar da grande variância entre os valores.

A Análise de Sensibilidade foi realizada para verificar o impacto de cada pressuposto no Benefício Total. A Figura 18 apresenta a porcentagem de contribuição de cada pressuposto para variação do Benefício Total e a Figura 19 demonstra a correlação de classificação de cada pressuposto no Benefício Total. A Tabela 3 compila os resultados da análise de sensibilidade para cada um dos pressupostos e está ordenada por impacto no resultado, validando o grande impacto do Aumento de Receita na análise do Projeto TRF Equipamento 1, devido ao aumento de produtividade e a possibilidade de aumento de produção com a redução dos tempos de setup na máquina. O pressuposto de Benefício Ampliado em outros projetos tem baixo impacto, tendo em vista que a prática pode ser replicada em outros equipamentos e os pressupostos de Redução de Custos e Benefício Social praticamente não tiveram impacto no resultado final do indicador.

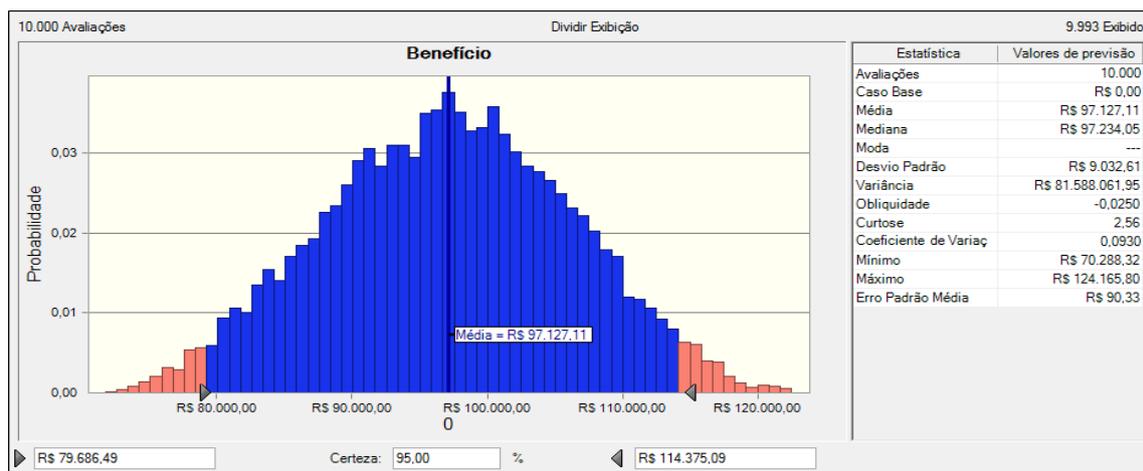


Figura 17: Distribuição do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1.

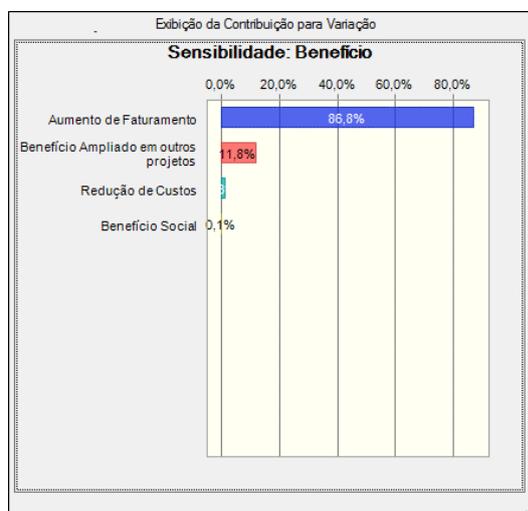


Figura 18: Contribuição para Variação do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1.

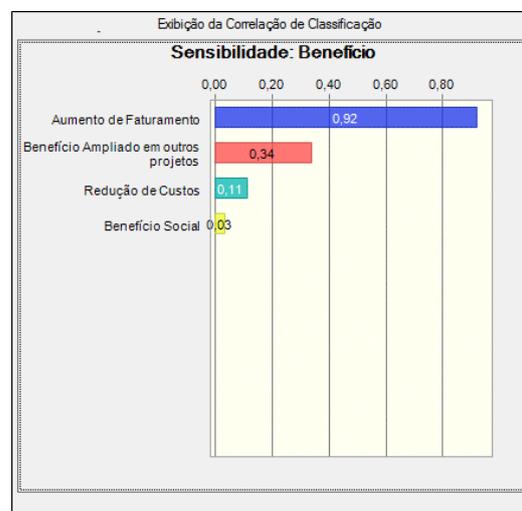


Figura 19: Correlação de Classificação do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 3: Resultados da Análise de Sensibilidade do Benefício Total do Projeto TRF Equipamento 1.

PRESSUPOSTOS	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	
	Contribuição para Variação	Correlação de Classificação
<b>Aumento de Receita</b>	86,8%	0,92
<b>Benefício Ampliado em outros projetos</b>	11,8%	0,34
<b>Redução de Custos</b>	1,3%	0,11
<b>Benefício Social</b>	0,1%	0,03

Para o Retorno Absoluto, o nível de certeza apresentado é de 95%, avaliando a média e os percentis de 5% e 95%. A distribuição de probabilidade está apresentada na Figura 20 e é sutilmente assimétrica à esquerda (assimetria negativa). O intervalo de certeza é de R\$ 25.010,37 (percentil de 5%) a R\$ R\$ 77.689,01 (percentil de 95%). O intervalo inteiro compreende a faixa de R\$ 6.703,70 a R\$ 91.675,81 e a média da distribuição é R\$ 53.173,70. Após 10.000 avaliações, o erro padrão associado à estimativa da média é R\$ 138,15. O projeto não apresenta nenhum valor probabilístico negativo e, portanto, pode ser considerado com baixo risco.

Na sequência, a Análise de Sensibilidade foi realizada para verificar o impacto de cada pressuposto no Retorno Absoluto. A Figura 21 apresenta a porcentagem de contribuição de cada pressuposto para variação do Retorno Absoluto e a Figura 22 demonstra a correlação de classificação de cada pressuposto no Retorno Absoluto. A Tabela 4 compila os resultados da análise de sensibilidade para cada um dos pressupostos e está ordenada por impacto no resultado, validando o grande impacto negativo do Investimento em Infraestrutura e Materiais e o grande impacto positivo do Aumento de Receita na análise do Projeto TRF Equipamento 1. Os demais pressupostos (Benefício Ampliado em outros projetos, Redução de Custos, Benefício Social, Investimento em RH e Investimento em Fornecedores) praticamente não tiveram impacto no resultado final do indicador.

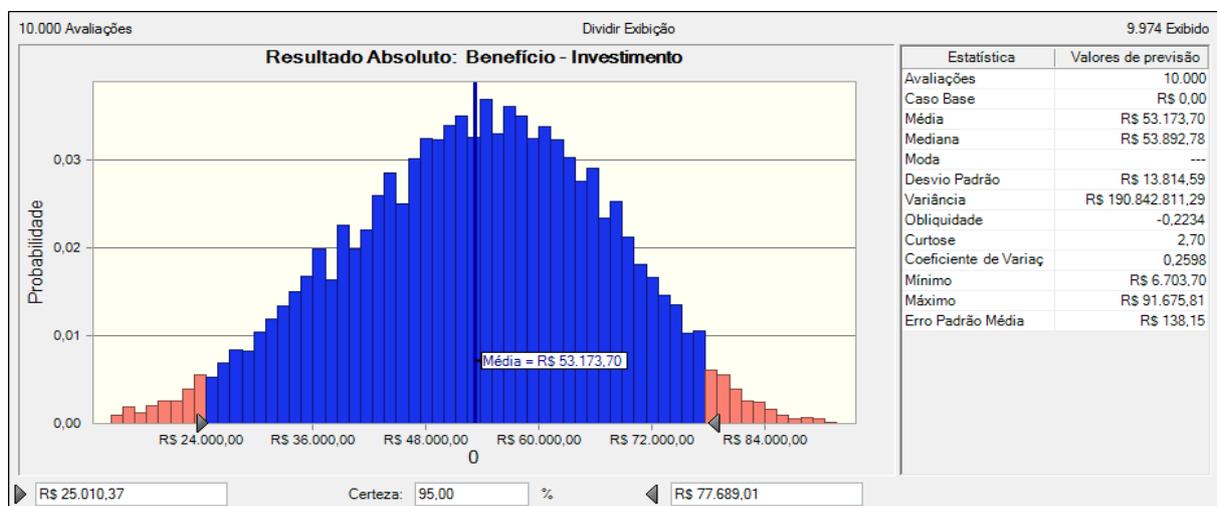


Figura 20: Distribuição de Probabilidade do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.

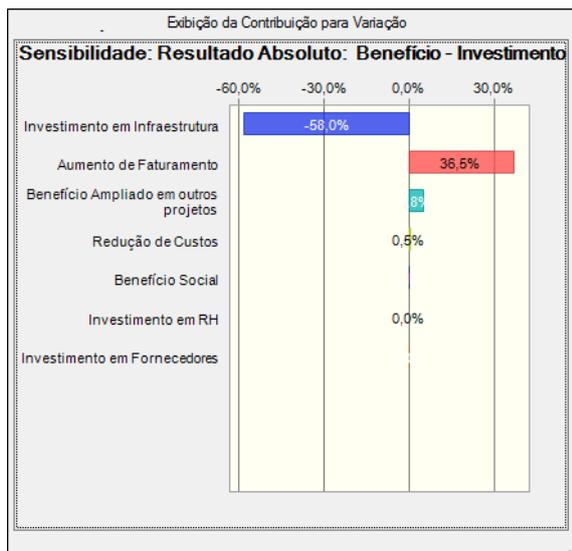


Figura 21: Contribuição para Variação do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.

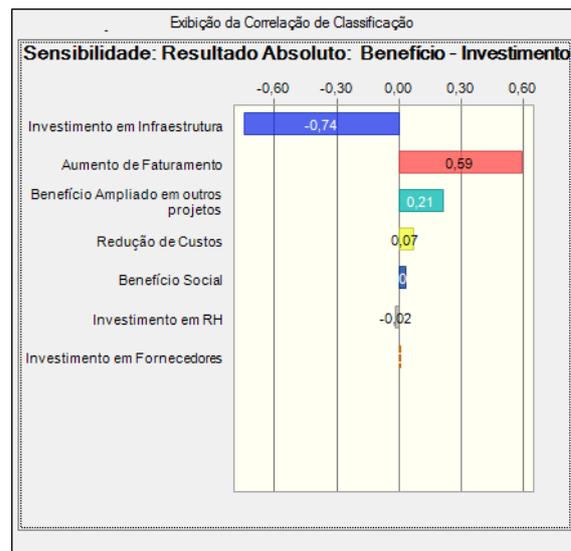


Figura 22: Correlação de Classificação do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 4: Resultados da Análise de Sensibilidade do Retorno Absoluto do Projeto TRF Equipamento 1.

