



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

José Luís Leitão de Matos

**Análise e melhoria de fluxos em operações
intralogísticas de retalho através da
aplicação de conceitos Lean e simulação
discreta**

Janeiro de 2025



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

José Luís Leitão de Matos

Análise e melhoria de fluxos em operações intralogísticas de retalho através da aplicação de conceitos Lean e simulação discreta

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de Operações

Ramo de Especialização em Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Bruno Samuel Ferreira Gonçalves
Professor Doutor Rui Manuel de Sá Pereira de Lima

Janeiro de 2025

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

"Enjoy the butterflies, enjoy being naïve.

Enjoy the nerves, the pressure, people not knowing your name.

Enjoy the process of making a name for yourself, getting faster and faster with each lap and meeting some great people along the way.

Bring friends along. Bring family along. Don't assume they'll be a distraction.

Don't be afraid to surround yourself with people you care about and love."

- Daniel Ricciardo

Ao meu orientador, Professor Doutor Bruno Gonçalves, pela dedicação, honestidade e paciência. Agradeço pela partilha de conhecimento crucial ao desenvolvimento deste projeto, pelo apoio e pelo envolvimento constante que permitiram ultrapassar sucessivas barreiras.

Ao meu orientador, Professor Doutor Rui Lima, pela disponibilidade e por ter tornado possível a concretização deste projeto. Agradeço pela seriedade e sabedoria partilhada ao longo do mesmo.

Aos membros das equipas de Gestão Industrial e de Ergonomia e Fatores Humanos do projeto Smart Retail, pelo companheirismo e reconhecimento de todo o esforço colocado neste projeto. Um obrigado especial ao Luís e à Mariana, pelas boas memórias criadas e apoio incondicional, e à Elisa por todas as lições de vida, pela honestidade e compreensão nos bons e maus momentos.

À Maria, por me ouvir e me apoiar de forma incansável, por nunca deixar de acreditar em mim e por fazer parte de todas as minhas conquistas.

Aos meus pais, por todo o carinho, apoio e especial compreensão nos momentos mais difíceis.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Análise e melhoria de fluxos em operações intralogísticas de retalho através da aplicação de conceitos Lean e simulação discreta

RESUMO

No contexto atual de crescente competitividade e clientes cada vez mais exigentes, o setor de retalho apresenta cada vez mais preocupações relativamente à eficiência das suas operações. Para além disso, este é um setor que tem como base um conjunto de atividades intralogísticas de elevado esforço físico. Assim, este projeto surgiu com o intuito de analisar e melhorar o desempenho operacional e ergonómico das atividades desde a receção até à reposição de produtos na loja Continente Modelo de Paredes e desenvolver propostas de melhoria em ambos os eixos, aplicando conceitos *Lean* e técnicas de simulação discreta.

A investigação teve por base a metodologia “*Action-Research*” e foi suportada com dados referentes às atividades realizadas na retaguarda e no espaço comercial da loja. Realizaram-se recolhas de dados que foram submetidos a tratamento analítico, garantindo a parametrização precisa das diferentes atividades em estudo. Partindo desta base, construiu-se um modelo de simulação representativo do modo de operação atual, recorrendo ao *software Simio*. Utilizando os princípios inerentes à filosofia Lean e à ergonomia, foram desenvolvidos cenários alternativos, com o objetivo de avaliar a viabilidade de implementação de diferentes soluções tanto a nível operacional quanto ergonómico.

Os resultados do modelo sublinham a relevância da filosofia *Lean* na definição de sistemas eficazes. A redução do tamanho dos lotes de trabalho resultou na redução do tempo de atravessamento do produto em cerca de 81,1% e do WIP da zona de retaguarda em cerca de 84,9%. Para além disso, esta solução mostrou-se capaz de formar um sistema com potencial ergonómico quando integrada com outros equipamentos. O estado atual caracteriza-se pelos índices de Mital e NIOSH superiores a 1, demonstrando a exigência física deste sistema. A integração de várias soluções propostas mostrou-se capaz de reduzir estes índices para condições ideais de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência operacional, Lean, Ergonomia, Simulação, Retalho

Analysis and improvement of flows in retail intralogistics operations through the application of Lean concepts and discrete-event simulation

ABSTRACT

In the current context of growing competitiveness and more demanding customers, the retail sector is increasingly concerned about the efficiency of its operations. In addition, this is a sector that relies on a set of intralogistics activities that require a lot of physical effort. Therefore, this project was designed to analyze and improve the operational and ergonomic performance of activities from product reception to replenishment at the Continente Modelo store in Paredes and to develop proposals for improvement in both aspects, applying Lean concepts and discrete-event simulation techniques.

