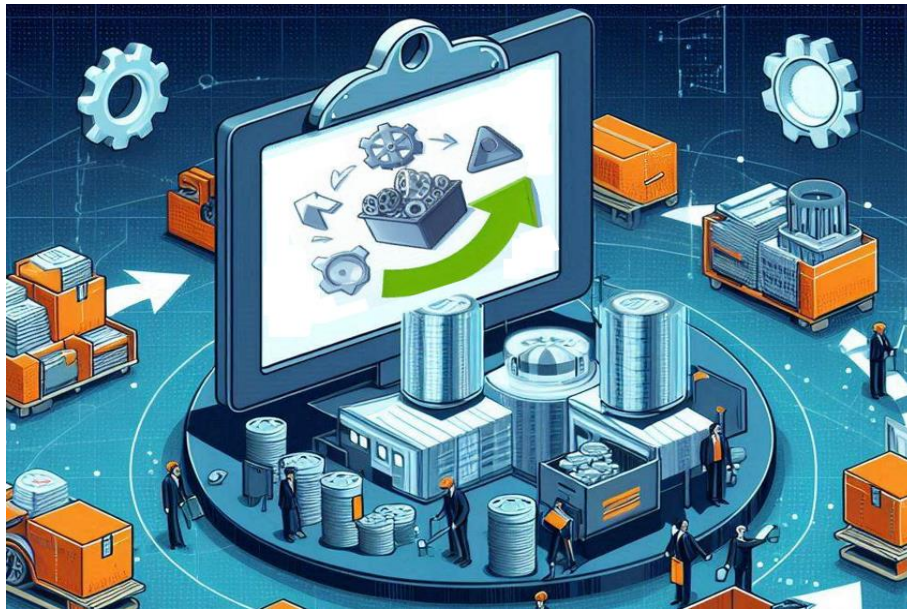




ISEL



Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos

MANUEL PEDRO MARQUES QUINTELA MARTINS INÁCIO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutor Duarte Nuno Caldeira Cordeiro Dinis

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Outubro 2024

Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos

MANUEL PEDRO MARQUES QUINTELA MARTINS INÁCIO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, Instituto Superior de
Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu, Instituto
Superior de Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa

Vogais:

Doutor Duarte Nuno Caldeira Cordeiro Dinis, Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, Instituto Superior de
Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos aqueles que, de diversas formas, contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado. Em primeiro lugar, dirijo um especial agradecimento à minha família, cujo apoio incondicional foi essencial ao longo de todo este percurso acadêmico. À minha esposa, em particular, manifesto a minha profunda gratidão pela paciência, compreensão e encorajamento constantes, que foram imprescindíveis para a concretização deste trabalho.

Agradeço igualmente ao meu orientador, pela sua orientação competente, pela disponibilidade e pelos valiosos conselhos que me transmitiu ao longo deste processo. A sua dedicação e perspicácia foram determinantes para o desenvolvimento desta investigação.

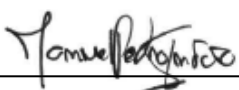
Gostaria também de reconhecer o apoio inestimável dos colaboradores da empresa onde desenvolvi o estudo para esta dissertação. Mesmo após a minha mudança de emprego a meio do projeto, continuaram a prestar a sua colaboração, auxiliando-me na obtenção dos dados necessários e na resposta às questões que surgiram ao longo deste processo. A sua generosidade e profissionalismo foram de extrema importância para a conclusão deste trabalho.

A todos, expresso o meu sincero agradecimento.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor



Lisboa, 5 de setembro de 2024

Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar e analisar a aplicação de metodologias *Lean* ao processo interno de aquisição de materiais de uma empresa, de modo a reduzir o desperdício e melhorar a eficiência operacional. Foram identificadas várias deficiências nas melhores práticas e o seu impacto, nomeadamente redundâncias no atual processo de aquisição de materiais que causam um elevado nível de retrabalho e conduzem a ineficiências e a um consumo excessivo de recursos. Processos ineficientes que conduzem a paragens significativas ao longo do processo, afetando a eficiência e os calendários de aquisição de materiais, afetando a eficiência global e causando problemas operacionais. Atrasos na prestação de serviços que afetam negativamente as operações e as oportunidades de negócio da empresa. A fim de atenuar ou eliminar as deficiências identificadas, foram efetuadas as seguintes tarefas (1) Realizar uma análise detalhada do atual processo interno de compras e criar um modelo de simulação para testar vários cenários de melhoria. (2) Identificar e analisar períodos de inatividade (tempos mortos) aplicando a técnica VSM (Value Stream Mapping) com o objetivo de visualizar e compreender áreas com potencial para melhorar a eficiência do processo; (3) Desenvolver uma simulação para um processo mais digitalizado que permita uma comparação com o processo existente; (4) Realizar um estudo de viabilidade para a implementação do novo processo digitalizado. Os resultados mostram que as sugestões de melhoria propostas irão melhorar a eficiência do processo, o que terá um impacto positivo na empresa.

Palavras-Chave: aquisição de materiais; processos industriais; *Lean*; redução de desperdício, digitalização, simulação

Implementation of *Lean* methods in material procurement: waste reduction and process improvement

Abstract

The objective of this study was to investigate and analyse the application of *Lean* methodologies to a company's internal material procurement process in order to reduce waste and improve operational efficiency. A number of deficiencies in best practices and their impact were identified, namely redundancies in the current material procurement process that cause high levels of rework and lead to inefficiencies and excessive resource consumption. Inefficient processes leading to significant downtime throughout the process, impacting efficiency and material procurement timelines, affecting overall efficiency and causing operational issues. Delays in service delivery that negatively impact the company's operations and business opportunities. To mitigate or eliminate the identified deficiencies, the following tasks were performed: (1) Conduct a detailed analysis of the current internal procurement process and create a simulation model to test various improvement scenarios. (2) Identify and analyse periods of inactivity (dead times) by applying the VSM (Value Stream Mapping) technique with the aim of visualizing and understanding areas with potential to improve process efficiency; (3) Develop a simulation for a more digitized process that allows a comparison with the existing process; (4) Conduct a feasibility study for the implementation of the new digitized process. The results show that the proposed improvements will increase the efficiency of the process, which will have a positive impact on the company.

Keywords: material procurement; industrial processes, *Lean*, waste reduction, digitalization, simulation

Lista de siglas

- BPMN – *Business Process Modeling Notation* (Modelo e Notação de Processos de Negócios)
- HMI – *Human Machine Interface*
- I4.0 – Indústria 4.0
- IA – Inteligência Artificial
- IC – Intervalo de Confiança
- IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- IT – *Information Technology*
- MES – *Manufacturing execution system* (Sistemas de Execução de Manufatura)
- MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
- ML – *Machine Learning*
- PDCA – *Plan-Do-Check-Act*
- PLCs – *Programmable logic controllers* (Controladores Lógicos Programáveis)
- PME – Pequena e Média Empresa
- PRI – Período de Retorno Investimento
- RFID – *Radio Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência)
- SDCA – *Standardize-Do-Check-Act*
- TPS – *Toyota Production System*
- VSM – *Value Stream Mapping*

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Enquadramento Geral | 1 |
| 1.2 | Objetivos da Dissertação e Perguntas de Investigação | 2 |
| 1.3 | Descrição da Organização do Trabalho | 3 |
| 2 | Revisão bibliográfica | 5 |
| 2.1 | <i>Lean</i> | 5 |
| 2.1.1 | Origem..... | 5 |
| 2.1.2 | Conceito | 7 |
| 2.1.3 | Value Stream Mapping | 9 |
| 2.1.4 | Padronização..... | 10 |
| 2.1.5 | Kaizen | 10 |
| 2.1.6 | Heijunka | 11 |
| 2.2 | Indústria 4.0..... | 11 |
| 2.2.1 | Origem..... | 12 |
| 2.2.2 | Digitalização | 15 |
| 2.2.3 | Simulação..... | 17 |
| 2.2.4 | Software <i>Arena</i> | 18 |
| 2.3 | Ferramentas de avaliação de viabilidade económica..... | 18 |
| 2.3.1 | Valor Atual Líquido | 19 |
| 2.3.2 | Taxa Interna de Retorno | 20 |
| 2.3.3 | Período Retorno Investimento | 21 |
| 2.3.4 | Método Monte Carlo | 22 |
| 3 | Metodologia e caso de estudo | 25 |
| 3.1 | Apresentação da Empresa e do Problema Industrial | 25 |
| 3.2 | Descrição do Procedimento de Requisição Interna | 26 |
| 3.2.1 | Subprocesso “Requisito” | 28 |
| 3.2.2 | Subprocesso “Devolvo” | 29 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.3 | Subprocesso “Preço” | 30 |
| 3.3 | Análise das Limitações e Impacto do Processo | 32 |
| 4 | Propostas de melhoria..... | 35 |
| 4.1 | Análise do modelo atual | 35 |
| 4.2 | 1ª Iteração de melhoria: Atribuição de horários para as autorizações e encomendas..... | 36 |
| 4.3 | 2ª Iteração: Digitalizar o processo | 37 |
| 4.4 | 3ª Iteração: Implementação de Tecnologias de Rastreabilidade ao processo 38 | |
| 5 | Simulação e análise de resultados | 41 |
| 5.1 | Simplificações adotadas na simulação | 41 |
| 5.2 | Simulação do processo atual..... | 43 |
| 5.2.1 | Cálculo do número de replicações a usar nas simulações..... | 44 |
| 5.2.2 | Resultados da simulação do processo atual | 47 |
| 5.3 | Simulação das Iterações de melhoria..... | 51 |
| 5.3.1 | Simulação da 1ª Iteração..... | 51 |
| 5.3.2 | Simulação da 2ª Iteração..... | 56 |
| 5.3.3 | Simulação da 3ª Iteração..... | 58 |
| 5.4 | Comparação de Resultados | 59 |
| 6 | Estudo de viabilidade económica | 65 |
| 6.1 | Cenários de aplicação e pressupostos | 65 |
| 6.2 | Viabilidade económica da segunda Iteração de melhoria | 66 |
| 6.2.1 | Valor Atual Líquido..... | 67 |
| 6.2.2 | Taxa Interna de Retorno | 70 |
| 6.2.3 | Período de Retorno do Investimento | 72 |
| 6.2.4 | Simulação Monte Carlo | 74 |
| 6.3 | Viabilidade económica da terceira Iteração de melhoria | 78 |
| 6.3.1 | Valor Atual Líquido..... | 79 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.3.2 | Taxa Interna de Retorno | 81 |
| 6.3.3 | Período de Retorno do Investimento | 82 |
| 6.3.4 | Simulação Monte Carlo | 84 |
| 6.4 | Comparação de resultados..... | 88 |
| 7 | Conclusão | 91 |
| 7.1 | Resumo dos Principais Resultados e Avaliação das Propostas de Melhoria | 91 |
| 7.2 | Impacto na Empresa e Contribuições da Investigação | 92 |
| 7.3 | Recomendações e Considerações Finais..... | 93 |
| | Referências bibliográficas | 95 |
| | Anexos..... | 101 |
| | Anexo 1 – Modelação processo atual | 102 |
| | Anexo 2 – Modelação da 1ª Iteração de melhoria..... | 103 |
| | Anexo 3 – Modelação da 2ª Iteração de melhoria..... | 104 |
| | Anexo 4 – Modelação da 3ª Iteração de melhoria..... | 105 |
| | Anexo 5 – Parametização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (2ª Iteração) | 106 |
| | Anexo 6 – Parametização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (3ª Iteração) | 107 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – O Sistema Lean (Adaptado de Produção Lean Simplificada (Dennis, 2008)) | 7 |
| Figura 2.2 – Princípios do Pensamento Lean (Imagem adaptada de https://www.lean.org/) | 8 |
| Figura 2.3 – Exemplo de um fluxo VSM (What Is Value Stream Mapping, 2024) | 9 |
| Figura 2.4 – Cronologia da Indústria 4.0 (Caldas Pinto, 2021) | 12 |
| Figura 3.1 – Modelo de Requisição Interna da Empresa..... | 28 |
| Figura 3.3 – Processo “Requisito” em notação BPMN | 29 |
| Figura 3.4 – Processo “Devolvo” em notação BPMN | 30 |
| Figura 3.5 – Processo “Preço” em notação BPMN..... | 31 |
| Figura 5.1 – Parametrização de “Entrada de Requisições” | 42 |
| Figura 5.2 – Modelação do Processo Atual em Arena | 43 |
| Figura 5.3 - Inserção do módulo Assign para determinar tempos de entrada das requisições no sistema | 44 |
| Figura 5.4 – Inserção do módulo Record para registar o tempo que a requisição esteve no sistema | 44 |
| Figura 5.5 – VSM do processo atual de compras da empresa | 50 |
| Figura 5.6 – Modelação da primeira iteração em “Arena” | 51 |
| Figura 5.7 – Zona A: Excerto da modelação da primeira iteração em Arena | 53 |
| Figura 5.8 – Zona B: Excerto da modelação da primeira hipótese em Arena | 54 |
| Figura 5.9 – Modelação da segunda iteração em “Arena” | 56 |
| Figura 5.10 – Zona A: Excerto da modelação da segunda iteração em Arena | 58 |
| Figura 5.11 – Modelação da terceira iteração em “Arena” | 58 |
| Figura 5.12 – Zona A: Excerto da modelação da terceira iteração em Arena | 59 |
| Figura 5.13 – Tempo Total no Sistema vs Eficiência Processo..... | 62 |
| Figura 5.14 – Total de requisições que saíram do processo vs Encomendas Geradas..... | 62 |
| Figura 5.15 – Percentagem do tempo diário do setor e do Responsável Compras gasto em autorizações e formalização encomendas | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.16 – Nº Requisições autorizadas pelo responsável de compras vs Tempo utilizado pelo responsável em autorizações | 63 |
| Figura 6.1 – Diagrama de Cash-flow para determinar VAL para o cenário pessimista | 68 |
| Figura 6.2 – Parametrização da folha de cálculo para obtenção do VAL analiticamente | 69 |
| Figura 6.3 – Parametrização da folha de cálculo para obtenção do VAL com a fórmula do Excel..... | 69 |
| Figura 6.4 – Parametrização da folha de cálculo utilizada para determinar a TIR | 71 |
| Figura 6.5 – VAL do cenário pessimista | 75 |
| Figura 6.6 – VAL do cenário mais provável | 75 |
| Figura 6.7 – VAL do cenário mais otimista | 76 |
| Figura 6.8 – Excerto da tabela da distribuição da normal reduzida | 76 |
| Figura 6.9 – Diagrama de Cash-Flow para determinar VAL para o cenário pessimista | 80 |
| Figura 6.10 – VAL do cenário pessimista | 85 |
| Figura 6.11 – VAL do cenário mais provável | 86 |
| Figura 6.12 – VAL do cenário mais otimista | 86 |
| Figura 6.13 – Comparação VAL por Iteração e cenário | 88 |
| Figura 6.14 – Comparação TIR por Iteração e cenário..... | 89 |
| Figura 6.15 – Comparação PRI por Iteração e cenário | 89 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 5.1 – Parametrização dos processos em “Arena” | 43 |
| Tabela 5.2 – Parametrização dos Pontos de Decisão em “Arena” | 44 |
| Tabela 5.3 – Tempo médio das Requisições no Sistema para 10 replicações | 46 |
| Tabela 5.4 – Excerto da tabela t-Student | 46 |
| Tabela 5.5 – Resultados da simulação do processo atual | 48 |
| Tabela 5.6 – Obtenção da média e desvio-padrão do tempo médio das requisições no sistema para o processo atual | 49 |
| Tabela 5.7 – Parametrização do Ponto de Decisão de Fornecedor em “Arena” | 52 |
| Tabela 5.8 – Parametrização do Hold em Arena | 52 |
| Tabela 5.9 – Parametrização do Signal em Arena | 52 |
| Tabela 5.10 – Parametrização dos Create comandantes dos Signal da primeira Iteração em Arena | 53 |
| Tabela 5.11 – Parametrização dos módulos Batch no Arena | 55 |
| Tabela 5.12 – Parametrização dos módulos Assign no Arena | 55 |
| Tabela 5.13 – Parametrização dos processos em “Arena” | 57 |
| Tabela 5.14 – Parametrização do Ponto de Decisão em “Arena” | 57 |
| Tabela 5.15 – Parametrização dos processos em “Arena” | 59 |
| Tabela 5.16 – Parametrização do Ponto de Decisão em “Arena” | 59 |
| Tabela 5.17 – Tempo Total no Sistema (em horas), para as Iterações de melhoria | 60 |
| Tabela 5.18 – Comparação de resultados | 61 |
| Tabela 6.1 – Margens de lucro estimadas para cada cenário | 66 |
| Tabela 6.2 – Ganhos esperados anualmente com a implementação da segunda Iteração de melhoria | 66 |
| Tabela 6.3 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário | 70 |
| Tabela 6.4 – VAL obtido para cada cenário | 70 |
| Tabela 6.5 – Taxa Interna de Retorno para os cenários em estudo | 71 |
| Tabela 6.6 – Variação dos custos de formação | 74 |

| | |
|---|----|
| Tabela 6.7 – Variação do número de licenças a adquirir | 74 |
| Tabela 6.8 – Variação da taxa interna de retorno | 74 |
| Tabela 6.9 – VAL da segunda iteração de melhoria segundo método Monte Carlo | 75 |
| Tabela 6.10 – Intervalos de confiança do VAL para cada cenário..... | 77 |
| Tabela 6.11 – Comparação VAL por Monte Carlo VS Cálculo Analítico | 78 |
| Tabela 6.12 – Ganhos esperados anualmente com a implementação da terceira iteração de melhoria..... | 79 |
| Tabela 6.13 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário..... | 81 |
| Tabela 6.14 – VAL obtido para cada cenário | 81 |
| Tabela 6.15 – Taxa Interna de Retorno para os cenários em estudo..... | 82 |
| Tabela 6.16 – Custos iniciais de investimento | 84 |
| Tabela 6.17 – VAL da terceira iteração de melhoria segundo método Monte Carlo..... | 85 |
| Tabela 6.18 – Intervalos de confiança do VAL para cada cenário..... | 86 |
| Tabela 6.19 – Comparação VAL por Monte Carlo VS Analiticamente | 87 |
| Tabela 6.20 – Comparação de Resultados | 88 |

1 Introdução

1.1 Enquadramento Geral

O presente documento constitui uma dissertação de mestrado que se foca na análise e otimização do processo de gestão de requisições e compras de uma empresa. Alicerçada na experiência profissional do autor, adquirida ao longo de oito anos de atuação na empresa em questão, esta investigação identifica os principais desafios e propõe soluções concretas para mitigar atrasos e ineficiências no fluxo de trabalho atual. A dissertação contempla uma análise abrangente dos processos vigentes, a identificação de problemas críticos e a proposição de melhorias através da implementação de novas metodologias e ferramentas, com ênfase na digitalização e na otimização contínua dos processos internos.

Num contexto empresarial cada vez mais competitivo e globalizado, as organizações estão a direcionar os seus esforços para áreas estratégicas como a sustentabilidade, a digitalização e a Indústria 4.0. A sustentabilidade tornou-se uma prioridade não apenas para atender às exigências regulamentais e sociais, mas também como um diferencial competitivo que pode gerar eficiência operacional e redução de custos. A digitalização dos processos empresariais, por sua vez, é uma tendência irreversível que permite às empresas serem mais ágeis, eficientes e capazes de tomar decisões baseadas em dados. A Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas como a Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), a inteligência artificial (IA) e a análise de *big data*, está a revolucionar a forma como as empresas operam, proporcionando níveis sem precedentes de automação e conectividade.

Neste âmbito, o *Lean Management* emerge como uma ferramenta poderosa para auxiliar as empresas a alcançar esses objetivos. O *Lean*, com a sua filosofia centrada na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, proporciona um quadro robusto para a otimização de processos. A aplicação de princípios *Lean* pode conduzir a uma maior eficiência, redução de custos e melhoria da qualidade, alinhando-se perfeitamente com as metas de sustentabilidade, digitalização e Indústria 4.0.

Este trabalho não só investiga o estado atual dos processos de gestão de requisições e compras, mas também explora como as práticas de *Lean* podem ser integradas com estratégias de digitalização e Indústria 4.0 para criar um sistema mais sustentável e eficiente. Ao fazê-lo, a dissertação procura fornecer uma visão holística e prática sobre como as empresas se podem adaptar e prosperar no ambiente dinâmico e desafiador atual.

1.2 Objetivos da Dissertação e Perguntas de Investigação

Os objetivos principais desta dissertação são:

- **Analisar o Processo Atual de Requisições e Compras:** Descrever detalhadamente o processo de gestão de requisições e compras atualmente em vigor na empresa, identificando os principais intervenientes e etapas envolvidas;
- **Identificar Problemas e Gargalos:** Destacar os pontos críticos e gargalos no processo atual que contribuem para atrasos e ineficiências, com base na experiência prática do autor. A dissertação responde a perguntas como: Quais foram as causas raiz dos problemas identificados no processo de gestão de requisições e compras?
- **Propor Melhorias:** Desenvolver propostas de melhoria para otimizar o processo de gestão de requisições e compras, utilizando abordagens modernas e eficazes. A digitalização foi uma das soluções sugeridas para melhorar a eficiência do processo, abordando questões como: Como foi utilizada a digitalização para melhorar a eficiência do processo? Outras melhorias incluem a implementação de horários específicos para autorizações e encomendas, e a adoção de ferramentas de simulação.
- **Avaliar Impactos:** Avaliar os impactos esperados das propostas de melhoria, considerando os prós e contras de cada solução e apresentando resultados esperados com base em simulações. A dissertação também explora a utilização da simulação Monte Carlo para validar as hipóteses de melhoria e incorporar incertezas nos resultados, respondendo à questão: Como a simulação Monte Carlo contribuiu para validar as iterações de melhoria e incorporar incertezas nos resultados?

Este conjunto de objetivos procura não só entender e melhorar o processo atual, como também oferecer soluções inovadoras e sustentáveis que possam ser aplicadas de forma eficaz e eficiente na gestão de requisições e compras da empresa.

1.3 Descrição da Organização do Trabalho

A dissertação está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução: Apresenta o enquadramento geral do tema, os objetivos da dissertação e a estrutura do documento. Este capítulo define a problemática que a dissertação pretende abordar e justifica a relevância do estudo no contexto da gestão de requisições e compras.
- Capítulo 2: Revisão da Literatura: Fornece um panorama teórico abrangente sobre os conceitos e metodologias relevantes para a gestão de requisições e compras. Este capítulo explora as bases teóricas do *Lean* e da Indústria 4.0, a digitalização de processos e as ferramentas de simulação, fornecendo o contexto necessário para entender as propostas de melhoria desenvolvidas no estudo.
- Capítulo 3: Metodologia: Descreve as abordagens metodológicas utilizadas para a recolha e análise de dados, bem como as técnicas de simulação aplicadas. Este capítulo detalha os métodos de pesquisa, incluindo a aplicação de ferramentas de mapeamento de fluxo de valor (VSM) e a utilização de *software* de simulação, garantindo a replicabilidade e a validade dos resultados obtidos.
- Capítulo 4: Análise do Modelo Atual: Detalha o processo atual de gestão de requisições e compras na empresa, identificando os principais problemas e gargalos. Este capítulo proporciona uma visão clara do estado atual, fundamentada em dados empíricos, e serve como base para a identificação das áreas que necessitam de melhoria.
- Capítulo 5: Propostas de Melhoria: Apresenta as iterações de melhoria sugeridas, com uma análise detalhada de cada proposta. As propostas incluem a digitalização de processos, a implementação de práticas *Lean* e outras metodologias inovadoras. Este capítulo também discute os resultados esperados das simulações realizadas, mostrando como cada proposta pode contribuir para a otimização do processo de gestão de requisições e compras.
- Capítulo 6: Avaliação de Viabilidade Económica: Avalia a viabilidade económica das propostas de melhoria, analisando os custos envolvidos, os benefícios esperados e o retorno sobre o investimento. Este capítulo utiliza indicadores financeiros como o Valor Atual Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) para demonstrar a sustentabilidade económica das propostas e justificar a sua implementação.

- Capítulo 7: Conclusões e Recomendações: Resume os principais achados da pesquisa, destacando as implicações práticas das melhorias propostas. Este capítulo oferece uma reflexão sobre o impacto potencial das mudanças sugeridas, discute as limitações do estudo e sugere áreas para futuras investigações, incentivando a continuidade da pesquisa e a aplicação das melhorias em outros contextos empresariais.

Esta estrutura visa proporcionar uma abordagem clara e lógica ao tema, garantindo que cada capítulo contribua para o desenvolvimento dos objetivos gerais da dissertação e para a compreensão integral do processo de gestão de aquisições e compras na empresa.

2 Revisão bibliográfica

Neste capítulo, será explorada a literatura relevante relacionada aos temas centrais da pesquisa: *Lean*, Indústria 4.0, Digitalização e Avaliação de Viabilidade Económica.

Investiga-se as práticas *Lean*, originárias do sistema de produção da Toyota, que visam eliminar desperdícios e otimizar processos. Analisa-se como o *Lean* se aplica à indústria moderna e quais são os benefícios tangíveis.

Aborda-se também a revolução industrial atual, caracterizada pela integração de tecnologias digitais, automação avançada e comunicação entre máquinas. Discute-se os pilares da Indústria 4.0 e o seu impacto na eficiência e competitividade das empresas.

Explora-se como a transformação digital afeta os processos produtivos, a gestão da cadeia de abastecimento e a tomada de decisões.

Por fim, analisam-se métodos para avaliar a viabilidade financeira de projetos e investimentos.

2.1 *Lean*

Neste subcapítulo será dado o enquadramento da origem do conceito *Lean*, em seguida define-se o mesmo e dá-se ênfase às metodologias utilizadas neste documento, Padronização, *Kaizen* e *Heijunka*.

2.1.1 Origem

O termo *Lean Production*, ou “Produção magra” em português, foi utilizado a primeira vez por John Krafcik em 1988 (Holweg, 2007; Jasti & Kodali, 2015). Chamou-lhe *Lean* por considerar que usava menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa (Lorenzon & Martins, 2006). O conceito foi popularizado e adotado após a publicação do livro “*The machine That Changed the World*” (Womack, et al., 1990), livro que resumiu os resultados de cinco anos de investigação do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Esse estudo iniciou-se em 1985 e tinha como objetivo comparar o desempenho da indústria automóvel após a crise do petróleo de meados da década de 70 do século XX. O estudo concluiu que o desempenho do sistema de produção da Toyota, o *Toyota Production System* (TPS) era muito superior, comparativamente com a da concorrência, tanto europeia como norte-americana, e importava entender o porquê (Monden, 1998). Não obstante à Toyota ser a principal referência no que diz respeito à origem das metodologias *Lean* (fazendo parte da cronologia abaixo mencionada), conseguimos encontrar outros vestígios históricos de

procedimentos e processos que conseguimos relacionar com essas metodologias, cronologicamente (devteam, 2004):

- Em 1574, os processos do estaleiro naval de Veneza já contemplavam a normalização dos navios e foram os pioneiros no conceito de peças intermutáveis de navio para navio. Este processo de normalização e intermutabilidade de peças permitiu aos Venezianos a montagem de diversos navios ao longo de um canal nos estaleiros, sendo possível a montagem completa de um navio, em linha de montagem, de casco à proa em menos de uma hora.
- Por volta de 1765, o general Francês Jean-Baptiste de Gribeauval, à semelhança dos italianos, começou a dar importância à normalização de modelos de navios e à partilha de componentes, para facilitar reparações.
- Em 1807, o inglês Marc Brunel tinha inventado já 22 tipos de máquinas para produzir pequenos itens de madeira sequencialmente, um de cada vez.
- Em 1822, o Americano Thomas Blanchard, do Arsenal de Springfield, desenvolveu um conjunto de 14 máquinas e colocou-as organizadas em células de trabalho, o que possibilitou a criação de formas mais complexas (como a coroa para espingardas). Isto significava que as 14 máquinas podiam fazer uma peça completa sem trabalho humano para processamento e em fluxo de peça única, à medida que as peças eram transferidas de máquina para máquina, uma de cada vez.
- Na década de 1850, já todos os arsenais americanos fabricavam peças de metal normalizadas para armas, no entanto, tinham de recorrer a imensa mão de obra humana para garantir as especificações das peças, uma vez que estavam limitados pela tecnologia da época. A despesa era aceitável para equipamentos militares, mas inaceitável para a maioria dos bens de consumo.
- Em 1914, a Ford finalmente conseguiu reunir todas essas vertentes de pensamento com avanços nas máquinas-ferramentas de corte e um salto na tecnologia de medição para que muitos fornecedores pudessem produzir peças de metal endurecido que se adequavam perfeitamente às células de fabricação da Ford e na sua linha de montagem final.
- No final da década de 1930, a indústria aeronáutica alemã foi a pioneira no *takt time* como forma de sincronizar a montagem final de aeronaves. Consistia na movimentação em uníssono das fuselagens dos aviões durante a montagem final e definindo esse tempo como uma medida precisa (*takt*). A Mitsubishi tinha um relacionamento técnico com as empresas alemãs e levou esse método com

ela para o Japão. A Toyota, tendo conhecimento desta metodologia, resolveu implementá-la.

- No início da década de 1950, a Toyota integrou a ideia de *takt time* com as ideias da Ford sobre fluxo contínuo e acrescentou a dimensão crítica da flexibilidade para fabricar produtos de alta qualidade, grande variedade e em pequenos lotes com prazos de entrega muito curtos.

2.1.2 Conceito

O conceito *Lean* baseia-se num sistema, entendendo que “um sistema é um conjunto de elementos interligados que estão organizados de maneira coerente para alcançar um objetivo” (Meadows, 2009). O sistema *Lean* (Figura 2.1) engloba o propósito, a filosofia, os métodos e as ferramentas. O propósito ou objetivo, baseia-se em valores para determinar como as decisões conscientes são tomadas (com base em informação).

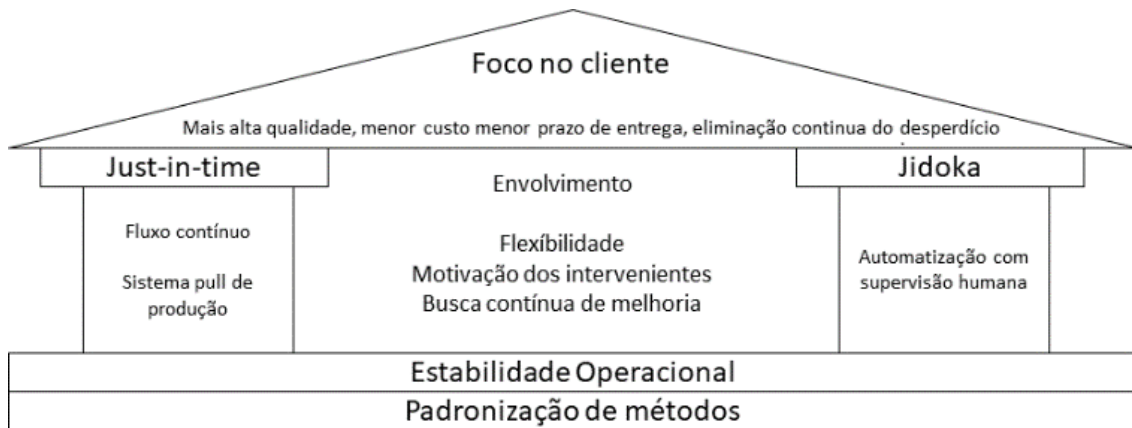


Figura 2.1 – O Sistema Lean (Adaptado de *Produção Lean Simplificada* (Dennis, 2008))

A filosofia requer a capacidade de abstração, moldando a maneira de refletir sobre uma visão, com base em princípios e valores. A filosofia *Lean* tem como visão a procura contínua do ideal e da perfeição aplicada a qualquer processo. As ferramentas (o que se tem) e atividades (o que se faz) são necessárias para executar os métodos, ou seja, são componentes dos métodos. Os métodos definem como aplicar as ferramentas e as atividades, através da implementação de tarefas que atuam como o motor do processo. A otimização faz com que os métodos tendam a ser padronizados.