PRESSUPOSTOS	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	
	Contribuição para Variação	Correlação de Classificação
<b>Investimento em Infraestrutura e Materiais</b>	58,0%	-0,74
<b>Aumento de Receita</b>	36,5%	0,59
<b>Benefício Ampliado em outros projetos</b>	4,8%	0,21
<b>Redução de Custos</b>	0,5%	0,07
<b>Benefício Social</b>	0,1%	0,03
<b>Investimento em RH</b>	0,0%	-0,02
<b>Investimento em Fornecedores</b>	0,0%	0,00

Para o Retorno Relativo, o nível de certeza apresentado é de 95%, avaliando a média e os percentis de 5% e 95%. A distribuição de probabilidade está apresentada na Figura 23 e é assimétrica à direita (assimetria positiva), de modo que apresenta um alto risco de possuir um baixo Retorno Relativo, devido ao alto impacto dos investimentos na implementação da prática. O intervalo de certeza é de 1,40 (percentil de 5%) a 3,56 (percentil de 95%). O intervalo inteiro compreende a faixa de 1,10 a 4,45 e o valor médio de distribuição é de 2,34. Após 10.000 avaliações, o erro padrão associado à estimativa da média é 0,01, considerado baixo e com pouca variância.

A Análise de Sensibilidade foi realizada para verificar o impacto de cada pressuposto no Retorno Relativo. A Figura 24 apresenta a porcentagem de contribuição dos pressupostos para variação do Retorno Relativo e a Figura 25 demonstra a correlação de classificação dos pressupostos no Retorno Relativo. A Tabela 5 compila os resultados da análise de sensibilidade para cada um dos pressupostos e está ordenada por impacto no resultado, validando o grande impacto e correlação negativo do Investimento em

Infraestrutura e Materiais análise do Projeto TRF Equipamento 1. Diferentemente do Retorno Absoluto, que também apresentou o Aumento de Receita como pressuposto com maior proporção de impacto. Os demais pressupostos (Benefício Ampliado em outros projetos, Redução de Custos, Benefício Social, Investimento em RH e Investimento em Fornecedores) praticamente não tiveram impacto no resultado final do indicador.

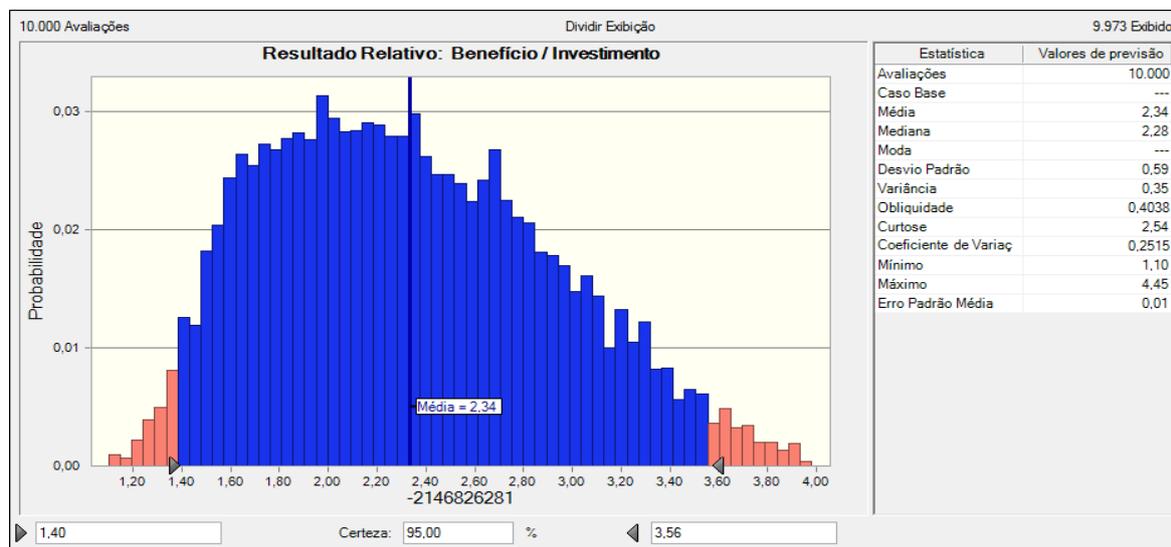


Figura 23: Distribuição de Probabilidade do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1.

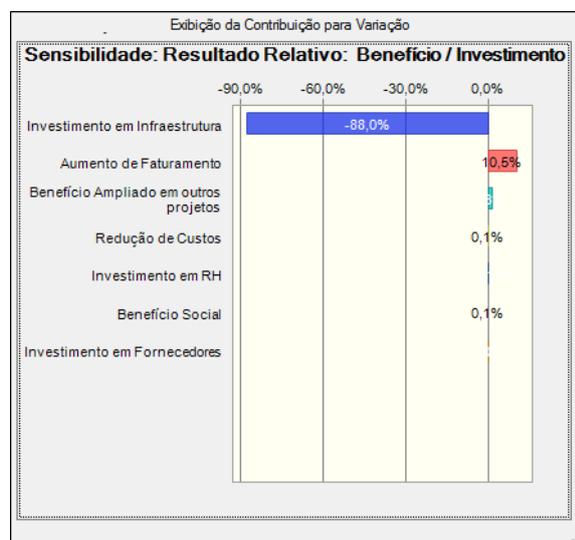


Figura 24: Contribuição para Variação do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1.

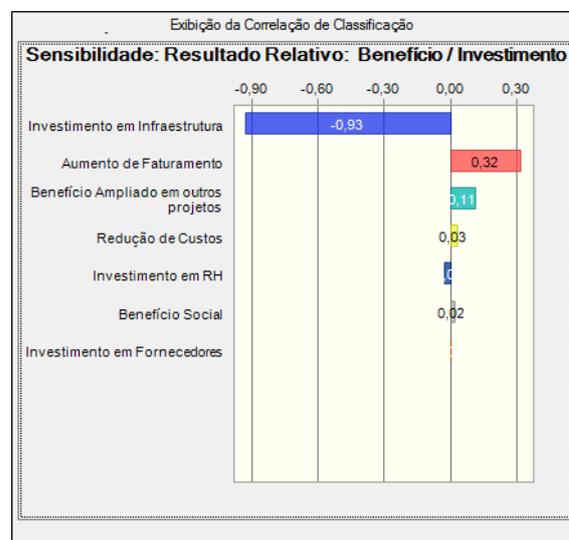


Figura 25: Correlação de Classificação do Retorno Relativo do Projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 5: Resultados da Análise de Sensibilidade do Retorno Relativo do TRF Equipamento 1.

PRESSUPOSTOS	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	
	Contribuição para Variação	Correlação de Classificação
<b>Investimento em Infraestrutura e Materiais</b>	88,0%	-0,93
<b>Aumento de Receita</b>	10,5%	0,32
<b>Benefício Ampliado em outros projetos</b>	1,3%	0,11
<b>Redução de Custos</b>	0,1%	0,03
<b>Investimento em RH</b>	0,1%	-0,02
<b>Benefício Social</b>	0,1%	0,02
<b>Investimento em Fornecedores</b>	0,0%	0,00

Por fim, para o Tempo de Retorno (*Payback*), o nível de certeza apresentado é de 95%, avaliando a média e os percentis de 5% e 95%. A distribuição de probabilidade está apresentada na Figura 26 e é assimétrica à direita (assimetria positiva), de modo que apresenta um alto risco de possuir um baixo tempo de retorno para o investimento. O *Payback* foi calculado considerando-se uma Taxa Mínima de Atratividade de 1% ao mês para a empresa e está apresentado em meses. O intervalo de certeza é de 3,40 (percentil de 5%) a 8,66 meses (percentil de 95%). O intervalo inteiro compreende a faixa de 2,72 a 11,01 meses e o valor médio de distribuição é de 5,53 meses, ou seja, leva em média 5,53 meses para os gastos e as receitas com o projeto se igualarem. Após 10.000 avaliações, o erro padrão da média é 0,01, considerado baixo e com pouca variância.

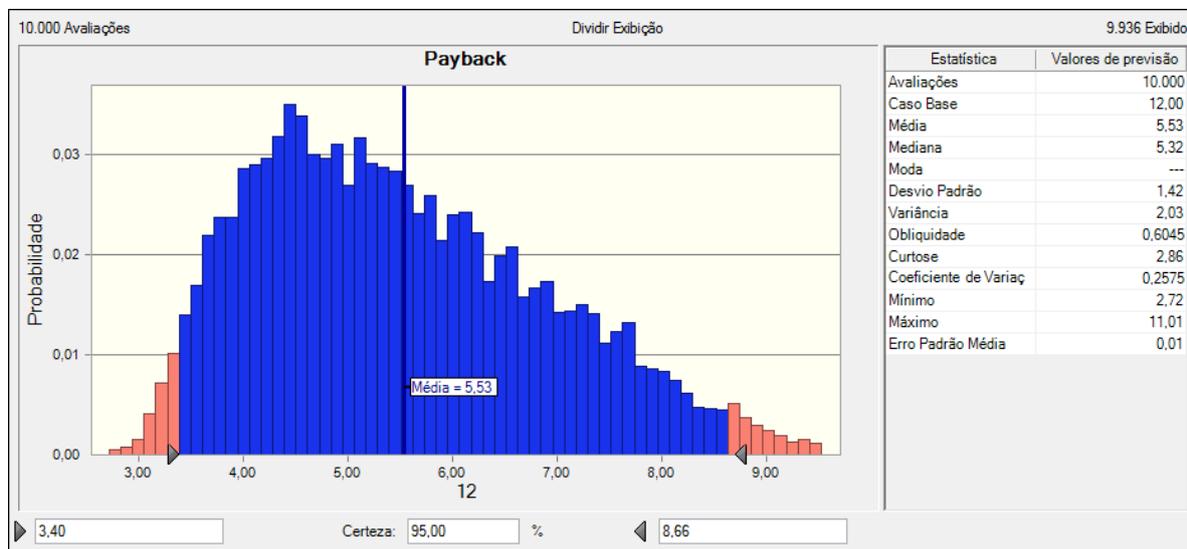


Figura 26: Distribuição de Probabilidade do Payback do Projeto TRF Equipamento 1.

A Análise de Sensibilidade foi realizada para verificar o impacto de cada pressuposto no *Payback*. A Figura 27 apresenta a porcentagem de contribuição dos pressupostos para variação do *Payback* e a Figura 28 demonstra a correlação de classificação dos pressupostos no *Payback*. A Tabela 5 compila os resultados da análise de sensibilidade para cada um dos pressupostos e está ordenada por impacto no resultado, validando o grande impacto e correlação positiva do Investimento em Infraestrutura e Materiais análise do Projeto TRF Equipamento 1, idem ao verificado no Retorno Absoluto e Relativo. O Aumento de Receita apresentou uma alta dispersão e um impacto baixo no *Payback*. Os demais pressupostos (Benefício Ampliado em outros projetos, Redução de Custos, Benefício Social, Investimento em RH e Investimento em Fornecedores) praticamente não tiveram impacto no resultado final do indicador. Os valores encontrados para a contribuição da variação e a correlação da

classificação dos pressupostos são idênticos aos encontrados no Retorno Relativo, exceto pelo sinal da correlação de classificação na qual os investimentos são negativos e os benefícios são positivos no Retorno Relativo e no *Payback* estão ao contrário.

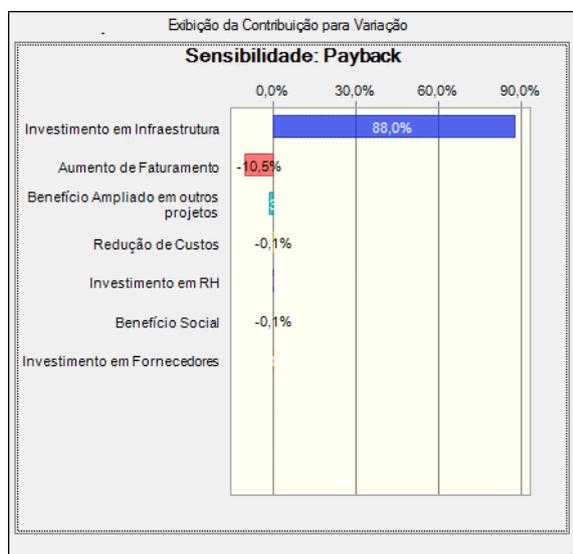


Figura 27: Contribuição para Variação do *Payback* no Projeto TRF Equipamento 1.