The research was based on “Action-Research” methodology and was supported by data relating to the activities carried out in the store's warehouse and commercial space. Data was collected and submitted to analytical treatment, ensuring accurate parameterization of the different activities under study. On this basis, a simulation model representing the current operating mode was built using Simio software. Using the principles inherent in the Lean philosophy and ergonomics, alternative scenarios were developed with the aim of assessing the viability of implementing alternative solutions at both operational and ergonomic levels.

The results of the model underline the relevance of the Lean philosophy in defining efficient systems. Reducing the size of work batches resulted in a reduction in product throughput time of around 81.1% and in the WIP of the warehouse area of around 84.9%. In addition, this solution proved to be capable of producing a system with ergonomic potential when integrated with other equipment. The current state is characterized by Mital and NIOSH indexes greater than 1, demonstrating the physical demand of this system. The integration of several proposed solutions proved capable of reducing these levels to ideal working conditions.

KEYWORDS

Operational efficiency, Lean, Ergonomics, Simulation, Retail

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xvi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xviii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	4
2. Enquadramento Teórico.....	5
2.1 Sistema de Produção Toyota.....	5
2.1.1 Casa do Sistema de Produção Toyota.....	6
2.1.2 <i>Lean Thinking</i>	7
2.1.3 Tipos de Desperdícios.....	8
2.2 Conceitos <i>Lean</i> no Retalho.....	9
2.3 Simulação.....	12
2.3.1 Tipos de modelos de simulação.....	13
2.3.2 Simulação Discreta (<i>Discrete-Event Simulation</i> - DES).....	14
2.3.3 Construção de um modelo de simulação discreta.....	14
2.3.4 Software <i>Simio</i>	16
2.4 Ergonomia.....	19
2.4.1 Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT).....	21
2.4.2 NIOSH.....	22
2.4.3 Guia de Mital para Manuseamento Manual de Materiais.....	22
3. Enquadramento do Projeto.....	23

3.1	MC Sonae.....	23
3.2	Modelo Y	25
3.3	Projeto A e Projeto B&C	26
3.4	Loja em estudo	28
3.4.1	Percurso dos produtos dentro da loja	28
3.4.2	Planta e organização intralogística do Continente Modelo de Paredes	29
3.4.3	Caracterização das operações e fluxos da loja	30
4.	Descrição analítica do processo atual e parametrização do modelo de simulação.....	32
5.	Desenvolvimento e modelação das operações de loja	40
5.1	Modelação das atividades de <i>despicking</i> e manuseamento de materiais	43
5.2	Modelação das atividades de transporte e reposição na loja.....	52
5.3	Modelação de parâmetros para geração de cenários alternativos	62
5.3.1	Modelação do cenário alternativo – Utilização de Carrinho.....	62
5.3.2	Modelação do cenário alternativo - <i>Early Trigger</i>	64
5.3.3	Modelação do cenário alternativo - Fluxo Contínuo.....	65
5.3.4	Modelação do cenário alternativo – Comboio Logístico	67
5.4	Modelação de índices ergonómicos	70
5.4.1	Modelação do Guia de Mital.....	70
5.4.2	Modelação da Equação de NIOSH 91.....	77
5.5	Plano Experimental	86
6.	Interpretação e Discussão dos resultados obtidos e Propostas de melhoria	89
6.1	<i>Framework</i> de Indicadores e Dimensão do Plano Experimental	89
6.2	Discussão de Resultados – Análise Operacional.....	92
6.2.1	Experiência Operacional I – Implementação de um comboio logístico	93
6.2.2	Experiência Operacional II – Variação do tamanho de lote de trabalho (<i>Trigger</i>)	95
6.2.3	Experiência Operacional III – Variação integrada do <i>Trigger</i> e do tamanho do.....	97
	comboio logístico	98
6.2.4	Experiência Operacional IV – Substituição das paletes de reposição por carrinhos.....	99
6.2.5	Experiência Operacional V – Variação do número de colaboradores	100
6.2.6	Experiência Operacional VI – Introdução de um fluxo contínuo.....	102