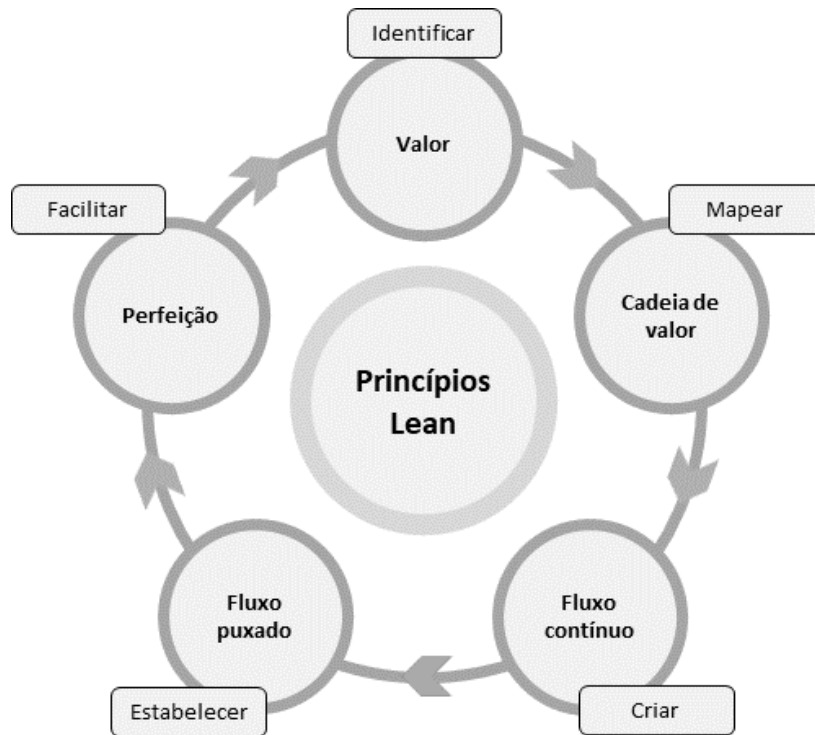


Figura 2.2 – Princípios do Pensamento Lean (Imagem adaptada de <https://www.lean.org/>)

No livro “*Lean Thinking*”, Womack e Jones definem os princípios do pensamento *Lean* (Figura 2.2), nomeadamente, valor (value), cadeia de valor (*Value Chain*), fluxo de valor (*value stream*), fluxo puxado (*pull*) e perfeição. Valor corresponde ao que o cliente (interno ou externo) deseja e pelo qual está disposto a pagar, requerendo uma compreensão precisa das necessidades específicas do cliente. O valor deve ser definido a partir da perspectiva do cliente. A cadeia de valor são as atividades executadas corretamente numa ordem específica para produzir o produto ou serviço que o cliente realmente valoriza, faz, portanto, sentido identificar e gerir as atividades que fornecem valor ao cliente. O fluxo de valor, considerando que o trabalho deve fluir constantemente (sem interrupção) de uma atividade que agrega valor para a próxima para produzir a quantidade necessária. O fluxo puxado, adaptado à procura do cliente, ou seja, o cliente define a quantidade que é necessária, sendo a produção executada conforme essa necessidade. A perfeição visa fornecer apenas a quantidade adequada de valor pretendida pelo cliente (nem mais, nem menos). A análise contínua do sistema incrementa o conhecimento sobre esse sistema, permitindo introduzir melhorias (melhoria contínua). Um sistema *Lean* tende a tornar-se cada vez mais objetivo e mais rápido, enquanto o desperdício torna-se mais difícil de ser identificado e eliminado, porque é menor (Womack & Jones, 2010).

Neste sentido, o *Lean* é uma vantagem competitiva e é considerado um dos principais métodos para aumentar o lucro e o valor ao cliente (Taghavi & Beauregard, 2020), sendo

considerada a melhor abordagem para identificar e eliminar o desperdício dos sistemas de produção (Odebrecht de Souza et al., 2022).

2.1.3 Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM), ou Mapeamento do Fluxo de Valor, é uma técnica de gestão visual oriunda do sistema de produção da Toyota e utilizada no âmbito da filosofia *Lean Manufacturing* (Panchak, 2022a). O seu principal objetivo é identificar e eliminar desperdícios, melhorando a eficiência e produtividade dos processos. O VSM cria um mapa visual de todas as etapas envolvidas na produção de um produto ou serviço, desde o início até à entrega ao cliente final, incluindo atividades que agregam e não agregam valor (Panchak, 2022b), a Figura 2.3 exemplifica um mapa VSM.

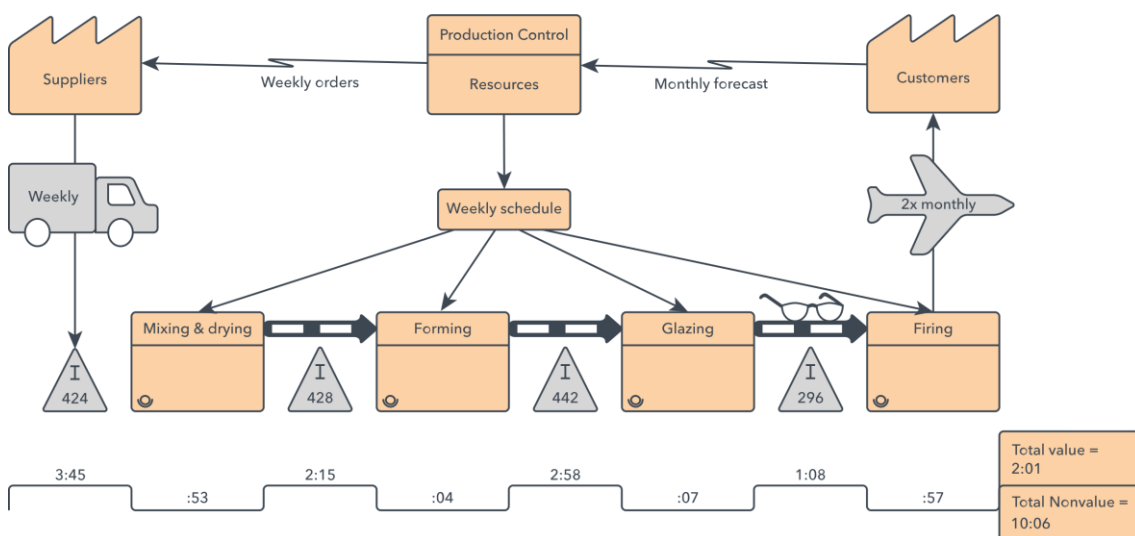


Figura 2.3 – Exemplo de um fluxo VSM (What Is Value Stream Mapping, 2024)

A implementação do VSM segue passos estruturados: definição do objetivo, seleção do produto ou serviço, formação de uma equipa multidisciplinar, criação do mapa do estado atual, análise para identificar desperdícios, desenho do mapa do estado futuro, desenvolvimento de um plano de ação e monitorização das mudanças implementadas (Romero & Arce, 2017).

Os benefícios do VSM incluem a identificação e eliminação de desperdícios, melhoria da comunicação interna, aumento da eficiência, suporte para decisões estratégicas de melhoria contínua e alinhamento dos processos com as necessidades dos clientes. O VSM é aplicável em diversas indústrias e sectores, como produção, saúde, logística e sector público (Romero & Arce, 2017).

Em suma, o VSM é uma ferramenta valiosa para a melhoria contínua dos processos organizacionais, proporcionando uma visão clara da cadeia de valor, eliminando desperdícios e aumentando a eficiência e a qualidade dos produtos e serviços.

2.1.4 Padronização

No *Lean*, a padronização é o alicerce sobre o qual a melhoria contínua se apoia. Processos padronizados ajudam a estabelecer um entendimento claro do "estado atual" que é essencial para qualquer esforço de melhoria. Sem padrões, seria impossível medir com eficácia o desempenho ou identificar áreas para melhoria. A padronização também ajuda a manter ganhos de eficiência ao longo do tempo, evitando o retrocesso para práticas ineficientes (Machado, 2023).

A padronização no contexto *Lean* não é vista como uma restrição à inovação, mas sim como um ponto de partida para melhorias incrementais. Ao documentar as melhores práticas atuais, as empresas criam um *benchmark* que serve como referência para futuras inovações e otimizações. Este ciclo de padronização e melhoria contínua é muitas vezes referido como "*standardize-do-check-act*" (SDCA), que é uma adaptação do ciclo "*plan-do-check-act*" (PDCA) de Deming (Santos, 2023).

Embora a padronização possa parecer rígida, quando associada ao *Lean* torna-se flexível e serve como ponto de partida para a inovação. Os padrões são vistos como temporários e sempre sujeitos a melhorias. A ideia é que, uma vez que um padrão seja estabelecido e as pessoas estejam treinadas para segui-lo, qualquer desvio ou sugestão de melhoria pode ser rapidamente identificado e implementado (Zarzycka et al., 2019).

2.1.5 Kaizen

Kaizen é um termo japonês que significa "mudança para melhor", é um conceito central na metodologia *Lean* que enfatiza a melhoria contínua em todos os aspectos de uma organização. Associado à metodologia *Lean*, o *Kaizen* envolve todos os colaboradores na procura por pequenas melhorias constantes que, quando somadas, resultam em melhorias significativas da eficiência e eficácia operacional (Helmold, 2020).

Na metodologia *Lean*, o *Kaizen* destaca-se como um pilar essencial que suporta a ideia de que a melhoria deve ser um processo contínuo, e não apenas um objetivo a ser atingido. Esta filosofia encoraja todos na organização, desde os executivos até aos operários, a terem uma atitude proativa na identificação e resolução de problemas, assim como na sugestão de melhorias nos processos existentes. É fundamental que, antes de começar o ciclo de melhorias, a empresa tenha processos bem definidos e normalizados. Estes funcionam como um marco para medir o progresso e garantir que as melhorias implementadas sejam sustentáveis e contribuam eficazmente para o aumento da eficiência operacional (Suarez-Barraza et al., 2022).

2.1.6 Heijunka

Heijunka é um termo japonês que se traduz por “nivelamento”, é um conceito fulcral na metodologia *Lean* que procura estabelecer um fluxo de trabalho mais balanceado e previsível. A prática do *Heijunka* permite às organizações atenuar as variações na produção, distribuindo de forma uniforme a carga de trabalho ao longo do tempo, em detrimento da produção em lotes grandes e descontínuos. Este nivelamento da produção contribui para a diminuição dos tempos de espera, dos níveis de inventário e dos custos associados, incrementando simultaneamente a flexibilidade e a capacidade de resposta a alterações na procura (Bebersdorf & Huchzermeier, 2022).

A implementação do *Heijunka* exige um entendimento aprofundado dos processos produtivos e das necessidades dos clientes. As empresas devem ser capazes de reconhecer padrões na procura e ajustar os seus planos de produção para corresponder a esses padrões de maneira mais homogénea. Isto implica frequentemente o uso de um quadro *Heijunka*, uma ferramenta visual que auxilia no planeamento e monitorização da produção para assegurar que cada produto seja fabricado na quantidade adequada e no momento oportuno (Kjellsen et al., 2021).

A literatura sobre o *Heijunka* sublinha a sua eficácia em melhorar não só a eficiência operacional, mas também a qualidade do produto e a satisfação do cliente. Ao nivelar a produção, as empresas podem minimizar as oscilações na carga de trabalho, o que permite uma gestão mais eficaz dos recursos e uma maior estabilidade nos processos produtivos. Adicionalmente, o *Heijunka* fomenta o princípio da melhoria contínua (*Kaizen*), promovendo ajustes regulares nos processos para otimizar ainda mais o fluxo de trabalho.

Resumindo, o *Heijunka* é uma estratégia valiosa dentro da metodologia *Lean* que contribui significativamente para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais ágeis e eficazes. A sua implementação pode resultar em melhorias substanciais em diversas áreas operacionais, tornando-se um tema pertinente para investigação e debate em teses académicas que se concentram na otimização da produção.

2.2 Indústria 4.0

Neste subcapítulo será dado o enquadramento da origem do conceito de Indústria 4.0, em seguida dá-se ênfase à digitalização e simulação no contexto de melhoria de processos.

2.2.1 Origem

No livro “Tecnologias de Automação na Indústria 4.0”, é abordada uma breve história sobre a evolução da Indústria 4.0 (Caldas Pinto, 2021), na qual, a indústria digital, designada por indústria 4.0, é apresentada como um conceito abrangente. É inicialmente definido pelo governo alemão, entre 2006 e 2012, mais concretamente pelo ministério de educação e investigação alemão, através da criação de um comité multidisciplinar, abrangendo a indústria, o meio académico e a comunidade científica, o qual em 2013 publicou um relatório onde frisava as prioridades para a implementação da estratégia da Indústria 4.0, desde a normalização, melhoria e aprendizagem contínua.

Esse comité dividiu a aplicação da Indústria 4.0 a cinco áreas de referência:

- Arquitetura;
- Normalização;
- Pesquisa e Inovação;
- Segurança de Sistemas em rede;
- Ambiente jurídico;
- Educação/Formação;

Mantém-se em constante mudança, paralelamente aos desenvolvimentos das tecnologias disponíveis. A Indústria 4.0 vem na sequência das anteriores indústrias, podendo ser feito um paralelismo entre as indústrias e as revoluções industriais (Figura 2.4).



Figura 2.4 – Cronologia da Indústria 4.0 (Caldas Pinto, 2021)

- 1ª Revolução Industrial - Nos finais do século XVIII surge o conceito de industrialização. Com o aparecimento de um conjunto de mecanismos, à base de vapor de água com a capacidade de gerar uma força motora, que permitia conduzir essa força aos locais onde é necessária para realizar trabalhos mecânicos. Foi nesta altura que o esforço humano começou a ser substituído por mecanismos geradores de potência. Surge o conceito de controlo automático, com o regulador de Watt, inventado para regular automaticamente a velocidade de uma máquina a vapor (Mokyr, 1990). Surgem os primeiros compressores industriais como fonte de potência e redes de ar comprimido instalados no chão de fábrica.

Na época, a mão de obra era abundante, mas em contrapartida sem capacidade reivindicativa, quer a nível de competências técnicas, quer a nível salarial. Devido à existência de poucas unidades industriais, o fator competitividade era irrelevante.

As instalações eram destinadas à produção básica de um determinado produto durante um longo período. Ao fim do qual eram desmanteladas ou modificadas, o que implicava altos custos (Allen, 2009).

- 2ª Revolução Industrial – Início da produção em massa, tornada possível com o aparecimento e desenvolvimento da utilização das energias elétrica, pneumática e hidráulica. Surgem as primeiras fábricas de automóveis, em 1913. Neste período desenvolveram-se as linhas de montagem, que automatizavam os fluxos de produção à medida que matérias-primas eram transformadas em peças que, por sua vez, seriam transformadas em produtos acabados. A aplicação dos primeiros tapetes rolantes apareceu em 1870, tornando possível que as linhas de produção automóvel passassem a montagem de cada unidade de 12 horas para 30 minutos (Hounshell, 1984).

No início do século XX dão-se as primeiras denúncias de trabalho por parte dos trabalhadores e as primeiras reivindicações para melhores condições de trabalho, mais seguras, com mais tempo de descanso e mais bem pagas (Chandler, 1977).

Com o aumento do número de unidades industriais, aumentou a concorrência entre produtores, o que conduziu a produtos mais baratos e de melhor qualidade.

A automação de alguns componentes do processo de fabrico, gerou um contributo para a resolução das questões levantadas. Podemos dizer que os objetivos da automação industrial na época eram essencialmente os seguintes:

- Diminuição dos custos;
- Maior produtividade;
- Maior segurança para os trabalhadores.

A automação consistia em circuitos de comando cablados associados a processos ou máquinas. Processos como, por exemplo, operações de prensagem, corte e posicionamento. A tecnologia associada a estas operações eram basicamente energia pneumática ou hidráulica, contudo, a fonte inicial de energia era normalmente a elétrica. Os motores elétricos desenvolvidos nos finais do século XIX, assim como o controlo da sequência de fases ou estado de um processo deveria seguir, em condições normais ou em condições derivadas de eventos extraordinários, a atuação de interruptores de emergência. Os circuitos eram normalmente elétricos e constituídos essencialmente por interruptores, relés, contadores e temporizadores (Caldas Pinto, 2021).

- 3ª Revolução Industrial – Foi estabelecida com a entrada dos microprocessadores e os primeiros protocolos de comunicações industriais. O grande impacto deveu-se à introdução dos autômatos programáveis industriais, nos finais dos anos 60 do século XX, também conhecidos como PLC (*Programmable Logic Controllers*), tecnologia que permitiu substituir todos os circuitos cablados de controlo por programas instalados em microprocessadores conectado a um número variável, mas podendo ser muito elevado, de entradas e saídas (Caldas Pinto, 2021).

Foram desenvolvidos, praticamente em simultâneo, protocolos proprietários de comunicação entre equipamentos do mesmo fabricante, sendo possível assim conectar vários PLC entre si, e ligá-los também a computadores industriais. Tendo assim, no chão de fábrica, máquinas controladas por PLC's, através de atuadores, com a informação a ser recolhida através de sensores. A utilização de redes de comunicação de redes industriais permite a troca de dados entre PLC's, HMI's (*Human Machine Interface*) e sistemas de supervisão.

A monitorização dos processos a decorrer era executada por sistemas de supervisão (SCADA) e de aquisição de dados. O planeamento e a gestão ocupam a liderança da hierarquia. Tratando-se essencialmente de *software* em máquina conectada em redes normalmente fechadas (proprietárias), passou a designar-se abreviadamente o *hardware* e o *software* envolvidos por IT (*Information Technology*) (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

- 4ª Revolução Industrial – Esta revolução deu origem ao conceito de Indústria 4.0 (I4.0), e está a ser referenciada nos gráficos temporais como tendo início na segunda década do século XXI. Começou a perceber-se no início do século que os avanços informáticos, muitos deles relacionados com o tremendo aumento da capacidade de cálculo e a miniaturização cada vez maior dos equipamentos, permitia reformular a cadeia produtiva.

Tem como objetivo uma troca de dados longitudinal e transversal de forma ampla e automatizada de todo o processo produtivo a todos os níveis da cadeia. Deste modo, toda a cadeia interage entre si em tempo real. Os sistemas de gestão e controlo, tendem a ser integrados na *cloud*, trabalhando em convergência (SCADA, MES, ERP) (Caldas Pinto, 2021).

A Indústria 4.0 resulta do agrupamento de um vasto conjunto de áreas científicas. A necessidade de diminuir a pegada ecológica na produção, associada a uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis, reduzindo o consumo energético, desde o início ao fim de vida dos produtos (Schwab, 2016).

2.2.2 Digitalização

A digitalização de processos no âmbito da Indústria 4.0 representa uma transformação significativa na forma como as empresas operam e produzem, caracterizando-se pela integração de tecnologias avançadas que permitem maior eficiência, precisão e flexibilidade. Esta transformação abrange várias dimensões importantes (Ustundag & Cevikcan, 2022).

A automação e o controlo são componentes centrais da digitalização de processos. A utilização de robots, sistemas de controlo industrial e *software* de gestão permite automatizar tarefas repetitivas e perigosas. Tecnologias como os Controladores Lógicos Programáveis (PLCs) e os Sistemas de Execução de Manufatura (MES) são essenciais para monitorizar e controlar operações em tempo real, garantindo maior eficiência e precisão (Lufkin, 2015).

A integração horizontal e vertical é outro aspeto crucial. A integração horizontal refere-se à digitalização ao longo da cadeia de valor, conectando diferentes processos e departamentos, desde o fornecedor até ao cliente final. Isto permite uma cadeia de abastecimento mais eficiente e responsiva. Por outro lado, a integração vertical foca-se na conexão de diferentes níveis operacionais dentro de uma organização, desde o chão de fábrica até à gestão estratégica, facilitando o fluxo de dados e informações e melhorando a tomada de decisão e a coordenação (Taghavi & Beauregard, 2020).

A Internet das Coisas (IoT) permite a conexão de máquinas, dispositivos e sensores, criando uma rede interligada que recolhe e troca dados em tempo real. Esta conectividade possibilita, por exemplo, a manutenção preditiva, onde sensores monitorizam o desempenho de máquinas e equipamentos, prevenindo falhas antes que ocorram, o que reduz tempos de inatividade e custos de reparação. Além disso, a monitorização em tempo real proporciona uma visibilidade e controlo aprimorados sobre os processos de produção (Kumar et al., 2019).

A digitalização gera grandes volumes de dados que podem ser analisados para obter insights valiosos. O uso de *Big data* e análises avançadas permite a otimização de processos, identificando ineficiências e oportunidades de melhoria nos processos produtivos. Além disso, possibilita a personalização de produtos, utilizando dados de clientes para adaptar produtos e serviços às necessidades específicas do mercado (Sagiroglu & Sinanc, 2013).

A Inteligência Artificial (IA) e o *Machine Learning* (ML) permitem que os sistemas aprendam e melhorem com base em dados históricos e padrões identificados. Estas tecnologias são aplicadas na inspeção automática de qualidade, onde sistemas garantem a qualidade dos produtos, e na gestão de inventário, prevenindo a procura e otimizando os níveis de *stock* com base em algoritmos inteligentes (Sarirete et al., 2022).

A computação em nuvem oferece uma infraestrutura flexível e escalável para armazenamento e processamento de dados. Entre as suas vantagens, destaca-se a acessibilidade, permitindo acesso remoto a dados e sistemas, facilitando a colaboração e operação a partir de qualquer local. Além disso, a computação em nuvem é custo-efetiva, reduzindo despesas com infraestrutura física e manutenção de infraestruturas tecnológicas (Long et al., 2024).

Os sistemas ciber-físicos integram processos físicos e computacionais, criando ambientes inteligentes onde máquinas e sistemas comunicam e interagem autonomamente entre si. Estes sistemas têm a capacidade de auto-otimização, ajustando automaticamente os parâmetros operacionais para maximizar a eficiência, e de autocorreção, detetando e corrigindo problemas em tempo real sem necessidade de intervenção humana (Lee et al., 2015).

Com a digitalização, a cibersegurança torna-se uma preocupação crítica. É essencial implementar medidas robustas de proteção de dados, como criptografia e protocolos de segurança, além de uma gestão eficaz de riscos cibernéticos para evitar ataques e violações (Cremer et al., 2022).

A implementação da digitalização de processos exige uma estratégia bem definida. É necessário avaliar as necessidades da organização, identificando as áreas que mais beneficiariam da digitalização. O planejamento de investimentos em tecnologia e infraestrutura é fundamental, assim como o desenvolvimento de programas de formação para capacitar a força de trabalho nas novas tecnologias (Cimini et al., 2020).

A digitalização de processos na Indústria 4.0 é um passo crucial para a modernização e competitividade das empresas. Através da integração de tecnologias avançadas, as empresas podem alcançar níveis superiores de eficiência, qualidade e personalização, enfrentando desafios como a cibersegurança e a necessidade de qualificação da mão de obra.

2.2.3 Simulação

A simulação desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, permitindo que as empresas otimizem processos, melhorem a qualidade dos produtos e alcancem maior eficiência. Esta prática envolve a criação virtual de ambientes e processos que ocorrem dentro das fábricas, possibilitando a análise de dados, a monitorização e a melhoria de processos sem afetar a produção real. *Softwares* específicos permitem a simulação de condições reais e cenários prováveis aos quais os protótipos podem ser submetidos (de Paula Ferreira et al., 2020).

A simulação na Indústria 4.0 oferece vários benefícios. Em primeiro lugar, auxilia na identificação de gargalos significativos nos processos industriais. Além disso, os ambientes simulados permitem a realização de testes e experiências sem riscos, facilitando a análise de dados e a resolução de problemas. A simulação também contribui para alcançar objetivos de *Lean manufacturing*, como eficiência nos *stocks*, prazos, atendimento e qualidade. Adicionalmente, os gestores ganham um conhecimento detalhado sobre os processos, incluindo *lead time* e *takt time* (Gunal & Karatas, 2019).

Para que a simulação seja eficaz, é essencial que os dados utilizados sejam organizados e fiáveis, sendo fundamental o armazenamento e atualização constantes para análises precisas.

Concluindo, a simulação digital é um dos pilares da Indústria 4.0, permitindo que as indústrias alcancem maior eficiência, tomem decisões informadas e otimizem os seus processos.

2.2.4 Software *Arena*

O *software Arena* é um produto desenvolvido pela empresa Rockwell Automation, especializada em soluções de automação industrial e manufatura. Lançada inicialmente em 1993, a ferramenta tem sido amplamente adotada em diversas áreas, como engenharia de processos, logística e simulação de sistemas (Rockwell Automation, 2024).

A conceção original do *Arena* visava proporcionar uma simulação intuitiva e visual de sistemas complexos, facilitando a tomada de decisões por engenheiros e profissionais envolvidos em projetos de produção e logística. O nome "*Arena*" foi escolhido por sugerir um ambiente onde cenários podem ser criados e estratégias testadas de forma segura e controlada (Rockwell Automation, 2024).

Desde o seu lançamento, o *software Arena* tem recebido atualizações contínuas para incorporar novas funcionalidades e tecnologias que atendem às crescentes demandas dos utilizadores (Rockwell Automation, 2024).

O *Arena* é amplamente reconhecido como um dos principais programas para simulação de eventos discretos, utilizando uma metodologia baseada em modelação de fluxo de processo. Possui uma extensa biblioteca de blocos de construção pré-definidos que permitem aos utilizadores modelar processos através de um método intuitivo de arrastar e soltar (*drag and drop*), facilitando a construção rápida de modelos de simulação (Ustundag & Cevikcan, 2018).

Uma das vantagens do *Arena* é a ausência da necessidade de programação complexa, embora permita aos utilizadores avançados aceder ao código SIMAN para resolver desafios específico. Além disso, possibilita a criação de modelos personalizados e módulos reutilizáveis, incluindo uma biblioteca especializada para simulação de embalagens de alta velocidade, otimizando a produção (Rockwell Automation, 2024).

Outro diferencial do *Arena* é sua capacidade de modelação tanto para simulação discreta como para fluxos contínuos de fabricação, além de suportar modelação 3D, facilitando a criação de gémeos digitais (*digital twins*) (Ustundag & Cevikcan, 2018).

2.3 Ferramentas de avaliação de viabilidade económica

Este subcapítulo tem como objetivo enquadrar as ferramentas de avaliação de viabilidade económica utilizadas nesta dissertação, com o propósito de avaliar se as melhorias propostas através das metodologias *Lean* trarão retorno financeiro ou resultarão em prejuízo face ao estado atual da empresa. As metodologias *Lean* visam aumentar a eficiência e a produtividade, conduzindo a melhores retornos financeiros.

No entanto, estas melhorias frequentemente exigem investimentos iniciais, o que torna crucial analisar se os benefícios esperados compensam os custos.

Nesta dissertação, foram consideradas as seguintes ferramentas: o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Retorno do Investimento (PRI).

O VAL calcula o valor presente dos fluxos de caixa futuros, ajudando a determinar se a melhoria adicionará valor à organização. A TIR compara a rentabilidade do investimento com o custo de capital, enquanto o PRI indica o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Uma análise detalhada destas ferramentas permite verificar se as melhorias propostas oferecem ganhos reais ou se resultam num retorno inferior ao do estado atual, assegurando que as práticas *Lean* contribuam para a sustentabilidade financeira a longo prazo.

2.3.1 Valor Atual Líquido

O Valor Atual Líquido (VAL) é um conceito financeiro essencial usado para avaliar a viabilidade de investimentos e projetos. Esta metodologia permite determinar o valor presente de uma série de fluxos de caixa futuros, descontados a uma taxa de atualização específica (Brealey et al., 2023).

O cálculo do Valor Atual Líquido é feito pela fórmula 2.1:

$$VAL = -Investimento_{inicial} + \sum_{n=1}^t \frac{F}{(1+i)^n} \quad 2.1$$

Em que:

- *VAL* corresponde ao Valor Atual Líquido;
- *Investimento_{inicial}* ;
- *n* corresponde ao ano;
- *t* corresponde ao período máximo considerado, em anos;
- *i* corresponde à taxa de atualização considerada;
- *F* corresponde ao *cash-flow* resultante entre os ganhos e os custos anuais.

A fórmula soma os valores presentes de todos os fluxos de caixa futuros, descontando cada um deles à taxa de atualização até ao período correspondente. Este processo de desconto ajusta cada fluxo de caixa para refletir o valor que ele teria no momento

presente, reconhecendo que um euro recebido no futuro vale menos do que um euro recebido hoje devido ao efeito do tempo e da incerteza (Brealey et al., 2023).

A interpretação do VAL é a seguinte: se o VAL for maior que zero, o projeto ou investimento é considerado viável, pois gera um retorno superior ao custo do capital. Se o VAL for igual a zero, o projeto gera um retorno igual ao custo do capital, sem ganho ou perda económica. Se o VAL for menor que zero, o projeto não é viável, pois gera um retorno inferior ao custo do capital (Ross et al., 2022).

O VAL é importante para a avaliação de investimentos, permitindo aos gestores avaliar se os investimentos propostos agregarão valor à empresa. Também facilita a comparação entre diferentes projetos, considerando o valor presente dos fluxos de caixa esperados, e auxilia na tomada de decisões racionais sobre a alocação de recursos financeiros.

As vantagens do VAL incluem a consideração do valor temporal do dinheiro, proporcionando uma avaliação mais precisa dos fluxos de caixa futuros. O VAL fornece um critério claro e quantificável para a aceitação ou rejeição de investimentos e pode ser aplicado a uma ampla variedade de projetos e investimentos (Ross et al., 2022).

No entanto, o VAL tem algumas desvantagens. Requer estimativas precisas dos fluxos de caixa futuros, o que pode ser desafiador e sujeito a incertezas. Além disso, a escolha da taxa de atualização apropriada pode ser complexa e influenciar o VAL calculado (Shou, 2022).

2.3.2 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma métrica financeira utilizada para avaliar a rentabilidade potencial de investimentos e projetos. A TIR é a taxa de atualização que torna o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um investimento igual ao seu custo inicial, ou seja, a taxa na qual o Valor Atual Líquido (VAL) é zero (Brealey et al., 2023).

Este método é amplamente utilizado em finanças corporativas e gestão de projetos.

O cálculo da TIR é realizado resolvendo a seguinte equação da fórmula 2.1 para i , igualando a zero, resultando a fórmula 2.2:

$$-Investimento_{inicial} + \sum_{n=1}^t \frac{F}{(1+i)^n} = 0 \quad 2.2$$

A interpretação da TIR é a seguinte: se a TIR de um projeto for superior ao custo do capital, o projeto é considerado viável e deve ser aceite. Se a TIR for inferior ao custo do capital, o projeto deve ser rejeitado. Se a TIR for igual ao custo do capital, o projeto é neutro, sem ganho nem perda económica (Ross et al., 2022).

A TIR é importante porque permite aos gestores comparar a rentabilidade de diferentes projetos, independentemente do seu tamanho ou duração.

As vantagens da TIR incluem a sua capacidade de fornecer uma taxa de retorno percentual, que é intuitiva e fácil de comparar com a taxa de retorno exigida. A TIR também considera o valor temporal do dinheiro e pode ser aplicada a uma ampla variedade de projetos (Ross et al., 2022).

No entanto, a TIR tem algumas desvantagens. Em projetos com fluxos de caixa não convencionais, pode haver múltiplas TIR, o que complica a interpretação. Além disso, a TIR não considera o tamanho absoluto dos projetos, o que pode levar a decisões subótimas se usada isoladamente. Por fim, a TIR assume que os fluxos de caixa intermediários são reinvestidos à própria TIR, o que pode não ser realista (Pereira & Almeida, 2008).

2.3.3 Período Retorno Investimento

O Período de Retorno do Investimento (PRI), ou *Payback Period* em inglês, é uma métrica financeira utilizada para avaliar o tempo necessário para recuperar o montante investido em um projeto ou investimento. Este indicador é amplamente utilizado na análise de viabilidade de investimentos e projetos, especialmente em contextos empresariais, para auxiliar na tomada de decisões estratégicas (Lefley, 1996).

Calcula-se com recurso à fórmula 2.3:

$$PRI = n + \frac{CF_n}{CF_n - CF_{n+1}} \quad 2.3$$

A fórmula apresentada é utilizada para calcular o ponto exato, em termos de fração de período, em que o investimento inicial é recuperado. A decomposição da fórmula em duas componentes principais facilita a compreensão e aplicação da mesma (Magni, 2020):

- Parte Inteira (n):

Esta componente da fórmula contabiliza o número total de períodos completos necessários até que o investimento inicial seja quase totalmente recuperado. Em termos práticos, após n períodos completos, uma parte do investimento ainda permanece por recuperar (Brealey et al., 2023).

- Parte fracionária ($\frac{CF_n}{CF_n - CF_{n+1}}$):

Esta componente ajusta o Período de Retorno do Investimento (PRI) considerando a fração do período subsequente necessária para recuperar o valor remanescente do investimento. Este ajuste permite calcular com precisão o momento exato em que o investimento inicial é integralmente recuperado, proporcionando uma análise mais detalhada e precisa da viabilidade financeira do projeto (Ross et al., 2022).

O Período de Retorno do Investimento (PRI) apresenta várias vantagens. Primeiramente, a simplicidade: o método é fácil de compreender e aplicar, não exigindo conhecimentos avançados em finanças (Lefley, 1996). Em segundo lugar, a rapidez: fornece uma resposta rápida sobre a viabilidade de um investimento, o que pode ser crucial em ambientes de negócio dinâmicos (Ross et al., 2022). Além disso, a priorização de investimentos com retornos mais rápidos pode reduzir o risco, pois a empresa recupera o investimento inicial em menos tempo (Magni, 2020).

Contudo, o PRI também possui desvantagens. O PRI ignora completamente os fluxos de caixa que ocorrem após o período de retorno, potencialmente desconsiderando investimentos altamente lucrativos a longo prazo (Brealey et al., 2023). Outra desvantagem é que o PRI não fornece informações sobre a rentabilidade total do projeto ou investimento, apenas sobre o tempo necessário para recuperar o investimento inicial (Ibbotson & Kaplan, 2001).

O PRI é frequentemente utilizado em conjunto com outras métricas financeiras, como o Valor Atual Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), para fornecer uma visão mais abrangente da viabilidade de um investimento (Lefley, 1996). Em situações onde a liquidez é uma preocupação maior do que a rentabilidade total, o PRI pode ser uma ferramenta valiosa para a tomada de decisão (Ross et al., 2022).