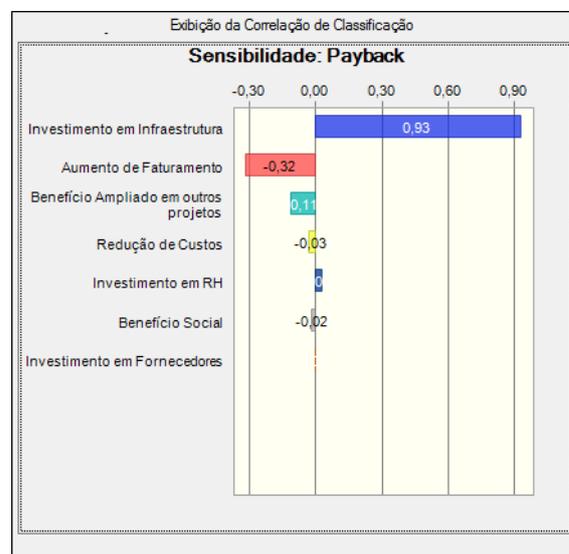


Figura 28: Correlação de Classificação do *Payback* no Projeto TRF Equipamento 1.

Tabela 6: Resultados da Análise de Sensibilidade do *Payback* no TRF Equipamento 1.

PRESSUPOSTOS	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	
	Contribuição para Variação	Correlação de Classificação
<b>Investimento em Infraestrutura e Materiais</b>	88,0%	0,93
<b>Aumento de Receita</b>	10,5%	-0,32
<b>Benefício Ampliado em outros projetos</b>	1,3%	-0,11
<b>Redução de Custos</b>	0,1%	-0,03
<b>Investimento em RH</b>	0,1%	0,02
<b>Benefício Social</b>	0,1%	-0,02
<b>Investimento em Fornecedores</b>	0,0%	0,00

A Tabela 7 apresenta um resumo com as principais estatísticas e valores de previsão para o Projeto TRF Equipamento 1. São apresentados os resultados para o Investimento Total, Benefício Total, Retorno Absoluto, Retorno Relativo e *Payback*. Em virtude de tanto o Retorno Absoluto quanto o Retorno Relativo apresentarem valores positivos, o Projeto TRF Equipamento 1 pode ser mantido na avaliação e priorização, tendo em vista que não trará prejuízos para a empresa, caso seja implementado. Além disso, o *Payback* auxilia a identificar se o tempo de retorno desse projeto é viável dentro do que a empresa espera do projeto.

Dependendo do perfil do tomador de decisão (mais agressivo ou mais conservador), ele pode tomar a decisão de selecionar projetos que tragam no mínimo um retorno x para

um certo percentil. Desse modo, a Tabela 7, apresenta os resultados de valores de previsão para diversos percentis para o Investimento e Benefício Total e para o Retorno Absoluto e Relativo, a fim de auxiliar o tomador de decisão na sua seleção e priorização. O tomador de decisão pode selecionar o risco que deseja correr em cada um dos indicadores e com base nisso, definir qual projeto é mais favorável para ser implementado.

Tabela 7: Estatísticas e Valores de Previsão do Projeto TRF Equipamento 1.

ESTATÍSTICAS	VALORES DE PREVISÃO DO PROJETO TRF EQUIPAMENTO 1				
	Investimento Total	Benefício Total	Retorno Absoluto	Retorno Relativo	Payback
Avaliações	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Média	R\$ 43.953,40	R\$ 97.127,11	R\$ 53.173,70	2,34	5,53
Mediana	R\$ 42.302,16	R\$ 97.234,05	R\$ 53.892,78	2,28	5,32
Desvio Padrão	R\$ 10.482,38	R\$ 9.032,61	R\$ 13.814,59	---	1,42
Variância	R\$ 109.880.239,42	R\$ 81.588.061,95	R\$ 190.842.811,29	0,59	2,03
Obliquidade	0,4911	-0,0250	-0,2234	0,35	0,6045
Curtose	2,39	2,56	2,70	0,4038	2,86
Coefficiente de Variação	0,2385	0,0930	0,2598	2,54	0,2575
Mínimo	R\$ 25.327,72	R\$ 70.288,32	R\$ 6.703,70	0,2515	2,72
Máximo	R\$ 72.785,19	R\$ 124.165,80	R\$ 91.675,81	1,10	11,01
Largura do Intervalo	R\$ 47.457,47	R\$ 53.877,48	R\$ 84.972,11	4,45	8,29
Erro Padrão Média	R\$ 104,82	R\$ 90,33	R\$ 138,15	3,35	0,01

Tabela 8: Percentis e Valores de Previsão do Projeto TRF Equipamento 1.

PERCENTIS	VALORES DE PREVISÃO DO PROJETO TRF EQUIPAMENTO 1				
	Investimento Total	Benefício Total	Retorno Absoluto	Retorno Relativo	Payback
0%	R\$ 25.327,72	R\$ 70.288,32	R\$ 6.703,70	1,10	2,72
1%	R\$ 27.151,27	R\$ 77.257,18	R\$ 20.015,35	1,31	3,23
5%	R\$ 29.676,76	R\$ 81.984,29	R\$ 29.442,07	1,49	3,59
25%	R\$ 35.319,31	R\$ 90.736,74	R\$ 43.740,45	1,87	4,42
30%	R\$ 36.593,99	R\$ 92.119,02	R\$ 46.158,73	1,95	4,57
40%	R\$ 39.363,69	R\$ 94.870,54	R\$ 50.137,26	2,11	4,94
50%	R\$ 42.300,73	R\$ 97.231,62	R\$ 53.891,08	2,28	5,32
60%	R\$ 45.818,12	R\$ 99.588,71	R\$ 57.453,82	2,45	5,73
70%	R\$ 49.290,74	R\$ 102.141,43	R\$ 61.231,68	2,65	6,20
75%	R\$ 51.236,36	R\$ 103.590,63	R\$ 63.138,70	2,74	6,49
80%	R\$ 53.628,16	R\$ 105.095,05	R\$ 65.424,89	2,86	6,79
90%	R\$ 59.410,53	R\$ 108.920,52	R\$ 70.711,45	3,16	7,57
95%	R\$ 63.169,02	R\$ 112.019,34	R\$ 74.776,33	3,38	8,13
99%	R\$ 68.971,34	R\$ 116.668,73	R\$ 81.302,31	3,75	9,20
100%	R\$ 72.785,19	R\$ 124.165,80	R\$ 91.675,81	4,45	11,01

#### 4.2.2. Priorização dos projetos do portfólio

Nesta seção serão apresentados os valores probabilísticos encontrados na análise dos vinte projetos da empresa na qual o modelo foi aplicado. Foram realizados os mesmos procedimentos apresentados nas seções 4.2.1 para o Projeto TRF Equipamento 1.

O tempo de análise para cada projeto teve uma variação considerável, sendo que o primeiro projeto apresentou um tempo maior, que foi em torno de uma hora. Isso ocorreu porque os critérios avaliados eram os mesmos, e o uso de planilhas eletrônicas favoreceu a análise e registro dos demais projetos. Além disso, os especialistas concentraram-se apenas na avaliação dos critérios e suas respectivas quantificações. As análises foram realizadas posteriormente após a compilação de todos os projetos em planilhas eletrônicas. O software *Crystal Ball* apresentou os resultados para cada projeto de todos indicadores simultaneamente e em questão de segundos, facilitando e agilizando a análise dos resultados.

Foram realizadas interações e obtidos os mesmos percentis apresentados anteriormente (0%, 1%, 5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 90%, 95%, 99%, 100%). Contudo para apresentação dos resultados foram selecionados apenas os percentis de 5%, 25%, 50%, 75% e 95%. Desse modo, na Tabela 9 são apresentados os valores probabilísticos para Investimento Total, Benefício Total e Retorno Absoluto para os vinte projetos analisados, expressos em milhares de reais. Já na Tabela 10 são apresentados os resultados os valores probabilísticos para Retorno Relativo e *Payback*, expresso em meses, para os vinte projetos. Verifica-se que todos os projetos apresentaram Benefício Total e Retorno Absoluto positivos e Retorno Relativo superior a um, demonstrando-se ser um portfólio de projetos que não trará prejuízos a empresa e nenhum deles foi eliminado na análise, sendo indicados para a priorização dos projetos.

Verifica-se que há uma grande dispersão dos valores, devido as especificidades de cada projeto analisado. O Projeto 2 destaca-se por possuir o maior valor mediano (percentil de 50%) probabilístico de Benefício Total, Investimento Total e Retorno Absoluto. Contudo, devido aos altos valores associados aos investimentos para a implantação deste projeto, o seu Retorno Relativo e seu *Payback* resultam em valores intermediários quando comparado aos demais projetos. Outro ponto é que projetos que possuem grandes valores de Benefício Total, tendem a apresentar altos valores de Retorno Absoluto.

Tabela 9: Valores probabilísticos para Investimento Total, Benefício Total e Retorno Absoluto para os projetos.

PROJETO	INVESTIMENTO TOTAL*					BENEFÍCIO TOTAL*					RETORNO ABSOLUTO*				
	5%	25%	50%	75%	95%	5%	25%	50%	75%	95%	5%	25%	50%	75%	95%
1	9,0	9,9	10,5	11,2	12,1	119,8	139,2	153,6	165,4	179,6	109,3	128,7	143,1	154,9	169,1
2	129,5	145,8	157,9	170,0	186,5	970,1	1126,4	1243,8	1359,0	1513,9	810,8	968,1	1086,1	1201,2	1357,6
3	8,2	9,8	11,0	12,1	13,7	59,4	65,6	70,0	74,3	80,3	48,2	54,4	59,0	63,5	69,8
4	14,8	16,3	17,5	18,6	20,2	111,4	122,3	130,3	138,4	149,3	93,8	104,7	113,0	121,0	131,9
5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	73,5	104,3	128,5	151,3	183,2	71,2	102,1	126,2	149,1	180,9
6	15,9	17,8	19,3	20,7	22,7	37,1	40,2	42,5	44,7	48,0	16,9	20,5	23,2	25,9	29,6
7	20,3	21,6	22,6	23,7	25,2	126,7	135,7	142,6	149,6	159,0	104,2	113,2	120,0	127,0	136,3
8	22,4	25,3	27,4	29,5	32,0	92,3	101,3	108,2	115,0	124,0	64,2	73,7	80,7	87,9	97,2
9	15,4	16,6	17,7	19,2	21,1	59,2	61,7	63,6	65,5	68,1	40,3	43,5	45,7	47,9	50,9
10	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5	43,1	46,0	48,0	50,1	52,8	35,0	37,9	39,9	41,9	44,7
11	10,0	11,4	12,4	13,5	15,1	41,0	47,1	51,7	55,5	60,2	28,2	34,6	39,2	43,3	48,1
12	12,9	14,1	15,0	16,1	17,6	77,1	89,1	98,7	106,3	115,6	61,8	73,8	83,5	91,2	100,7
13	14,4	17,1	19,2	20,9	22,9	153,9	182,0	203,8	225,2	253,6	134,6	163,1	184,9	206,6	234,9
14	12,7	13,9	15,0	16,5	18,4	42,5	44,4	45,9	47,2	49,1	26,2	28,8	30,7	32,4	34,8
15	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	27,6	29,6	31,0	32,4	34,3	25,5	27,5	28,9	30,3	32,2
16	29,7	35,3	42,3	51,2	63,2	82,0	90,7	97,2	103,6	112,0	29,4	43,7	53,9	63,1	74,8
17	1,6	2,1	2,5	3,0	3,7	28,0	29,5	30,5	31,6	33,0	25,2	26,8	27,9	29,1	30,6
18	1,5	1,8	1,9	2,1	2,3	26,3	27,6	28,6	29,6	30,9	24,3	25,7	26,6	27,6	29,0
19	13,1	14,2	15,1	15,9	17,1	147,8	209,0	254,4	302,0	363,4	132,6	194,0	239,5	287,0	348,2
20	4,6	5,0	5,3	5,5	5,9	82,9	90,2	95,6	100,8	107,9	77,6	84,9	90,3	95,5	102,7

\* Valores expressos em milhares de reais.