6.3	Discussão de Resultados – Análise Ergonómica.....	104
6.3.1	Experiência Ergonómica I – Variação do tamanho de lote de trabalho (<i>Trigger</i>).....	105
6.3.2	Experiência Ergonómica II – Substituição das paletes de reposição por carrinhos.....	106
6.3.3	Experiência Ergonómica III – Implementação de um Sistema de Inclinação de Paletes	108
6.3.4	Experiência Ergonómica IV – Variação do tipo de paleta.....	109
6.3.5	Experiência Ergonómica V – Variação percentual do peso dos artigos	110
6.3.6	Experiência Ergonómica VI – Variação percentual do atrito	111
6.3.7	Experiência Operacional VII – Introdução de um fluxo contínuo	113
6.3.8	Experiência Operacional VIII – Integração de parâmetros com potencial ergonómico...	113
6.4	Análise Crítica	114
7.	Conclusão.....	117
7.1	Considerações Finais	117
7.2	Trabalhos e Pesquisas Futuras.....	118
	Referências Bibliográficas	119
	Apêndices	123
	Apêndice 1 – BPMN do processo de descarga	124
	Apêndice 2 – BPMN do processo de <i>despicking</i> (estado inicial)	125
	Apêndice 3 – BPMN do processo completo (estado inicial)	126
	Apêndice 4 – Categorias iniciais de produtos	127
	Apêndice 5 – Processo “Destination_Time_and_Type”	128
	Apêndice 6 – BPMN do processo de <i>despicking</i> (<i>Early Trigger</i>).....	129
	Apêndice 7 – BPMN do Processo Completo (<i>Early Trigger</i>).....	130
	Apêndice 8 – BPMN do processo de <i>despicking</i> (Fluxo Contínuo)	131
	Apêndice 9 – BPMN do processo Completo (Fluxo Contínuo).....	132
	Apêndice 10 – Conjunto de Processos Relativos à Modelação do Cenário Comboio Logístico	133
	Apêndice 11 – Tabelas Mital de Força Inicial para Atividades de Empurrar com 2 mãos	134
	Apêndice 12 – Tabela Mital de Força de Manutenção para Atividades de Empurrar com 2 mãos	136
	Apêndice 13 – Tabelas Mital de Força Inicial para Atividades de Puxar com 2 mãos	138
	Apêndice 14 – Tabela Mital de Força de Manutenção para Atividades de Puxar com 1 mão.....	139
	Apêndice 15 – Tabela de Forças e Coeficientes de Atrito - Paletes	141
	Apêndice 16 – Tabela de Forças e Coeficientes de Atrito – Carrinhos	142

Apêndice 17 – Processo “Param_Mital”	143
Apêndice 18 – Processo “Colunas_Mital”	144
Apêndice 19 – Posição Horizontal e Vertical Inicial de Paletes Mãe.....	145
Apêndice 20 – Posição Horizontal e Vertical Final de Paletes de Reposição	147
Apêndice 21 – Posição Horizontal e Vertical Final de Carrinhos de Reposição.....	148
Apêndice 22– Processo “Tbl_Write_NIOSH_3_1”	149
Apêndice 23 – Processo “Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_1”	150
Apêndice 24 – Processo “Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_2”	151
Apêndice 25 – Processo “Tbl_Write_NIOSH_4”	152
Apêndice 26– Processo “Tbl_Write_NIOSH_5”	153
Apêndice 27 – Processo “Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_1”	154
Apêndice 28– Processo “Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_2”	155
Apêndice 30 – Resultados Gráficos da Variação dos Diferentes Parâmetros da Experiência III	156
Apêndice 31 – Resultados Gráficos da Variação dos Diferentes Parâmetros da Experiência VI	159
Anexos	162
Anexo 1 – Tabela Mital de Força Inicial para Atividades de Empurrar com 2 mãos.....	163
Anexo 2 – Tabela Mital de Força de Manutenção para Atividades de Empurrar com 2 mãos	165
Anexo 3 – Tabela Mital de Força Inicial para Atividades de Puxar com 2 mãos.....	167
Anexo 4 – Coeficiente Máximo Mital de Força Inicial e de Manutenção para Atividades de Puxar com 1 mão	169
Anexo 5 – Tabela NIOSH 91 – Multiplicador de Frequência e de Pega.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - The Toyota Production System House (Liker & Morgan, 2006)	6
Figura 2 - Causas de OOS. Adaptado de (Moorthy et al., 2015)	11
Figura 3 - Processo de simulação (Smith & Sturrock, 2021)	15
Figura 4 - Vista inicial do software Simio.....	17
Figura 5 - Vista da área "Experiments" no software Simio	18
Figura 6 - Representação dos domínios ergonómicos em Diagrama de Venn (International Ergonomics Association (IEA), n.d.).....	20
Figura 7 - Representação da HFE Participativa em Diagrama de Venn (International Ergonomics Association (IEA), n.d.).....	21
Figura 8 - Logótipo MC.	23
Figura 9 - Comparação de quota de mercado retalhista Adaptado de (Abrantes S., 2023)	24
Figura 10 - Modelo de Gestão Integrada do Risco (Modelo Y)	26
Figura 11 - Organograma dos vários fluxos de abastecimento	27
Figura 12 - Continente Modelo	28
Figura 13 - Esquema ilustrativo do percurso dos produtos no supermercado.	29
Figura 14 - Planta do Continente Modelo de Paredes.....	29
Figura 15 - Esquema exemplificativo do processo de despicking.....	31
Figura 16 - Distribuição do número de caixas por palete.....	35
Figura 17 - Fit de distribuições aos dados de número de caixas por palete.....	36
Figura 18 - Distribuição dos pesos das caixas.....	37
Figura 19 - Fit de distribuições aos dados de pesos das caixas	38
Figura 20 - Distribuição do número de categorias	39
Figura 21 - Visão geral do modelo de simulação.	40
Figura 22 - Zona de retaguarda	40
Figura 23 - Zona de loja	41
Figura 24 - Painel de controlos.....	41
Figura 25 - Entidades representativas dos meios de transporte e dos produtos	42
Figura 26 - Entidades representativas de comboio logístico.....	43
Figura 27 - Processo DefineAtributosPalete_CLog.....	43
Figura 28 - Transporte de palete da zona de descarga para a área de despicking.....	44