2.3.4 Método Monte Carlo

O Método de Monte Carlo é uma ferramenta matemática desenvolvida por John von Neumann e Stanislaw Ulam durante a Segunda Guerra Mundial, inicialmente para resolver problemas complexos de física nuclear (Metropolis & Ulam, 1949). Esta abordagem envolve a criação de um grande número de amostras aleatórias para estimar

probabilidades e valores esperados, sendo amplamente utilizada para analisar sistemas complexos e incertos. Consiste em três etapas principais: definição do domínio do problema, criação de entradas aleatórias e agregação dos resultados para fornecer uma estimativa estatística. Esta ferramenta é particularmente útil na obtenção de estimativas na análise da variabilidade e incerteza dos resultados (Kroese et al., 2013).

Na prática, o Método de Monte Carlo encontra aplicação em diversas áreas. Na área financeira, é usado para precificação de opções, avaliação de riscos e modelação de portfólios, permitindo a simulação de diferentes cenários de mercado (Boyle, 1977). Em engenharia, é essencial para a análise de fiabilidade de sistemas complexos, ajudando a prever falhas e a analisar a durabilidade de materiais (Kroese et al., 2013). Além disso, em física, biologia e ciência de materiais, a ferramenta é empregue para modelar sistemas de partículas, prever comportamentos de gases e líquidos, e simular propriedades microscópicas dos materiais (Binder, 1995).

O Método de Monte Carlo é extremamente útil na avaliação de viabilidade económica, essencial em finanças, engenharia, gestão de projetos e política pública (Brandimarte & St, 2022). Esta avaliação envolve a análise de custos, benefícios, riscos e incertezas associados a um projeto ou investimento. A ferramenta permite modelar incertezas gerando muitos cenários possíveis, captando a variabilidade inerente ao projeto (Mun, 2006). Além disso, possibilita estimar a probabilidade de diferentes resultados económicos, facilitando a compreensão dos riscos e oportunidades. Também é fundamental na análise de sensibilidade, identificando quais as variáveis que têm maior impacto no resultado final, e na avaliação de custos e benefícios ao considerar a incerteza nas estimativas de ambos (Saltelli, 2008).

Na construção de grandes projetos de infraestrutura, como pontes e redes de energia, a incerteza nos custos de materiais e mão-de-obra pode ser substancial. O Método de Monte Carlo simula essas incertezas para fornecer uma estimativa mais precisa dos custos totais do projeto e identificar riscos financeiros (Fishman, 1996). Na gestão de carteiras de investimento, precificação de opções e avaliação de novos produtos financeiros, o método modela a incerteza do mercado e prevê retornos futuros, ajudando os investidores a entenderem a probabilidade de diferentes níveis de retorno (Binder, 1995).

Em suma, o Método de Monte Carlo é uma ferramenta valiosa para a avaliação de viabilidade económica, permitindo uma análise detalhada das incertezas e riscos associados a projetos e investimentos. Fornece estimativas probabilísticas e realiza análises de sensibilidade, apoiando os decisores na gestão eficaz dos riscos. Esta

capacidade de lidar com a incerteza é crucial para garantir a alocação eficiente de recursos e a sustentabilidade e rentabilidade dos projetos a longo prazo. A versatilidade e eficiência da ferramenta tornam-no indispensável na investigação científica e na prática industrial, sendo fundamental para a tomada de decisões informadas e para o avanço do conhecimento em diversas áreas do saber (Kroese et al., 2013).

3 Metodologia e caso de estudo

Este capítulo inicia-se com uma visão detalhada da empresa sujeita ao caso de estudo, explorando a missão, visão, valores, presença de mercado e estrutura organizacional. Em seguida, efetua-se uma análise minuciosa ao processo de requisição interna, abordando cada etapa desde a solicitação até à encomenda ao fornecedor. Destaca-se a complexidade do processo, do número de intervenientes distintos à dependência de documentação em papel. O capítulo inclui uma descrição detalhada dos subprocessos "Requisito," "Devolvo" e "Preço", permitindo uma compreensão aprofundada das especificidades e desafios de cada situação. A análise crítica visa identificar áreas passíveis de melhoria, com ênfase na eficiência operacional, modernização e eliminação de obstáculos.

3.1 Apresentação da Empresa e do Problema Industrial

A empresa, uma Pequena e Média Empresa (PME) situada na Grande Lisboa, é especializada na manutenção e reparação de máquinas industriais, tanto em estaleiro próprio como em assistências no local de operação dos equipamentos. Além disso, dedica-se ao aluguer destas e ao fabrico de acessórios para as mesmas. A sua missão passa por motivar e apoiar os colaboradores na procura da excelência. Compromete-se, simultaneamente, a fornecer serviços transparentes e de alta qualidade, com o intuito de satisfazer plenamente as necessidades dos seus clientes.

No que diz respeito à visão, a empresa procura estar em sintonia com as necessidades do mercado em que atua, preenchendo as lacunas nas necessidades dos clientes através da aplicação de soluções eficazes, eficientes e de alta qualidade. Além disso, a empresa possui certificação em conformidade com os padrões ISO 9001:2015, reforçando o seu compromisso com a excelência, a qualidade e com a melhoria contínua.

Os principais valores da empresa incluem o respeito pelo meio ambiente e pela sociedade, ao mesmo tempo em que visam a sustentabilidade financeira e promovem o progresso tecnológico.

A empresa detém forte presença no território nacional, estabelecendo colaborações estratégicas com as principais empresas do setor cimenteiro e de exploração de inertes em Portugal, nas quais desempenha o papel de parceira e fornecedora de serviços especializados, com foco na manutenção e aluguer de equipamentos. No âmbito do grupo empresarial, encontra-se uma empresa afiliada dotada de uma significativa frota de cerca de 320 equipamentos destinados à terraplanagem, desempenhando, assim,

um papel preponderante como um dos clientes primordiais em matéria de serviços de reparação e manutenção.

A estrutura da empresa é composta por várias seções, com destaque para as principais, que incluem mecânica, tornos, serralharia, fabrico, corte de chapa e sala de desenho. Além disso, a empresa conta com seções auxiliares, tais como contabilidade, comercial, armazém, administrativa e compras. Esta organização permite que a empresa atenda às diversas necessidades dos seus clientes, desde a produção de peças até a gestão administrativa e comercial.

É importante notar que, independentemente da seção da empresa, todas seguem um procedimento comum de aquisição de materiais por meio de requisições internas. Esse processo permanece praticamente inalterado há cerca de duas décadas. Caracteriza-se por ser altamente dependente de documentação em papel, o que resulta em atrasos consideráveis e envolve vários intermediários antes de chegar ao departamento de compras. Atualmente, este processo envolve a colaboração de cinco intervenientes distintos, com o primeiro sendo o colaborador que solicita o material e o último sendo o colaborador responsável por efetuar a encomenda junto do fornecedor. Essa abordagem é comum a todas as seções principais da empresa.

No próximo ponto, será detalhado o processo de um modo geral, assim como as suas particularidades específicas.

3.2 Descrição do Procedimento de Requisição Interna

Este subcapítulo detalha o processo de requisição de material que permeia todas as seções da empresa. Neste procedimento, será detalhada cada etapa, desde o momento em que o colaborador faz a requisição até à encomenda a fornecedor. O processo atual envolve a colaboração de cinco intervenientes distintos.

Inicialmente, o colaborador que solicita o material preenche manualmente uma requisição, especificando detalhes como o tipo de requisição (que pode ser "Requisito," "Devolvo" ou "Preço"), o armazém a que se destina o material, a obra de destino, a marca, modelo e série do equipamento, o órgão do equipamento (opcional), bem como as quantidades, referências e designações das peças necessárias. A requisição é então assinada e datada pelo colaborador.

A requisição passa então por diversas mãos, começando pelo responsável direto do colaborador, que verifica a exatidão do preenchimento e toma decisões, como a seleção do fornecedor pretendido (no caso de "Requisito") ou os fornecedores a serem

consultados (no caso de "Preço"). A aprovação resulta na assinatura da requisição e na inserção da data do pedido.

Após a fase de aprovação, a requisição segue para o armazém, onde um funcionário responsável processa o documento. Esse funcionário introduz manualmente as referências dos materiais da requisição num *software*, verificando assim a disponibilidade de *stock* para cada item e marcando na requisição se o material está ou não disponível, e em que quantidades. No fim do processo, o funcionário assina e regista a data e hora.

A requisição é então encaminhada para o departamento de compras, onde um dos colaboradores desse setor formaliza a encomenda ou a consulta de fornecedores, após a autorização do responsável do setor. Para encomendas de valor inferior a 500€, é importante observar que a autorização do superior não é obrigatória para a formalização da encomenda. No entanto, a requisição ainda será submetida ao superior para que este tome conhecimento do pedido e do seu destino.

Novamente, as referências são inseridas individualmente no mesmo *software* utilizado pelo funcionário do armazém, desta feita para gerar a encomenda a fornecedor, que é convertida num arquivo PDF e enviada via email ao fornecedor(es) apropriado(s).

Cada requisição tem um número interno, que posteriormente é vinculado ao número de encomenda gerado pelo *software*. Essa associação possibilita, após a emissão da encomenda, realizar um acompanhamento no sistema de gestão integrado através desse número de requisição. Dessa forma, torna-se possível identificar quem fez a requisição, o que foi solicitado e para onde se destina, promovendo a rastreabilidade do processo.

Este procedimento, embora funcional, envolve muito retrabalho, que se traduz em desperdícios. A estrutura fundamental desse processo é comum a todas as categorias, seja para "Requisito," "Devolvo" ou "Preço."

A Figura 3.1 ilustra o modelo atual de requisições internas da empresa:

| ARMAZÉM DE DESTINO | | Nº REQ. INTERNA: Nº INTERNO | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|--|---------|---------------------------|-------------|---------------------------|---------|-------------|
| REQUISITO <input type="checkbox"/> | | OBRA: _____ | | | | | | |
| PREÇO <input type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| DEVOLVO <input type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| MARCA: _____ | MODELO: _____ | SÉRIE: _____ | | | | | | |
| ORGÃO: _____ | | | | | | | | |
| QTD. | REFERÊNCIA | DESCRIÇÃO | ARMAZÉM | LOCALIZAÇÃO | QUANTIDADES | | | OBSERVAÇÕES |
| | | | | | EXIST. | FORN. | A FORN. | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Requisitado: | | Autorizado: | | Autorizado: | | Fiel de Armazém: | | |
| _____ , ___ / ___ / _____ | | _____ , ___ / ___ / _____ | | _____ , ___ / ___ / _____ | | _____ , ___ / ___ / _____ | | |

Figura 3.1 – Modelo de Requisição Interna da Empresa

A tabela apresentada acima proporciona uma visão inicial da complexidade associada ao preenchimento da requisição. As nuances específicas e particularidades de cada subprocesso serão detalhadas nos próximos subcapítulos.

3.2.1 Subprocesso “Requisito”

O processo de requisição, representado na notação BPMN (Figura 3.2), segue o seguinte fluxo:

Quando a requisição chega ao supervisor direto do requisitante, ele assume a responsabilidade de designar o fornecedor desejado e assinar na área indicada. A seguir, a requisição segue para o armazém, onde um funcionário verifica a disponibilidade de *stock*. Se o material estiver disponível e pronto para ser fornecido, ele é entregue imediatamente ao requisitante. No entanto, se o material não estiver disponível, o processo segue conforme mencionado anteriormente, incluindo a realização das etapas subsequentes para autorizar e realizar a encomenda a fornecedor.

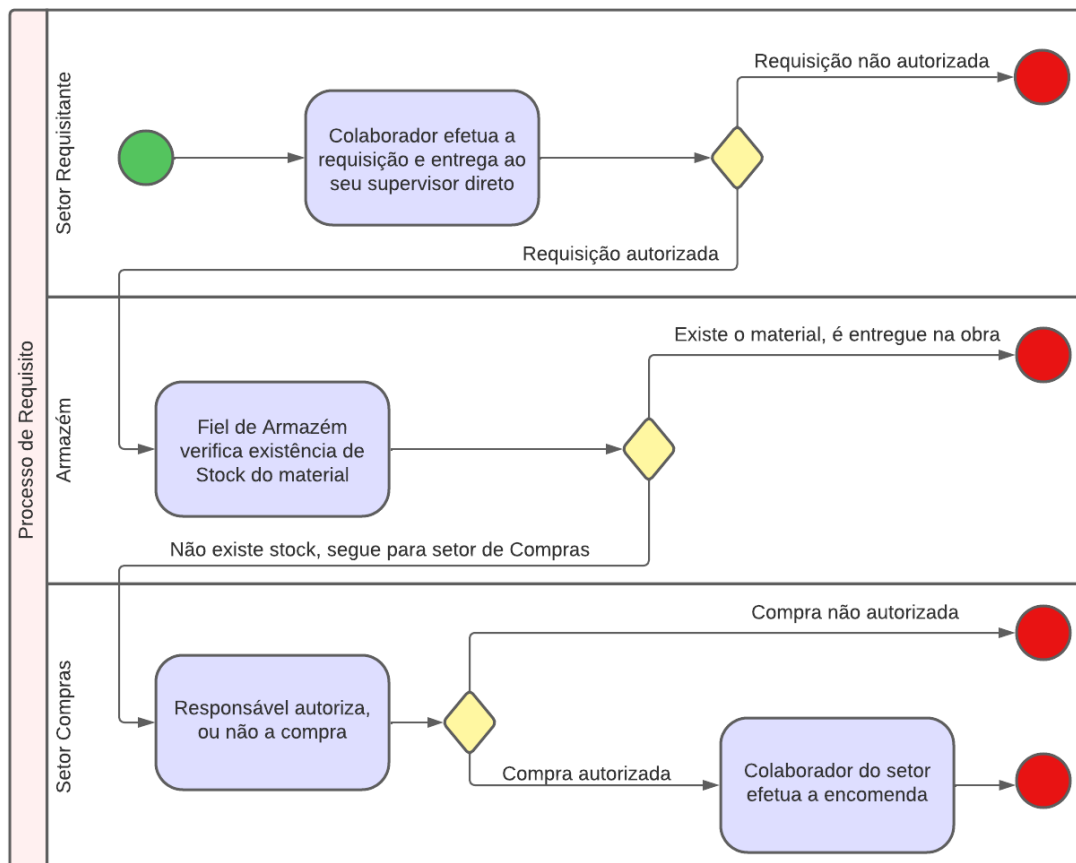


Figura 3.2 – Processo “Requisito” em notação BPMN

A representação visual do processo de requisição oferece uma visão estruturada das etapas envolvidas, facilitando a compreensão do fluxo operacional na empresa.

3.2.2 Subprocesso “Devolvo”

O processo de devolução, representado na notação BPMN (Figura 3.3), segue o seguinte fluxo:

No cenário de devolução de peças, o requisitante preenche a requisição de acordo com o procedimento mencionado no subcapítulo 3.2. Após isso, o requisitante ou o seu supervisor deve especificar o motivo da devolução, o que pode resultar em várias abordagens.

Se o motivo for um excesso de material que pode ser útil no futuro, o material é colocado em *stock* no armazém, e o valor correspondente é retirado da obra a que foi pedido, utilizando o *software* de gestão de obra. Se a devolução se deve a um erro do fornecedor, o material é devolvido ao fornecedor original.

Em último caso, se houve um equívoco na solicitação do material pela empresa e a devolução é necessária, pode ou não haver custos associados à devolução. No caso de

devolução ao fornecedor, o responsável do setor entra em contato com o fornecedor ou atribui essa tarefa a um dos colaboradores do departamento de compras.

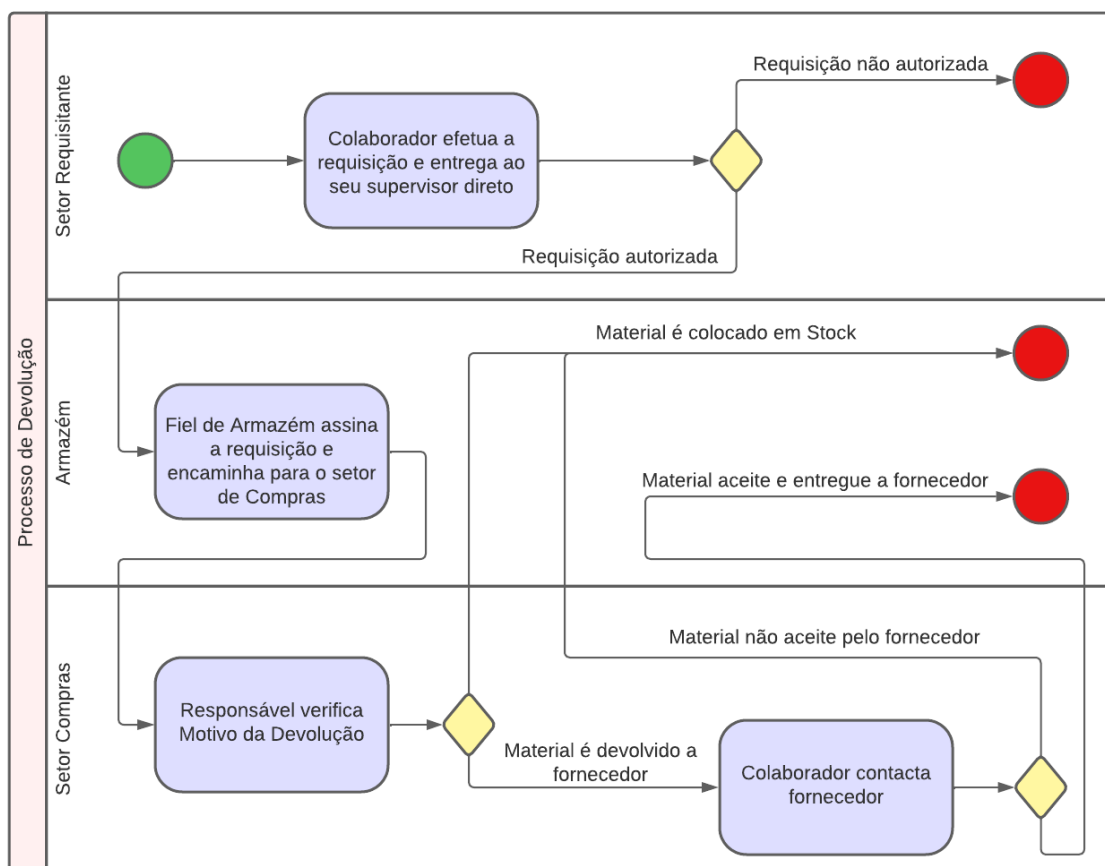


Figura 3.3 – Processo “Devolver” em notação BPMN

A representação visual do processo de devolução oferece uma visão estruturada das etapas envolvidas, facilitando a compreensão do fluxo operacional na empresa.

3.2.3 Subprocesso “Preço”

O processo de orçamentação, representado na notação BPMN (Figura 3.4), segue o seguinte fluxo:

O subprocesso "Preço" é bastante semelhante ao "Requisito". Tem duas finalidades principais: a orçamentação de trabalhos futuros ou a obtenção de várias opções de fornecedores para escolher a melhor. Após a aprovação do supervisor direto do requisitante e a definição dos fornecedores dos quais deseja receber cotações, a requisição é encaminhada para o armazém com a finalidade de servir como "entrepósito." Nesse ponto, ela pode ser entregue diretamente a um dos colaboradores

do departamento de compras, sem necessariamente passar pelo responsável de compras.

No departamento de compras, o colaborador encarregado do processo transfere as informações da requisição para um email, que será enviado ao(s) fornecedor(es) específico(s). Após a recepção de todas as cotações solicitadas de todos os fornecedores, essas cotações são então entregues ao responsável do requisitante. Neste ponto, o responsável tem várias opções, colaborar com o departamento comercial na elaboração do orçamento ou selecionar um fornecedor com base na análise dos preços e prazos de entrega oferecidos.

Uma vez selecionado o fornecedor desejado, a requisição é encaminhada de volta ao armazém, onde as referências são inseridas uma a uma no *software* para verificar a disponibilidade de *stock*. Em seguida, a requisição é enviada ao responsável de compras para autorizar a compra, seguindo o restante do processo conforme descrito na seção 3.2.

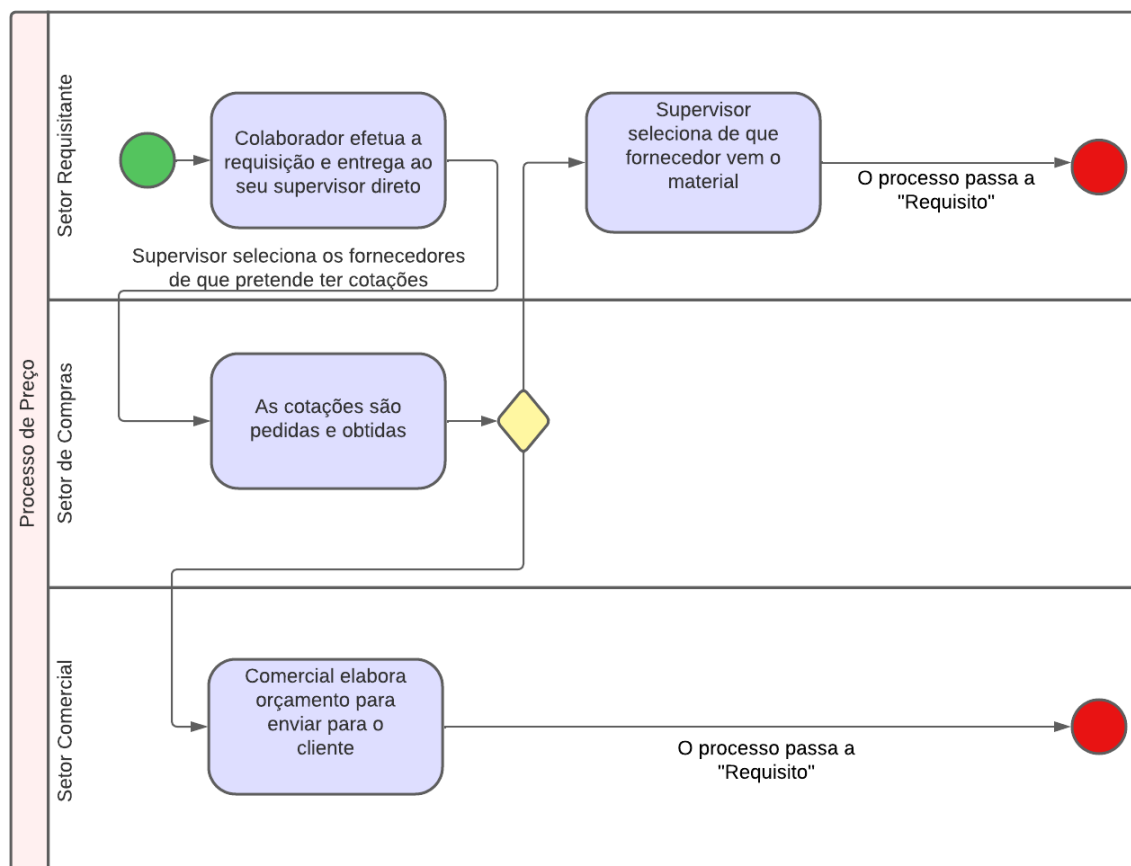


Figura 3.4 – Processo "Preço" em notação BPMN

A representação visual do processo de orçamentação oferece uma visão estruturada das etapas envolvidas, facilitando a compreensão do fluxo operacional na empresa.

3.3 Análise das Limitações e Impacto do Processo

O atual processo de compras na empresa, embora funcional, revela características fortemente enraizadas no século passado, o que resulta em diversas limitações. A dependência excessiva de métodos manuais e papel compromete a eficiência operacional, aumentando o tempo de ciclo e a probabilidade de erros. Com um número significativo de intervenientes, o processo é marcado por atrasos e complexidade excessiva, gerando retrabalho devido às múltiplas aprovações e verificações manuais necessárias ao longo do fluxo.

Além disso, a transferência manual de informações entre os intervenientes cria lacunas na comunicação, resultando em perdas de dados e mal-entendidos. A rigidez do processo, inalterado ao longo de várias décadas, impede a rápida adaptação às mudanças e a implementação de melhorias contínuas. A presença de subprocessos distintos, como "Requisito", "Devolvo" e "Preço", adiciona complexidade, dificultando a uniformização e simplificação do processo.

Apesar da empresa contar com um sistema integrado de gestão de compras e *stocks*, a persistência do uso intensivo de papel traduz-se em deficiências em termos de transparência e rastreabilidade. Mesmo com a presença de um *software*, torna-se desafiador realizar o acompanhamento eficiente do estado das requisições, pois a informação ainda é frequentemente registada e transferida manualmente em formato físico.

A baixa agilidade na tomada de decisões continua a ser uma preocupação significativa, especialmente devido às múltiplas aprovações manuais que perduram no processo. Este cenário é particularmente problemático num ambiente empresarial dinâmico, onde a rapidez na resposta a mudanças é crucial para a eficácia operacional.

A gestão de fornecedores enfrenta desafios desde a fase de seleção até à comunicação eficiente, resultando em potenciais atrasos e mal-entendidos nas relações com os fornecedores. A rigidez do processo de compras emerge como um obstáculo para a adaptação a variações no volume de compras, enquanto a persistente dependência de métodos manuais intensifica a probabilidade de erros humanos, acarretando custos adicionais para a correção.

A ausência de um sistema integrado de forma completa limita a implementação efetiva de métricas e indicadores de desempenho para acompanhar as diversas fases do processo. Esta limitação prejudica a capacidade da empresa de avaliar, monitorizar e melhorar continuamente o processo de compras. A falta de dados precisos e em tempo

real, derivada da ausência de integração, compromete a capacidade de tomar decisões informadas e de otimizar proactivamente o desempenho operacional.

O tempo despendido ao longo da cadeia do processo não só resulta em atrasos na conclusão das obras para as quais o material é destinado, mas também acarreta possíveis atrasos e/ou perdas de novos trabalhos na empresa. Esta situação é especialmente crítica devido ao facto de que os equipamentos em reparação podem possuir dimensões consideráveis, ocupando um espaço significativo na oficina. Deste modo, torna-se imperativo otimizar o processo de forma a libertar o espaço ocupado pelos equipamentos em reparação o mais rapidamente possível, a fim de aumentar a capacidade operacional da empresa. Este aumento na capacidade não apenas contribuirá para um aumento na faturação da empresa, mas também para a eficiência global do processo de reparação de equipamentos.

A problemática em análise é multifacetada, exigindo competências diversas em áreas distintas, incluindo informática e tecnologia. É importante salientar que alguns colaboradores da empresa apresentam lacunas significativas em termos de competências tecnológicas, o que se reflete na sua capacidade limitada de utilizar eficazmente as ferramentas informáticas no âmbito das suas responsabilidades laborais. Neste sentido, é imperativo ressaltar que esta questão não é trivial, requerendo uma abordagem cuidadosa e estratégica para a sua resolução, incluindo planeamento de formação aos colaboradores.

4 Propostas de melhoria

O presente capítulo tem como objetivo realizar uma análise aprofundada dos desafios enfrentados no processo de gestão de requisições e compras da empresa, com o intuito de identificar oportunidades de melhoria e eficiência. Inicialmente, será efetuada uma análise do modelo atual de requisições da empresa, seguida pela exploração de três cenários alternativos, cada um encarado como uma hipótese de melhoria progressiva, visando alcançar incrementos graduais no processo de compras. A metodologia escolhida baseia-se nas abordagens *Lean* e nas tecnologias da Indústria 4.0, visando promover melhorias contínuas, mesmo que impliquem um aumento no investimento a cada iteração proposta.

Para aumentar a eficiência e operacionalização do processo de compras, serão adotadas simplificações, como a agregação do processo de preços e requisitos num único procedimento, assim como a exclusão do processo de devolução, devido à sua menor frequência por comparação com os restantes.

Nos subcapítulos subseqüentes, cada cenário será detalhadamente apresentado, destacando as ferramentas *Lean* e as tecnologias da Indústria 4.0 que podem ser aplicadas para promover uma gestão mais ágil, transparente e eficiente das requisições e compras. Cada iteração apresentada representará uma melhoria em relação à anterior, focando a melhoria contínua. A análise de cada cenário abordará uma proposta de melhoria, detalhando os pressupostos e simplificações adotados, os resultados esperados, bem como os seus prós e contras.

Este capítulo oferece uma visão abrangente das estratégias que a empresa pode adotar para melhorar o seu processo de gestão de requisições e compras, alinhando-se com as melhores práticas e tendências emergentes no campo da gestão empresarial.

4.1 Análise do modelo atual

De acordo com a experiência e conhecimento do processo pelo autor, que trabalhou oito anos na empresa, foi identificado um gargalo no fluxo de trabalho, especificamente no passo que depende da autorização do responsável pelo setor de compras. Este passo, essencial para o avanço dos processos, é frequentemente atrasado devido à ausência do responsável, que, por estar inserido na administração da empresa, nem sempre se encontra disponível no seu gabinete para assinar as requisições. Este gargalo será examinado mais minuciosamente no capítulo de simulação, onde se procederá à verificação utilizando um mapeamento simulado de fluxo de valor, com resultados esperados nesse ponto.

Essa situação destaca dois problemas na empresa. Primeiro, o processo de autorização, conduzido manualmente e em papel, exige a presença constante do responsável para assinar e encaminhar as requisições. Em segundo lugar, e em casos de urgência, o administrador da empresa precisa de ser contactado e interromper as suas outras tarefas para dar continuidade ao processo. Na ausência dessa possibilidade, os superiores dos diversos setores contornam o processo existente para garantir o material necessário para as suas operações dentro do prazo estipulado.

4.2 1ª Iteração de melhoria: Atribuição de horários para as autorizações e encomendas

Propõe-se, para a primeira iteração do processo de melhoria da gestão de requisições e compras na empresa, o recurso à Padronização, através da implementação de horários específicos para a aprovação das requisições, com o objetivo de reduzir a variabilidade e a dispersão ao longo do dia e otimizar o fluxo de trabalho. Nesta iteração, parte-se do pressuposto de que ao condensar as requisições em horários específicos, e adotando uma abordagem *Kaizen* de melhoria contínua, facilitará o planeamento e a execução das atividades da secção de compras, considerando a simplificação do processo ao eliminar variações na procura de requisições e situações de urgência.

Assim, os requisitantes colocariam as suas requisições no gabinete do superior, que ficaria encarregue de verificar e determinar quais seguem o processo estabelecido. Os horários para autorizações seriam estabelecidos às 10h e às 15h, para as encomendas, por sua vez, seriam os horários das 11h e das 16h, possibilitando a coordenação eficiente da recolha do material em *stock* no fornecedor com o estafeta, além do processamento de todas as encomendas dentro do período estipulado. Recorrendo à abordagem *Heijunka*, ir-se-á simplificar o processo, reduzindo o número de encomendas aos fornecedores, agregando diferentes requisições para o mesmo fornecedor e gerando apenas uma encomenda, nivelando a emissão de encomendas e minimizando as flutuações na procura. Isso permitiria que cada interveniente na cadeia de autorizações ajustasse as suas responsabilidades de acordo com os horários estabelecidos, promovendo uma gestão mais eficaz do tempo, minimizando interrupções nas atividades dos intervenientes e otimizando não apenas o processo de compras, mas também a gestão do trabalho ao longo do dia.

Para uma implementação bem-sucedida desta abordagem, será crucial realizar uma comunicação eficaz e fornecer formação adequada aos colaboradores sobre os objetivos e benefícios desta mudança, destacando a importância da adesão aos horários estabelecidos. Este constitui o principal desafio da implementação deste

cenário. Além disso, será fundamental estabelecer procedimentos claros para lidar com situações de urgência fora dos horários regulares, garantindo que as respostas rápidas não comprometam a eficiência do processo. Será igualmente importante monitorizar regularmente o cumprimento dos horários estabelecidos e recolher *feedback* dos colaboradores para identificar eventuais pontos de melhoria e garantir a sustentabilidade da abordagem ao longo do tempo.

Embora esta iteração aborde alguns dos desafios mencionados anteriormente, como a dispersão de requisições ao longo do dia, ainda existem questões relacionadas ao retrabalho e à gestão do processo que precisam ser consideradas. No entanto, espera-se alcançar melhorias na eficiência operacional do processo com a implementação desta primeira iteração.

Para a implementação destas alterações, o investimento seria baixo, uma vez que apenas seria necessário informar os colaboradores do novo procedimento e designar os superiores como responsáveis pela verificação do mesmo.

4.3 2ª Iteração: Digitalizar o processo

Na segunda iteração do processo de otimização das requisições na empresa, avança-se para a digitalização do processo de requisições, implementando um sistema que permitirá aos colaboradores submeterem as suas requisições através de uma plataforma digital. Esta medida, alinhada com os princípios da Indústria 4.0, visa modernizar o processo e aumentar a sua eficiência global, simplificando a sua implementação ao realizá-la de forma gradual e definindo critérios claros para aprovações automáticas, utilizando assim ferramentas *Lean* para a simplificação e padronização do processo.