Tabela 10: Valores probabilísticos para Retorno Relativo e *Payback* para os projetos.

PROJETO	RETORNO RELATIVO					PAYBACK*				
	5%	25%	50%	75%	95%	5%	25%	50%	75%	95%
1	11,04	13,00	14,49	15,96	18,17	0,67	0,76	0,84	0,93	1,10
2	5,89	6,97	7,87	8,87	10,38	1,17	1,37	1,54	1,74	2,06
3	4,85	5,66	6,37	7,26	8,77	1,38	1,67	1,90	2,14	2,50
4	6,04	6,84	7,46	8,15	9,24	1,31	1,49	1,62	1,77	2,01
5	31,40	45,00	56,28	68,28	86,54	0,14	0,18	0,22	0,27	0,39
6	1,79	2,02	2,20	2,42	2,76	4,38	5,02	5,50	6,01	6,79
7	5,42	5,91	6,30	6,72	7,35	1,65	1,80	1,92	2,05	2,24
8	3,17	3,59	3,95	4,37	5,03	2,41	2,78	3,07	3,37	3,83
9	2,98	3,30	3,58	3,85	4,20	2,89	3,15	3,38	3,67	4,06
10	5,26	5,65	5,92	6,19	6,59	1,84	1,96	2,05	2,14	2,30
11	3,08	3,67	4,14	4,63	5,42	2,24	2,62	2,93	3,30	3,93
12	4,90	5,77	6,48	7,21	8,20	1,48	1,68	1,87	2,10	2,47
13	7,64	9,36	10,70	12,33	15,10	0,80	0,98	1,13	1,29	1,58
14	2,46	2,78	3,04	3,30	3,65	3,32	3,67	3,99	4,37	4,92
15	12,10	13,48	14,54	15,71	17,52	0,69	0,77	0,83	0,90	1,00
16	1,49	1,87	2,28	2,74	3,38	3,59	4,42	5,32	6,49	8,13
17	8,14	9,97	12,00	14,42	18,63	0,65	0,84	1,01	1,22	1,49
18	11,99	13,51	14,79	16,28	18,77	0,65	0,74	0,82	0,90	1,01
19	9,68	13,79	16,90	20,15	24,79	0,49	0,60	0,72	0,88	1,25
20	15,07	16,82	18,16	19,57	21,84	0,55	0,62	0,67	0,72	0,80

\* Valores expressos em meses.

Para a priorização dos projetos foi selecionado o percentil de 50%, ou seja, o valor mais provável de cada projeto após as 10.000 avaliações na Simulação de Monte Carlo. Acredita-se que esta seja a escolha mais comumente utilizada pelas empresas. Dependendo do perfil dos tomadores de decisão das empresas, pode-se selecionar outro percentil e realizar a mesma análise. Desse modo, com o intuito de auxiliar os tomadores de decisão na análise dos diversos indicadores, foram construídos gráficos para apresentar os projetos priorizados em cada cenário.

O Gráfico 1 apresenta a priorização dos projetos considerando-se o Investimento Total. O gráfico foi construído em ordem crescente do valor probabilístico de investimento, já que quanto menor o valor do investimento, mais favorável é o projeto. O projeto com menor investimento é o Projeto 18, seguido dos Projeto 15 e 5. O Gráfico 2 mostra a priorização dos projetos considerando-se o Benefício Total e foi desenvolvido de modo a apresentar os valores probabilísticos em ordem decrescente. Quanto maior o benefício do projeto, maior a probabilidade de ser executado. Assim, o Projeto 2 destaca-se por possuir o maior valor probabilísticos de benefício e na sequência aparecem os Projetos 19 e 13. A priorização dos projetos considerando-se o Retorno Absoluto pode ser verificada no Gráfico 3, o qual está em ordem decrescente de Retorno Absoluto. Idem ao Benefício Total, os projetos com maior Retorno Absoluto são mais indicados a serem implementados. A priorização dos projetos é semelhante à do indicador de Benefício Total. Até a quarta posição, os projetos são os mesmos: Projeto 2, com maior valor de Retorno Absoluto, seguido do Projeto 19, 13 e 1. A partir da quinta posição, a priorização se altera e outros projetos destacam-se na avaliação. Na sequência, o Gráfico 4 apresenta a priorização dos projetos para o indicador de Retorno Absoluto, o qual está em ordem decrescente. Quanto maior for a razão entre o benefício e o investimento dos projetos, o seu desenvolvimento será mais provável de ser realizado. Neste ponto, o Projeto 5 sobressai-se perante os demais projetos, seguido dos Projetos 20 e 19. Por fim, o Gráfico 5 apresenta a priorização dos projetos para o indicador de *Payback*, o qual está em ordem crescente. Quanto menor for o número de meses necessários para benefícios e investimentos se igualarem, maior será a probabilidade deste projeto ser aceito, tendo em vista que seu tempo de retorno é menor. Neste quesito e igualmente ao que foi avaliado para o Retorno Relativo, o Projeto 5 sobressai-se perante os demais projetos, seguido dos Projetos 20 e 19. Observa-se que a

sequência da priorização dos projetos nos indicadores de Retorno Relativo e *Payback* são idênticas.

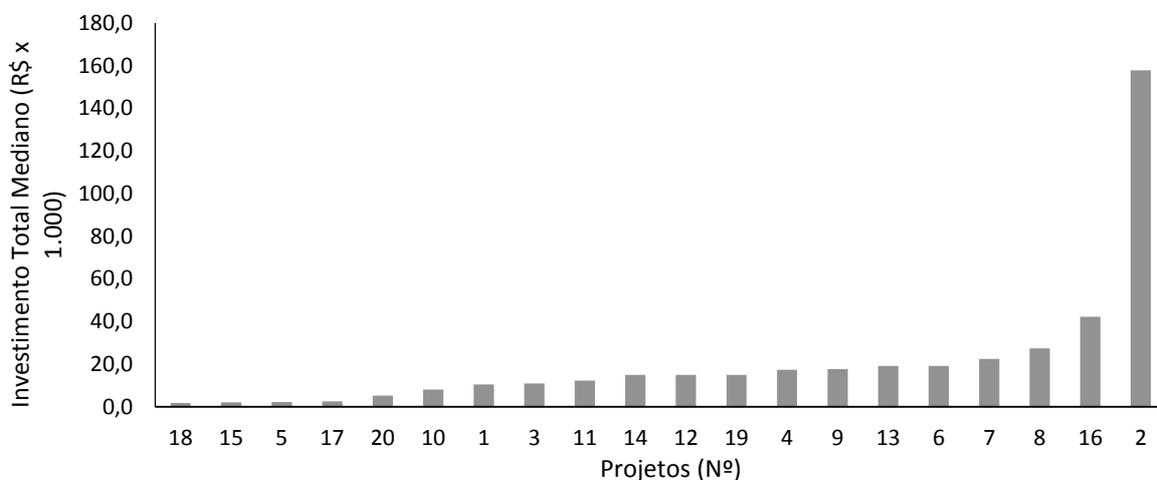


Gráfico 1: Priorização dos projetos considerando o Investimento Total Mediano.

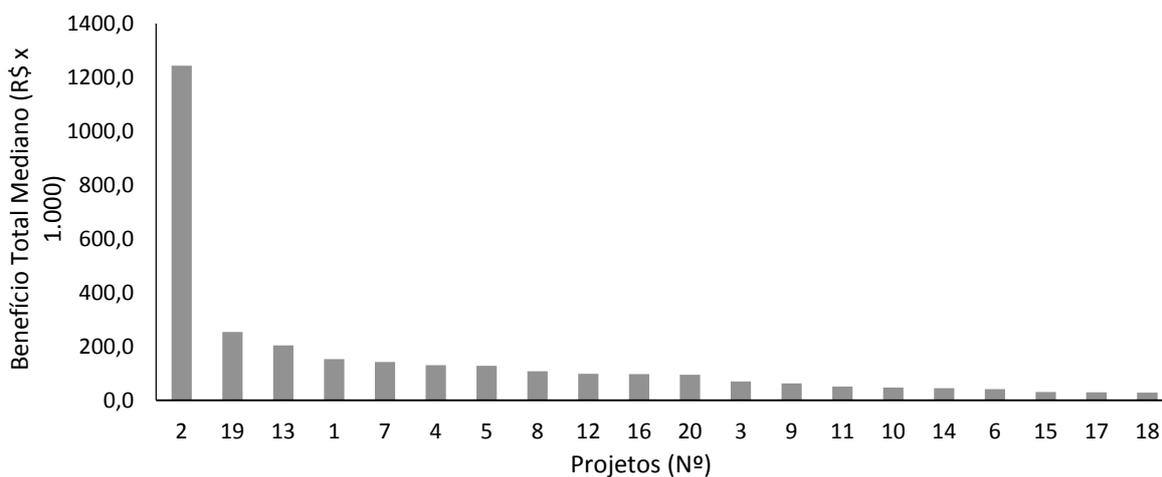


Gráfico 2: Priorização dos projetos considerando o Benefício Total Mediano.

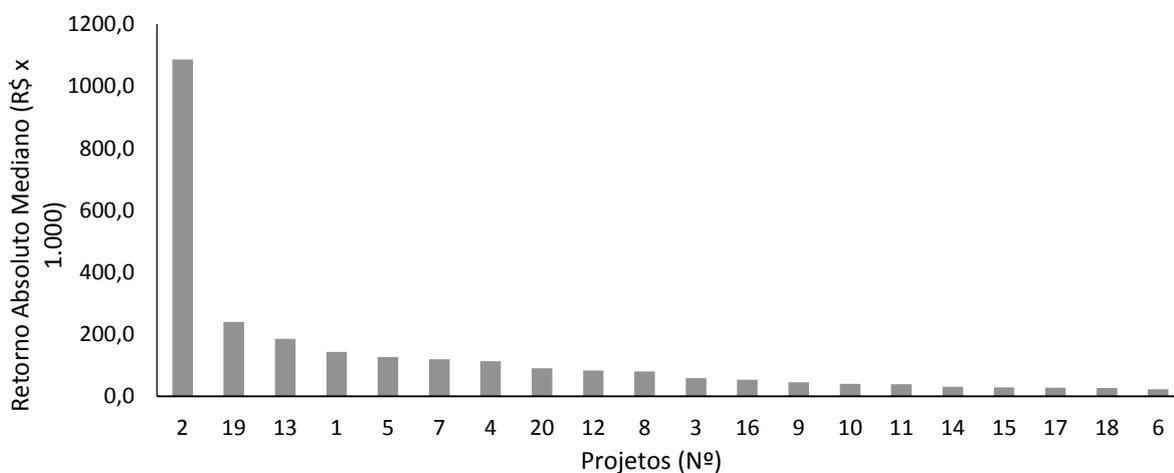


Gráfico 3: Priorização dos projetos considerando o Retorno Absoluto Mediano.