Figura 29 - Dinâmica para multiplicação de paletes em produtos.....	44
Figura 30 - Processo Zonas_e_Destinos_etc	45
Figura 31 - Esquema de divisão da paleta segundo alcances funcionais.....	45
Figura 32 - Localização de cada destino possível dos produtos	47
Figura 33 - Conjunto de processos responsáveis por definir as categorias destino.....	48
Figura 34 – Esquema exemplificativo dos processos responsáveis por definir as categorias destino ...	49
Figura 35 - Step “nodePaletaDestino”	50
Figura 36 - Steps de relação entre o destino do produto e o seu tipo	50
Figura 37 - Worker a colocar os produtos nas paletes de categoria	51
Figura 38 - Propriedades dos Combiners responsáveis pelo batch após despicking.....	51
Figura 39 - Propriedades do trigger de libertação de entidades para reposição.....	52
Figura 40 - Conjunto de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta que segue para reposição	54
Figura 41 - Esquema exemplificativo dos de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta (cenário padrão)	54
Figura 42 - Esquema exemplificativo dos de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta (cenário alternativo).....	55
Figura 43 - Esquema exemplificativo de uma paleta com categorias de produtos em zonas distintas ..	56
Figura 44 - Processo Destinos_Paragens	57
Figura 45 - Conjunto de processos responsável pela construção do vetor com destinos de reposição .	58
Figura 46 - Step responsável pelo aumento do número de paragens nos casos excecionais de exposição múltipla.....	58
Figura 47 - Step Set Node do primeiro destino de reposição	59
Figura 48 - Representação da retaguarda no momento final do despicking	60
Figura 49 - Momento de reposição dos produtos nas prateleiras.....	60
Figura 50 - Processo " Reposição_Prod"	61
Figura 51 - Processo "Controla_Paragens"	61
Figura 52 - Atividade de despicking com utilização de carrinhos	63
Figura 53 - Processo "VerificaPaletaTrigger"	65
Figura 54 - Atividades de despicking no cenário de fluxo contínuo com carrinho.....	66
Figura 55 - Step responsável por direcionar todos os produtos para a posição 1 de despicking	66

Figura 56 - Step responsável por autorizar a reposição depois de se atingir a capacidade da entidade de transporte.....	67
Figura 57 - Área dedicada aos objetos adicionais no cenário de comboio logístico.....	68
Figura 58 - Início do processo de criação do comboio logístico	68
Figura 59 - Momento após a recombinação de entidades	69
Figura 60 - Finalização da montagem do comboio logístico e retorno à zona de espera.....	69
Figura 61 - Exemplo de módulos de comboio logístico, segundo o tamanho do mesmo.....	69
Figura 62 - Exemplo de tabela do Guia de Mital para identificação de parâmetros	72
Figura 63 - Esquema exemplificativo da modelação do cálculo de Mital	73
Figura 64 - Processo "Soma_Peso"	74
Figura 65 - Processo "Subtrai_Peso"	74
Figura 66 - Processo "Calcula_Forca"	75
Figura 67 - Steps iniciais do processo "Calcula_Indice"	76
Figura 68 - Steps finais do processo "Calcula_Indice"	77
Figura 69 - Representação gráfica da postura corporal e parâmetros da Equação de NIOSH 91 Retirado de (T. Waters et al., 2021)	78
Figura 70 - Exemplo de steps responsáveis por determinar o tempo de atividade de despicking.....	80
Figura 71 - Posição vertical inicial para os diferentes tipos de paletes	81
Figura 72 - Posição vertical final para os diferentes meios de reposição	82
Figura 73 - Processo "Caract_Multipliers_NIOSH_1".....	82
Figura 74 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_1"	83
Figura 75 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_2"	84
Figura 76 - Processo "tblOrder!_NIOSH"	84
Figura 77 - Resultados operacionais do cenário padrão em Dashboard Power BI	92
Figura 78 - Resultados da experiência operacional I em Dashboard Power BI.....	93
Figura 79 - Gráficos da experiência operacional I em Dashboard Power BI.....	94
Figura 80 - Resultados da experiência operacional II em Dashboard Power BI.....	96
Figura 81 - Gráficos da experiência operacional II em Dashboard Power BI	96
Figura 82 - Gráficos da experiência operacional III em Dashboard Power BI	98
Figura 83 - Resultados da experiência operacional IV em Dashboard Power BI.....	99
Figura 84 - Gráficos da experiência operacional IV em Dashboard Power BI	100
Figura 85 - Resultados da experiência operacional V em Dashboard Power BI.....	101