Um exemplo prático desses critérios seria estabelecer aprovações automáticas para pedidos de material destinado a revisões programadas de equipamentos, nos quais o material necessário é sempre o mesmo em todas as revisões do mesmo tipo, promovendo assim a padronização e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Além disso, a digitalização do processo trará benefícios tangíveis, como a redução do tempo necessário para a conclusão das requisições e do retrabalho. Por exemplo, o fiel de armazém e o colaborador das compras receberão diretamente a lista de material a pedir no *software*, eliminando a necessidade de inseri-lo manualmente novamente, o que aumentará a eficiência operacional, integrando tecnologias da Indústria 4.0 para automação e melhoria de processos.

Adicionalmente, serão estabelecidos mecanismos de notificação para os supervisores aprovarem as requisições pendentes nos mesmos horários definidos na primeira iteração, mantendo as vantagens enumeradas no subcapítulo anterior e promovendo o nivelamento de produção (Heijunka). O supervisor terá visibilidade em tempo real sobre as requisições pendentes, possibilitando uma rápida tomada de decisão e reduzindo os tempos de espera.

Na mesma linha, será definida uma escala de valor monetário para as requisições, simplificando o processo de aprovação e eliminando gargalos. Funcionários da seção de compras poderão emitir encomendas sem necessidade de autorização do supervisor para valores até 500€, promovendo a descentralização das decisões e agilizando o fluxo de trabalho, o que está em consonância com os princípios *Lean* de autonomia e descentralização.

Embora a integração de sistemas seja ainda parcial nesta etapa, com o sistema de requisições digitalizado, representará um avanço significativo em direção a uma gestão mais eficiente e transparente do processo de compras. A digitalização permitirá uma rastreabilidade mais precisa das requisições, facilitando a análise e o acompanhamento em tempo real do estado de cada solicitação, o que está alinhado com os objetivos de melhoria contínua (Kaizen) e transparência do processo.

A principal contrariedade à implementação deste sistema reside na resistência à mudança e nos desafios tecnológicos que alguns colaboradores podem enfrentar ao interagirem com o *software*/aplicação. Uma análise de investimento detalhada será necessária, considerando os custos de desenvolvimento de *software*, formação dos colaboradores e custo anual das licenças de *software*, garantindo assim uma abordagem sustentável e orientada para resultados.

Dessa forma, esta segunda iteração tem como objetivo não apenas melhorar a eficiência do processo de requisições, mas também preparar a empresa para futuras etapas de integração mais ampla de sistemas, contribuindo para uma gestão mais integrada e eficaz das operações de compras.

4.4 3ª Iteração: Implementação de Tecnologias de Rastreabilidade ao processo

Na terceira iteração do processo de otimização das requisições na empresa, propõe-se a implementação de tecnologias de rastreabilidade ao processo, conjugando automação com a integração de sistemas atuais da empresa, com o objetivo de aumentar a eficiência, segurança e transparência do processo.

Partindo do pressuposto de que a integração de tecnologias de rastreabilidade irá aumentar a precisão e eficiência do processo, simplifica-se a implementação ao definir protocolos claros para gerir situações de urgência. Nesta fase, serão aplicadas as ferramentas *Lean*, como a padronização dos protocolos de urgência, e tecnologias da Indústria 4.0, como a automação das notificações de autorização e a integração em tempo real dos sistemas de requisição com os sistemas de gestão de *stock* e compras. No entanto, não se considera, por ora, a integração direta com os sistemas de informação dos fornecedores.

Para aplicar este cenário, cada requisitante fará as requisições através de uma aplicação no telefone, *tablet* ou PDA. Além disso, será implementado um sistema de monitorização em tempo real, permitindo aos utilizadores acompanhar o progresso das suas solicitações, e aos supervisores e gestores uma visão instantânea do processo.

Após a requisição ser efetuada pelo requisitante, o seu supervisor direto receberá uma notificação a alertar sobre as autorizações pendentes, permitindo uma rápida tomada de decisão e redução dos tempos de espera. Após a validação da requisição, o sistema irá gerir automaticamente o *stock* e encaminhará o pedido para a seção de compras ou armazém, dependendo da natureza do pedido.

Com a aplicação ou *tablet* para fazer o pedido de forma digital, a lista de material a requisitar já se encontra em formato digital, tanto no armazém como na seção de compras. Assim, além de economizar tempo e reduzir retrabalho, acelerando o processo e aumentando a sua eficiência, serão assegurados também a segurança e a privacidade dos dados sensíveis da empresa mediante a implementação de medidas robustas de cibersegurança.

No entanto, os desafios de implementação deste sistema incluem custos iniciais elevados de implementação e possíveis desafios de compatibilidade com sistemas existentes, além da resistência à mudança e limitações tecnológicas de alguns colaboradores.

A análise da viabilidade económica deve ser exaustiva e detalhada, tendo em conta o nível elevado de custos que será o desenvolvimento de *software*, aquisição de hardware para os colaboradores, despesas de manutenção e licenças e formação dos colaboradores.

Este modelo, ao incorporar esses pontos adicionais, promoverá uma gestão de compras mais eficiente, transparente e segura na empresa, alinhada com as melhores práticas da indústria e impulsionando a excelência operacional.

5 Simulação e análise de resultados

O presente capítulo dedica-se à análise pormenorizada do processo de compras atual e à exploração das três iterações de melhoria propostas no capítulo 4. Através de uma série de simulações, esta investigação procura compreender melhor o impacto potencial dessas melhorias no processo de compras.

Os dados utilizados para a parametrização das simulações são dados qualitativos, resultantes da experiência do autor.

O capítulo encontra-se dividido em vários subcapítulos, cada um focado numa área específica de estudo. Inicialmente, é apresentada uma simulação que retrata o processo de compras atual, fornecendo uma base sólida para comparação e análise. O número de replicações da simulação foi determinado para um intervalo de confiança de 95%, com 5% de significância e um erro aceitável de 30 minutos no tempo de ciclo das requisições. Posteriormente, são exploradas as três iterações de melhoria sugeridas anteriormente, cada uma delas sendo submetida a uma simulação detalhada para avaliar o seu impacto potencial.

Reconhece-se que toda a simulação tem as suas limitações. Por isso, dedica-se um subcapítulo onde se mencionam as simplificações adotadas para tornar as simulações viáveis e interpretáveis. Embora essas simplificações possam afetar a precisão dos resultados, elas são essenciais para tornar o processo de simulação mais gerível.

Finalmente, os resultados das simulações são comparados num subcapítulo final. Esta comparação permite avaliar a eficácia das iterações de melhoria em relação ao processo de compras atual.

Espera-se que este capítulo ofereça percepções valiosas sobre o processo de compras e ajude a identificar possíveis áreas de melhoria.

5.1 Simplificações adotadas na simulação

Para obter resultados comparáveis, considerando que os dados disponíveis para as simulações são qualitativos (uma vez que os dados reais e tempos reais não puderam ser obtidos), parte-se da experiência do autor para determinar os tempos médios de cada atividade no processo atual. Optou-se por utilizar uma distribuição estatística triangular, devido à sua capacidade de incorporar cenários pessimistas, realistas e otimistas, o que é particularmente útil quando se trabalha com dados qualitativos e estimativas baseadas em experiência. A distribuição triangular é frequentemente utilizada em situações onde os dados são limitados ou incertos, pois permite uma

representação simples e intuitiva das variabilidades esperadas. Alguns tempos serão constantes ao longo de todas as simulações, enquanto outros serão ajustados em função das melhorias adotadas, detalhando cada caso no subcapítulo relevante. Além disso, será utilizado um mecanismo fixo de chegada de requisições, definido pela expressão do *Arena* “expo(6)” em minutos (Figura 5.1). Essa expressão assume que uma requisição chega a cada 6 minutos, seguindo uma distribuição exponencial negativa.



Figura 5.1 – Parametrização de “Entrada de Requisições”

Será simulado um total de 40 horas de trabalho, distribuídas em 8 horas por dia, representando assim uma semana de trabalho. Inicialmente, serão realizadas 10 replicações. Este número será posteriormente ajustado para se adequar a um intervalo de confiança de 95%, com um nível de significância de 5% e um erro tolerável de 30 minutos no tempo total que cada requisição passa no processo. A metodologia para este cálculo será exposta em detalhe no capítulo 5.2.1.

5.2 Simulação do processo atual

Partindo da imagem Figura 3.2 – Processo “Requisito” em notação BPMN, desenvolveu-se o modelo em *Arena* (Figura 5.2):

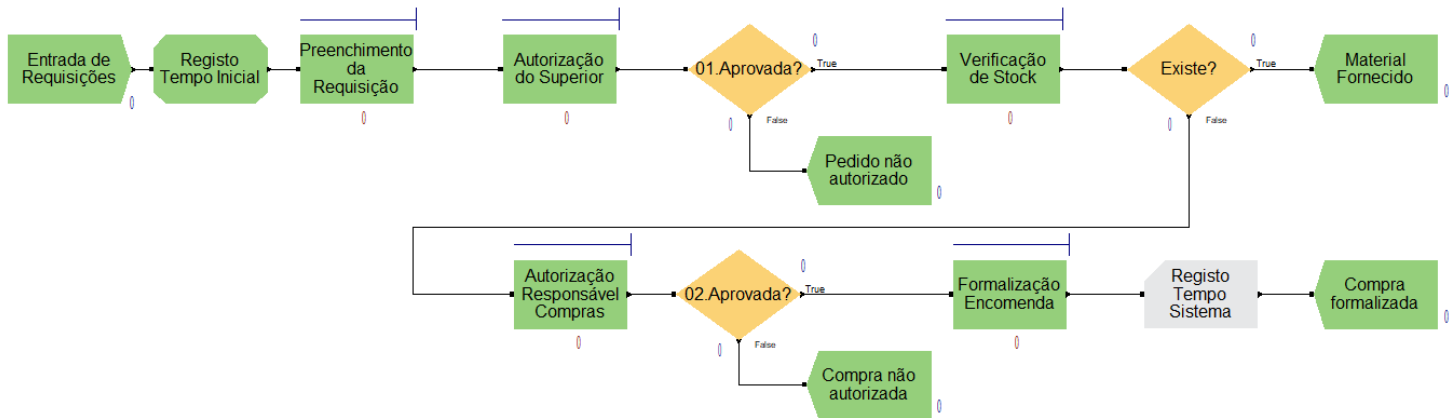


Figura 5.2 – Modelação do Processo Atual em *Arena*

Para uma apreciação mais aprofundada do modelo em questão, remete-se o leitor para o Anexo 1 – Modelação processo atual.

Os tempos considerados para os processos, mais uma vez, partindo da experiência do autor, apresentam-se na tabela abaixo:

Tabela 5.1 – Parametrização dos processos em “*Arena*”

| Processos | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Preenchimento da Requisição | Autorização do Superior | Verificação de Stock | Autorização Responsável Compras | Formalização Encomenda |
| TEMPO (minutos) | tria(0,5;4;10) | tria(0,5;2;5) | tria(0,5;4;10) | tria(4;6;15) | tria(0,5;4;10) |

Considera-se o mesmo tempo para os processos de “Preenchimento de Requisição”, “Verificação de Stock” e “Formalização Encomenda” uma vez que os processos envolvem retrabalho. Com base na **Error! Reference source not found.**, estimou-se o tempo médio necessário para cada etapa. As requisições podem variar desde uma única referência até várias, dependendo da obra a que se destina o material. Portanto, considerou-se um tempo médio de quatro minutos por elaboração, verificação e formalização de requisição, com uma variação entre trinta segundos e dez minutos.

O processo de “Autorização do Superior” é menos demorado, uma vez que envolve principalmente a validação do pedido. Definiu-se um tempo médio de dois minutos por requisição, com uma variação mínima de trinta segundos e máxima de cinco minutos.

Esse máximo aplica-se quando surgem dúvidas sobre o material solicitado e sua adequação à obra de destino.

O processo de “Autorização Responsável Compras” é o mais demorado, conforme discutido no capítulo 4.1. O tempo médio necessário definido é de seis minutos por requisição, com oscilação entre quatro e quinze minutos.

Relativamente aos pontos de decisão, estão parametrizados por probabilidade estatística, uma vez mais, recorrendo à experiência do autor, conforme a tabela que se segue:

Tabela 5.2 – Parametrização dos Pontos de Decisão em “Arena”

| Pontos de Decisão | | | | | |
|-------------------|-------|---------|-------|--------------|-------|
| 01.Aprovada? | | Existe? | | 02.Aprovada? | |
| true | false | true | false | true | false |
| 98 | 2 | 10 | 90 | 95 | 5 |

Para determinar o tempo médio que uma requisição leva desde a sua criação pelo requisitante (no *Create*: “Entrada de Requisições”) até à formalização da encomenda (no *Dispose*: “Compra Formalizada”), recorreu-se aos módulos *Assign* para registar o momento em que a requisição entra no sistema (Figura 5.3) e *Record* para registar o tempo que a requisição permanece dentro do processo (Figura 5.4).



Figura 5.3 - Inserção do módulo *Assign* para determinar tempos de entrada das requisições no sistema



Figura 5.4 – Inserção do módulo *Record* para registar o tempo que a requisição esteve no sistema

Tendo a chegada de requisições, os processos e os pontos de decisão parametrizados, o modelo atual de requisito de material da empresa em estudo encontra-se modelado e pronto a correr.

5.2.1 Cálculo do número de replicações a usar nas simulações

Nesta seção, é apresentado o cálculo do número de replicações necessárias para as simulações. O objetivo é alcançar resultados dentro de um intervalo de confiança de

95%. Será adotado um nível de significância de 5% e considerado um erro de 30 minutos na duração que cada requisição permanece no sistema.

De modo a determinar o erro padrão inicial recorreu-se à fórmula 5.1 para avaliar o erro padrão:

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad 5.1$$

Em que:

- h corresponde ao erro determinado nas n replicações;
- $t_{n-1, \alpha/2}$ corresponde ao valor da tabela *t-Student* entre o grau de liberdade $n - 1$ e o $\alpha/2$;
- S corresponde ao desvio-padrão do tempo médio das requisições em sistema para 10 replicações;
- n corresponde ao número de replicações.

Para determinar o erro padrão, realizaram-se 10 replicações da simulação, de onde saíram os tempos médios das requisições no sistema, conforme mostra a tabela seguinte. Foram escolhidas 10 replicações na simulação para encontrar o erro padrão, garantindo um equilíbrio entre precisão e eficiência. Embora um número maior de replicações possa aumentar a precisão dos resultados, também exige mais tempo e recursos computacionais. Com base em estudos e práticas comuns na área de simulação, 10 replicações são frequentemente suficientes para obter uma estimativa fiável do erro padrão, permitindo uma análise robusta sem comprometer a viabilidade do processo. Além disso, este número de replicações é adequado para capturar a variabilidade inerente ao sistema simulado, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões.

Tabela 5.3 – Tempo médio das Requisições no Sistema para 10 replicações

| Replicação (n) | Tempo Médio das Requisições no Sistema (em horas) |
|----------------|---|
| 1 | 3,4671 |
| 2 | 4,9197 |
| 3 | 4,938 |
| 4 | 6,0275 |
| 5 | 3,6369 |
| 6 | 4,1308 |
| 7 | 2,8691 |
| 8 | 2,2949 |
| 9 | 3,0829 |
| 10 | 5,0393 |

Extraindo-se assim o desvio-padrão (S), com recurso a uma folha de cálculo:

$$S = 1,11173$$

Onde, para $n = 10$ replicações e um $\alpha = 5\%$, vem da tabela de distribuição estatística t-Student:

$$t_{9;2,5\%} = 2,2622$$

Tabela 5.4 – Excerto da tabela t-Student

| v | α | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 45% | 40% | 35% | 30% | 25% | 20% | 15% | 10% | 5% | 2,5% | 2% | 1% | 0,5% |
| 1 | 0,1584 | 0,3249 | 0,5095 | 0,7265 | 1,0000 | 1,3764 | 1,9626 | 3,0777 | 6,3138 | 12,706 | 15,895 | 31,821 | 63,657 |
| 2 | 0,1421 | 0,2887 | 0,4447 | 0,6172 | 0,8165 | 1,0607 | 1,3862 | 1,8856 | 2,9200 | 4,3027 | 4,8487 | 6,9646 | 9,9248 |
| 3 | 0,1366 | 0,2767 | 0,4242 | 0,5844 | 0,7649 | 0,9785 | 1,2498 | 1,6377 | 2,3534 | 3,1824 | 3,4819 | 4,5407 | 5,8409 |
| 4 | 0,1338 | 0,2707 | 0,4142 | 0,5686 | 0,7407 | 0,9410 | 1,1896 | 1,5332 | 2,1318 | 2,7764 | 2,9985 | 3,7469 | 4,6041 |
| 5 | 0,1322 | 0,2672 | 0,4082 | 0,5594 | 0,7267 | 0,9195 | 1,1558 | 1,4759 | 2,0150 | 2,5706 | 2,7565 | 3,3649 | 4,0321 |
| 6 | 0,1311 | 0,2648 | 0,4043 | 0,5534 | 0,7176 | 0,9057 | 1,1342 | 1,4398 | 1,9432 | 2,4469 | 2,6122 | 3,1427 | 3,7074 |
| 7 | 0,1303 | 0,2632 | 0,4015 | 0,5491 | 0,7111 | 0,8960 | 1,1192 | 1,4149 | 1,8946 | 2,3646 | 2,5168 | 2,9980 | 3,4995 |
| 8 | 0,1297 | 0,2619 | 0,3995 | 0,5459 | 0,7064 | 0,8889 | 1,1081 | 1,3968 | 1,8595 | 2,3060 | 2,4490 | 2,8965 | 3,3554 |
| 9 | 0,1293 | 0,2610 | 0,3979 | 0,5435 | 0,7027 | 0,8834 | 1,0997 | 1,3830 | 1,8331 | 2,2622 | 2,3984 | 2,8214 | 3,2498 |
| 10 | 0,1289 | 0,2602 | 0,3966 | 0,5415 | 0,6998 | 0,8791 | 1,0931 | 1,3722 | 1,8125 | 2,2281 | 2,3593 | 2,7638 | 3,1693 |

Aplicando a fórmula 5.1, temos então um erro padrão de:

$$h = 2,2622 \times \frac{1,11173}{\sqrt{10}} = 0,79533$$

O erro definido para o tempo que as requisições permanecem no sistema foi de 30 minutos, o que corresponde a 0,5 horas. No entanto, o erro padrão obtido é de 0,79533, o que excede o valor desejado. Portanto, é necessário calcular o número mínimo de replicações que reduzirá o erro para o valor pretendido.

Para isso, recorre-se à fórmula 5.2:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad 5.2$$

Em que:

- n^* corresponde ao número de replicações a realizar para obter um erro correspondente a 30 minutos;
- n corresponde ao número de replicações;
- h^* corresponde ao erro pretendido, 0,5;
- h corresponde ao erro determinado nas n replicações.

Resultando:

$$n^* = \left[10 \left(\frac{0,79533}{0,5} \right)^2 \right] = 25,302 \rightarrow 26 \text{ replicações}$$

Isto implica que, para obter um intervalo de confiança de 95%, com um nível de significância de 5% e um erro admissível de 30 minutos no tempo máximo que as requisições permanecem dentro do processo, serão realizadas 26 replicações dos modelos.

5.2.2 Resultados da simulação do processo atual

Para a análise dos resultados, foram utilizados vários indicadores. Primeiro, a eficiência do processo foi avaliada dividindo o total de requisições que concluíram o processo pelo total de entradas. Além disso, foi calculado o tempo médio que as requisições levam até à fase de encomenda. Importa salientar que as requisições não autorizadas ou aquelas cuja existência de material em *stock* resulta em entregas imediatas não são contempladas neste tempo médio. Por fim, foram considerados os tempos de utilização, em percentagem, nos processos de “Autorização Responsável Compras” e “Formalização Encomenda”.

Tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Tabela 5.5 – Resultados da simulação do processo atual

| Indicador | Média |
|---|--------------|
| Chegada de requisições | 400 |
| Total de requisições que saíram do processo | 329 |
| Nº Req. que geraram encomendas | 272 |
| Tempo utilizado pelo Setor Compras (em %) | 55 |
| Nº Req. autorizadas pelo superior do requisitante | 396 |
| Tempo utilizado pelo superior do requisitante (em %) | 41 |
| Nº Req. que chegaram ao armazém | 387 |
| Tempo utilizado pelo fiel de armazém em verificações de <i>stock</i> (em %) | 78 |
| Nº Req. que chegaram ao responsável de compras para autorizar | 286 |
| Tempo utilizado pelo responsável de compras em autorizações (em %) | 99 |

Dividindo o “Total de requisições que saíram do processo” pela “Chegada de Requisições”, obtemos a eficiência global do processo atual:

$$Eficiência = \frac{329}{400} \times 100 = 82.25 \%$$

Para o tempo médio e desvio-padrão que as requisições demoram entre a “Chegada de Requisições até à “Compra Formalizada”, foram retirados os tempos médios de cada uma das 26 replicações efetuadas, e calculada a média, tendo sido obtido o resultado seguinte:

Tabela 5.6 – Obtenção da média e desvio-padrão do tempo médio das requisições no sistema para o processo atual

| Nº Replicação | Tempo médio no sistema (em horas) |
|----------------------|--|
| 1 | 3,4671 |
| 2 | 4,9197 |
| 3 | 4,938 |
| 4 | 6,0275 |
| 5 | 3,6369 |
| 6 | 4,1308 |
| 7 | 2,8691 |
| 8 | 2,2949 |
| 9 | 3,0829 |
| 10 | 5,0393 |
| 11 | 3,9042 |
| 12 | 3,6106 |
| 13 | 3,778 |
| 14 | 5,1697 |
| 15 | 3,42 |
| 16 | 4,9262 |
| 17 | 3,924 |
| 18 | 5,5066 |
| 19 | 3,6197 |
| 20 | 4,5732 |
| 21 | 4,4025 |
| 22 | 4,3138 |
| 23 | 2,4869 |
| 24 | 4,2821 |
| 25 | 3,3653 |
| 26 | 4,3506 |
| Média | 4,08 |
| Desvio-Padrão | 0,90 |

Esse valor médio define mais um indicador, chamado de “Tempo Total no Sistema”.

Os resultados obtidos nesta modelação indicam que o modelo proporciona uma simulação realista, apesar da sua construção inicial depender de dados derivados da experiência do autor. A fidelidade com que o modelo espelha o processo sugere que a sua estrutura é robusta e capaz de capturar as complexidades inerentes com uma

precisão notável. De futuro, obtendo-se dados reais no modelo, antecipa-se que a fase de calibração e validação subsequente não exigirá uma reformulação extensiva, mas sim ajustes finos e direcionados na parametrização.

Com base nos resultados da Tabela 5.5, e no diagrama da Figura 3.2, pode-se mapear o fluxo de valor do processo de compras da empresa, utilizando o tempo utilizado por cada interveniente no processo como métrica para identificar gargalos (Figura 5.5):

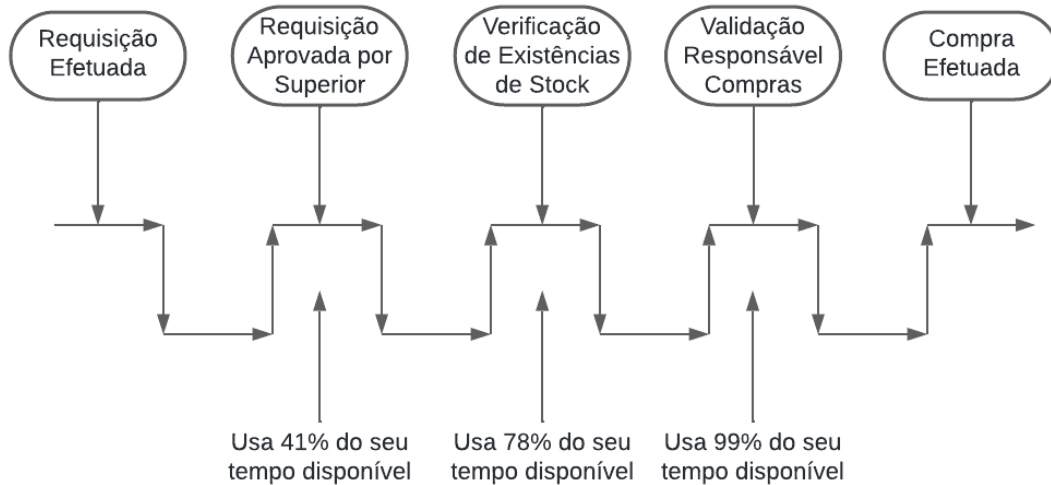


Figura 5.5 – VSM do processo atual de compras da empresa

Tal como previsto no subcapítulo 4.1, verifica-se o maior gargalo no passo de validação do responsável do setor de compras, sendo necessária a sua presença em exclusividade a validar requisições para acelerar o processo, o que seria inviável.

De seguida, passar-se-á para a modelação e simulação das iterações de melhoria propostas e para a consequente comparação de resultados, onde se espera melhorar os resultados da Tabela 5.5.

5.3 Simulação das Iterações de melhoria

Nos próximos subcapítulos, apresentam-se como foram as Iterações mencionadas nos subcapítulos do Capítulo 4 parametrizadas no *software Arena*, assim como as simplificações adotadas em cada uma dessas Iterações.

5.3.1 Simulação da 1ª Iteração

De acordo com a Iteração de melhoria proposta em 4.2, desenvolveu-se o modelo apresentado na Figura 5.6:

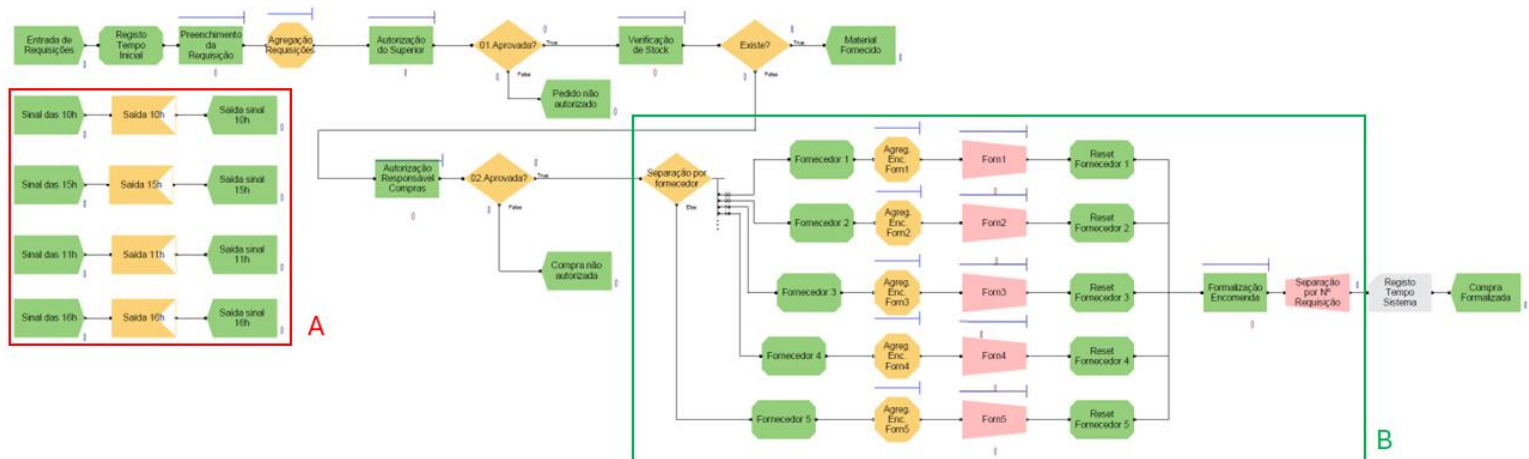


Figura 5.6 – Modelação da primeira iteração em “Arena”

Para uma apreciação mais aprofundada do modelo em questão, remete-se o leitor para o Anexo 2 – Modelação da 1ª Iteração de melhoria.

As zonas delimitadas a vermelho, zona A, e a verde, zona B, serão explicadas ao detalhe nas figuras 5.7 e 5.8.

Os tempos para os processos são os mesmos da Tabela 5.1, tendo sido implementadas as propostas de melhoria com os horários para aprovações, permitindo a agregação de requisições por fornecedor, reduzindo o número de encomendas realizadas pelo setor de compras.

Relativamente aos pontos de decisão, as percentagens definidas na Tabela 5.2 foram mantidas, tendo sido acrescentado mais um ponto de decisão, denominado por “Separação por fornecedor”. Este novo ponto opera igualmente com base em probabilidade estatística e foi concebido considerando os fornecedores de peças mais recorrentemente solicitados pela empresa no decorrer das suas operações diárias.

As probabilidades estatísticas definidas encontram-se na tabela seguinte:

Tabela 5.7 – Parametrização do Ponto de Decisão de Fornecedor em “Arena”

| Ponto de Decisão | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Separação por Fornecedor | | | | |
| Forn1 | Forn2 | Forn3 | Forn4 | Forn5 |
| 33 | 33 | 10 | 10 | 6 |

Para simular a acumulação de requisições para aprovação pelo superior e o número de encomendas separadas por fornecedor conforme os horários estabelecidos na subcapítulo 4.2, foram utilizados os módulos *hold*, *signal*, *batch* e *separate* do *software Arena*. Estes módulos foram parametrizados da seguinte forma:

Tabela 5.8 – Parametrização do Hold em Arena

| Hold | |
|-----------------------|----------------------------|
| Nome do Hold | Sinal que o comanda |
| Agregação Requisições | 1 |
| Agreg. Enc. Forn1 | 2 |
| Agreg. Enc. Forn2 | 2 |
| Agreg. Enc. Forn3 | 2 |
| Agreg. Enc. Forn4 | 2 |
| Agreg. Enc. Forn5 | 2 |

Tabela 5.9 – Parametrização do Signal em Arena

| Signal | |
|-----------------------|----------------------|
| Nome do Signal | Sinal emitido |
| Saída 10h | 1 |
| Saída 15h | 1 |
| Saída 11h | 2 |
| Saída 16h | 2 |

O modelo encontra-se parametrizado para disparar um sinal “1” às horas correspondentes às 10h e às 15h, fazendo avançar todas as entidades retidas no *Hold* “Agregação Requisições” e para disparar um sinal “2” às 11h e às 16h, fazendo avançar

todas as entidades retidas nos restantes *Hold* da Tabela 5.8 – Parametrização do *Hold* em *Arena*.

Estes sinais são criados com recurso aos *Create* (Figura 5.7):

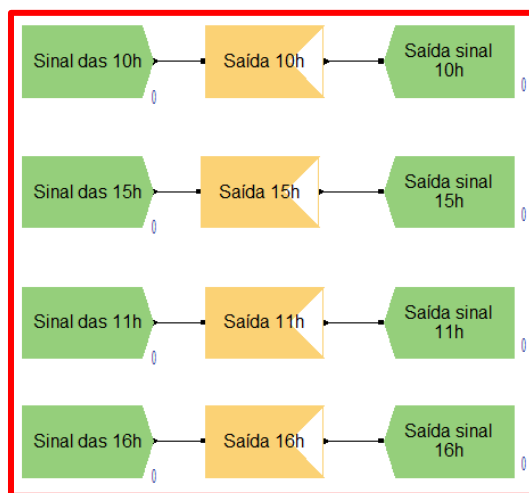


Figura 5.7 – Zona A: Excerto da modelação da primeira iteração em *Arena*

Sendo que cada *Create* está parametrizado para criar uma entidade à hora correspondente, e uma vez por dia. A parametrização dos *Create* está definida de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 5.10 – Parametrização dos *Create* comandantes dos *Signal* da primeira iteração em *Arena*

| Create | | | | |
|-----------------------|------------------------|---|--------------------------|---------------------------|
| Nome do Create | Entidade criada | Periodicidade de Criação de Entidade | Quantidade Criada | Hora da 1ª Criação |
| Sinal das 10h | Sinal10 | 8 | 1 | 2 |
| Sinal das 15h | Sinal15 | 8 | 1 | 6 |
| Sinal das 11h | Sinal11 | 8 | 1 | 3 |
| Sinal das 16h | Sinal16 | 8 | 1 | 7 |

Com base no horário de funcionamento da empresa, que labora das 8h às 17h, sendo as 8h correspondentes à hora zero no *software Arena*, a segunda hora da primeira criação corresponderá às 10h da manhã.

Ao considerar um turno de oito horas de trabalho, estabelecendo uma periodicidade de oito horas para a criação de cada entidade, assegura-se que, às 10h da manhã de cada dia simulado, será gerada uma entidade que seguirá para o *Signal* "Saída 10h", permitindo o avanço das entidades que se encontram retidas no *Hold* "Agregação

Requisições". O mesmo padrão é aplicado para comandar os restantes Sinais do modelo.