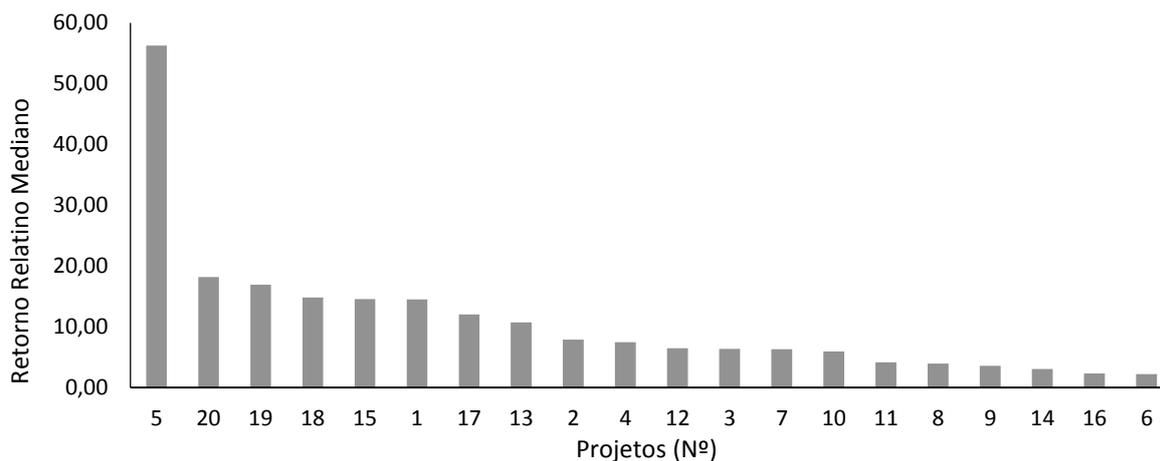


Gráfico 4: Priorização dos projetos considerando o Retorno Relativo Mediano.

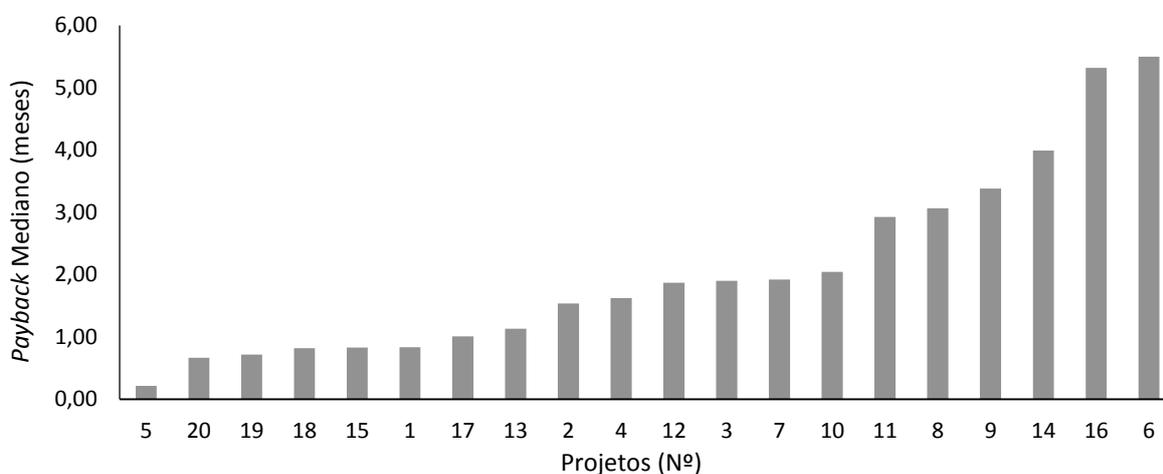


Gráfico 5: Priorização dos projetos considerando o *Payback* Mediano.

A combinação dos indicadores também é uma forma de auxiliar a empresa na priorização dos projetos, além de propiciar que a análise seja ainda mais robusta, quando comparada a avaliação individual dos indicadores. As empresas geralmente tendem a selecionar os projetos que proporcionem um maior retorno ao investimento realizado. Assim, a combinação do Retorno Absoluto (maior retorno bruto de cada projeto) e do Retorno Relativo (maior retorno para cada real investido) é um cenário que apresenta para a empresa quais são os projetos que certamente propiciarão os melhores retornos sobre os investimentos da empresa. O Gráfico 6 foi construído apresentando em ordem crescente a combinação do Retorno Absoluto e do Retorno Relativo baseado na proporção dos valores probabilísticos de cada projeto dentro do conjunto de projetos avaliados. Neste cenário, os projetos selecionados seriam o Projeto 2, devido ao alto Retorno Absoluto que possui; o

Projeto 5 em virtude do seu alto Retorno Relativo; e o Projeto 19 influenciado tanto pelo Retorno Absoluto quanto pelo Retorno Relativo.

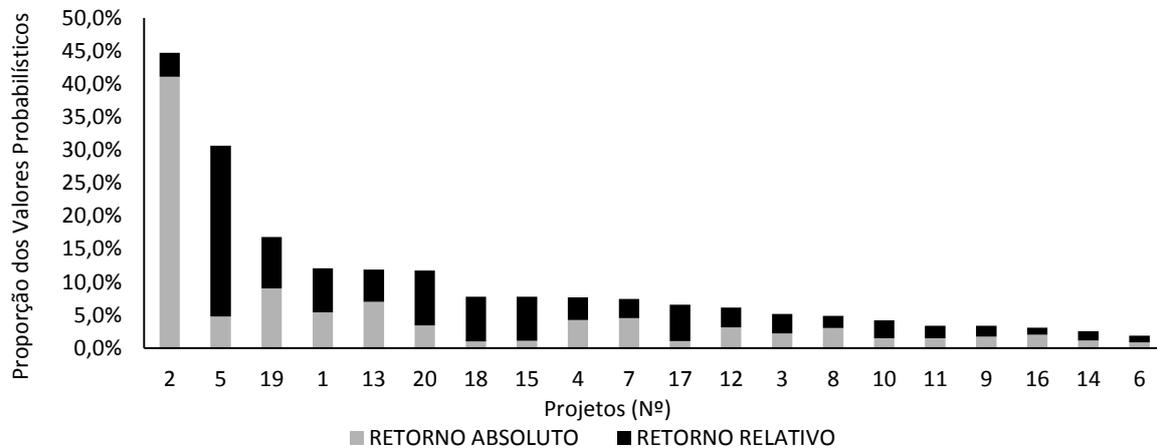


Gráfico 6: Priorização dos projetos considerando a combinação do Retorno Mediano Absoluto e do Retorno Mediano Relativo.

Outro cenário importante de ser analisado é considerar o orçamento disponível que a empresa possui para implementar seus projetos. Nesse caso, realizasse a combinação dos investimentos de cada projeto frente aos benefícios que trarão ao negócio. A empresa analisada possui um orçamento anual máximo de R\$ 200 mil para implementar projetos de Produção Enxuta. Desse modo, foram construídos gráficos para ilustrar quais projetos efetivamente seriam selecionados perante essa restrição. Considerando-se apenas o Investimento de cada projeto, o Gráfico 7 apresenta os 17 projetos que seriam selecionados até o valor do orçamento ser atingido. Nesse caso, apenas três projetos com investimentos superiores aos demais (Projetos 8, 16 e 2) não seriam selecionados. Levando-se em consideração o Retorno Absoluto dos projetos, o Gráfico 8 apresenta os três projetos que seriam priorizados (Projetos 2, 19 e 13) até o orçamento da empresa ser atingido. Verifica-se que devido ao alto valor do Projeto 2, os projetos seguintes acabam sendo desconsiderados. Considerando-se o Retorno Relativo dos projetos, o Gráfico 9 apresenta os oito projetos que seriam priorizados até o orçamento da empresa ser atingido. Novamente, o alto investimento do Projeto 2 faz com os projetos seguintes sejam desqualificados.

Por fim, um fator que estimula a avaliação dos projetos considerando os diferentes indicadores é que, dependendo do cenário em que a empresa se encontra, os tomadores de

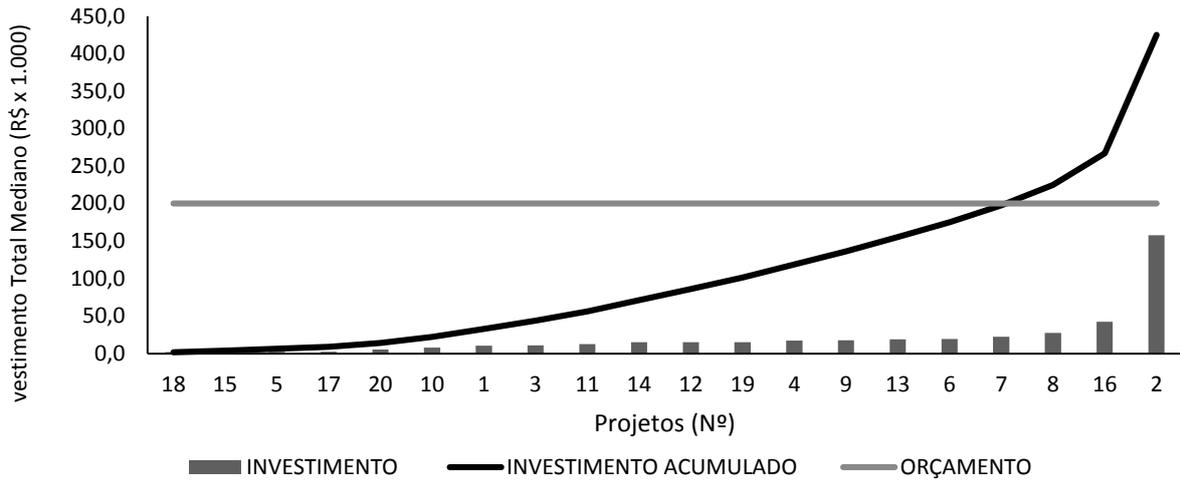


Gráfico 7: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Investimento Total Mediano.