Figura 86 - Gráficos da experiência operacional V em Dashboard Power BI	101
Figura 87 - Resultados da experiência operacional VI em Dashboard Power BI.....	102
Figura 88 - Gráficos da experiência operacional VI em Dashboard Power BI	103
Figura 89 - Resultados ergonômicos do cenário padrão em Dashboard Power BI	104
Figura 90 - Gráficos da experiência ergonômica I em Dashboard Power BI.....	105
Figura 91 - Resultados da experiência ergonômica I em Dashboard Power BI	106
Figura 92 - Gráficos da experiência ergonômica II em Dashboard Power BI.....	107
Figura 93 - Resultados da experiência ergonômica II em Dashboard Power BI	108
Figura 94 - Gráficos da experiência ergonômica III em Dashboard Power BI.....	108
Figura 95 - Resultados da experiência ergonômica III em Dashboard Power BI.....	109
Figura 96 - Gráficos da experiência ergonômica IV em Dashboard Power BI.....	109
Figura 97 - Gráficos da experiência ergonômica V em Dashboard Power BI.....	110
Figura 98 - Gráficos da experiência ergonômica VI (paletes de reposição) em Dashboard Power BI ..	111
Figura 99 - Gráficos da experiência ergonômica VI (carrinhos de reposição) em Dashboard Power BI	112
Figura 100 - Gráficos da experiência ergonômica VII em Dashboard Power BI.....	113
Figura 101 - Resultados ergonômicos da integração de várias implementações	114
Figura 102 - BPMN do processo de descarga	124
Figura 103 - BPMN do processo de despicking (estado inicial).....	125
Figura 104 - BPMN do processo completo (estado inicial)	126
Figura 105 - Categorias iniciais de produtos.....	127
Figura 106 - Processo "Destination_Time_and_Type"	128
Figura 107 - BPMN do processo de despicking (early trigger).....	129
Figura 108 - BPMN do processo completo (early trigger)	130
Figura 109 - BPMN do processo de despicking (fluxo contínuo)	131
Figura 110 - BPMN do processo completo (fluxo contínuo)	132
Figura 111 - Conjunto de processos relativos à modelação do cenário Comboio Logístico	133
Figura 112 - Processo "Param_Mital"	143
Figura 113 - Processo "Colunas_Mital"	144
Figura 114 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_3_1"	149
Figura 115 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_1"	150
Figura 116 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_2"	151
Figura 117 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_4"	152

Figura 118 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5"	153
Figura 119 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_1"	154
Figura 120 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_2"	155
Figura 121 - Gráficos da experiência operacional III com utilização de carrinhos em Dashboard Power BI	156
Figura 122 - Gráficos da experiência operacional III com 2 colaboradores em Dashboard Power BI..	156
Figura 123 - Gráficos da experiência operacional III com 3 colaboradores em Dashboard Power BI..	157
Figura 124 - Gráficos da experiência operacional III com introdução de um SIP em Dashboard Power BI	157
Figura 125 - Gráficos da experiência operacional III com paletes do tipo 1 em Dashboard Power BI.	158
Figura 126 - Gráficos da experiência operacional III com paletes do tipo 2 em Dashboard Power BI.	158
Figura 127 - Gráficos da experiência operacional VI com utilização de carrinhos em Dashboard Power BI	159
Figura 128 - Gráficos da experiência operacional VI com 2 colaboradores em Dashboard Power BI..	159
Figura 129 - Gráficos da experiência operacional VI com 3 colaboradores em Dashboard Power BI..	160
Figura 130 - Gráficos da experiência operacional VI com introdução de um SIP em Dashboard Power BI	160
Figura 131 - Gráficos da experiência operacional VI com paletes do tipo 1 em Dashboard Power BI.	161
Figura 132 - Gráficos da experiência operacional VI com paletes do tipo 2 em Dashboard Power BI.	161
Figura 133 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 1).....	163
Figura 134 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 2).....	164
Figura 135 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 1)	165
Figura 136 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 2)	166
Figura 137 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (Parte 1).....	167
Figura 138 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (Parte 2).....	168
Figura 139 - Coeficiente máximo mital de força inicial e de manutenção para atividades de puxar com 1 mão	169