Importa agora explicar o modo simulado de separação por fornecedores e como são acumuladas as entidades no sistema, gerando menos encomendas para processar, a Figura 5.8 amplia o excerto do modelo onde se modela essa:

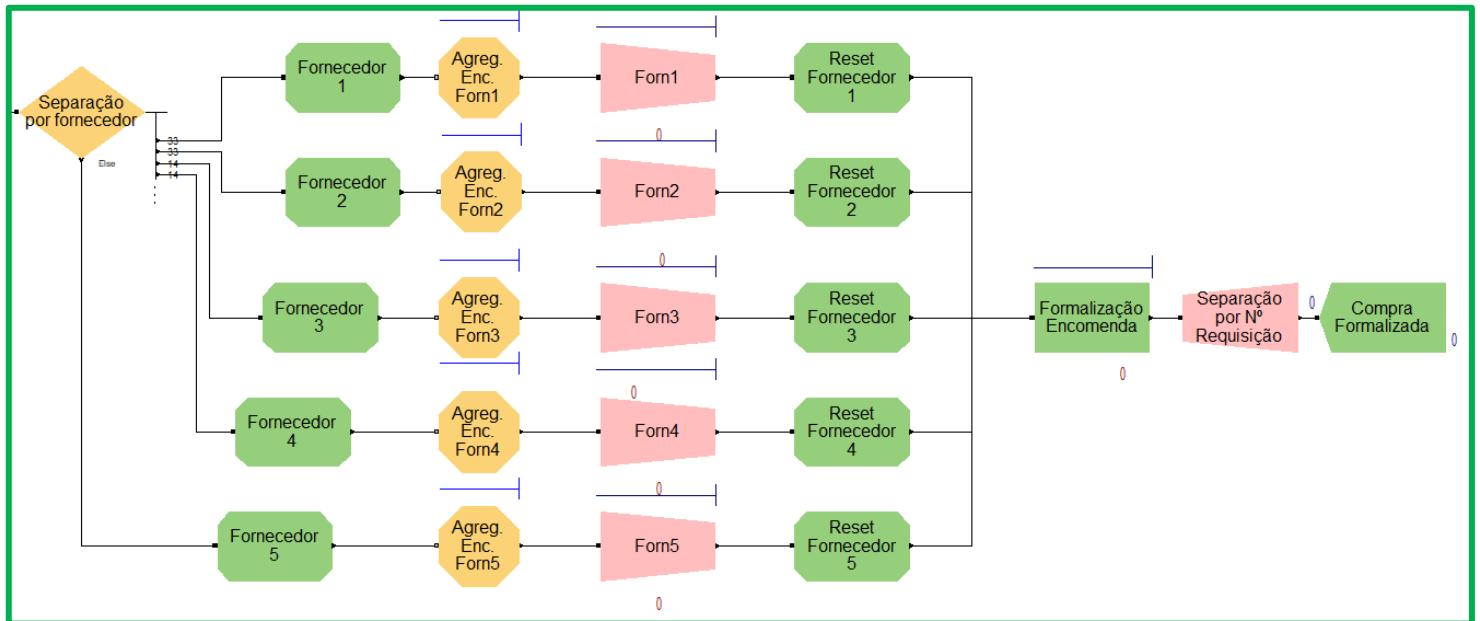


Figura 5.8 – Zona B: Excerto da modelação da primeira hipótese em Arena

Na modelagem proposta, as entidades são inicialmente separadas por fornecedor. O próximo passo é agrupá-las nos respetivos *Holds*, de forma que múltiplas requisições possam resultar apenas numa encomenda para o fornecedor correspondente.

Para concretizar este objetivo, as entidades são acumuladas no módulo *Batch*, criando um lote. A dimensão deste lote varia de acordo com o número de requisições que são direcionadas a cada fornecedor.

A dimensão do lote é atribuída a um valor F_x , onde x varia entre 1 e 5, dependendo do fornecedor correspondente, conforme a tabela que se segue:

Tabela 5.11 – Parametrização dos módulos Batch no Arena

| Batch | |
|--------------|-------------------------|
| Nome | Dimensão do lote |
| Forn1 | F1 |
| Forn2 | F2 |
| Forn3 | F3 |
| Forn4 | F4 |
| Forn5 | F5 |

Este valor F_x é gerado pelo módulo *Assign*, utilizando a expressão $F_x = F_x + 1$. Após as entidades passarem pelo módulo *Batch*, e o lote ser definido pelo *Assign* “Fornecedor x ”, este valor F_x é reiniciado para zero no *Assign* “Reset Fornecedor x ”. Sendo os módulos *Assign* parametrizados com os valores da tabela seguinte:

Tabela 5.12 – Parametrização dos módulos Assign no Arena

| Assign | | | | | |
|---------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|
| Nome | Variável | Valor da Variável | Nome | Variável | Valor da Variável |
| Fornecedor 1 | F1 | F1 + 1 | Reset Fornecedor 1 | F1 | 0 |
| Fornecedor 2 | F2 | F2 + 1 | Reset Fornecedor 2 | F2 | 0 |
| Fornecedor 3 | F3 | F3 + 1 | Reset Fornecedor 3 | F3 | 0 |
| Fornecedor 4 | F4 | F4 + 1 | Reset Fornecedor 4 | F4 | 0 |
| Fornecedor 5 | F5 | F5 + 1 | Reset Fornecedor 5 | F5 | 0 |

Desta forma, o número de entidades que passam pelo processo “Formalização Encomenda” é reduzido, otimizando o processo. Para o correto descarte das entidades,

o módulo *Separate* é utilizado para contabilizar o total de entidades, garantindo a precisão entre as entradas e saídas do programa.

Com a implementação desses módulos e processos, conclui-se a modelagem da Iteração proposta. Esta modelagem proporciona uma base sólida para futuras análises e melhorias.

5.3.2 Simulação da 2ª Iteração

De acordo com a Iteração de melhoria proposta no subcapítulo 4.3, desenvolveu-se o modelo apresentado na Figura 5.9:

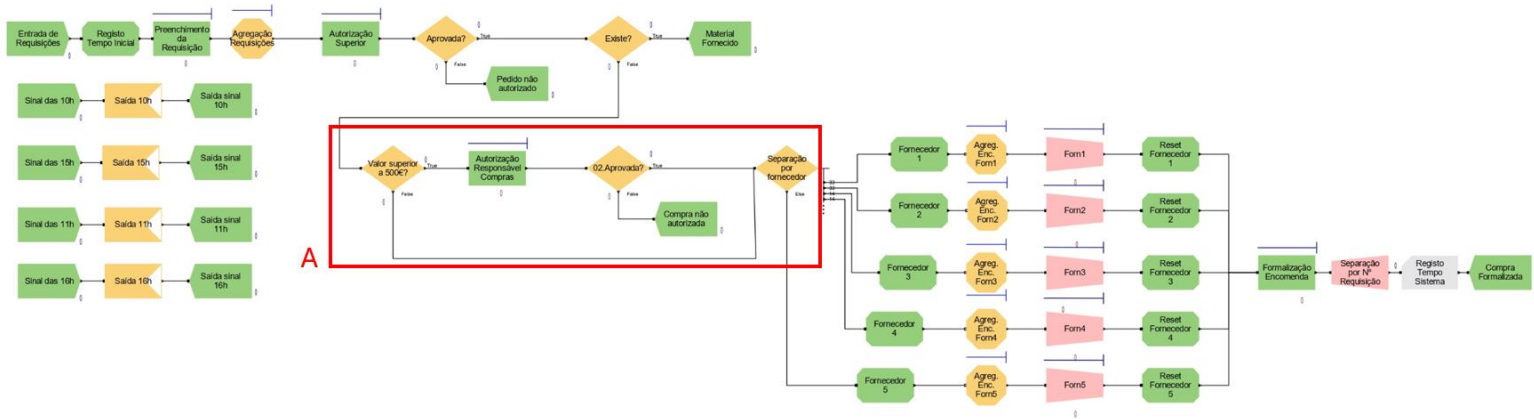


Figura 5.9 – Modelação da segunda iteração em “Arena”

Para uma apreciação mais aprofundada do modelo em questão, remete-se o leitor para o Anexo 3 – Modelação da 2ª Iteração de melhoria.

Neste cenário, a digitalização do processo resultou na redução do tempo de execução de todas as etapas, com exceção do “Preenchimento da Requisição” e da “Autorização do Superior”. A única alteração nestas etapas é a forma de inserção dos dados, que agora é realizada através de uma plataforma digital disponível em vários pontos da oficina. O processo de “Verificação de *Stock*” foi eliminado, pois a plataforma fornece imediatamente informações sobre o *stock* disponível e encaminha a requisição diretamente para o setor de compras. Desta forma, o tempo de entrega do material pelo responsável do armazém torna-se irrelevante para o processo de compras, uma vez que a informação é imediatamente disponibilizada a todos os intervenientes.

Os tempos de processos assumidos, são os que constam na tabela seguinte:

Tabela 5.13 – Parametrização dos processos em “Arena”

| Processos | | | | |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|
| | Preenchimento da Requisição | Autorização do Superior | Autorização Responsável Compras | Formalização Encomenda |
| TEMPO (minutos) | tria(0,5;4;10) | tria(0,5;2;5) | tria(2;5;10) | tria(0,5;2,5;5) |

Em comparação com a primeira iteração proposta, observa-se uma redução no tempo despendido nos processos de “Autorização Responsável Compras” e “Formalização Encomenda”. Esta redução é atribuída ao fato de a requisição ser realizada numa plataforma digital, eliminando a necessidade de intervenção manual no processo de “Formalização Encomenda”. No modelo atual, os intervenientes necessitam de reinserir todas as referências no *software* utilizado pela empresa. Vale ressaltar que, com a eliminação do processo de “Verificação de Stock”, os tempos mencionados são baseados na experiência do autor e podem ser ajustados a qualquer momento para chegar a diferentes conclusões.

Relativamente aos pontos de decisão, as percentagens definidas são as mesmas da primeira iteração, tendo sido acrescentado mais um ponto de decisão, denominado por “Valor Superior a €?”. Este novo ponto opera igualmente com base em probabilidade estatística e foi concebido considerando a experiência do autor em relação ao volume e ao valor de compras diárias da empresa. A probabilidade estatística definida encontra-se na tabela seguinte:

Tabela 5.14 – Parametrização do Ponto de Decisão em “Arena”

| Ponto de Decisão | |
|-------------------------------|--------------|
| Valor Superior a 500€? | |
| true | false |
| 25 | 75 |

Esta modificação simples no modelo, zona A da figura 5.9, figura 5.10, tendo em conta o valor da maioria das requisições da empresa, irá acelerar significativamente o processo. Isso aumentará a eficiência e libertará o responsável pelo sector de compras, que também faz parte da administração da empresa, para se dedicar a outras tarefas.

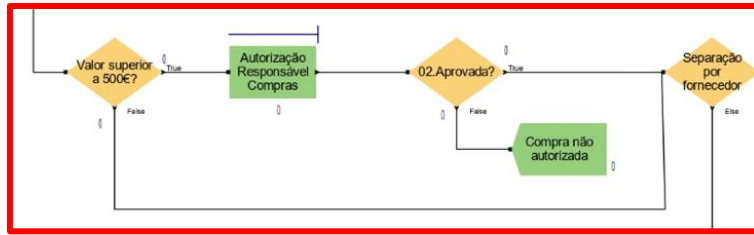


Figura 5.10 – Zona A: Excerto da modelação da segunda Iteração em Arena

Para o restante do modelo, a parametrização segue o mesmo formato estabelecido na primeira Iteração. Com esta Iteração, procura-se alcançar, através da digitalização do processo, um aumento significativo da eficiência e libertar o responsável pelo sector de compras para outras tarefas, otimizando assim a gestão de recursos da empresa.

5.3.3 Simulação da 3ª Iteração

De acordo com a Iteração de melhoria proposta no subcapítulo 4.4, desenvolveu-se o modelo apresentado na Figura 5.11:

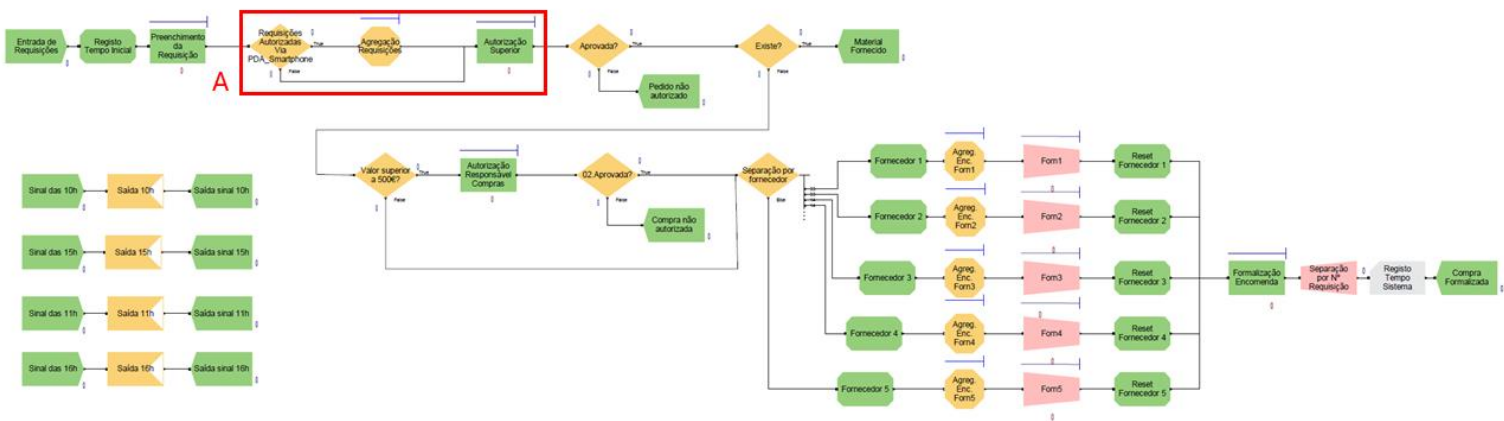


Figura 5.11 – Modelação da terceira iteração em “Arena”

Para uma apreciação mais aprofundada do modelo em questão, remete-se o leitor para o Anexo 4 – Modelação da 3ª Iteração de melhoria.

Neste contexto, o objetivo é a implementação de tecnologias de rastreabilidade. O modelo proposto é idêntico ao da segunda Iteração, com a única diferença a ser uma redução no tempo do “Preenchimento da Requisição”. Isto ocorre porque cada requisitante faz o pedido através de um PDA ou smartphone, eliminando a necessidade de deslocação na oficina até aos pontos onde anteriormente eram realizados os pedidos de material na plataforma.

Os novos tempos dos processos, que serão apresentados na tabela subsequente, refletem esta mudança.

Tabela 5.15 – Parametrização dos processos em “Arena”

| Processos | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Preenchimento da Requisição | Autorização do Superior | Autorização Responsável Compras | Formalização Encomenda |
| TEMPO (minutos) | tria(0,5;3;10) | tria(0,5;2;5) | tria(2;5;10) | tria(0,5;2,5;5) |

Considerando que as autorizações serão concedidas através de PDA ou smartphone, foi adicionado um ponto de decisão denominado “Requisições Autorizadas Via PDA_Smartphone”, zona A da Figura 5.11, Figura 5.12.

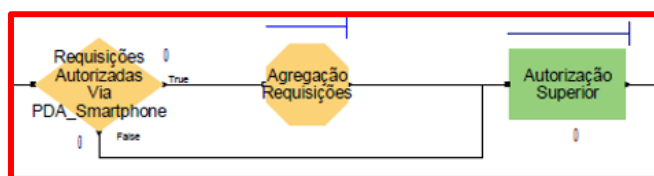


Figura 5.12 – Zona A: Excerto da modelação da terceira iteração em Arena

Neste ponto, presume-se que um terço das requisições são autorizadas imediatamente após serem realizadas, sendo parametrizado conforme a tabela seguinte:

Tabela 5.16 – Parametrização do Ponto de Decisão em “Arena”

| Ponto de Decisão | |
|--|-------|
| Requisições Autorizadas Via PDA_Smartphone | |
| true | false |
| 67 | 33 |

Esta suposição simula a situação em que o responsável pelo requisitante vai autorizando algumas requisições de acordo com a sua disponibilidade de tempo.

O restante modelo segue a modelação e parametrização estabelecidas na segunda iteração de melhoria. Esta abordagem garante a consistência e a eficácia das melhorias propostas.

5.4 Comparação de Resultados

Nesta secção, são apresentados os resultados obtidos a partir das iterações de melhorias propostas no capítulo 4. Estes resultados são comparados com os do modelo atualmente implementado na empresa.

A análise incide sobre as principais diferenças observadas, com comentários detalhados sobre os resultados.

Esta análise inclui uma discussão sobre as melhorias observadas nos indicadores, bem como as áreas onde se verificou um desempenho inferior ao do modelo atual.

A tabela que se segue demonstra como se obteve o indicador “Tempo Total no Sistema” para cada uma das iterações de melhoria:

Tabela 5.17 – Tempo Total no Sistema (em horas), para as iterações de melhoria

| Replicações | Tempo Total no Sistema (horas) | | |
|----------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|
| | Primeira Iteração | Segunda Iteração | Terceira Iteração |
| 1 | 8,4818 | 4,6722 | 3,6005 |
| 2 | 9,6214 | 5,2109 | 3,9475 |
| 3 | 10,407 | 5,009 | 3,9412 |
| 4 | 9,2907 | 4,9986 | 4,3371 |
| 5 | 12,097 | 5,273 | 3,8109 |
| 6 | 11,526 | 4,9539 | 4,0373 |
| 7 | 9,5526 | 4,6127 | 3,5144 |
| 8 | 9,591 | 4,6766 | 3,6002 |
| 9 | 11,044 | 5,0464 | 3,745 |
| 10 | 10,158 | 4,9286 | 3,7171 |
| 11 | 9,8602 | 5,1964 | 3,7755 |
| 12 | 10,01 | 5,0722 | 3,4433 |
| 13 | 10,191 | 4,9159 | 3,6589 |
| 14 | 7,9324 | 5,1626 | 3,9603 |
| 15 | 12,172 | 5,069 | 4,0977 |
| 16 | 9,2614 | 4,719 | 3,68 |
| 17 | 8,6785 | 4,8811 | 4,0893 |
| 18 | 9,3141 | 4,9354 | 3,5086 |
| 19 | 9,3632 | 5,0796 | 3,8991 |
| 20 | 9,4853 | 5,3536 | 3,7951 |
| 21 | 11,017 | 5,1013 | 3,8172 |
| 22 | 8,9364 | 4,8528 | 3,2475 |
| 23 | 9,4757 | 4,9102 | 3,626 |
| 24 | 10,255 | 5,0354 | 3,2642 |
| 25 | 9,9061 | 4,918 | 4,0926 |
| 26 | 10,864 | 5,0081 | 3,9993 |
| Média | 9,94 | 4,98 | 3,78 |
| Desvio-Padrão | 1,02 | 0,18 | 0,26 |

Analogamente ao subcapítulo 5.2.2, apresenta-se uma tabela com os resultados obtidos para todas as simulações, modelo atual e iterações de melhoria:

Tabela 5.18 – Comparação de resultados

| Indicadores (valores médios das replicações) | Modelos | | | |
|--|--------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Modelo Atual | Primeira Iteração | Segunda Iteração | Terceira Iteração |
| Chegada de requisições | 400 | 454 | 438 | 441 |
| Total de requisições que saíram do processo | 329 | 341 | 409 | 426 |
| Encomendas geradas | 272 | 45 | 48 | 48 |
| Tempo utilizado pelo Setor Compras (em %) | 55 | 9 | 10 | 10 |
| Nº Req. autorizadas pelo superior do requisitante | 396 | 385 | 374 | 384 |
| Tempo utilizado pelo superior do requisitante (em %) | 41 | 40 | 39 | 40 |
| Nº Req. que chegaram ao armazém | 387 | 363 | - | - |
| Tempo utilizado pelo fiel de armazém em verificações de <i>stock</i> (em %) | 78 | 73 | - | - |
| Nº Req. que chegaram ao responsável de compras para autorizar | 286 | 259 | 82 | 83 |
| Tempo utilizado pelo responsável de compras em autorizações (em %) | 99 | 90 | 19 | 20 |
| Tempo Total no Sistema (em horas) | 4,08 | 9,94 | 4,98 | 3,78 |
| Eficiência do processo (em %) [Total de requisições que saíram do processo / Chegada de Requisições x 100] | 82,25 | 75,11 | 93,38 | 96,60 |

No que diz respeito aos indicadores, tanto na segunda como na terceira iteração, a intervenção do armazém é desconsiderada. Isto deve-se ao facto de as referências e quantidades de material a requisitar chegarem simultaneamente ao armazém e ao setor de compras, já filtrados consoante a sua existência em *stock*. Esta simultaneidade é possível devido à digitalização do processo, o que permite uma comunicação eficiente e em tempo real entre os diferentes setores. Desta forma, estes fatores não irão influenciar o processo de compras.

Os gráficos subsequentes proporcionam uma análise visual de alguns dos indicadores tabelados. Estes gráficos ilustram a potencial evolução do processo na empresa, caso as iterações propostas sejam progressivamente implementadas.

A análise subsequente irá focar-se na interpretação destes gráficos, destacando os principais pontos de interesse e discutindo o seu significado no contexto das melhorias propostas. Esta análise permitirá avaliar o potencial impacto das iterações de melhoria na performance da empresa.

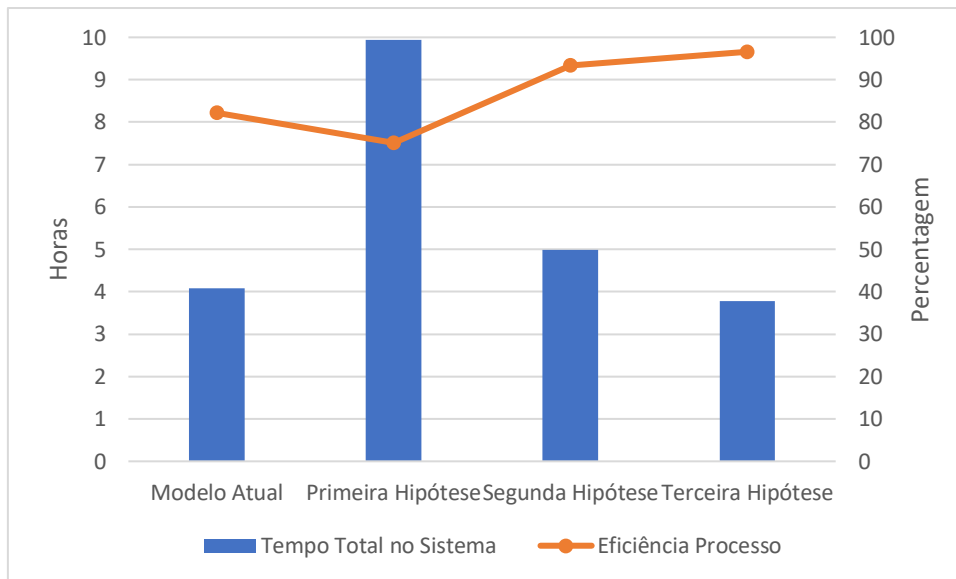


Figura 5.13 – Tempo Total no Sistema vs Eficiência Processo

A análise da Figura 5.13 indica que a Terceira Iteração é a mais eficiente, com o menor tempo total no sistema (3,78 horas) e a maior eficiência do processo (96,60%). Embora a Primeira Iteração aumente o tempo médio das requisições e reduza a eficiência, a digitalização do processo e o filtro de requisições que necessitam de autorização melhoram significativamente a eficiência, mantendo o tempo médio das requisições em cerca de 4 horas. A análise sugere que, apesar dos desafios iniciais, a adaptação contínua pode levar a melhorias significativas na eficiência e no tempo total no sistema.

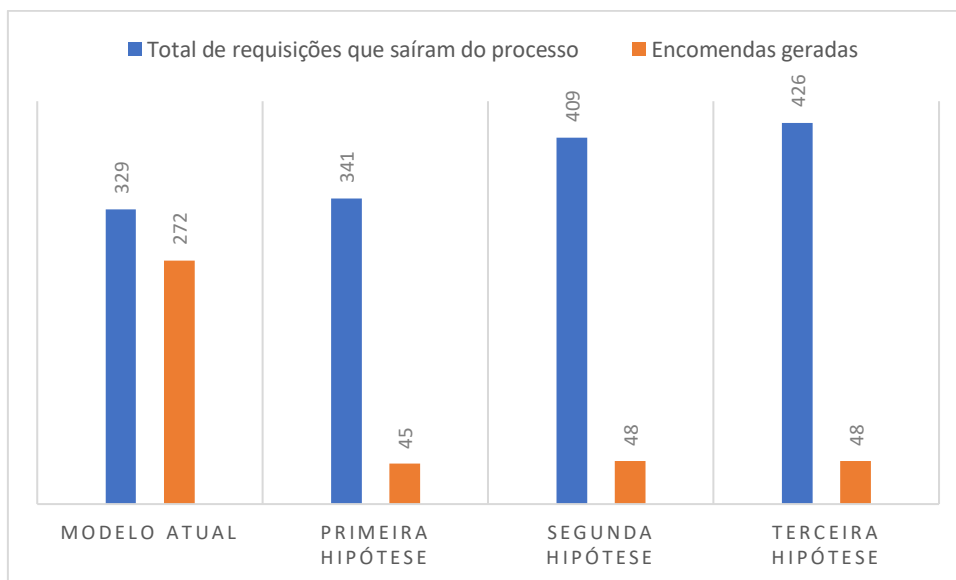


Figura 5.14 – Total de requisições que saíram do processo vs Encomendas Geradas

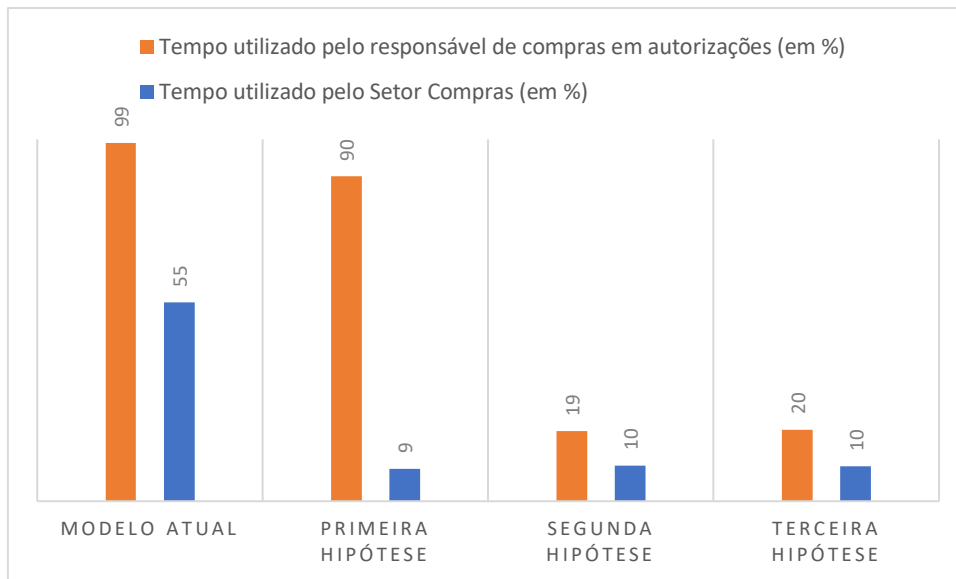


Figura 5.15 – Percentagem do tempo diário do setor e do Responsável Compras gasto em autorizações e formalização encomendas

A análise das Figuras 5.14 e 5.15 mostra que agrupar as requisições por fornecedor reduz significativamente o número de encomendas, de uma média semanal de 272 para cerca de 50, diminuindo o tempo diário dedicado à formalização de encomendas de 55% para 10%. Filtrar as encomendas por valor também reduz o tempo que o responsável das compras dedica às autorizações, de quase 100% para cerca de 10%, permitindo-lhe focar-se em outras tarefas. A Figura 5.16 reforça que a redução no volume de requisições melhora a eficiência do processo de compras e a eficácia geral da administração, ao liberar recursos para outras áreas necessitadas.

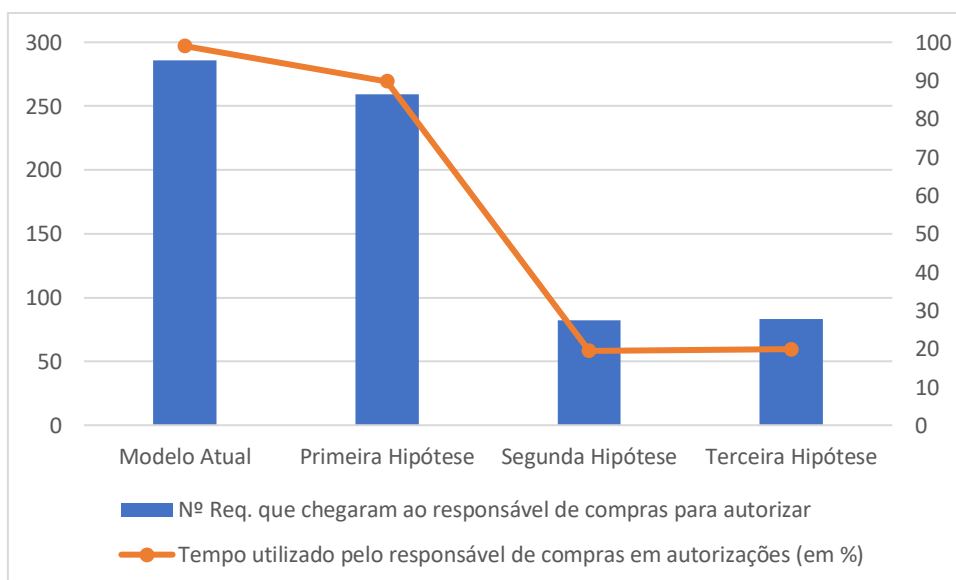


Figura 5.16 – Nº Requisições autorizadas pelo responsável de compras vs Tempo utilizado pelo responsável em autorizações

Tanto a segunda como a terceira Iteração parecem trazer melhorias significativas ao processo. Estas melhorias são evidentes não só ao nível da eficiência do processo, mas também na libertação dos intervenientes para se dedicarem a outras tarefas na empresa. Esta otimização do tempo e dos recursos pode ter um impacto positivo significativo na produtividade geral da empresa.

No entanto, a escolha entre a segunda e a terceira Iteração não é imediatamente clara com base apenas na eficiência do processo e na libertação de tempo. Portanto, o próximo capítulo apresentará um estudo de viabilidade económica. Este estudo poderá ser usado como critério de desempate entre a segunda e a terceira Iterações de melhoria do processo atual de compras da empresa.

6 Estudo de viabilidade económica

Neste capítulo, procede-se à análise da viabilidade económica, desenvolvido para as iterações de melhoria simuladas anteriormente. O estudo implica a determinação de três indicadores financeiros fundamentais: o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Retorno de Investimento (PRI).

Estes indicadores serão calculados para três cenários distintos: pessimista, provável e otimista. O VAL será determinado de duas formas distintas: analiticamente e através do método de Monte Carlo. Este último é um método estatístico que permite a incorporação de incertezas no cálculo do VAL, proporcionando uma análise mais robusta e realista.

No final deste capítulo, os resultados obtidos por ambos os métodos serão comparados. Esta comparação permitirá avaliar a consistência dos resultados e a robustez das iterações de melhoria propostas. Através desta análise, pretende-se extrair conclusões sobre a viabilidade económica das iterações de melhoria e fornecer recomendações para a implementação futura.

6.1 Cenários de aplicação e pressupostos

Para verificar a viabilidade económica das propostas de melhoria, serão considerados três cenários: um pessimista, um mais provável de ocorrer e um otimista. Estes cenários serão baseados no lucro da empresa. Apenas a segunda e a terceira iterações de melhoria serão avaliadas em termos de viabilidade económica, uma vez que se presume que estas irão melhorar o processo atual e requerem um novo investimento. O lucro anual médio foi estimado em 750 000 €, dos quais se estima que 60% advêm da faturação das obras de reparação, resultando num valor de 450 000 € para a base de estudo. Para o cenário mais pessimista, considera-se que apenas 25% dos 450 000 € são resultantes do processo de compras, 30% para o cenário mais provável e 35% para o cenário otimista.

A Tabela 6.1 estima com base nas percentagens anteriores o lucro correspondente ao processo de compras da empresa:

Tabela 6.1 – Margens de lucro estimadas para cada cenário

| Cenário | Margem lucro da faturação | Percentagem atribuída ao cenário | Margem de lucro do processo |
|-------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Pessimista | 450 000,00 € | 25% | 112 500,00 € |
| Provável | 450 000,00 € | 30% | 135 000,00 € |
| Otimista | 450 000,00 € | 35% | 157 500,00 € |

De seguida, serão apresentados os resultados da avaliação de viabilidade económica para a segunda e terceira iterações de melhoria, segundo o critério do Valor Atual Líquido (VAL), analiticamente e via método Monte Carlo, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno do Investimento (PRI).

Para o cálculo do VAL, será necessário utilizar uma taxa de retorno, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), a inflação em 2023 em Portugal fixou-se nos 4,3% (*Portal do INE, 2024*), e embora tenha desacelerado em 2024, irá ser considerado 4,5% de taxa de retorno.

6.2 Viabilidade económica da segunda iteração de melhoria

Com a implementação da segunda iteração de melhoria no processo de requisições da empresa, antecipa-se um aumento significativo na eficiência operacional. Especificamente, a eficiência é projetada para aumentar de 82,25% para 93,38%. Esta melhoria na eficiência implicará um aumento proporcional no lucro esperado para cada cenário em estudo. A tabela subsequente apresenta estes novos valores, bem como os ganhos antecipados resultantes da implementação desta segunda iteração de melhoria.