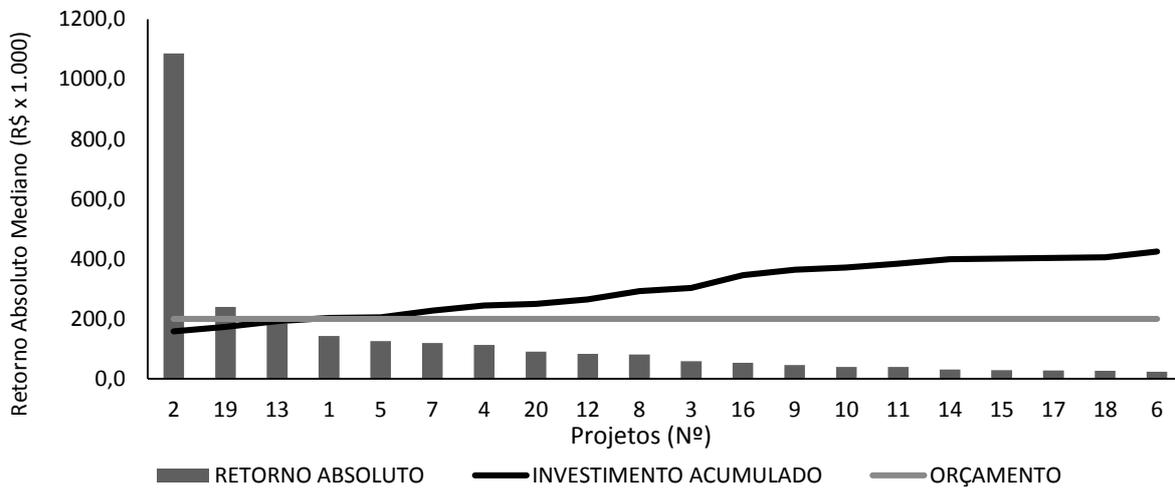


Gráfico 8: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Retorno Absoluto Mediano.

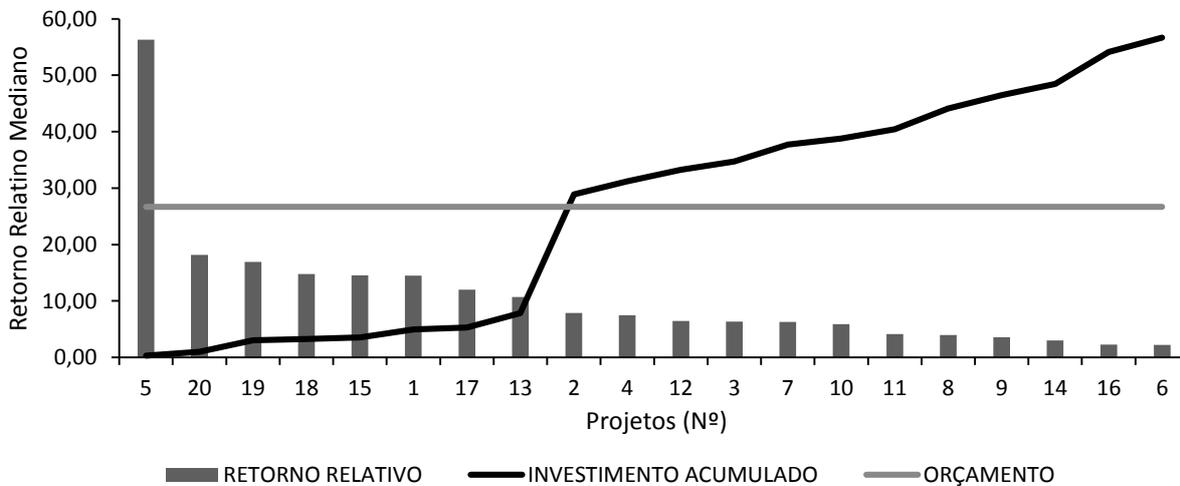


Gráfico 9: Priorização dos projetos considerando Orçamento da empresa x Retorno Relativo Mediano.

decisão podem priorizar os projetos de maneira distinta. Por exemplo, caso a empresa tenha recursos suficientes para investimento, ela pode priorizar projetos que propiciem o maior Benefício Total à empresa. No entanto, se a empresa está em um cenário de recursos escassos para investimento, ela pode priorizar projetos com o menor Investimento Total. Ainda, se o objetivo for minimizar riscos relacionados à implantação dos projetos, ela pode priorizar os projetos com maior Retorno Relativo. Logo, a análise de todos indicadores se complementa e aumenta as fontes de informação que podem balizar os tomadores de decisão. Caso, o cenário em que a empresa se encontra, se modifique, a empresa pode facilmente rever sua análise e o critério usado na priorização dos projetos.

#### **4.2.3. Discussão dos Resultados**

Nenhum dos projetos apresentou retorno negativo em suas análises, indicando que podem ser implementados em algum momento sem trazer prejuízos à empresa avaliada. Isso pode estar relacionado ao fato de que os princípios de produção enxuta preconizam a eliminação de perdas no processo com baixos investimentos (WOMACK; JONES, 1996) e, portanto, favorecem a geração de benefícios às empresas que implantam suas práticas.

Semelhante ao identificado por Dutra et al. (2014), a equipe de avaliadores teve dificuldade para determinar alguns valores monetários para os projetos. Isso ocorreu na etapa de quantificação dos critérios qualitativos, especialmente os de Benefício Social e Benefício Ambiental, e durante a avaliação dos valores mínimos e máximos de alguns critérios quantitativos. Nestas situações, seguiu-se as sugestões de Dutra et al. (2014). A fim de facilitar a estimação dos valores mínimos e máximos para alguns critérios quantitativos, considerava-se um percentual de variação do valor a partir do valor mais provável. Quanto a quantificação dos critérios qualitativos, comparou-se esses critérios a parâmetros e direcionamentos da empresa, com o intuito de facilitar a avaliação dos critérios.

Considerando-se o Investimento Total, destacaram-se os projetos de implementação de Troca Rápida de Ferramentas no Equipamento 2 da Linha de Inspeção (Projeto 18) e no Equipamento do setor de Acabamento (Projeto 17) e o projeto de Intervenção Rápida de Manutenção na Linha de Inspeção (Projeto 15). Esses projetos provavelmente se destacaram pelas características de implementação dessas práticas que preconizam, inicialmente, a eliminação de perdas sem investimento e, somente após as possibilidades se esgotarem, realizar as melhorias com investimento nos equipamentos. Outros projetos que se destacaram são a implementação do Mapeamento de Fluxo de Valor na Aciaria (Projeto

5), a Implementação do *Gemba Walk* (Projeto 20) e a Otimização dos estoques no setor de expedição (Projeto 10). Esses projetos caracterizam-se pelo treinamento e capacitação das equipes envolvidas para análise do projeto, denotando baixos investimentos, conforme identificado na análise. Quanto aos projetos que apresentaram o maior Investimento Total, verifica-se que alguns deles apresentam gastos substanciais com infraestrutura e equipamentos. Neste caso, destacam-se os projetos de Alteração de *Layout* no Laboratório Químico (Projeto 7) e no Laboratório Metalúrgico (Projeto 6) e a Análise de Tempos e Movimentos na Troca de Seção (Projeto 2), o qual necessita de adequações físicas para igualar os três pontos onde há troca de seção. Outros projetos que também apresentaram altos investimentos são o Gerenciamento de Estoque no Almojarifado (Projeto 13), devido a necessidade de ter pessoas dedicadas somente para sua execução, e, por fim, os projetos de Aumento de OEE no Laminador (Projeto 8) e Troca Rápida de Ferramenta no Equipamento 1 da Linha de Inspeção (Projeto 16). Esses dois últimos possuem grande incerteza envolvida nos custos de implementação, diferentemente do encontrado para os primeiros projetos dessa lista, o que acarretou no seu elevado Investimento Total para execução dos projetos.

Quanto ao Benefício Total, os projetos que se destacam pertencem ou tem grande relação ao setor que proporciona a maior margem de contribuição aos produtos da empresa avaliada, acarretando em maior retorno para o negócio. Os projetos são: Análise de Tempos e Movimentos na troca de seção (Projeto 2) e na troca de refratário (projeto 1), Alteração de *Layout* no Laboratório Químico (Projeto 7) e Intervenção Rápida de Manutenção no Forno (Projeto 4). Outros dois projetos também se destacam nessa análise por terem impacto em toda empresa, aumentando seu benefício gerado: Aplicar *Hoshin Kanri* (Projeto 19) e Gerenciamento de Estoques no Almojarifado (Projeto 13). Nesse mesmo sentido, os projetos que apresentaram os menores Benefícios Totais pertencem ao setor que proporciona a menor margem de contribuição para a empresa. São eles: Troca Rápida de Ferramentas no Equipamento 2 da Linha de Inspeção (Projeto 18) e no Equipamento do setor de Acabamento (Projeto 17), Intervenção Rápida de Manutenção na Linha de Inspeção (Projeto 15) e Aumento de OEE da Linha de Inspeção (Projeto 14). Outros projetos que surgiram nessa análise são a Otimização dos estoques no setor de expedição (Projeto 10) e Alteração de *Layout* no Laboratório Metalúrgico (Projeto 6), os quais

pertencem a setores que geram um grande impacto no *Lead Time* dos produtos, mas não apresentaram grande benefícios para o negócio durante sua análise.

Em relação ao Retorno Absoluto, os projetos foram fortemente influenciados pelo Benefício Total de cada um deles. Desse modo, a relação de projetos que se destacaram pelo maior ou pelo menor Retorno Absoluto é igual à do Benefício Total, alterando apenas a posição de alguns projetos devido aos investimentos necessários para sua realização. Esse fato corrobora os princípios da Produção Enxuta de eliminar as perdas no processo trazendo benefícios para o negócio e realizando baixos investimentos para tal.

Já para o Retorno Relativo e o *Payback*, os projetos priorizados são Implementação do *Gemba Walk* (Projeto 20), a Implementação do *Hoshin Kanri* (Projeto 19), Implementação do Mapeamento de Fluxo de Valor na Aciaria (Projeto 5), Análise de Tempos e Movimentos na troca de refratário (projeto 1), os quais, quando implementados, rapidamente trazem retorno para a empresa e não requerem grandes investimentos. Destacam-se também os projetos de Troca Rápida de Ferramentas no Equipamento 2 (Projeto 18) e Intervenção Rápida de Manutenção na Linha de Inspeção (Projeto 15), os quais necessitam de padronização e maior capacitação das pessoas envolvidas, mas geram resultados instantâneos com sua implementação. No entanto, alguns projetos foram fortemente influenciados pelas incertezas da sua avaliação, o que acarretou tanto em um maior tempo de retorno quanto a um maior Retorno Relativo para os projetos. São eles a Otimização de roteiros de equipamentos móveis de grande porte (Projeto 11), Aumento de OEE (Projeto 8) e Troca Rápida de Ferramentas no Laminador (Projeto 9), Alteração de *Layout* no Laboratório Metalúrgico (Projeto 6), Aumento de OEE (Projeto 14) e Troca Rápida de Ferramenta no Equipamento 1 da Linha de Inspeção (Projeto 16). Isso evidencia que as incertezas envolvidas em projetos não dependem de nenhum fator específico, tendo em vista que surgiram em práticas diversas e em setores distintos, mas sim de características específicas do que está sendo empreendido.

Tendo em vista que o modelo foi aplicado em uma empresa que está iniciando a implementação de maneira estruturada de práticas enxutas, a priorização dos projetos auxilia a focar esforços nos projetos que tragam maior retorno ao negócio. Logo, a empresa se encontra em um cenário de redução de custos e deseja minimizar os riscos com a implementação de seus projetos. Após as diversas análises de cenários realizadas, o cenário mais plausível de ser implementado é o apresentado no Gráfico 9, o qual expõe os oito

projetos priorizados considerando o Retorno Relativo dos projetos. Ademais, considerando-se o orçamento que a empresa tem disponível para implementar os projetos, ficou clara a influência do alto investimento do Projeto 2 na priorização dos projetos. Caso o Projeto 2 seja desconsiderado da análise, alguns projetos subsequentes podem ser incluídos na priorização até atingir-se o valor total do orçamento da empresa.