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Biblioteca Padrão de Objetos	19
Tabela 2 - Negócios do grupo MC (MC, 2024).....	25
Tabela 3 - Tratamento de categorias existentes	34
Tabela 4 - Estatísticas descritivas do número de caixas por palete	35
Tabela 5 - Estatísticas descritivas do número de caixas por palete	37
Tabela 6 - Distribuição percentual do número de categorias	39
Tabela 7 - Fatores de tempo para paletes com cerca de 2,10m.....	46
Tabela 8 - Fatores de tempo para paletes com cerca de 1,80m.....	46
Tabela 9 - Possibilidade de destinos de cada produto	47
Tabela 10 - Tabela output com os destinos de despicking.....	50
Tabela 11 - Tipos de palete categoria segundo capacidade máxima.....	52
Tabela 12 - Matriz de distâncias entre os pontos de interesse, em metros.	53
Tabela 13 - Tabela output com os destinos de reposição	59
Tabela 14 - Fatores de tempo com carrinho para paletes mãe com cerca de 2,10m.....	63
Tabela 15 - Fatores de tempo com carrinho para paletes mãe com cerca de 1,80m.....	64
Tabela 16 - Tabela “tbl_outp_NIOSH_aux”,	81
Tabela 17 - Excerto exemplo da tabela "tbl_outp_NIOSH_Base"	83
Tabela 18 - Tabela exemplificativa do agrupamento das instâncias em tarefas NIOSH ("tbl_outp_NIOSH2")	91 85
Tabela 19 - Tabela exemplificativa do resultado da tabela “tbl_outp_NIOSH3”.....	85
Tabela 20 - Excerto exemplo da tabela "tbl_outp_NIOSH4"	86
Tabela 21 - Exemplo do resultado da tabela “tbl_outp_NIOSH_Results”	86
Tabela 22 - Grupos do plano experimental	87
Tabela 23 - Parâmetros e domínios do plano experimental.....	87
Tabela 24 - Framework de indicadores operacionais.....	89
Tabela 25 - Framework de indicadores ergonómicos	90
Tabela 26 - Definição do número de replicações de análise operacional.....	91
Tabela 27 - Definição do número de replicações de análise ergonómica	92
Tabela 28 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (género feminino)	134

Tabela 29 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (género masculino)	135
Tabela 30 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (género feminino)	136
Tabela 31 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (género masculino)	137
Tabela 32 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (género feminino).....	138
Tabela 33 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (género masculino) ..	139
Tabela 34 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de puxar com 1 mão (género feminino)	140
Tabela 35 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de puxar com 1 mão (género masculino)	140
Tabela 36 - Tabela de forças e coeficientes de atrito estático - paletes	141
Tabela 37 - Tabela de forças e coeficientes de atrito dinâmico - paletes	141
Tabela 38 - Tabela de forças e coeficientes de atrito estático - carrinhos	142
Tabela 39 - Tabela de forças e coeficientes de atrito dinâmico - carrinhos.....	142
Tabela 40 - Posição horizontal e vertical inicial de paletes de 2,10m.....	145
Tabela 41 - Posição horizontal e vertical inicial de paletes de 1,80m.....	146
Tabela 42 - Posição horizontal e vertical final de paletes de reposição	147
Tabela 43 - Posição horizontal e vertical final de carrinhos de reposição	148
Tabela 44 - Tabela NIOSH 91 - multiplicador de frequência	170
Tabela 45 - Tabela NIOSH 91 - multiplicador de pega.....	170

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BPMN - *Business Process Model and Notation*

CAD - *Computer Aided Design*

DES – *Discrete Event Simulation*

HFE - *Human Factors and Ergonomics*

IE – Índice de Elevação

IEA - *International Ergonomics Association*

JIT – *Just-in-Time*

LIA – Logística Interna Alimentar

LINA - Logística Interna Não Alimentar

LMERT - Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*

OSA - *On-Shelf Availability*

OOS – *Out-of-Stocks*

PLR – Peso Limite Recomendável

SIP – Sistema de Inclinação de Paletes

TPS – *Toyota Production System*

UE – União Europeia

WIP - *Work in Progress*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será realizado o enquadramento do projeto de dissertação, tendo em conta o contexto real do estudo, serão apresentados os objetivos do mesmo, a metodologia de investigação utilizada no desenvolvimento deste estudo e, por fim, a apresentação da estrutura geral deste documento.

1.1 Enquadramento

As empresas do setor de retalho alimentar oferecem uma grande variedade de produtos frescos, estes que, normalmente, representam cerca de 40% das receitas das cadeias deste setor. Tendo em conta isto e a constante evolução competitiva da área, o aparecimento de soluções cada vez mais inovadoras e os clientes cada vez mais exigentes, este setor tem apresentado cada vez mais preocupação com a eficácia e eficiência operacional dos seus processos (Cortés Rodríguez et al., 2023; Marques et al., 2022). Assim, a implementação de técnicas *Lean* tem vindo a ganhar relevância no setor de retalho e torna-se um passo imprescindível para atingir uma eficiência operacional de excelência.