Tabela 6.2 – Ganhos esperados anualmente com a implementação da segunda iteração de melhoria

| Cenário | Margem com processo atual (82,25% eficiência) [A] | Margem com processo segunda iteração melhoria (93,38% eficiência) [B] | Ganhos esperados anualmente [B-A] |
|-------------------|---|---|-----------------------------------|
| Pessimista | 112 500,00 € | 127 723,40 € | 15 223,40 € |
| Provável | 135 000,00 € | 153 268,08 € | 18 268,08 € |
| Otimista | 157 500,00 € | 178 812,77 € | 21 312,77 € |

Com base nos valores de ganhos anuais para cada cenário - pessimista, mais provável e otimista - os resultados para cada cenário do Valor Atual Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno do Investimento (PRI) serão apresentados a seguir. Estas métricas financeiras são fundamentais para a avaliação da viabilidade e rentabilidade do projeto em estudo.

6.2.1 Valor Atual Líquido

Para o cálculo do VAL, além de termos estimado os ganhos anuais, consideram-se também os gastos, tanto a nível de investimento inicial como de manutenção anual do sistema.

Consideram-se como custos de implementação da segunda iteração de melhoria os seguintes:

- Custos de formação dos colaboradores:
 - Valor estimado de 3 000,00 €;
- Custos de licenças de *software*, considerando o custo anual por licença cerca de 210,00 €, valor atualmente praticado pela empresa que fornece o *software* utilizado pela empresa:
 - Aquisição de dez novas licenças: $10 \times 210,00 \text{ €} = 2\,100,00 \text{ €}$

Destes custos, consideram-se os custos de formação dos colaboradores como custos iniciais e os custos das licenças como custos anuais.

Considerando o cenário pessimista, prevêem-se ganhos na ordem dos 15 223,40 €, considerando um período de 5 anos, com a taxa de retorno a 4,5%, podemos determinar o VAL, de acordo com a fórmula 2.1:

$$VAL = -Investimento_{inicial} + \sum_{n=1}^t \frac{F}{(1+i)^n} \quad 2.1$$

Em que:

- *VAL* corresponde ao Valor Atual Líquido;
- *Investimento_{inicial}* corresponde aos custos de formação dos colaboradores, 3 000,00 €;
- *n* corresponde ao ano, neste caso, irá de 1 a 5;
- *t* corresponde ao período máximo considerado, em anos, neste caso, 5;
- *i* corresponde à taxa de atualização considerada, neste caso, 4,5%;
- *F* corresponde ao *cash-flow* resultante entre os ganhos e os custos anuais, neste caso, $F = 15\,223,40 - 2\,100,00 = 13\,123,40 \text{ €}$.

O esquema da Figura 6.1 representa o diagrama do *cash-flow* para o cálculo do VAL a 5 anos:

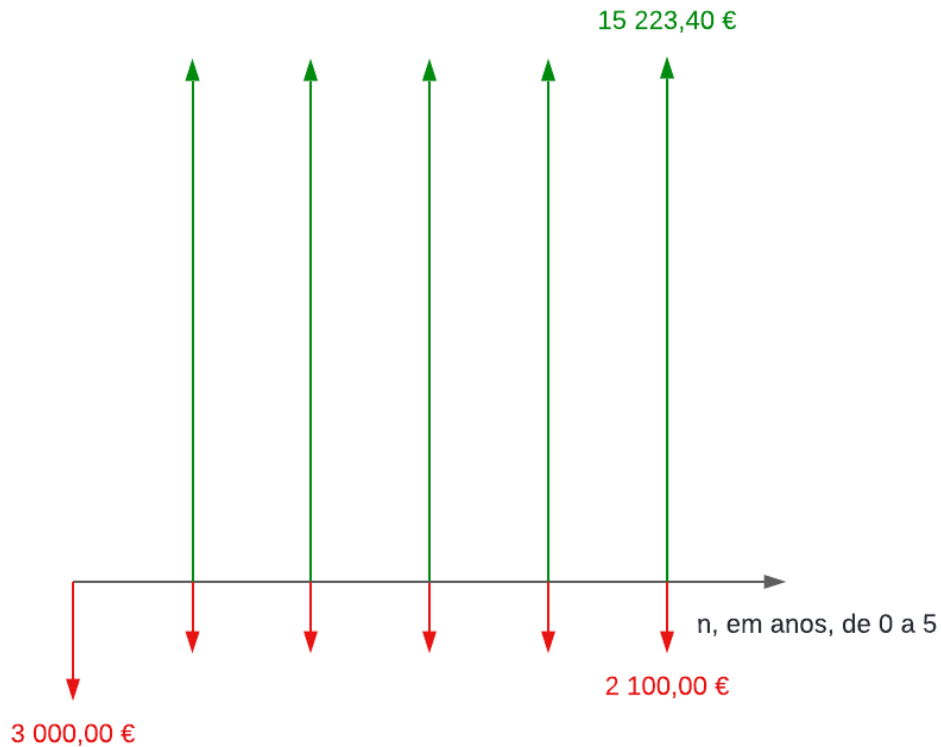


Figura 6.1 – Diagrama de Cash-flow para determinar VAL para o cenário pessimista

Substituindo na fórmula 2.1 resulta:

$$VAL = -3000 + \frac{13\,123,40}{(1 + 0,045)^1} + \frac{13\,123,40}{(1 + 0,045)^2} + \frac{13\,123,40}{(1 + 0,045)^3} + \frac{13\,123,40}{(1 + 0,045)^4} + \frac{13\,123,40}{(1 + 0,045)^5} = 54\,611,42 \text{ €}$$

Este processo foi validado adicionalmente através da utilização de uma folha de cálculo no Excel. As figuras 6.2 e 6.3 ilustram a parametrização empregada para calcular o Valor Atual Líquido (VAL), tanto por meio de uma abordagem analítica quanto através da aplicação da fórmula fornecida pelo Excel.

investimento inicial: 3000 taxa: 0,045 (4,5%)

| | | | | | |
|-------------------|------------|----------|----------|-----------|----------|
| n: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ganhos: | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 |
| custos: | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| cash-flow: | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 |
| valor atualizado: | 12558,2775 | 12017,49 | 11499,99 | 11004,776 | 10530,89 |

VAL: 54 611,42 € =-C2+C8+D8+E8+F8+G8

Figura 6.2 – Parametrização da folha de cálculo para obtenção do VAL analiticamente

investimento inicial: 3000 taxa: 0,045 (4,5%)

| | | | | | |
|-------------------|------------|----------|----------|-----------|----------|
| n: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ganhos: | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 |
| custos: | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| cash-flow: | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 |
| valor atualizado: | 12558,2775 | 12017,49 | 11499,99 | 11004,776 | 10530,89 |

VAL: 54 611,42 €

VAL(excel): 54 611,42 € =-C2+VAL(F2;C7;G7)

Figura 6.3 – Parametrização da folha de cálculo para obtenção do VAL com a fórmula do Excel

Como se pode confirmar, os resultados obtidos são consistentes. Desta forma, os cálculos estão validados, o que confere fiabilidade ao autor para utilizar a folha de cálculo na determinação do Valor Atual Líquido (VAL) em outros cenários e iterações de melhoria.

Recorrendo à folha de cálculo, os cálculos do VAL foram replicados para os restantes cenários, resultando nos valores apresentados nas tabelas que se seguem.

Tabela 6.3 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário

| | | | Ano | | | | | |
|---------------------------------|----------------|-------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Investimento inicial | | | -3000 | - | - | - | - | - |
| Ganhos anuais | Cenário | Pessimista | - | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 | 15223,4 |
| | | Provável | - | 18268,08 | 18268,08 | 18268,08 | 18268,08 | 18268,08 |
| | | Otimista | - | 21312,77 | 21312,77 | 21312,77 | 21312,77 | 21312,77 |
| Custos anuais | | | - | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| Cash-flow | Cenário | Pessimista | - | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 |
| | | Provável | - | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 |
| | | Otimista | - | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 |
| Valores atualizados | Cenário | Pessimista | - | 12558,28 | 12017,49 | 11499,99 | 11004,78 | 10530,89 |
| | | Provável | - | 15471,85 | 14805,6 | 14168,03 | 13557,93 | 12974,09 |
| | | Otimista | - | 18385,43 | 17593,71 | 16836,09 | 16111,09 | 15417,31 |
| Amortização Investimento | Cenário | Pessimista | - | 9558,28 | 21575,77 | 33075,76 | 44080,53 | 54611,42 |
| | | Provável | - | 12471,85 | 27277,44 | 41445,48 | 55003,4 | 67977,5 |
| | | Otimista | - | 15385,43 | 32979,13 | 49815,22 | 65926,31 | 81343,61 |

Tabela 6.4 – VAL obtido para cada cenário

| | | VAL |
|----------------|-------------------|----------------|
| Cenário | Pessimista | 54 611,42 € |
| | Provável | 67 977,50 € |
| | Otimista | 81 343,61 € |

As linhas da amortização do investimento correspondem à soma dos valores atualizados ao investimento inicial (a negativo), estes valores serão utilizados para determinar o PRI no subcapítulo 0.

Segundo o critério do Valor Atual Líquido (VAL), em cada cenário analisado, o valor é superior a zero. Conclui-se então que a implementação da segunda iteração de melhoria é economicamente viável, independentemente do cenário considerado, pessimista, mais provável ou otimista.

6.2.2 Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno obtém-se igualando o VAL a zero, determinando assim o limiar da viabilidade do projeto.

Analicamente, igualamos a fórmula 2.1 a zero e retiramos o valor de i para o cenário mais pessimista, resultando em:

$$-3000 + \frac{13\,123,40}{(1+i)^1} + \frac{13\,123,40}{(1+i)^2} + \frac{13\,123,40}{(1+i)^3} + \frac{13\,123,40}{(1+i)^4} + \frac{13\,123,40}{(1+i)^5} = 0 \text{ €}$$

Resolvendo, obtém-se:

$$i = 4,37 \rightarrow 437 \%$$

O que significa que a segunda iteração de melhoria, pelo critério da TIR, será viável mesmo com uma taxa de 437%, cenário mais pessimista.

Esta mesma TIR foi validada com recurso a uma folha de cálculo no Excel, através da fórmula disponibilizada, conforme demonstra a figura 6.4:

| | | Cash-Flow | | | | | |
|------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|------|
| Cenário | Inv. Inicial | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | TIR |
| Pessimista | -3000 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 437% |

=TIR(M17:R17;0,045)

Figura 6.4 – Parametrização da folha de cálculo utilizada para determinar a TIR

Estando os cálculos validados, determinou-se a TIR para os restantes cenários em estudo, conforme se verifica na Tabela 6.5:

Tabela 6.5 – Taxa Interna de Retorno para os cenários em estudo

| | | Cash-flow | | | | | |
|------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|----------|------|
| Cenário | Inv. Inicial | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | TIR |
| Pessimista | -3000 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 13123,4 | 437% |
| Provável | -3000 | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 | 16168,08 | 539% |
| Otimista | -3000 | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 | 19212,77 | 640% |

Os resultados revelam Taxa Retorno Investimento (TIR) excepcionalmente elevadas, variando entre 437% e 640%, consoante os cenários. Estes valores indicam um potencial significativo de retorno para a implementação da iteração, destacando a viabilidade da implementação da segunda iteração de melhoria no processo.

6.2.3 Período de Retorno do Investimento

O Período de Retorno do Investimento (PRI) mostra o tempo necessário para determinar recuperar o investimento inicial.

De modo a determinar o PRI, tem de se perceber quando o retorno do investimento passa de negativo a positivo, analisando o *cash-flow* face ao investimento inicial, e considerando os três cenários em estudo, verifica-se que ao final do primeiro ano, o capital investido é recuperado, conforme se pode verificar nos valores apresentados na Tabela 6.3.

Para detalhar ao fim de quantos meses se recupera o investimento, recorre-se à fórmula 2.3, apresentada em baixo:

$$PRI = n + \frac{CF_n}{CF_n - CF_{n+1}} \quad 2.3$$

Em que:

- PRI é o Período de Retorno Investimento;
- n é o ano anterior à passagem da amortização do investimento de negativo a positivo, no caso em estudo, para todos os cenários, $n = 0$;
- CF_n é o investimento inicial, a negativo, ou seja, - 3 000,00 €;
- CF_{n+1} é o valor amortizado para o ano $n + 1$, neste caso, 1, o que irá corresponder respetivamente, para cada cenário, pessimista, provável e otimista, a: 9 558,28 €, 12 471,85 € e 15 385,43 €.

Substituindo na fórmula, para cada cenário, obtém-se:

- Cenário Pessimista:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 9\,558,28} = 0,239 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,239 \times 12 = 2,9 \text{ meses}$$

Multiplicando por 0,9 por 30 dias, resulta:

$$0,9 \times 30 = 27 \text{ dias}$$

O que significa que, no cenário mais pessimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses e 27 dias.

- Cenário mais provável:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 12\,471,85} = 0,194 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,194 \times 12 = 2,3 \text{ meses}$$

Multiplicando por 0,3 por 30 dias, resulta:

$$0,3 \times 30 = 9 \text{ dias}$$

O que significa que, no cenário mais provável, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses e 9 dias.

- Cenário otimista:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 15\,385,43} = 0,163 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,163 \times 12 = 2 \text{ meses}$$

O que significa que, no cenário mais otimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses.

Com base na análise realizada, conclui-se que, independentemente do cenário considerado - pessimista, mais provável ou otimista - o Período de Retorno do Investimento (PRI) será sempre inferior a um trimestre. Isto significa que o investimento inicial será recuperado em menos de três meses, o que é um indicador extremamente positivo da viabilidade financeira da Iteração de melhoria em estudo.

Este resultado sugere que o investimento na implementação desta Iteração de melhoria é não só viável, mas também atrativo, dada a rápida recuperação do investimento inicial. Esta conclusão reforça a pertinência e o valor da Iteração de melhoria proposta, sublinhando o seu potencial para melhorar a eficiência e a rentabilidade da empresa.

No entanto, é importante lembrar que estas conclusões são baseadas em modelos teóricos e, como tal, devem ser validadas através da implementação prática e da monitorização contínua dos resultados. Ainda assim, os indicadores são promissores e

sugerem que a empresa beneficiará significativamente da implementação desta iteração de melhoria.

6.2.4 Simulação Monte Carlo

Os cenários previamente analisados baseiam-se em valores pré-estabelecidos. Embora tenhamos considerado um cenário pessimista, provável e otimista, as variações ocorreram apenas nos ganhos de acordo com o cenário. A simulação pelo método Monte Carlo permite a incorporação de um maior nível de incerteza, realizando múltiplas iterações de cada cenário e levando em conta variações nos custos esperados.

Recorreu-se à folha de cálculo do Excel para implementar o método Monte Carlo, tendo sido parametrizado com as seguintes premissas:

- Para cada cenário realizaram-se 10 000 iterações, de onde se retira a média e desvio padrão para cada cenário;
- Relativamente aos custos, considerou-se:
 - Custos de Formação:

Tabela 6.6 – Variação dos custos de formação

| Custos Formação | | |
|------------------------|------------|-------------------------|
| Mínimo | 1 500,00 € | Distribuição Triangular |
| Provável | 3 000,00 € | |
| Máximo | 5 000,00 € | |

- Número de licenças a adquirir:

Tabela 6.7 – Variação do número de licenças a adquirir

| Licenças a Adquirir [un] | | |
|---------------------------------|----|-------------------------|
| Mínimo | 8 | Distribuição Triangular |
| Provável | 10 | |
| Máximo | 15 | |

- Taxa de retorno interno:

Tabela 6.8 – Variação da taxa interna de retorno

| Taxa Interna de Retorno [%] | | |
|------------------------------------|-----|-------------------------|
| Mínimo | 2 | Distribuição Triangular |
| Provável | 4,5 | |
| Máximo | 7 | |

Os ganhos vão depender do cenário em estudo, e serão os mesmos valores da Tabela 6.2.

O Anexo 5 – Parametrização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (2ª iteração) ilustra como a folha de cálculo foi utilizada.

Foram elaboradas três macros para simular as 10 000 iterações para cada cenário, tendo sido os resultados compilados na tabela seguinte:

Tabela 6.9 – VAL da segunda iteração de melhoria segundo método Monte Carlo

| Cenário | Média VAL | Desvio-padrão |
|------------|-------------|---------------|
| Pessimista | 53 546,31 € | 2 287,10 € |
| Provável | 66 927,36 € | 2 539,91 € |
| Otimista | 80 304,69 € | 2 821,88 € |

Para cada cenário foi retirado o gráfico da distribuição normal para cada VAL, resultando os gráficos das Figuras 6.5, 6.6 e 6.7:

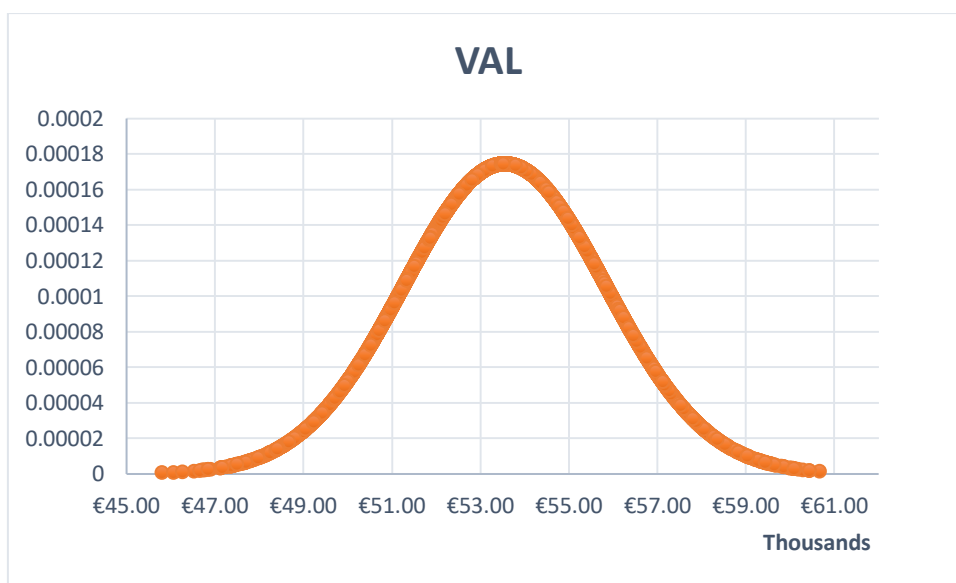


Figura 6.5 – VAL do cenário pessimista

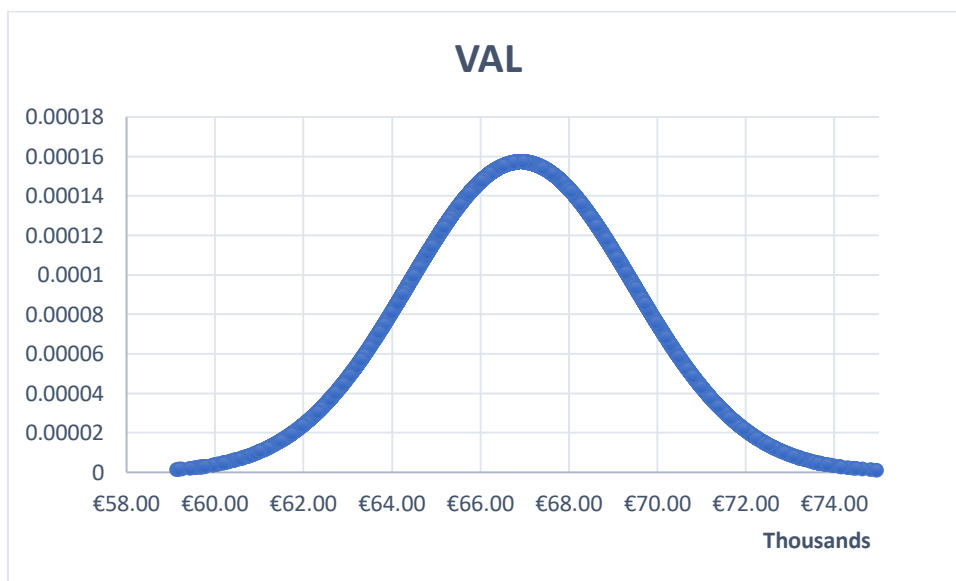


Figura 6.6 – VAL do cenário mais provável

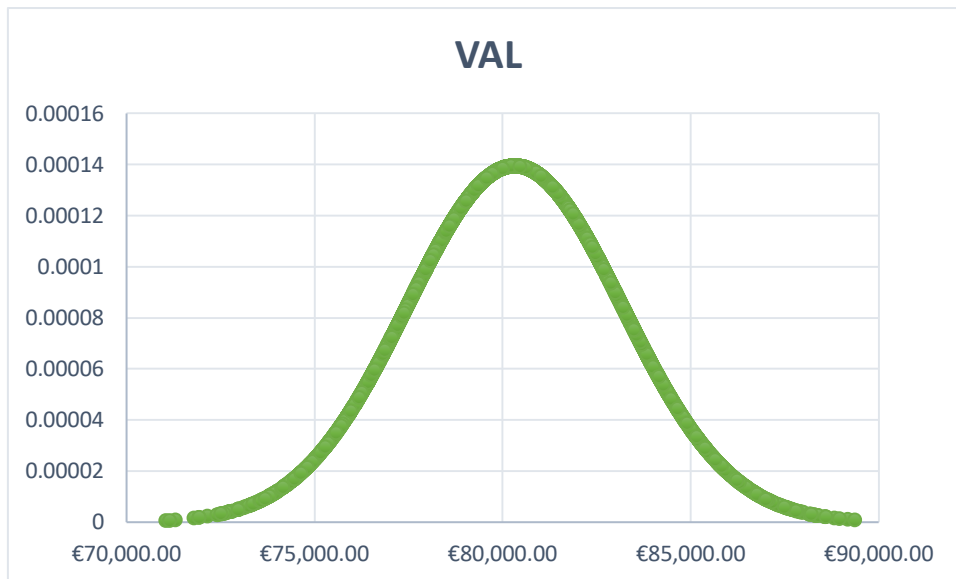


Figura 6.7 – VAL do cenário mais otimista

Dado que as 10 000 iterações resultam num valor médio com um desvio-padrão específico, torna-se relevante determinar o Valor Atual Líquido (VAL) de acordo com um Intervalo de Confiança (IC). Para um IC de 95%, podemos determinar o IC recorrendo à fórmula 6.3:

$$\bar{X} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad 6.3$$

Em que:

- \bar{X} corresponde ao VAL médio obtido para cada cenário;
- $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ corresponde a 1,96, retirado da tabela da normal reduzida (Figura 6.8), para um $\frac{\alpha}{2}$ igual a 0,025, uma vez que o intervalo de confiança é de 95%, α será igual a 0,05 (5%), junto segue o excerto da tabela da distribuição da normal reduzida (Figura 6.8):

| Z | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,3 | 0,0968 | 0,0951 | 0,0934 | 0,0918 | 0,0901 | 0,0885 | 0,0869 | 0,0853 | 0,0838 | 0,0823 |
| 1,4 | 0,0808 | 0,0793 | 0,0778 | 0,0764 | 0,0749 | 0,0735 | 0,0721 | 0,0708 | 0,0694 | 0,0681 |
| 1,5 | 0,0668 | 0,0655 | 0,0643 | 0,0630 | 0,0618 | 0,0606 | 0,0594 | 0,0582 | 0,0571 | 0,0559 |
| 1,6 | 0,0548 | 0,0537 | 0,0526 | 0,0516 | 0,0505 | 0,0495 | 0,0485 | 0,0475 | 0,0465 | 0,0455 |
| 1,7 | 0,0446 | 0,0436 | 0,0427 | 0,0418 | 0,0409 | 0,0401 | 0,0392 | 0,0384 | 0,0375 | 0,0367 |
| 1,8 | 0,0359 | 0,0351 | 0,0344 | 0,0336 | 0,0329 | 0,0322 | 0,0314 | 0,0307 | 0,0301 | 0,0294 |
| 1,9 | 0,0287 | 0,0281 | 0,0274 | 0,0268 | 0,0262 | 0,0256 | 0,0250 | 0,0244 | 0,0239 | 0,0233 |

Figura 6.8 – Excerto da tabela da distribuição da normal reduzida

- σ corresponde ao desvio-padrão do VAL determinado para cada cenário;

- n corresponde ao número de iterações feitas para cada cenário.

Substituindo na fórmula 6.3, vem para o cenário pessimista, o seguinte intervalo de confiança para o VAL:

$$53\,546,31 - 1,96 \times \frac{2\,287,10}{\sqrt{10000}} \leq \mu \leq 53\,546,31 + 1,96 \times \frac{2\,287,10}{\sqrt{10000}}$$

Resultando:

$$53\,501,49 \text{ €} \leq \text{VAL} \leq 53\,591,14 \text{ €}$$

Afirmamos, com 95% de confiança, que no cenário mais pessimista, o VAL se situa entre 53 501,49 € e 53 591,14 €.

Do mesmo modo, substituindo os valores de \bar{X} e σ pelos valores da Tabela 6.9, resultam os seguintes intervalos de confiança para os cenários em análise:

Tabela 6.10 – Intervalos de confiança do VAL para cada cenário

| Cenário | Intervalo Confiança do VAL | |
|------------|----------------------------|-------------|
| | Mín | Máx |
| Pessimista | 53 501,49 € | 53 591,14 € |
| Provável | 66 877,58 € | 66 977,14 € |
| Otimista | 80 249,38 € | 80 360,00 € |

Com base nos dados do Intervalo de Confiança (IC) para o Valor Atual Líquido (VAL) apresentados na tabela, podemos concluir o seguinte para cada um dos três cenários em estudo:

- Cenário Pessimista: O VAL situa-se entre 53 501,49 € e 53 591,14 € com um IC de 95%. Isto sugere que, mesmo no cenário mais pessimista, a implementação da Iteração de melhoria proposta é economicamente viável.
- Cenário Provável: O VAL situa-se entre 66 877,58 € e 66 977,14 € com um IC de 95%. Isto indica que, no cenário mais provável, a implementação da Iteração de melhoria proposta é não só viável, mas também potencialmente lucrativa.
- Cenário Otimista: O VAL situa-se entre 80 249,38 € e 80 360,00 € com um IC de 95%. Isto sugere que, no cenário mais otimista, a implementação da Iteração de melhoria proposta pode resultar em ganhos significativos.

A tabela seguinte vai comparar o valor obtido, para cada cenário do VAL no subcapítulo 6.2.1 com a Tabela 6.10:

Tabela 6.11 – Comparação VAL por Monte Carlo VS Cálculo Analítico

| Cenário | Intervalo Confiança do VAL, Monte Carlo | | VAL Analítico |
|----------------|--|-------------|----------------------|
| | Mín | Máx | |
| Pessimista | 53 501,49 € | 53 591,14 € | 54 611,42 € |
| Provável | 66 877,58 € | 66 977,14 € | 67 977,50 € |
| Otimista | 80 249,38 € | 80 360,00 € | 81 343,61 € |

A Tabela 6.11 ilustra que, ao incorporarmos a incerteza e operarmos com níveis de confiança, adotamos uma abordagem mais conservadora, protegendo-nos de riscos não contemplados na determinação do Valor Atual Líquido (VAL) por meio exclusivamente analítico. Observa-se que, para cada cenário, os valores do Intervalo de Confiança (IC) obtidos pelo método de Monte Carlo são ligeiramente inferiores aos obtidos analiticamente. No entanto, estes valores estão suficientemente próximos para que qualquer um dos métodos de cálculo possa ser utilizado no estudo da viabilidade do projeto.

Estes resultados reforçam a viabilidade económica da segunda opção de melhoria em todos os cenários considerados, tornando-a uma alternativa atraente para investimento. Contudo, é crucial salientar que estes são resultados teóricos baseados em modelos e devem ser validados através da implementação prática e da monitorização contínua dos resultados. Esta validação permitirá aferir a precisão dos modelos utilizados e ajustá-los conforme necessário, garantindo assim a robustez e a fiabilidade das conclusões tiradas.

6.3 Viabilidade económica da terceira iteração de melhoria

Com a implementação da terceira iteração de melhoria no processo de requisições da empresa, antecipa-se um aumento significativo na eficiência operacional. Especificamente, a eficiência é projetada para aumentar de 82,25% para 96,60%. Esta melhoria na eficiência implicará um aumento proporcional no lucro esperado para cada cenário em estudo.

A tabela subsequente apresenta estes novos valores, bem como os ganhos antecipados resultantes da implementação desta segunda iteração de melhoria.

Tabela 6.12 – Ganhos esperados anualmente com a implementação da terceira iteração de melhoria

| Cenário | Margem com processo atual (82,25% eficiência) [A] | Margem com processo segunda iteração melhoria (96,6% eficiência) [B] | Ganhos esperados anualmente [B-A] |
|-------------------|---|--|-----------------------------------|
| Pessimista | 112 500,00 € | 132 127,66 € | 19 627,66 € |
| Provável | 135 000,00 € | 158 553,19 € | 23 553,19 € |
| Otimista | 157 500,00 € | 184 978,72 € | 27 478,72 € |

Com base nos valores de ganhos anuais para cada cenário, pessimista, mais provável e otimista, serão apresentados a seguir os resultados para cada cenário do VAL, TIR e PRI, exclusivamente com recurso a folha de cálculo Excel.

6.3.1 Valor Atual Líquido

Para o cálculo do VAL, além de termos estimado os ganhos anuais, consideram-se também os gastos, tanto a nível de investimento inicial como de manutenção anual do sistema.

Consideram-se como custos de implementação da terceira iteração de melhoria os seguintes:

- Custos de formação dos colaboradores:
 - Valor estimado de 3 000,00 €;
- Custos de desenvolvimento de *Software*:
 - Valor estimado em 6 500,00 €
- Custos de aquisição de tablets, smartphones ou pda's, estimando o custo unitário de 150,00 €:
 - Considerando as 10 licenças a adquirir: $10 \times 150,00 \text{ €} = 1 500,00 \text{ €}$
- Custos de licenças de *software*, considerando o custo anual por licença cerca de 210,00 €:
 - Aquisição de dez novas licenças: $10 \times 210,00 \text{ €} = 2 100,00 \text{ €}$

Destes custos, consideram-se os custos de formação dos colaboradores, desenvolvimento de *software* e aquisição de tablets, smartphones ou pda's como custos iniciais e os custos das licenças como custos anuais, resultando:

- Custos iniciais: $3 000,00 + 6 500,00 + 1 500,00 = 11 000,00 \text{ €}$
- Custos anuais: 2 100,00 €

O diagrama para o VAL da implementação desta iteração, para o cenário pessimista, é dado pela Figura 6.9:

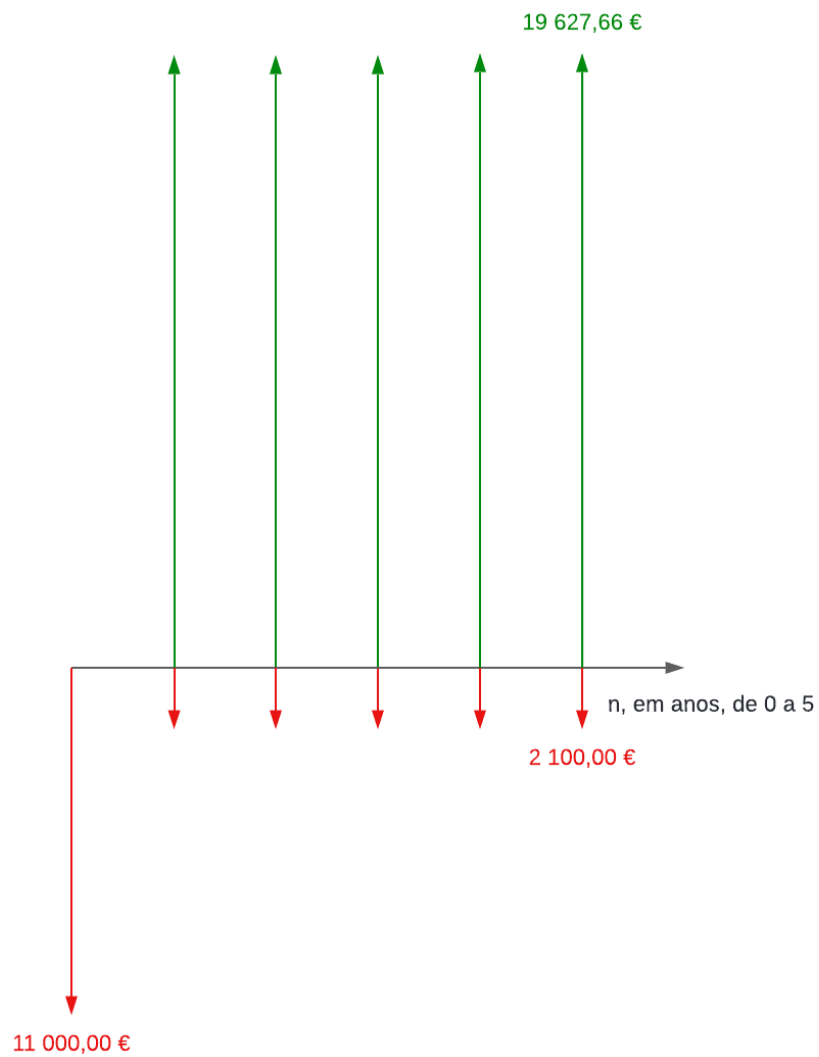


Figura 6.9 – Diagrama de Cash-Flow para determinar VAL para o cenário pessimista

Replicando a Tabela 6.3, ajustando os valores à iteração em análise e mantendo a taxa de retorno nos 4,5%, permite obter o seguinte quadro resumo:

Tabela 6.13 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário

| | | | Ano | | | | | |
|---------------------------------|----------------|-------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Investimento inicial | | | -11000 | - | - | - | - | - |
| Ganhos anuais | Cenário | Pessimista | - | 19627,66 | 19627,66 | 19627,66 | 19627,66 | 19627,66 |
| | | Provável | - | 23553,19 | 23553,19 | 23553,19 | 23553,19 | 23553,19 |
| | | Otimista | - | 27478,72 | 27478,72 | 27478,72 | 27478,72 | 27478,72 |
| Custos anuais | | | - | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| Cash-flow | Cenário | Pessimista | - | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 |
| | | Provável | - | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 |
| | | Otimista | - | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 |
| Valores atualizados | Cenário | Pessimista | - | 16772,88 | 16050,6 | 15359,43 | 14698,02 | 14065,09 |
| | | Provável | - | 20529,37 | 19645,33 | 18799,36 | 17989,82 | 17215,14 |
| | | Otimista | - | 24285,86 | 23240,06 | 22239,29 | 21281,62 | 20365,18 |
| Amortização Investimento | Cenário | Pessimista | - | 5772,88 | 21823,48 | 37182,91 | 51880,93 | 65946,02 |
| | | Provável | - | 9529,37 | 29174,7 | 47974,06 | 65963,88 | 83179,01 |
| | | Otimista | - | 13285,86 | 36525,92 | 58765,21 | 80046,82 | 100412 |

Resultando, para cada cenário, um VAL de:

Tabela 6.14 – VAL obtido para cada cenário

| | | VAL |
|----------------|-------------------|-----------------|
| Cenário | Pessimista | 65 946,02 € |
| | Provável | 83 179,01 € |
| | Otimista | 100 412,01 € |

As linhas da amortização do investimento correspondem à soma dos valores atualizados ao investimento inicial (a negativo), estes valores serão utilizados para determinar o PRI no subcapítulo 6.3.3.