Quando os resultados foram apresentados aos especialistas que participaram da aplicação do modelo e que serão responsáveis pela implementação dos projetos na empresa, alguns deles se surpreenderam com os alguns resultados. Quanto ao Benefício Total não houve muita surpresa, já que os projetos que se destacaram pertencem a área que agrega a maior margem de contribuição aos produtos. Contudo, levando-se em consideração as outras análises, alguns resultados surpreenderam especialistas, especialmente o caso de projetos que apresentaram menor Retorno Relativo e *Payback* para a empresa, já que estes projetos estão vinculados a gargalos dos seus respectivos setores e seriam priorizados em uma análise tradicional (qualitativa) de projetos.

Adicionalmente, tanto o grupo de avaliadores quanto os especialistas informaram que o modelo auxiliou a: (i) priorizar os projetos de maneira mais precisa e (ii) avaliar benefícios que poderiam passar despercebidos durante uma análise normal. Ademais, ainda durante a aplicação, alguns avaliadores comentaram que não tinham tão claro o real retorno de alguns projetos, o que os motivou a priorizar a sua respectiva implementação no seu setor. Desse modo, conclui-se que o modelo auxiliou o grupo de avaliadores a priorizar de maneira clara os principais projetos para a empresa. Além disso, demonstrou que os esforços para avaliar os benefícios e investimentos de cada projeto individual são recompensados quando avaliado o contexto da empresa. Considerando-se esses resultados, há grande probabilidade de a empresa manter esse modelo de avaliação para novos portfólios de projetos de produção enxuta, bem como reproduzir o modelo para avaliar outros tipos de projetos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concorrência e o aumento da competitividade nos negócios, tem favorecido a adoção de projetos de melhoria nas empresas. Devido ao seu caráter de eliminação de perdas e desperdícios nos processos, a Produção Enxuta vem se destacando nesse cenário (ANAND; KODALI, 2008). Paralelamente, em um cenário de escassez de recursos, a correta seleção e priorização dos projetos de produção enxuta é importante para atingir os benefícios esperados. Neste capítulo, serão discutidas as principais contribuições dessa dissertação e apresentadas sugestões de trabalhos futuros para o tema em questão.

### 5.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver um modelo econômico-probabilístico para auxiliar a seleção e priorização de projetos de produção enxuta. Este modelo quantifica os investimentos, benefícios e incertezas associadas através de uma análise econômica-probabilística que apresenta o retorno esperado dos projetos. Para atingir este objetivo, foram propostos quatro objetivos específicos, os quais foram desenvolvidos ao longo desta dissertação.

O primeiro objetivo específico contempla a *seleção dos principais critérios e métricas para avaliação de projetos de produção enxuta*. Desse modo, durante a elaboração do modelo desenvolvido neste trabalho, foi realizado um levantamento destes itens. O levantamento baseou-se nos critérios elencados por Dutra et al. (2014) para a seleção e priorização de projetos de qualquer natureza e nas métricas sugeridas por Marodin e Saurin (2013) para avaliar projetos de produção enxuta. Outros trabalhos da literatura também foram avaliados para validar os critérios e métricas selecionados. Assim, foram selecionados 38 critérios qualitativos e quantitativos, os quais foram divididos nas categorias de: (i) descrição do projeto, (ii) quantificação dos investimentos e (iii) quantificação dos benefícios. Por fim, os critérios selecionados foram avaliados por quatro especialistas e considerados adequados, sendo uma lista completa e genérica. Logo, pode ser utilizada para avaliar distintos portfólios de projetos de produção enxuta e em diferentes cenários e, caso haja necessidade, podem ser facilmente excluídos ou incluídos novos critérios específicos, mantendo-se a integridade do modelo.

Em relação ao segundo objetivo específico, o qual aborda a *seleção do método para seleção e priorização dos projetos de produção enxuta*, foi realizada uma revisão da

literatura contemplando este tópico. Assim, foram avaliados e comparados os principais métodos utilizados para a seleção de projetos de qualquer natureza e os métodos utilizados para seleção de projetos de melhoria contínua, enfatizando-se projetos de produção enxuta. Para os projetos de qualquer natureza, destacam-se o trabalho de lamratanakul et al. (2008), que identificou 37 métodos, e o trabalho de Dutra (2012). No entanto, para os projetos de melhoria contínua, a maioria dos trabalhos apresentou abordagens quantitativas ou quanti-qualitativo e foi identificada a importância do uso de métodos quantitativos na avaliação de projetos. Desse modo, o método econômico-probabilístico foi selecionado para compor o modelo desta dissertação e demonstrou-se adequado para conduzir a seleção e priorização de projetos de produção enxuta, tendo em vista as restrições identificadas na revisão bibliográfica.

O terceiro objetivo específico abordava a *estruturação de um modelo genérico que avalie o retorno econômico e o impacto das incertezas envolvidas no resultado dos projetos de produção enxuta*. A seleção do método no objetivo específico anterior corrobora com esta especificação, tendo em vista que é uma abordagem híbrida que contempla métodos econômicos, os quais são considerados amigáveis aos tomadores de decisão, e métodos probabilísticos, os quais podem avaliar as incertezas associadas aos projetos. Além disso, o uso da abordagem híbrida favorece que alguma deficiência dos métodos seja suprida.

Desse modo, a estruturação do modelo foi realizada através da junção dos critérios selecionados no primeiro objetivo específico e do método selecionado no segundo objetivo específico. O modelo possui duas etapas. A primeira, que tem sinergia com o tomador de decisão, consiste na aplicação da estrutura de avaliação. A estrutura contempla 38 critérios, divididos em (i) descrição do projeto com 14 critérios qualitativos, (ii) quantificação dos investimentos, abordando cinco critérios e (iii) quantificação dos benefícios, apresentando 19 critérios. Na sequência, são realizadas Simulações de Monte Carlo para avaliar os indicadores econômicos de Investimento Total, Benefício Total, Retorno Absoluto, Retorno Relativo e Tempo de Retorno (*Payback*). Com base nestes resultados, a priorização dos projetos é realizada.

Por fim, o último objetivo específico abordava o *teste e validação do modelo desenvolvido através de uma aplicação prática*. O modelo foi aplicado na avaliação de vinte projetos de produção enxuta de sete setores distintos de uma empresa siderúrgica, a qual está iniciando a implementação de forma estruturada e estratégica deste tipo de projetos.

Foram realizadas reuniões com representantes de cada um destes setores e avaliados os projetos. Os resultados da aplicação prática demonstraram que o modelo foi eficiente para utilização em casos reais e oferece aos tomadores de decisão uma estrutura capaz de avaliar as incertezas dos projetos. Assim, essa aplicação validou, ao menos parcialmente, a aplicabilidade, utilidade e abrangência do modelo, tendo em vista a diversidade do portfólio avaliado e por ter sido aplicado apenas em um contexto específico.

Assim sendo, pode-se afirmar que foram atingidos os objetivos para o presente trabalho, considerando-se as necessidades que motivaram o seu desenvolvimento, a aplicação prática e os resultados obtidos. O modelo desenvolvido oferece uma alternativa às comumente abordagens qualitativas utilizadas pelos tomadores de decisão para selecionar projetos de produção enxuta, além de ser simples, genérico, de fácil compreensão pelos tomadores de decisão e considerar as incertezas envolvidas nos projetos.

## **5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

A fim de complementar o trabalho desenvolvido nesta dissertação, sugere-se considerar os seguintes trabalhos futuros:

- (i) Aplicar o modelo desenvolvido em outros portfólios com um maior número de projetos para confirmar sua aplicabilidade;
- (ii) Validar a abrangência do modelo desenvolvido com a aplicação do modelo em empresas de outros setores e que possuam um portfólio mais amplo;
- (iii) Considerar no modelo o sequenciamento dos projetos através da análise da interdependência e restrições dos projetos, com o intuito de atingir o sequenciamento que otimize os objetivos, recursos e restrições das empresas.

## REFERÊNCIAS

- AHIRE, S.L.; RANA, D.S. Selection of TQM pilot projects using an MCDM approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 12, n. 1, p. 61–81, 1995.
- ALMEIDA, A.T.; VETSCHERA, R. A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research*, vol. 219, p.198–200, 2012.
- ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. Portfolio Selection of Information Systems projects using PROMETHEE V with c-optimal concept. *Pesquisa Operacional*, vol. 34, n. 2, p. 275-299, 2014.
- ALTUNTAŞ, S.; DERELI, T. A novel approach based on DEMATEL method and Patent citation analysis to prioritize investment projects. *Expert Systems with Applications*, vol. 42, n. 3, p. 1003-1012, 2015.
- ANAND, G.; KODALI, R. Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. *Journal of Modelling in Management*, vol. 3, p. 40-70, 2008.
- ANTONY, J. Six Sigma in the UK service organisations: results from a pilot survey. *Managerial Auditing Journal*, vol. 19, n. 8, p. 1006-1013, 2004.
- BARALDI, P.; ZIO, E. A combined Monte Carlo and Possibilistic Approach to uncertainty propagation in event tree analysis. *Risk Analysis*, vol. 28, n. 5, p. 1309-1325, 2008.
- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R.B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: a comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 200, p. 198-215, 2010.
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. An overview of continuous improvement: from the past to the present. *Management Decision*, vol. 43, n. 5, p. 761-771, 2005.
- BRANS, J.P. L'ingénierie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. Em: NADEAU, R.; LANDRY, M. (Editores), *L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir*. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, p. 183-214, 1982.
- BRANS, J.P. The 'PROMETHEE' adventure. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, vol. 5, n. 4, p.297–308, 2015.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR*, vol. 30, n. 2, p. 85–96, 1992.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE GAIA decision support system for multicriteria investigations. *Investigation Operative*, vol. 4, n. 2, p. 107–117, 1994.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE VI procedure: How to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*, vol. 4, p. 213–223, 1995.
- BRANS, J.P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, vol. 24, n. 2, p. 228–238, 1986.

- BREALEY, R.; MYERS, S.; ALLEN, F. **Principles of Corporate Finance**. McGraw-Hill, 2008.
- CAMPAGNOLO, R.R.; SOUZA, J.S.D.; TEN CATEN, C.S.; KLIEMANN, F.J. Proposta de um método para priorização de portfólio de projetos alinhados à estratégia organizacional. **Revista Espacios** (online), vol. 33, n. 8, p. 5, 2012.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CHEN, Y.; OKUDAN, G.E.; RILEY, D.R. Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. **Automation in Construction**, vol. 19, p. 665–675, 2010.
- COOPER, R.; EDGETT, S.; KLEINSCHMIDT, E. Portfolio management for new product development. **R&D Management**, v. 31, n. 4, p. 361-380, 2001.
- COPELAND, T.E.; WESTON, F.J.; SHASTRI, K. **Financial Theory and Corporate Policy**. 4<sup>a</sup>. ed. Pearson Education, 2005.
- DE REYCK, B., DEGRAEVE, Z.; VANDENBORRE, R. Project options valuation with net present value and decision tree analysis. **European Journal of Operational Research**, vol. 184, n. 1, p. 341-355, 2008.
- DEY, P.K. Integrated project evaluation and selection using multiple-attribute decision-making technique. **International Journal of Production Economics**, vol. 103, p. 90–103, 2006.
- DEY, P.K. Project risk management using multiple criteria decision-making technique and decision tree analysis: a case study of Indian oil refinery. **Production Planning & Control**, vol. 23, n. 12, p. 903–921, 2012.
- DUARTE, B.P.M.; REIS, A. Developing a projects evaluation system based on multiple attribute value theory. **Computers & Operations Research**, vol. 33, p. 1488–1504, 2006.
- DUTRA, C.C. **Modelo econômico-probabilístico para seleção e priorização de projetos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- DUTRA, C.C.; RIBEIRO, J.L.D.; CARVALHO, M.M.D. An economic–probabilistic model for project selection and prioritization. **International Journal of Project Management**, vol. 32, p. 1042–1055, 2014.
- EILAT, H.; GOLANY, B.; SHTUB, A. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: a DEA based methodology. **European Journal of Operational Research**, vol. 172, p. 1018-1039, 2006.
- EL HANNACH, D.; MARGHOUBI, R.; DAHCHOUR, M. Project portfolio management towards a new project prioritization process. **Proceedings da International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD)**, 2016.