De acordo com Jaca et al (2012), no setor do retalho, minimizar o desperdício envolve ações como fazer uma boa gestão de inventário, utilizar de forma mais eficiente o espaço da loja, tendo como foco produtos de valor mais elevado, melhorar a eficiência de transporte e logística, e prevenir o aparecimento de produtos defeituosos. No entanto, a disponibilidade de produto, definida como a probabilidade de ter um produto em *stock* quando um cliente chega, é provavelmente o indicador-chave de nível de serviço ao cliente no retalho (Calvo et al., 2023; Marques et al., 2022). Neste contexto, pode-se dizer que os armazéns são uma área de prioridade máxima na gestão de retalho, já que a maioria das ações de eliminação de desperdício ocorre, direta ou indiretamente, nestes locais. Assim, o inventário é um dos tópicos de pesquisa mais populares quando o assunto é retalho (Dunkin et al., 2009).

As atividades realizadas no armazém incluem a receção, *despicking* e/ou separação, armazenamento, *picking*, embalagem e expedição (Aminoff et al., 2002). Quando lidamos com a eficiência do armazém, referimo-nos à aplicação do *Lean Warehousing* que aplica práticas *Lean* nas atividades mencionadas acima.

Devido às atuais exigências complexas do mercado, há uma necessidade de criar processos flexíveis e ambientes de melhoria contínua. Nestes casos, o desenvolvimento de modelos de simulação representa um recurso na tomada de decisões de procedimento (Abideen & Mohamad, 2021a). Como Smith & Sturrock (2021) afirmam, o mundo tende a ser complexo e isso é uma das razões que tornou a

simulação tão popular. É uma ferramenta poderosa para representar, experimentar e explicar sistemas do mundo real. Ao simular sistemas futuros hipotéticos, podemos testar e estudar esses sistemas com o objetivo de melhorar o desempenho geral dos mesmos.

Esta gama de técnicas ajuda a ganhar uma compreensão mais profunda do comportamento dos sistemas complexos e a identificar oportunidades de melhoria (Abideen & Mohamad, 2021a; Afonso et al., 2021; Koshnevis, 1994).

1.2 Objetivos

Os principais objetivos deste projeto passam por melhorar a eficiência operacional e a ergonomia dos processos associados aos fluxos (receção, *despicking*, armazenamento e reposição) de várias famílias de produtos existentes nos vários supermercados MC. Para atingir os objetivos deste estudo, serão utilizadas técnicas de modelação de processos, assim como, um conjunto de modelos de simulação discreta com o propósito de validar a aplicação de propostas de melhoria baseadas no conceito *Lean*.

Assim, esperam-se os seguintes resultados:

- Aumento da eficiência e eficácia do fluxo de produtos desde a sua receção até à reposição na placa de vendas;
- Redução de esforços ergonómicos relativos aos diferentes processos de logística interna;
- Estudo de diferentes padrões de fluxo nas atividades de *despicking*, transporte e reposição.

Tendo em conta os objetivos deste estudo, foram formuladas as seguintes questões de investigação:

- De que forma a simulação por eventos discretos e a modelação de processos pode contribuir para a validação de propostas de melhoria, baseadas em conceitos *Lean*?
- Como é que a eficiência operacional poderá cooperar e/ou interferir com a redução do esforço ergonómico na logística interna dos supermercados?

1.3 Metodologia de Investigação

Com vista a atingir todos os trabalhos propostos e resultados esperados, este projeto adota uma metodologia investigação-ação (*action research*). Esta metodologia pretende criar um ambiente colaborativo entre o investigador e o ambiente profissional (*practitioner*) (Creswell et al., 2007). A metodologia *action research* é conhecida por “*Learning by doing*”, em que, de forma cíclica, o investigador identifica um problema, coloca um plano de resolução em ação, analisa os resultados e,

caso não correspondam aos esperados, volta a repetir o processo (O'Brien, 1998). Assim, esta metodologia é constituída por um modelo de cinco fases, que estão representadas na Figura 1.



Figure 1 - Modelo de investigação-ação

Adaptado de (O'Brien, 1998)

Tendo em conta esta metodologia, serão então abordadas as seguintes fases de investigação.