Segundo o critério do Valor Atual Líquido (VAL), em cada cenário analisado, o valor é superior a zero. Conclui-se então que a implementação da terceira iteração de melhoria é economicamente viável, independentemente do cenário considerado, pessimista, mais provável ou otimista.

6.3.2 Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno obtém-se igualando o VAL a zero, determinando assim o limiar da viabilidade do projeto.

Tendo sido o método da folha de cálculo validada analiticamente no estudo da Iteração anterior, determinou-se a TIR para os cenários em estudo, com recurso ao Excel, obtendo os resultados seguintes:

Tabela 6.15 – Taxa Interna de Retorno para os cenários em estudo

| Cenário | Inv. Inicial | Cash-flow | | | | | TIR |
|------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | |
| Pessimista | -11000 | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 | 17527,66 | 158% |
| Provável | -11000 | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 | 21453,19 | 194% |
| Otimista | -11000 | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 | 25378,72 | 230% |

Os resultados revelam Taxa Retorno Investimento (TIR) elevadas, variando entre 158% e 230%, consoante os cenários. Estes valores indicam um potencial de retorno para a implementação da Iteração, destacando a viabilidade da implementação da terceira Iteração de melhoria no processo.

6.3.3 Período de Retorno do Investimento

O Período de Retorno do Investimento (PRI) mostra o tempo necessário para determinar recuperar o investimento inicial.

De modo a determinar o PRI, tem de se perceber quando o retorno do investimento passa de negativo a positivo, analisando o *cash-flow* face ao investimento inicial, e considerando os três cenários em estudo, verifica-se que ao final do primeiro ano, o capital investido é recuperado, conforme se pode verificar nos valores apresentados na Tabela 6.13.

Para detalhar ao fim de quantos meses se recupera o investimento, recorre-se novamente à fórmula 6.2, apresentada em baixo:

$$PRI = n + \frac{CF_n}{CF_n - CF_{n+1}} \quad 6.2$$

Em que:

- PRI é o Período de Retorno Investimento;
- n é o ano anterior à passagem da amortização do investimento de negativo a positivo, no caso em estudo, para todos os cenários, $n = 0$;
- CF_n é o investimento inicial, a negativo, ou seja, - 11 000,00 €;

- CF_{n+1} é o valor amortizado para o ano $n + 1$, neste caso, 1, o que irá corresponder respetivamente, para cada cenário, pessimista, provável e otimista, a: 5 772,88 €, 9 529,37 € e 13 285,86 €.

Substituindo na fórmula, para cada cenário, obtém-se:

- Cenário Pessimista:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 5\,772,88} = 0,656 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,656 \times 12 = 7,9 \text{ meses}$$

Multiplicando por 0,9 por 30 dias, resulta:

$$0,9 \times 30 = 27 \text{ dias}$$

O que significa que, no cenário mais pessimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 7 meses e 27 dias.

- Cenário mais provável:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 9\,529,37} = 0,536 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,536 \times 12 = 6,4 \text{ meses}$$

Multiplicando por 0,4 por 30 dias, resulta:

$$0,4 \times 30 = 12 \text{ dias}$$

O que significa que, no cenário mais provável, o retorno do investimento é feito ao fim de 6 meses e 12 dias.

- Cenário otimista:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 13\,285,86} = 0,452 \text{ anos}$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0,452 \times 12 = 5,4 \text{ meses}$$

Multiplicando por 0,4 por 30 dias, resulta:

$$0,4 \times 30 = 12 \text{ dias}$$

O que significa que, no cenário mais otimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 5 meses e 12 dias.

Com base na análise realizada, conclui-se que, independentemente do cenário considerado - pessimista, mais provável ou otimista - o Período de Retorno do Investimento (PRI) situa-se sempre em torno de um semestre. Isto significa que o investimento inicial será recuperado em aproximadamente seis meses, com uma variação de um mês para mais no cenário mais pessimista e um mês para menos no cenário mais otimista.

Este resultado sugere que o investimento na implementação desta Iteração de melhoria é não só viável, mas também atrativo, dada a rápida recuperação do investimento inicial. Esta conclusão reforça a pertinência e o valor da Iteração de melhoria proposta, sublinhando o seu potencial para melhorar a eficiência e a rentabilidade da empresa.

No entanto, é importante lembrar que estas conclusões são baseadas em modelos teóricos e, como tal, devem ser validadas através da implementação prática e da monitorização contínua dos resultados. Ainda assim, os indicadores são promissores e sugerem que a empresa beneficiará significativamente da implementação desta Iteração de melhoria.

6.3.4 Simulação Monte Carlo

À semelhança da segunda Iteração de melhoria, também para a terceira se recorreu ao método Monte Carlo, através da folha de cálculo Excel, para levar em conta a incerteza nos custos. Foram realizadas três simulações, de acordo com os seguintes parâmetros:

- Para cada cenário realizaram-se 10 000 iterações, de onde se retira a média e desvio padrão para cada cenário;
- Relativamente aos custos, considerou-se:
 - Custos iniciais de investimento: considerou-se como cenário mais provável os custos determinados em 6.3.1, com uma variação de 2 000,00 €;

Tabela 6.16 – Custos iniciais de investimento

| Custos Iniciais Investimento | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Mínimo | 9 000,00 € | Distribuição Triangular |
| Provável | 11 000,00 € | |
| Máximo | 13 000,00 € | |

- Os restantes parâmetros são iguais aos utilizados na segunda iteração de melhoria, sendo a variação do número de licenças a adquirir a mesma da Tabela 6.7 e a variação da taxa interna de retorno igual à da Tabela 6.8.
- Os ganhos dependerão de cada cenário, e correspondem aos valores da Tabela 6.12.

O Anexo 6 – Parametrização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (3ª iteração) ilustra como a folha de cálculo foi utilizada.

Foram elaboradas três macros para simular as 10 000 iterações para cada cenário, tendo sido os resultados compilados na tabela seguinte:

Tabela 6.17 – VAL da terceira iteração de melhoria segundo método Monte Carlo

| Cenário | Média VAL | Desvio-padrão |
|-------------------|-------------|---------------|
| Pessimista | 65 111,72 € | 2 715,91 € |
| Provável | 82 378,67 € | 3 069,90 € |
| Otimista | 99 527,01 € | 3 527,40 € |

Para cada cenário foi retirado o gráfico da distribuição normal para cada VAL, resultando os gráficos das Figuras 6.10, 6.11 e 6.12:

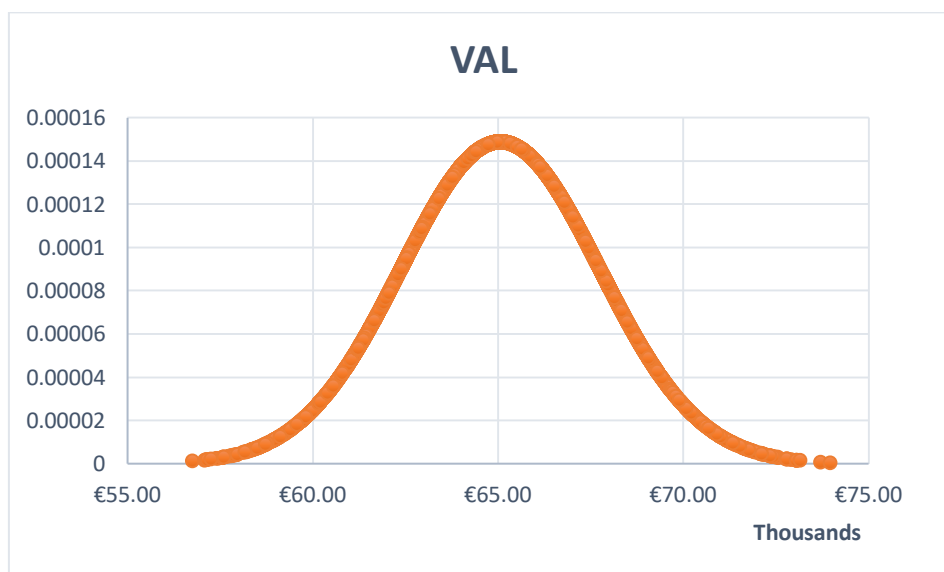


Figura 6.10 – VAL do cenário pessimista

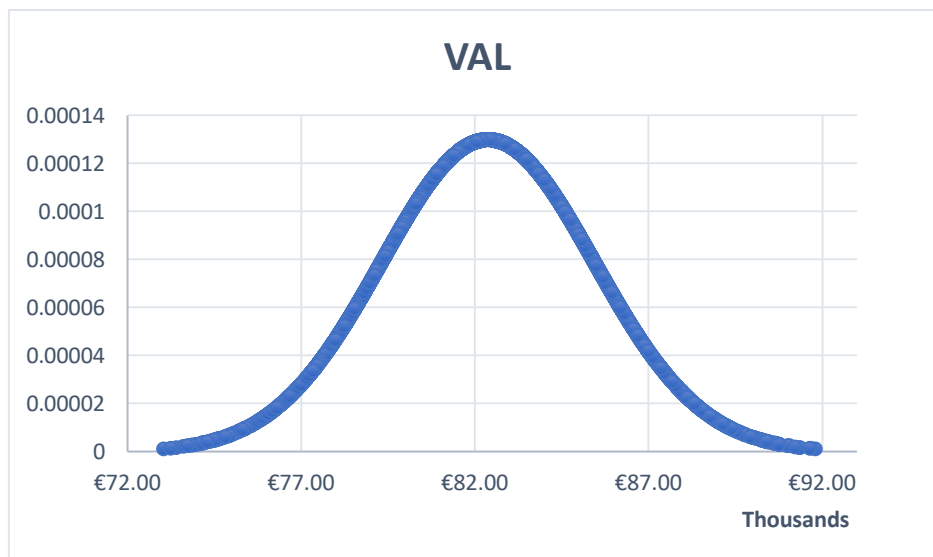


Figura 6.11 – VAL do cenário mais provável

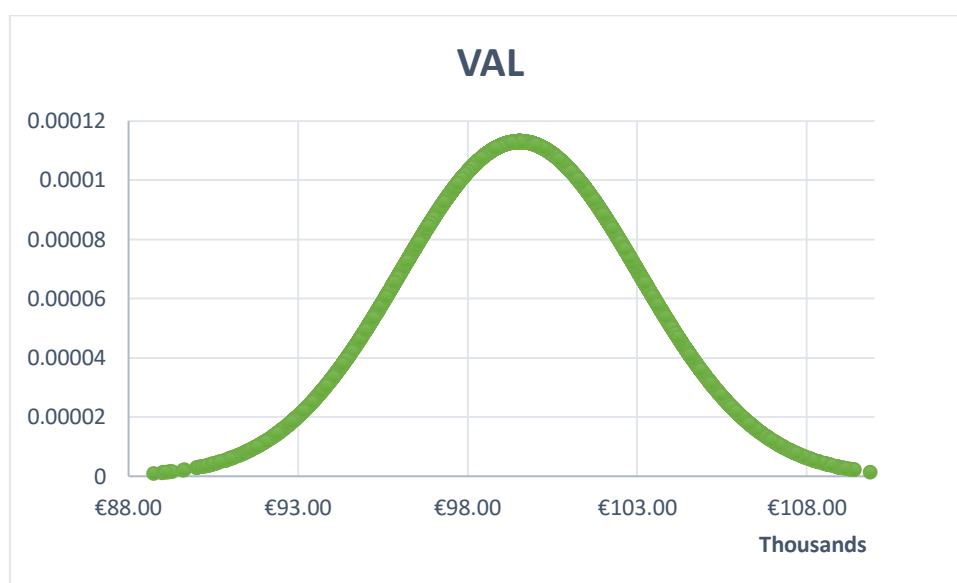


Figura 6.12 – VAL do cenário mais otimista

Do mesmo modo, recorrendo à fórmula 6.3, determinou-se o intervalo de confiança do VAL, com 95% de certeza, resultando, para cada cenário, os valores da tabela subsequente:

Tabela 6.18 – Intervalos de confiança do VAL para cada cenário

| Cenário | Intervalo Confiança do VAL | |
|------------|----------------------------|-------------|
| | Mín | Máx |
| Pessimista | 65 058,48 € | 65 164,95 € |
| Provável | 82 318,50 € | 82 438,84 € |
| Otimista | 99 457,87 € | 99 596,15 € |

Com base nos dados do Intervalo de Confiança (IC) para o Valor Actual Líquido (VAL) apresentados na tabela, podemos concluir o seguinte para cada um dos três cenários em estudo:

- Cenário Pessimista: O VAL situa-se entre 65 058,48 € e 65 164,95 € com um IC de 95%. Isto sugere que, mesmo no cenário mais pessimista, a implementação da Iteração de melhoria proposta é economicamente viável.
- Cenário Provável: O VAL situa-se entre 82 318,50 € e 82 438,84 € com um IC de 95%. Isto indica que, no cenário mais provável, a implementação da Iteração de melhoria proposta é não só viável, mas também potencialmente lucrativa.
- Cenário Otimista: O VAL situa-se entre 99 457,87 € e 99 596,15 € com um IC de 95%. Isto sugere que, no cenário mais otimista, a implementação da Iteração de melhoria proposta pode resultar em ganhos significativos.

A tabela seguinte vai comparar o valor obtido, para cada cenário do VAL no subcapítulo 6.3.1 com a Tabela 6.18:

Tabela 6.19 – Comparação VAL por Monte Carlo VS Analiticamente

| Cenário | Intervalo Confiança do VAL | | VAL Analítico |
|------------|----------------------------|-------------|---------------|
| | Mín | Máx | |
| Pessimista | 65 058,48 € | 65 164,95 € | 65 946,02 € |
| Provável | 82 318,50 € | 82 438,84 € | 83 179,01 € |
| Otimista | 99 457,87 € | 99 596,15 € | 100 412,01 € |

Tal como se verificou para a segunda Iteração, na terceira Iteração também se observa que a Tabela 6.19 demonstra que, ao incorporarmos a incerteza e operarmos com níveis de confiança, estamos a adotar uma abordagem mais conservadora. Esta estratégia permite-nos proteger-nos de riscos não contemplados na determinação do Valor Actual Líquido (VAL) por meio exclusivamente analítico. Para cada cenário, os valores do Intervalo de Confiança (IC) obtidos pelo método de Monte Carlo são ligeiramente inferiores aos obtidos analiticamente. No entanto, estes valores estão suficientemente próximos para que qualquer um dos métodos de cálculo possa ser utilizado no estudo da viabilidade do projeto.

Estes resultados reforçam a viabilidade económica da terceira opção de melhoria em todos os cenários considerados, tornando-a uma alternativa atraente para investimento. Contudo, é crucial salientar que estes são resultados teóricos baseados em modelos e devem ser validados através da implementação prática e da monitorização contínua dos resultados. Esta validação permitirá aferir a precisão dos modelos utilizados e ajustá-los

conforme necessário, garantindo assim a robustez e a fiabilidade das conclusões tiradas.

6.4 Comparação de resultados

Neste subcapítulo, procede-se à comparação dos resultados dos parâmetros Valor Atual Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno de Investimento (PRI) para a segunda e terceira iterações de melhoria do processo de compras da empresa. A partir desta comparação, é possível extrair conclusões pertinentes. A tabela que se segue, considera-se apenas o VAL obtido analiticamente. Os resultados são os seguintes:

Tabela 6.20 – Comparação de Resultados

| Iterações de melhoria | Cenários | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|---------|-------------|-----------|---------|-------------|------------|---------|-------------|
| | Pessimista | | | Provável | | | Otimista | | |
| | VAL [€] | TIR [%] | PRI [meses] | VAL [€] | TIR [%] | PRI [meses] | VAL [€] | TIR [%] | PRI [meses] |
| 2ª Iteração | 54 611,42 | 437 | 2,9 | 67 977,50 | 539 | 2,3 | 81 343,61 | 640 | 2 |
| 3ª Iteração | 65 946,02 | 158 | 7,9 | 83 179,01 | 194 | 6,4 | 100 412,01 | 230 | 5,4 |

Com base na tabela apresentada, é possível tirar as seguintes conclusões:

- Valor Atual Líquido (VAL): Em todos os cenários (pessimista, provável e otimista), a 3ª Iteração de melhoria apresenta um VAL superior à 2ª Iteração. Isto indica que a 3ª Iteração poderá proporcionar um retorno financeiro superior, conforme demonstra a Figura 6.13.

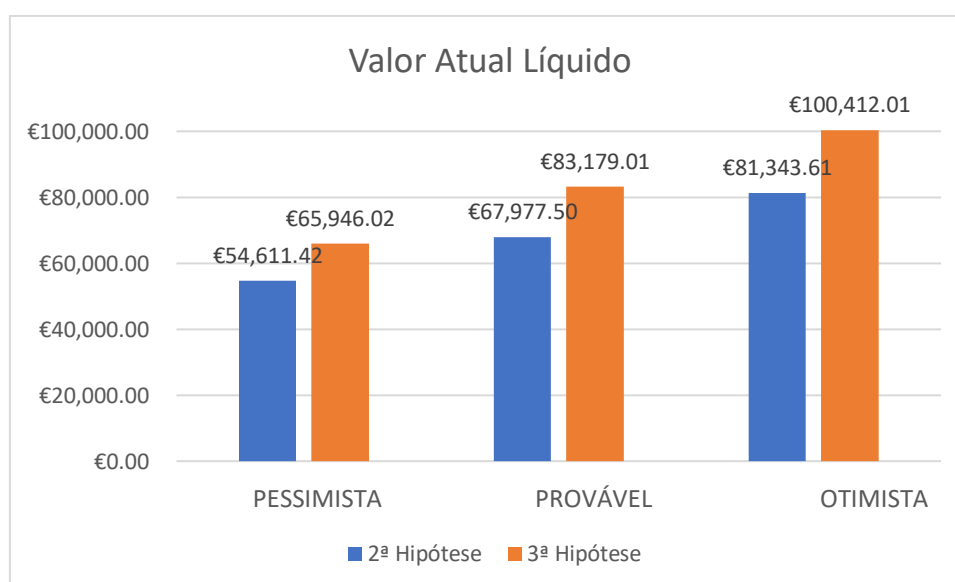


Figura 6.13 – Comparação VAL por Iteração e cenário

- Taxa Interna de Retorno (TIR): A 2ª Iteração apresenta uma TIR significativamente superior à 3ª Iteração em todos os cenários. Uma TIR mais

elevada indica que a 2ª Iteração poderá proporcionar um retorno percentual superior sobre o investimento, tal como demonstra a Figura 6.14:

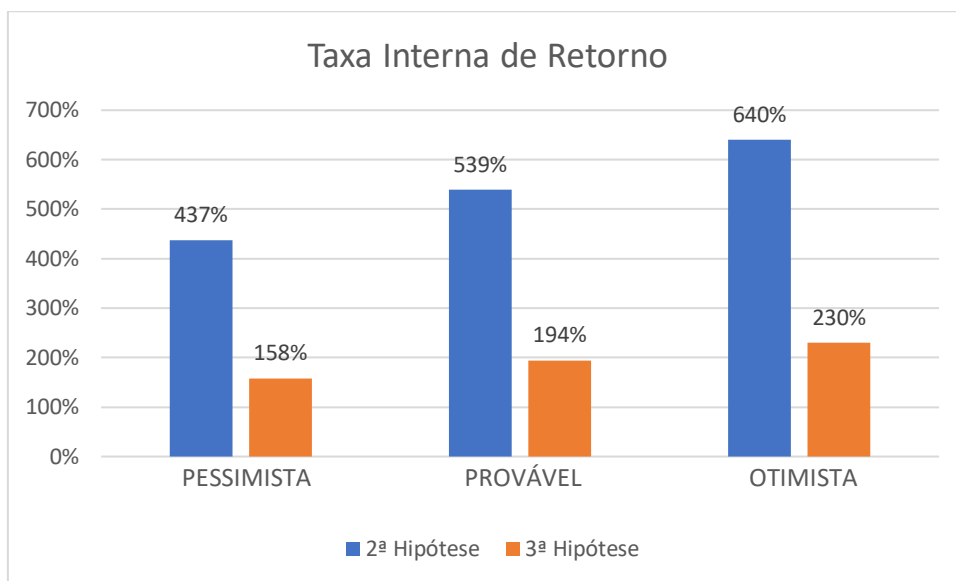


Figura 6.14 – Comparação TIR por Iteração e cenário

- Período de Retorno de Investimento (PRI): A 2ª Iteração tem um PRI menor em todos os cenários, o que significa que o investimento inicial seria recuperado mais rapidamente em comparação com a 3ª Iteração, tal como indica a Figura 6.15:

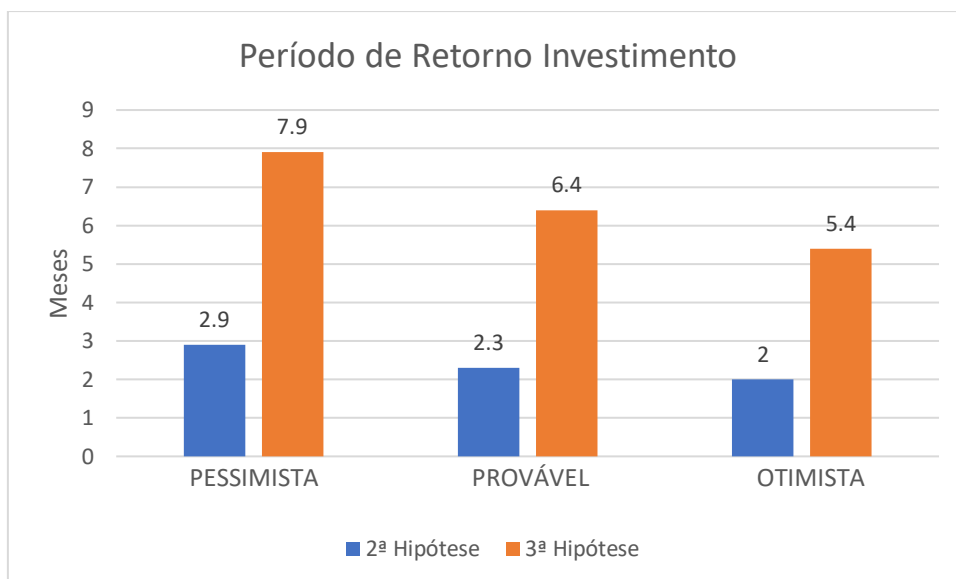


Figura 6.15 – Comparação PRI por Iteração e cenário

Em resumo, embora a 3ª Iteração apresente um VAL superior, a 2ª Iteração tem uma TIR mais elevada e um PRI mais curto. Portanto, a escolha entre as duas Iterações dependerá dos objetivos e das prioridades da administração. Se o foco for um retorno financeiro superior, a 3ª Iteração poderá ser mais atraente. No entanto, se a prioridade

for um retorno percentual mais elevado e uma recuperação mais rápida do investimento, a 2ª Iteração poderá ser a opção preferida.

Considerando a resistência natural das pessoas à mudança, a estratégia mais sensata seria implementar ambas as Iterações de melhoria de forma gradual. Inicialmente, seria implementada a segunda Iteração. Após a empresa se adaptar a esta mudança, avançaríamos para a implementação da terceira Iteração. Dado que a empresa presta assistência externa a diversos equipamentos, a terceira Iteração proporcionaria, no futuro, a opção de solicitar material logo na deslocação efetuada. Desta forma, o tempo de viagem do técnico poderia ser aproveitado para iniciar o processo de requisição de material. Esta abordagem permitiria uma otimização do tempo e uma maior eficiência nos processos da empresa.

7 Conclusão

Este capítulo final tem como objetivo apresentar uma síntese dos principais resultados obtidos ao longo da investigação, avaliar as propostas de melhoria sugeridas, discutir o impacto que a pesquisa teve na empresa em estudo, bem como destacar as contribuições científicas e práticas da investigação. Por fim, serão oferecidas recomendações para futuras pesquisas e feitas considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

7.1 Resumo dos Principais Resultados e Avaliação das Propostas de Melhoria

Esta dissertação teve como objetivo principal analisar e otimizar o processo de gestão de requisições e compras numa empresa específica. Para atingir este objetivo, foi realizada uma análise detalhada do processo atual, identificando diversos gargalos e ineficiências que impactam negativamente a eficiência operacional e aumentam os tempos de processamento.

A primeira fase da investigação envolveu a revisão de literatura, onde se exploraram conceitos fundamentais como *Lean Manufacturing*, Indústria 4.0, e digitalização de processos. Estes conceitos forneceram uma base teórica robusta para a análise do processo atual e para o desenvolvimento das propostas de melhoria. Através de ferramentas de mapeamento de fluxo de valor, foram identificados pontos críticos no processo, como redundâncias, atrasos na autorização de requisições e falhas na comunicação entre departamentos.

Com base nas informações recolhidas, foram elaboradas várias propostas de melhoria. Estas propostas centraram-se em duas áreas principais: a digitalização dos processos e a implementação de práticas *Lean*. A digitalização incluiu a introdução de um sistema de gestão de requisições eletrónico que permite o acompanhamento em tempo real e a automatização de tarefas repetitivas. As práticas *Lean* sugeridas envolvem a padronização de procedimentos, a implementação de sistemas *pull* e a utilização de horários fixos para autorizações e encomendas, visando reduzir a variabilidade e os desperdícios no processo.

Para avaliar a eficácia das propostas, foram realizados testes de simulação que replicaram o ambiente operacional da empresa. As simulações demonstraram que a implementação das soluções sugeridas pode reduzir significativamente os tempos de processamento de requisições, melhorar a precisão e a velocidade das comunicações

internas e aumentar a eficiência geral do processo de compras. Concretamente, os resultados das simulações indicaram uma redução nos tempos de ciclo em até 30% e uma diminuição significativa nos atrasos e erros de processamento.

Além dos benefícios operacionais, foi realizada uma análise de viabilidade económica para assegurar que as propostas são financeiramente sustentáveis. Utilizando indicadores financeiros como o Valor Atual Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), a análise revelou um retorno positivo sobre o investimento inicial. O VAL apresentou-se positivo em todos os cenários considerados, enquanto a TIR superou as expectativas mínimas de retorno, justificando economicamente a implementação das melhorias.

Em resumo, os principais achados da dissertação confirmam que a digitalização dos processos de gestão de requisições e compras, aliada à implementação de metodologias *Lean*, pode proporcionar ganhos significativos de eficiência e eficácia. A análise demonstrou não só a viabilidade operacional das propostas, mas também a sua sustentabilidade económica, indicando um claro retorno sobre o investimento. Estas melhorias têm o potencial de transformar a forma como a empresa gere as suas requisições e compras, criando um ambiente mais ágil, integrado e eficiente.

7.2 Impacto na Empresa e Contribuições da Investigação

A implementação das melhorias propostas terá um impacto significativo na eficiência e eficácia do processo de gestão de requisições e compras da empresa. Ao abordar os principais gargalos e ineficiências identificados, a empresa poderá otimizar o seu fluxo de trabalho, reduzir tempos de processamento e melhorar a precisão das operações.

A digitalização do processo de gestão de requisições, através da introdução de um sistema de gestão eletrónico, permitirá um acompanhamento em tempo real de cada etapa, desde a submissão até a aprovação e compra. Isso não apenas agilizará o processo, mas também reduzirá a ocorrência de erros humanos e aumentará a transparência, permitindo uma melhor rastreabilidade das requisições. Com a automatização de tarefas repetitivas e a eliminação de papelada, os funcionários poderão concentrar-se em atividades mais estratégicas, aumentando a produtividade e a satisfação no trabalho.

A implementação das práticas *Lean* contribuirá ainda mais para a melhoria contínua dos processos internos. Ao padronizar procedimentos e utilizar sistemas *pull*, a empresa poderá reduzir a variabilidade nos tempos de processamento e minimizar desperdícios, tais como o excesso de *stock* e o tempo ocioso. A prática de utilizar horários fixos para

autorizações e encomendas introduzirá uma disciplina adicional no processo, garantindo que as requisições sejam tratadas de maneira consistente e oportuna.

Estas melhorias promoverão uma cultura de inovação e eficiência contínua, vital para a competitividade da empresa no mercado atual. A integração dos processos de gestão de requisições com outras áreas da empresa, facilitada pela digitalização, resultará em operações mais coesas e eficientes. A sinergia entre departamentos será fortalecida, permitindo uma comunicação mais eficaz e uma melhor coordenação das atividades, o que é essencial para a execução bem-sucedida de projetos e operações diárias.

As contribuições desta pesquisa são significativas tanto a nível profissional como a nível académico. Ao fornecer um estudo de caso detalhado sobre a otimização do processo de gestão de requisições e compras, a dissertação oferece *insights* valiosos e propostas concretas que podem ser adaptadas por outras empresas que estejam a enfrentar desafios semelhantes. As metodologias e ferramentas utilizadas, como o mapeamento de fluxo de valor e a análise de viabilidade económica, podem servir de modelo para outros estudos e aplicações práticas.

Além disso, a pesquisa contribui para o corpo teórico existente ao explorar a interseção entre digitalização, práticas *Lean* e gestão de compras. A combinação destas abordagens proporciona uma nova perspetiva sobre a eficiência operacional e a inovação, destacando a importância de uma abordagem integrada e baseada em dados para a otimização de processos empresariais.

Os resultados obtidos nesta dissertação podem inspirar futuras investigações académicas e aplicações práticas, incentivando empresas e investigadores a explorar novas oportunidades de melhoria e inovação. A digitalização e a adoção de metodologias modernas são fundamentais para a evolução contínua das práticas empresariais, e este estudo reforça a necessidade de uma abordagem proativa e sistemática para alcançar a excelência operacional.

7.3 Recomendações e Considerações Finais

Para futuras investigações, recomenda-se explorar as melhorias propostas em diferentes contextos empresariais, integrando tecnologias emergentes como inteligência artificial (IA) e *machine learning* (ML). Estas tecnologias podem automatizar processos, prever necessidades futuras e identificar padrões de consumo que não são visíveis através de métodos tradicionais.

Além disso, é fundamental realizar uma análise do impacto a longo prazo das melhorias implementadas para garantir a sustentabilidade e eficácia contínua. O desenvolvimento

de novos modelos de simulação, como o método Monte Carlo, pode ajudar a prever resultados com maior precisão e adaptar as propostas a diferentes cenários empresariais.

Uma abordagem holística é essencial, incluindo a formação contínua dos colaboradores. A implementação de práticas *Lean* e a digitalização de processos requerem não só mudanças tecnológicas, mas também uma transformação cultural na organização. Investir em programas de formação que capacitem os funcionários a utilizar novas ferramentas e metodologias é vital para o sucesso a longo prazo.

Recomenda-se também a criação de uma equipa dedicada à gestão da mudança, composta por membros de diferentes departamentos. Esta equipa deve ser responsável por monitorizar os progressos, resolver problemas emergentes e ajustar estratégias conforme necessário. A comunicação eficaz e a colaboração entre departamentos são fundamentais para garantir que as mudanças sejam compreendidas e adotadas por todos.

Por fim, é importante continuar a avaliar e divulgar os resultados das melhorias implementadas. Publicações em conferências e revistas académicas aumentam a visibilidade da pesquisa e permitem o intercâmbio de conhecimentos e experiências com outros profissionais e pesquisadores na área. Este *feedback* é valioso para refinar ainda mais as abordagens e encontrar novas oportunidades de melhoria.