FIGUEIRA, J.; DE SMET, Y.; BRANS, J.P. **MCDAs methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER**. Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Working Paper 2004/02, 2004.

FOWLER, J.W.; ROSE, O. Grand challenges in modeling and simulation of complex manufacturing systems. *Simulation*, vol. 18, p. 469–476, 2004.

FRANK, A.G.; SOUZA, D.V.; ECHEVESTE, M.E.; RIBEIRO, J.L.D. Sistemática para avaliação multicriterial de investimentos no desenvolvimento de produtos. *Produção*, vol. 21, n. 4, p. 570-582, 2011.

GABRIEL, S.A.; KUMAR, S.; ORDÓÑEZ, J.; NASSERIAN, A. A multiobjective optimization model for project selection with probabilistic considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 40, p. 297–313, 2006.

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de Investimentos da Empresa**. 1ª. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. 1ª. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A.C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GREINER, M.A.; FOWLER, J.W.; SHUNK, D.L.; CARLYLE, W.M.; MCNUTT, R.T. A hybrid approach using the analytic hierarchy process and integer programming to screen weapon systems projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 50, n. 2, p. 192-203, 2003.

HALOUANI, N.; CHABCHOUB, H.; MARTEL, J.-M. PROMETHEE-MD-2T method for Project selection. *European Journal of Operational Research*, vol. 195, p. 841-849, 2009.

HEIDENBERGER, K. Dynamic project selection and funding under risk: A decision tree based MILP approach. *European Journal of Operational Research*, vol. 95, n. 2, p. 284-298, 1996.

HU, G.; WANG, S.; FETCH, S.; BIDANDA, B. A multi-objective model for project portfolio selection to implement lean and Six Sigma concepts. *International Journal of Production Research*, vol. 46, n. 23, p. 6611-6625, 2008.

IAMRATANAKUL, S.; PATANAKUL, P.; MILOSEVIC, D. Project portfolio selection: From past to present. *Proceedings do 4th IEEE international conference on management of innovation and technology*, p. 287–292, 2008.

KAHRAMAN, C.; BUYUKOZKAN, G. A combined fuzzy AHP and fuzzy goal programming approach for effective Six-Sigma project selection. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, vol. 14, p. 599-615, 2008.

KARANOVIC, G.; BARESA, S.; BOGDAN, S. Techniques for managing projects risk in capital budgeting process. *UTMS Journal of Economics*, vol. 1, n.2, p. 55-66, 2010.

KARYDAS, D.M.; GIFUN, J.F. A method for the efficient prioritization of infrastructure renewal projects. *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 91, p. 84–99, 2006.

- KIRKHAM, L.; GARZA-REYES, J.A.; KUMAR, V.; ANTONY, J. Prioritisation of operations improvement projects in the European manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, vol. 52, n. 18, p. 5323-5345, 2014.
- KORNFELD, B.J.; KARA, S. Project portfolio selection in continuous improvement. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 31, n. 10, p. 1071–1088, 2011.
- KORNFELD, B.J.; KARA, S. A Framework for Developing Portfolios of Improvements Projects in Manufacturing. *Procedia CIRP, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems*, vol. 7, p. 377–382, 2013a.
- KORNFELD, B.J.; KARA, S. Selection of Lean and Six Sigma projects in industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 4, n. 1, p. 4–16, 2013b.
- LEE, J.W.; KIM, S.H. Using Analytic Network Process and Goal Programming for interdependent information system project selection. *Computers & Operations Research*, vol. 27, p. 367-382, 2000.
- LOCH, C.H.; BODE-GREUEL, K. Evaluating growth options as source of value for pharmaceutical research projects. *R&D Management*, vol. 2, p. 231-248, 2001.
- LOPES, Y.G; de ALMEIDA, A.T. Assessment of synergies for selecting a project portfolio in the petroleum industry based on a multi-attribute utility function. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 126, p. 131–140, 2015.
- LÓPEZ, H.M.L.; ALMEIDA, A.T. Utilizando PROMETHEE V para seleção de portfólio de projetos de uma empresa de energia elétrica. *Production*, vol. 24, n. 3, p. 559-571, 2014.
- MACHARIS, C.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure – a PROMETHEE–GAIA based procedure for group decision support. *Journal of Decision Systems*, vol. 7, p. 283–307, 1998.
- MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; De BRUCKER, K.; VERBEKE, A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, vol. 153, p. 307–317, 2004.
- MARODIN, G.A.; SAURIN, T.A. Implementing lean production systems: research areas and opportunities for future studies. *International Journal of Production Research*, vol. 51, n. 22, p. 6663-6680, 2013.
- MARRIOTT, B.; GARZA-REYES, J.A.; SORIANO-MEIER, H.; ANTONY, J. An Integrated Methodology to Prioritise Improvement Initiatives in Low Volume-High Integrity Product Manufacturing Organisations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 24, n. 2, p. 197–217, 2013.
- MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: a combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, vol. 171, n. 1, p. 296–308, 2006.
- MAVROTAS, G.; FIGUEIRA, J.R.; SISKOS, E. Robustness analysis methodology for multi-objective combinatorial optimization problems and application to project selection. *Omega*, vol. 52, p. 142–155, 2015.

- MEDAGLIA, A.; GRAVES, S.; RINGUEST, J. A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, vol. 179, p. 869-894, 2007.
- MIORANDO, R.F.; RIBEIRO, J.L.D.; CORTIMIGLIA, M.N. An economic–probabilistic model for risk analysis in technological innovation projects. *Technovation*, vol. 34, p. 485–498, 2014.
- MIRANDA, C. M. G.; ALMEIDA, A. T. Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela CAPES: o caso da área engenharia III baseado nos métodos ELECTRE II e MAUT. *Gestão & Produção*, vol. 11, n. 1, p. 51-64, 2004.
- MOORE, J.H.; WEATHERFORD, L.R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. Traduzido por Lucia Simioni e Edson Furmankiewicz. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MOSQUERA, N.; RENESES, J.; SÁNCHEZ-ÚBEDA, E.F. Medium-term risk analysis in electricity markets: a decision-tree approach. *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 2, n.3, p. 318-339, 2008.
- NOWAK, M.; NOWAK, B. An application of the multiple criteria decision tree in project planning. *Procedia Technology*, vol. 9, p. 826 – 835, 2013.
- PADHY, R.K.; SAHU, S. A Real Option Based Six Sigma Project Evaluation and Selection Model. *International Journal of Project Management*, vol. 29, p. 1091–1102, 2011.
- PADOVANI, M.; CARVALHO, M.M.; MUSCAT, A.R.N. Seleção e alocação de recursos em portfólio de projetos: estudo de caso no setor químico. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 1, p. 157-180, 2010.
- PAVNASKAR, S.J.; GERSHENSON, J.K.; JAMBEKAR, A.B. Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, vol. 41, n. 13, p. 3075–3090, 2003.
- ROWLANDS, H. Six Sigma: a new philosophy or repackaging of old ideas. *Engineering Management*, vol. 13, p.18–21, 2003.
- SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, p. 9-26, 1990.
- SAGHAEI, A.; DIDEHKHANI, H. Developing an Integrated Model for the Evaluation and Selection of Six Sigma Projects Based on ANFIS and Fuzzy Goal Programming. *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n. 1, p. 721–728, 2011.
- SALAH, S. A project selection, prioritisation and classification approach for organisations managing continuous improvement (CI). *International Journal of Project Organisation and Management*, vol. 7, n. 1, p. 98–110, 2015.
- SCHMIDT, R.L. A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 40, p. 403-410, 1993.
- SHAKHSI-NIAEI, M.; TORABI, S.A.; IRANMANESH, S.H. A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 61, p. 226–237, 2011.

SILVA, E.L.D.; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

SMART, S.B.; MEGGINSON, W.L.; GITMAN, L.J. **Corporate Finance**. Mason, Ohio, USA: South-Western, 2004.

SOLAK, S.; CLARKE, J-P.B.; JOHNSON, E.L.; BARNES, E.R. Optimization of R&D project portfolios under endogenous uncertainty. *European Journal of Operational Research*, vol. 207, p. 420–433, 2010.

SOUZA, J. S. **Proposta de uma sistemática para análise multicriterial de investimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SOUZA, J.S.; KLIEMANN, F.J.; FILOMENA, T.P. Definição de portfólio de investimentos em uma empresa usando análise multicriterial. *Revista Produção On-line*, vol. 10, n. 1, p. 167-197, 2010.

STUMMER, C.; HEIDENBERGER, K. Interactive R&D portfolio analysis with project interdependencies and time profiles of multiple objectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 50, p. 175-183, 2003.

SU, C-T.; CHOU, C-J. A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: a case study of semiconductor foundry. *Expert Systems with Applications*, vol. 34, n. 4, p. 2693–2703, 2008.

SUBRAMANIAN, N.; RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, vol. 138, p. 215–241, 2012.

TAN, B.; ANDERSON JR., E.G.; DYERA, J.S.; PARKER, G.G. Evaluating system dynamics models of risky projects using decision trees: alternative energy projects as an illustrative example. *System Dynamics Review*, vol. 26, n. 1, p. 1-17, 2010.

TOGO, D.F. Risk analysis for accounting models: a spreadsheet simulation approach. *Journal of Accounting Education*, vol. 22, p. 153-163, 2004.

TSAMBOULAS, D.A. A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments. *Transport Policy*, vol. 14, p. 11–26, 2007.

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

VARGAS, L.G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, p. 2-8, 1990.

VERBANO, C.; NOSELLA, A. Addressing R&D investment decisions: a cross analysis of R&D project selection methods. *European Journal of Innovation Management*, vol. 13, n. 3, p. 355-379, 2010.

VETSCHERA, R.; ALMEIDA, A.T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research*, vol. 39, p. 1010-1020, 2012.

VINCKE, J.P.; BRANS, Ph. A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, vol. 31, p. 641–656, 1985.

WATER, H.V.; DE VRIES, J. Choosing a quality improvement project using the analytic hierarchy process. *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 23, n. 4, p. 409-425, 2006.

WEY, W.M. A multiobjective optimization model for urban renewal projects selection with uncertainty considerations. Proceedings do 4th International Conference on Natural Computation (ICNC), **IEEE Computer Society**, p. 423–427, 2008.

WOMACK, J.; JONES, D. *Lean Thinking*. Simon and Schuster, New York, NY, 1996.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. *The Machine That Changed the World*, Macmillan Publishing, New York, NY, 1990.

YU, L.; WANG, S.; WEN, F.; LAI, K.K. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. *Annals of Operational Research*, vol. 197, p.71–86, 2012.