Referências bibliográficas

- Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816680>
- Bebersdorf, P., & Huchzermeier, A. (2022). Heijunka: Fast like a Tortoise. Em P. Bebersdorf & A. Huchzermeier (Eds.), *Variable Takt Principle: Mastering Variance with Limitless Product Individualization* (pp. 69–90). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87170-3_3
- Binder, K. (Ed.). (1995). *The Monte Carlo Method in Condensed Matter Physics* (Vol. 71). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-60174-0>
- Boyle, P. P. (1977). Options: A Monte Carlo approach. *Journal of Financial Economics*, 4(3), 323–338. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(77\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0304-405X(77)90005-8)
- Brandimarte, P., & St, C. (2022). *Handbook in Monte Carlo Simulation Applications in Financial Engineering, Risk Management, and Economics*.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., Allen, F., & Edmans, A. (2023). *Principles of corporate finance* (14. Auflage). McGraw Hill.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies* (First Edition). W. W. Norton & Company.
- Caldas Pinto, J. R. (2021). *Tecnologias de Automação na Indústria 4.0*. Lidel. <https://m.lidel.pt/pt/catalogo/engenharia-gestao-industrial-ciencias-da-terra/automacao/tecnologias-de-automacao-na-industria-4-0/>
- Chandler, A. D. (1977). *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjghwrj>
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian

- SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), Artigo 3.
<https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0135>
- Cremer, F., Sheehan, B., Fortmann, M., Kia, A. N., Mullins, M., Murphy, F., & Materne, S. (2022). Cyber risk and cybersecurity: A systematic review of data availability. *The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice*, 47(3), 698–736.
<https://doi.org/10.1057/s41288-022-00266-6>
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Dennis, P. (2008). *Produção Lean Simplificada*. Bookman.
- devteam. (2004, dezembro 7). A Lean Walk Through History. *Lean Enterprise Institute*. Consultado a 16 de abril de 2024, de: <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/a-lean-walk-through-history/>
- Fishman, G. S. (1996). *Monte Carlo*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2553-7>
- Gunal, M. M., & Karatas, M. (2019). Industry 4.0, Digitisation in Manufacturing, and Simulation: A Review of the Literature. Em M. M. Gunal (Ed.), *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future* (pp. 19–37). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3_2
- Helmold, M. (2020). *Lean Management and Kaizen: Fundamentals from Cases and Examples in Operations and Supply Chain Management*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46981-8>
- Hounshell, D. (1984). *From the American System to Mass Production, 1800-1932*. Johns Hopkins University Press. <https://doi.org/10.56021/9780801829758>

- Ibbotson, R., & Kaplan, P. (2001). Does Asset Allocation Policy Explain 40, 90, 100 Percent of Performance? *Yale School of Management, Yale School of Management Working Papers*, 56. <https://doi.org/10.2469/faj.v56.n1.2327>
- Kjellsen, H. S., Ramillon, Q. J. L., Dreyer, H. C., & Powell, D. J. (2021). Heijunka 4.0 – Key Enabling Technologies for Production Levelling in the Process Industry. Em A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. von Cieminski, & D. Romero (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems* (pp. 704–711). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_77
- Kroese, D. P., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2013). *Handbook of Monte Carlo Methods*. John Wiley & Sons.
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: A review. *Journal of Big Data*, 6(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lefley, F. (1996). The payback method of investment appraisal: A review and synthesis. *International Journal of Production Economics*, 44(3), 207–224. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(96\)00022-9](https://doi.org/10.1016/0925-5273(96)00022-9)
- Long, Z., Yan, H., Shen, G., Zhang, X., He, H., & Cheng, L. (2024). A Transformer-based network intrusion detection approach for cloud security. *Journal of Cloud Computing*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00574-9>
- Lufkin, D. (2015). *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 using CoDeSys by Dag Håkon Hanssen translated from the Norwegian by Dan Lufkin*.

Machado, I. M. (2023). *APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DO LEAN MANUFACTURING NO SETOR DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL EM UMA EMPRESA SUCROENERGETICA*. 25.

Magni, C. A. (2020). *Investment decisions and the logic of valuation: Linking finance, accounting, and engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27662-1>

Meadows, D. H. (2009). *Thinking in systems: A primer*. Earthscan.

Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo Method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335–341. <https://doi.org/10.1080/01621459.1949.10483310>

Mokyr, J. (1990). *The lever of riches: Technological creativity and economic progress*. Oxford university press.

Mun, J. (2006). *Modeling risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques*. John Wiley & Sons.

Odebrecht de Souza, R., Ferenhof, H., & Forcellini, F. (2022). Industry 4.0 and Industry 5.0 from the Lean perspective. *International Journal of Management, Knowledge and Learning*, 11. <https://doi.org/10.53615/2232-5697.11.145-155>

Panchak, P. (2022a, agosto 18). Jim Womack Explains the Origins—And Value—Of Value-Stream Mapping. *Lean Enterprise Institute*. Consultado a 20 de julho de 2024 de: <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/jim-womack-explains-the-origins-and-value-of-value-stream-mapping/>

Panchak, P. (2022b, agosto 25). Understanding the Fundamentals of Value-Stream Mapping. *Lean Enterprise Institute*. Consultado a 20 de julho de 2024 de: <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/understanding-the-fundamentals-of-value-stream-mapping/>

Pereira, W. A., & Almeida, L. da S. (2008). *MÉTODO MANUAL PARA CÁLCULO DA TAXA INTERNA DE RETORNO*.

Portal do INE. (2024, janeiro 11). Consultado a 26 de maio de 2024 de: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaquas&DESTAQUE_Sdest_boui=594740968&DESTAQUESmodo=2

Rockwell Automation. (2024). Rockwell Automation. Consultado a 28 de junho de 2024 de: <https://www.rockwellautomation.com/en-us.html>

Romero, L. F., & Arce, A. (2017). Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 1075–1086. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.385>

Ross, S. A., Westerfield, R., Jaffe, J. F., & Jordan, B. D. (com Shue, K.). (2022). *Corporate finance* (Thirteenth edition, international student edition). McGraw Hill.

Sagiroglu, S., & Sinanc, D. (2013). Big data: A review. *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567202>

Saltelli, A. (Ed.). (2008). *Global sensitivity analysis: The primer*. Wiley.

Santos, T. de O. (2023, setembro 20). *Aplicação do Kaizen associado aos ciclos PDCA/SDCA e ao mapeamento de processos BPMN para obter melhoria contínua de um processo crítico em uma empresa do setor elétrico*. [bachelorThesis]. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/52990>

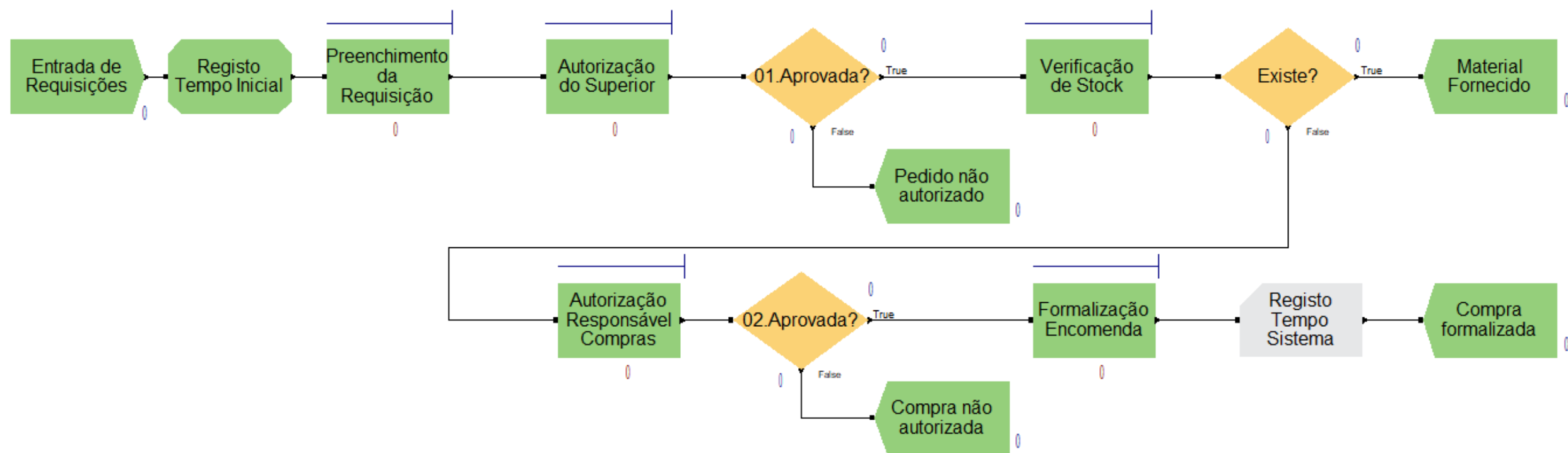
Sarirete, A., Balfagih, Z., Brahim, T., Lytras, M. D., & Visvizi, A. (2022). Artificial intelligence and machine learning research: Towards digital transformation at a global scale. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13(7), 3319–3321. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03168-y>

Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution* (First U.S. edition). Crown Business.

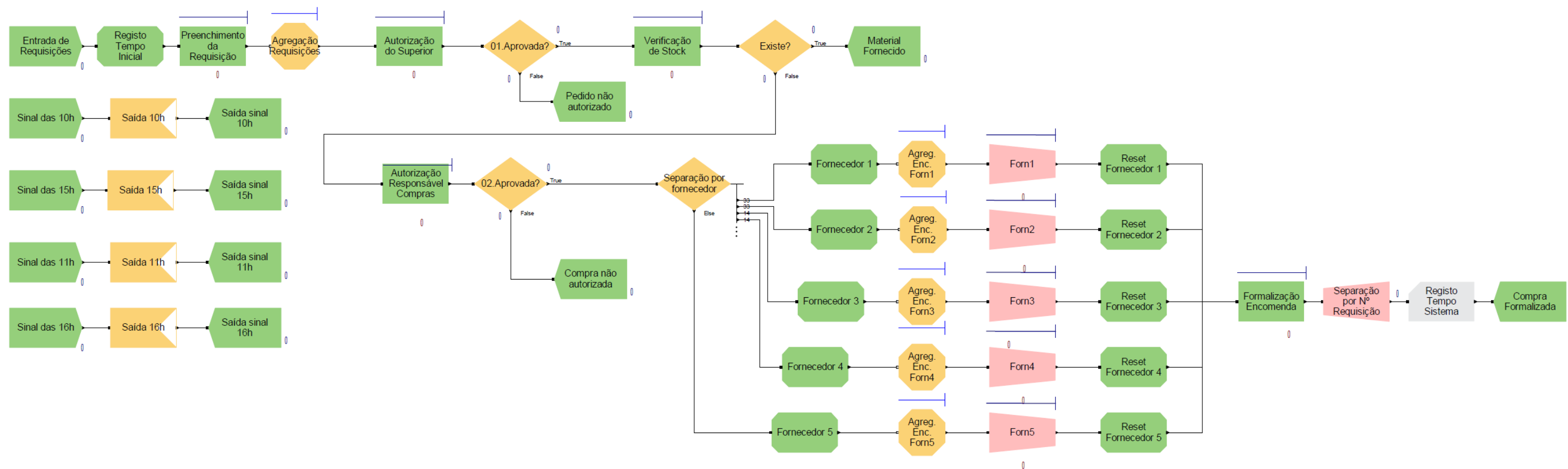
- Shou, T. (2022). *A Literature Review on the Net Present Value (NPV) Valuation Method: 2022 2nd International Conference on Enterprise Management and Economic Development (ICEMED 2022)*, Dalian, China. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220603.135>
- Suarez-Barraza, M. F., Miguel-Dávila, J. A., & Morales Contreras, M. F. (2022). KAIZEN: An Ancestral Strategy for Operational Improvement: Literature Review and Trends. Em A. Hamrol, M. Grabowska, & D. Maletič (Eds.), *Advances in Manufacturing III* (pp. 154–168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-00218-2_13
- Taghavi, V., & Beauregard, Y. (2020). *The Relationship between Lean and Industry 4.0: Literature Review*. 13.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2022). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-57870-5>
- What is Value Stream Mapping*. (2024). Lucidchart. Consultado a 8 de agosto de 2024 em: <https://www.lucidchart.com/pages/value-stream-mapping>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2010). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon and Schuster.
- Zarzycka, E., Dobroszek, J., Lepistö, L., & Moilanen, S. (2019). Coexistence of innovation and standardization: Evidence from the lean environment of business process outsourcing. *Journal of Management Control*, 30(3), 251–286. <https://doi.org/10.1007/s00187-019-00284-x>

Anexos

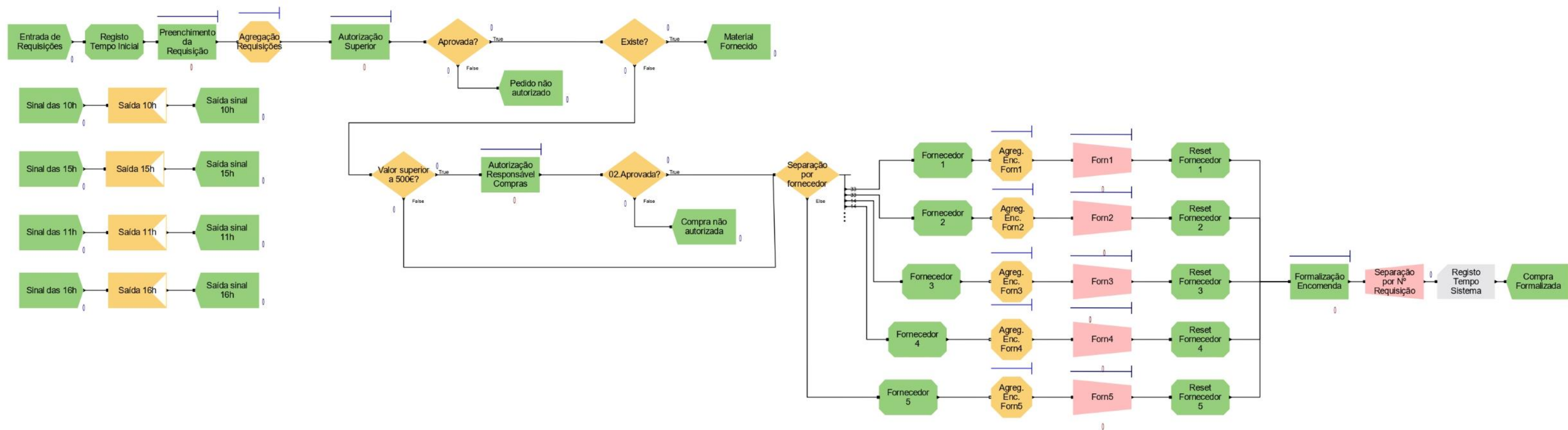
Anexo 1 – Modelação processo atual



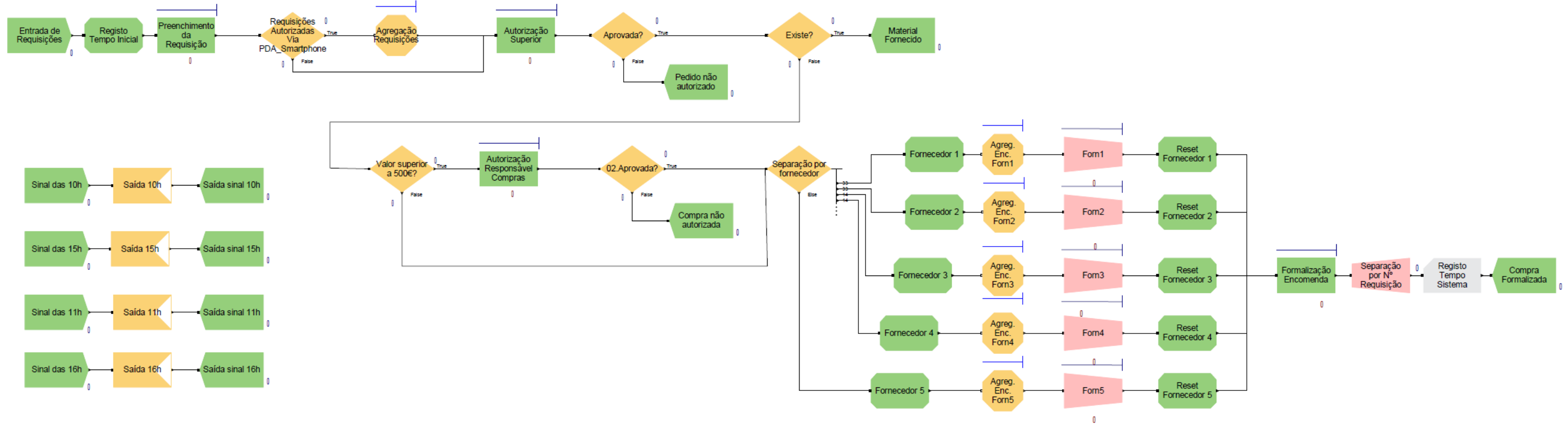
Anexo 2 – Modelação da 1ª Iteração de melhoria



Anexo 3 – Modelação da 2ª Iteração de melhoria



Anexo 4 – Modelação da 3ª Iteração de melhoria



Anexo 5 – Parametrização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (2ª Iteração)

| SIMULAÇÃO MONTE CARLO | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Pretende-se determinar os custos esperados para a implementação da segunda hipótese de melhoria no processo de compras da Empresa | | | | | | | | | | | | |
| Variáveis a considerar: | | | | | | | | | | | | |
| Custos de Formação: | | | | | | | | | | | | |
| valor min | 1 500,00 € | dist. Triangular | | | | | | | | | | |
| valor provavel | 3 000,00 € | | | | | | | | | | | |
| valor max | 5 000,00 € | | | | | | | | | | | |
| Licenças a adquirir: | | | | | | | | | | | | |
| num min | 8 | dist. Triangular | | | | | | | | | | |
| num provavel | 10 | | | | | | | | | | | |
| num max | 15 | | | | | | | | | | | |
| Custo p/licença: | 210,00 € | | | | | | | | | | | |
| | | Esperado | Monte Carlo | | | | | | | | | |
| Custos Form | 3 000,00 € | 2 934,20 € | | | | | | | | | | |
| Num Licenças | 10 | 11 | | | | | | | | | | |
| Custo Annual Licenças | 2 100,00 € | 2 310,00 € | | | | | | | | | | |
| Taxa retorno | 0,045 | 0,064 | | | | | | | | | | |
| Lucro empresa: 750 000,00 € -> valor para processo com 82,25% eficiência | | | | | | | | | | | | |
| Eficácia Hipótese 2: 0,9338 | | | | | | | | | | | | |
| Distribuições Estatísticas de input | | | | | | | | | | | | |
| Triangular Formação | Min | valor + provavel | Max | variavel C | Random | | | | | | | |
| | 1 500,00 € | 3 000,00 € | 5 000,00 € | 0,428571429 | 0,39179613 | | | | | | | |
| Triangular Licenças | Min | valor + provavel | Max | variavel C | Random | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 15 | 0,285714286 | 0,55765166 | | | | | | | |
| Triangular Taxa Retorno | Min | valor + provavel | Max | variavel C | Random | | | | | | | |
| | 0,02 | 0,045 | 0,07 | 0,5 | 0,9671616 | | | | | | | |
| % das obras | | | | | | | | | | | | |
| lucro dividido em percentagens: 60% 0,6 -> 450 000,00 € | | | | | | | | | | | | |
| % dos materiais | | | | | | | | | | | | |
| cenário pessimista 25% 0,25 15 223,40 € | | | | | | | | | | | | |
| cenário mais provavel 30% 0,3 18 268,08 € | | | | | | | | | | | | |
| cenário optimista 35% 0,35 21 312,77 € | | | | | | | | | | | | |
| CENÁRIO PESSIMISTA | | | | | | | | | | | | |
| n: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | |
| ganhos: | 15 223,40 € | 15 223,40 € | 15 223,40 € | 15 223,40 € | 15 223,40 € | | | | | | | |
| custos: | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | | | | | | | |
| cash-flow: | 12913,4 | 12913,4 | 12913,4 | 12913,4 | 12913,4 | | | | | | | |
| CENÁRIO PROVÁVEL | | | | | | | | | | | | |
| n: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | |
| ganhos: | 18 268,08 € | 18 268,08 € | 18 268,08 € | 18 268,08 € | 18 268,08 € | | | | | | | |
| custos: | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | | | | | | | |
| cash-flow: | 15958,08 | 15958,08 | 15958,08 | 15958,08 | 15958,08 | | | | | | | |
| CENÁRIO OTIMISTA | | | | | | | | | | | | |
| n: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | |
| ganhos: | 21 312,77 € | 21 312,77 € | 21 312,77 € | 21 312,77 € | 21 312,77 € | | | | | | | |
| custos: | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | 2 310,00 € | | | | | | | |
| cash-flow: | 19002,77 | 19002,77 | 19002,77 | 19002,77 | 19002,77 | | | | | | | |
| Resultados Monte Carlo | | | | | | | | | | | | |
| Iteração | Custo Total | Nº de iterações | 10 000 | | | | | | | | | |
| 1 | 56 153,30 € | Média | 53 551,88 € | | | | | | | | | |
| 2 | 50 368,96 € | Desvio Padrão | 2 257,87 € | | | | | | | | | |
| 3 | 55 565,67 € | | | | | | | | | | | |
| 4 | 56 025,30 € | | | | | | | | | | | |
| 5 | 53 024,59 € | | | | | | | | | | | |
| 6 | 53 815,15 € | | | | | | | | | | | |
| 7 | 51 126,18 € | | | | | | | | | | | |
| 8 | 52 388,95 € | | | | | | | | | | | |
| 9 | 52 032,00 € | | | | | | | | | | | |
| 10 | 54 179,21 € | | | | | | | | | | | |
| 11 | 53 478,10 € | | | | | | | | | | | |
| 12 | 52 366,35 € | | | | | | | | | | | |
| 13 | 56 140,93 € | | | | | | | | | | | |
| 14 | 52 007,37 € | | | | | | | | | | | |
| 15 | 54 788,28 € | | | | | | | | | | | |
| 16 | 55 412,08 € | | | | | | | | | | | |
| 17 | 56 358,52 € | | | | | | | | | | | |
| 18 | 53 155,85 € | | | | | | | | | | | |
| 19 | 50 825,53 € | | | | | | | | | | | |
| 20 | 53 966,08 € | | | | | | | | | | | |
| 21 | 51 611,33 € | | | | | | | | | | | |
| 22 | 50 334,65 € | | | | | | | | | | | |
| 23 | 50 038,32 € | | | | | | | | | | | |
| 24 | 55 448,76 € | | | | | | | | | | | |
| 25 | 53 782,15 € | | | | | | | | | | | |
| 26 | 53 717,32 € | | | | | | | | | | | |
| 27 | 54 953,27 € | | | | | | | | | | | |
| 28 | 54 890,75 € | | | | | | | | | | | |
| 29 | 51 561,48 € | | | | | | | | | | | |
| 30 | 52 329,75 € | | | | | | | | | | | |
| 31 | 54 855,82 € | | | | | | | | | | | |
| 32 | 53 701,05 € | | | | | | | | | | | |
| 33 | 51 800,04 € | | | | | | | | | | | |
| 34 | 60 223,75 € | | | | | | | | | | | |
| 35 | 49 877,29 € | | | | | | | | | | | |
| 36 | 55 704,18 € | | | | | | | | | | | |
| 37 | 53 609,98 € | | | | | | | | | | | |
| 38 | 50 239,60 € | | | | | | | | | | | |
| 39 | 54 139,98 € | | | | | | | | | | | |
| 40 | 52 623,91 € | | | | | | | | | | | |
| 41 | 53 076,85 € | | | | | | | | | | | |
| 42 | 52 882,45 € | | | | | | | | | | | |
| 43 | 51 196,59 € | | | | | | | | | | | |
| 44 | 50 861,30 € | | | | | | | | | | | |
| Distribuição normal dos custos: | | | | | | | | | | | | |
| pessimista | | | | | | | | | | | | |
| Sub MonteCarloSimPessimista() | | | | | | | | | | | | |
| For iteration = 1 To 10000 | | | | | | | | | | | | |
| Cells(34, 3) = 10000 - iteration | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 2) = Cells(37, 19) | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 1) = iteration | | | | | | | | | | | | |
| Next iteration | | | | | | | | | | | | |
| End Sub | | | | | | | | | | | | |
| provável | | | | | | | | | | | | |
| Sub MonteCarloSimProvavel() | | | | | | | | | | | | |
| For iteration = 1 To 10000 | | | | | | | | | | | | |
| Cells(34, 3) = 10000 - iteration | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 2) = Cells(43, 19) | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 1) = iteration | | | | | | | | | | | | |
| Next iteration | | | | | | | | | | | | |
| End Sub | | | | | | | | | | | | |
| otimista | | | | | | | | | | | | |
| Sub MonteCarloSimOptimista() | | | | | | | | | | | | |
| For iteration = 1 To 10000 | | | | | | | | | | | | |
| Cells(34, 3) = 10000 - iteration | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 2) = Cells(49, 19) | | | | | | | | | | | | |
| Cells(36 + iteration, 1) = iteration | | | | | | | | | | | | |
| Next iteration | | | | | | | | | | | | |
| End Sub | | | | | | | | | | | | |
| VAL | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 9989 | 50 857,56 € | 8,68962E-05 | | | | | | | | | | |
| 9990 | 57 030,76 € | 5,3914E-05 | | | | | | | | | | |
| 9991 | 53 753,37 € | 0,000175988 | | | | | | | | | | |
| 9992 | 52 532,96 € | 0,000159584 | | | | | | | | | | |
| 9993 | 52 124,60 € | 0,000144691 | | | | | | | | | | |
| 9994 | 51 823,43 € | 0,000131813 | | | | | | | | | | |
| 9995 | 54 268,90 € | 0,000168001 | | | | | | | | | | |
| 9996 | 54 533,19 € | 0,000160766 | | | | | | | | | | |
| 9997 | 56 595,30 € | 7,12326E-05 | | | | | | | | | | |
| 9998 | 54 684,94 € | 0,000155785 | | | | | | | | | | |
| 9999 | 52 469,20 € | 0,000157501 | | | | | | | | | | |
| 10000 | 52 400,15 € | 0,000155135 | | | | | | | | | | |

Anexo 6 – Parametrização folha de cálculo para simulação Monte Carlo (3ª Iteração)

SIMULAÇÃO MONTE CARLO

Pretende-se determinar os custos esperados para a implementação da segunda hipótese de melhoria no processo de compras da Empresa

Variáveis a considerar:

| Custos Iniciais: | | |
|------------------|-------------|------------------|
| valor min | 9 000,00 € | dist. Triangular |
| valor provável | 11 000,00 € | |
| valor max | 13 000,00 € | |

| Licenças a adquirir: | | |
|----------------------|----|------------------|
| num min | 8 | dist. Triangular |
| num provável | 10 | |
| num max | 15 | |

Custo p/licença: 210,00 €

| | Esperado | Monte Carlo |
|----------------------|------------|-------------|
| Custos Iniciais | 3 000,00 € | 9 999,27 € |
| Num Licenças | 10 | 13 |
| Custo Anual Licenças | 2 100,00 € | 2 730,00 € |
| Taxa retorno | 0,045 € | 0,034 |

Lucro empresa: 750 000,00 € -> valor para processo com 82,25% eficiência

Lucro dividido em percentagens: % das obras 60% 0,6 -> 450 000,00 €

Eficiência Hipótese 2: 0,966

Cenário Pessimista Cenário Provável Cenário Optimista

| | % dos materiais | | Ganhos | |
|-----------------------|-----------------|------|-------------|--|
| cenário pessimista | 25% | 0,25 | 19 627,66 € | |
| cenário mais provável | 30% | 0,3 | 23 553,19 € | |
| cenário optimista | 35% | 0,35 | 27 478,72 € | |

| Resultados Monte Carlo | | Sumário da simulação | |
|------------------------|--------------|----------------------|-------------|
| Iteração | Custo Total | Nº de iterações | 10 000 |
| 1 | 95 166,70 € | Média | 99 527,01 € |
| 2 | 96 532,49 € | Desvio Padrão | 3 527,40 € |
| 3 | 101 343,51 € | | |
| 4 | 96 640,44 € | | |
| 5 | 95 141,23 € | | |
| 6 | 96 866,79 € | | |
| 7 | 97 356,46 € | | |
| 8 | 105 319,20 € | | |
| 9 | 94 787,90 € | | |
| 10 | 103 497,76 € | | |
| 11 | 99 233,28 € | | |
| 12 | 96 012,86 € | | |
| 13 | 98 818,46 € | | |
| 14 | 100 623,39 € | | |
| 15 | 94 010,13 € | | |
| 16 | 102 775,02 € | | |
| 17 | 100 535,04 € | | |
| 18 | 97 674,86 € | | |
| 19 | 100 570,03 € | | |
| 20 | 99 561,94 € | | |
| 21 | 96 263,31 € | | |
| 22 | 95 471,59 € | | |
| 23 | 99 806,24 € | | |
| 24 | 97 546,89 € | | |
| 25 | 103 691,70 € | | |
| 26 | 103 406,87 € | | |
| 27 | 98 792,12 € | | |
| 28 | 91 428,52 € | | |
| 29 | 94 754,07 € | | |
| 30 | 96 928,29 € | | |
| 31 | 104 155,86 € | | |
| 32 | 100 802,38 € | | |
| 33 | 99 196,50 € | | |
| 34 | 102 122,51 € | | |
| 35 | 100 679,54 € | | |
| 36 | 92 935,72 € | | |
| 37 | 97 661,72 € | | |

Distribuição normal dos custos:

5,26809E-05
7,88789E-05
9,90534E-05
8,0917E-05
5,22114E-05
8,51042E-05
9,35909E-05
2,93732E-05
4,58668E-05
6,00195E-05
0,000112707
6,8855E-05
0,000110839
0,000107765
3,32879E-05
7,40192E-05
0,000108573
9,85341E-05
0,00010826
0,000113093
7,37158E-05
5,84027E-05
0,000112744
9,66114E-05
5,63321E-05
6,17653E-05
0,00011067
8,10696E-06
4,52775E-05
8,62175E-05
4,78107E-05
0,000105942
0,000112603
8,62757E-05
0,000107219
1,97357E-05
9,83409E-05

| CENÁRIO PESSIMISTA | | | | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| n: | 1 | 2 | 3 | 5 |
| ganhos: | 19 627,66 € | 19 627,66 € | 19 627,66 € | 19 627,66 € |
| custos: | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € |
| cash-flow: | 16897,65957 | 16897,65957 | 16897,6596 | 16897,65957 |

| CENÁRIO PROVÁVEL | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| n: | 1 | 2 | 3 | 5 |
| ganhos: | 23 553,19 € | 23 553,19 € | 23 553,19 € | 23 553,19 € |
| custos: | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € |
| cash-flow: | 20823,19149 | 20823,19149 | 20823,1915 | 20823,19149 |

| CENÁRIO OTIMISTA | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| n: | 1 | 2 | 3 | 5 |
| ganhos: | 27 478,72 € | 27 478,72 € | 27 478,72 € | 27 478,72 € |
| custos: | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € | 2 730,00 € |
| cash-flow: | 24748,7234 | 24748,7234 | 24748,7234 | 24748,7234 |

| | | |
|-------|-------|--------------|
| 10015 | 9979 | 93 699,96 € |
| 10016 | 9980 | 100 694,95 € |
| 10017 | 9981 | 97 299,57 € |
| 10018 | 9982 | 94 993,94 € |
| 10019 | 9983 | 93 830,02 € |
| 10020 | 9984 | 104 130,66 € |
| 10021 | 9985 | 94 313,83 € |
| 10022 | 9986 | 96 839,55 € |
| 10023 | 9987 | 98 818,73 € |
| 10024 | 9988 | 98 407,60 € |
| 10025 | 9989 | 96 833,97 € |
| 10026 | 9990 | 104 212,30 € |
| 10027 | 9991 | 104 201,05 € |
| 10028 | 9992 | 103 597,13 € |
| 10029 | 9993 | 96 210,97 € |
| 10030 | 9994 | 98 821,37 € |
| 10031 | 9995 | 102 778,55 € |
| 10032 | 9996 | 105 920,62 € |
| 10033 | 9997 | 102 625,15 € |
| 10034 | 9998 | 101 343,13 € |
| 10035 | 9999 | 101 249,17 € |
| 10036 | 10000 | 92 821,69 € |

| |
|-------------|
| 2,88989E-05 |
| 0,000107065 |
| 9,26546E-05 |
| 4,95267E-05 |
| 3,0693E-05 |
| 4,82598E-05 |
| 3,79453E-05 |
| 8,46075E-05 |
| 0,000110841 |
| 0,000107544 |
| 8,45056E-05 |
| 4,68113E-05 |
| 4,70098E-05 |
| 5,81229E-05 |
| 7,27028E-05 |
| 0,000110858 |
| 7,39509E-05 |
| 2,18801E-05 |
| 7,69029E-05 |
| 9,90588E-05 |
| 0,000100391 |
| 1,85691E-05 |