- **Fase 1:** serão realizados o diagnóstico e a análise crítica do funcionamento atual dos processos de logística interna, tendo por base a observação de comportamentos e a recolha e análise de documentos e/ou outras informações relevantes à investigação.
- **Fase 2:** o planeamento de ações a realizar será desenvolvido com vista à implementação eficaz e eficiente daquelas que serão as propostas mais vantajosas em termos operacionais e ergonómicos.
- **Fase 3:** decorrerá a implementação das ações previamente planeadas e discutidas,
- **Fase 4:** o estado pós-implementação irá ser analisado. Será realizada uma análise crítica sobre os resultados obtidos e se os mesmos correspondem ao esperado.
- **Fase 5:** será compilado o conjunto de conclusões acerca deste estudo. Estas conclusões terão em conta as propostas estudadas, aquelas que foram implementadas, mas também as que poderão não ser. Não descartando a importância da melhoria contínua, serão discutidos assuntos relevantes para projetos futuros que possam dar continuidade a esta investigação.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos distintos, cada um com um propósito característico, estruturados estrategicamente de forma a potencializar a compreensão clara do estudo desenvolvido.

O primeiro capítulo, a Introdução, tem como objetivo proporcionar uma visão geral do projeto. Neste sentido, é explorado o enquadramento do trabalho no contexto real, são apresentados os objetivos do mesmo, a metodologia seguida e, por fim, a estrutura do documento.

O segundo capítulo diz respeito ao Enquadramento Teórico, onde é apresentada a base teórica e metodológica que suportou o desenvolvimento de todo o estudo. São abordados conceitos como *Lean Thinking*, a importância das operações *in-store* no retalho e simulação discreta e ergonomia.

O terceiro capítulo tem como objetivo contextualizar o projeto, ou seja, é apresentado o projeto em que este trabalho foi desenvolvido, é realizada uma descrição do local de estudo e apresentado o funcionamento das tarefas em análise.

O capítulo seguinte, denominado de “Descrição analítica do processo atual e parametrização do modelo de simulação”, tem o propósito de caracterizar analiticamente alguns parâmetros relevantes às atividades realizadas nas operações intralogísticas da loja em estudo.

O quinto capítulo tem como objetivo explicar como é que o modelo de simulação foi desenvolvido, abordando a modelação de todas as atividades em estudo no seu estado padrão, mas também todos os outros detalhes que foram desenvolvidos com o propósito de garantir um modelo flexível à geração de vários cenários distintos.

Por sua vez, no capítulo “Interpretação e Discussão de Resultados obtidos e Propostas de melhoria” são apresentados e analisados, detalhadamente, os resultados obtidos através do modelo desenvolvido, assim como os resultados que dizem respeito a cenários alternativos e hipotéticos. Para além disso, são apresentadas várias propostas de melhoria tendo em conta os resultados obtidos.

Por fim, o capítulo sete compreende as considerações finais assim como a proposta de trabalhos futuros relacionados com este estudo.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O capítulo 2 tem como objetivo apresentar a base teórica e metodológica que suportou o desenvolvimento deste estudo. Desta forma, ao longo deste capítulo serão apresentados os conceitos mais importantes relativos ao *Lean* e de que maneira este tema se enquadra no setor de retalho, com o propósito de garantir abordagens eficientes e eficazes nas operações deste mesmo setor. Serão também discutidas as características da Simulação Discreta, assim como as suas vantagens, desvantagens e enquadramento neste projeto. Por fim, será feita uma fundamentação teórica da relevância da ergonomia para este estudo.

2.1 Sistema de Produção Toyota

O termo *Lean* surgiu devido a uma abordagem de gestão, disciplinada e orientada ao processo, criada por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo num contexto de produção, quando a Toyota lutava pela sua sobrevivência como empresa após a Segunda Guerra Mundial (Womack et al., 1990).

Na altura, a Toyota competia com a indústria automóvel da Europa e dos Estados Unidos da América, que utilizavam a técnica de produção em massa com vendas em larga escala. Pelo contrário, o mercado japonês exigia uma grande variedade de produtos, mas com vendas em pequenas quantidades, pelo que a política utilizada pelos seus concorrentes perderia a validade, tornando-se ineficiente no contexto japonês. Segundo Storch & Lim (1999), a produção em massa é mais benéfica para a empresa produtora do que para o cliente e surgiu a necessidade de desenvolver um sistema produtivo capaz de satisfazer as necessidades do cliente, garantindo ainda um nível competitivo à empresa. Dada esta necessidade de satisfazer as necessidades dos seus clientes, manter uma política de contenção de custos e alcançar a produtividade europeia e americana, o Japão acaba por adotar um novo sistema de produção focado no aumento da eficiência produtiva que visa a eliminação de desperdícios criando fluxo, marcando o nascer do Toyota Production System (TPS) (Ohno, 1988).

Em 1990, James P. Womack, Daniel Roos e Daniel T. Jones lançam um livro intitulado de “The Machine that Changed the World”, denominando *Lean Manufacturing* ou *Lean Production* o modelo organizacional que tem como objetivo principal criar valor, focando-se na satisfação do cliente e na melhoria contínua (Womack et al., 1990).

2.1.1 Casa do Sistema de Produção Toyota

A concretização do sistema, anteriormente mencionado, deve-se à combinação de vários princípios que foram estruturados numa ilustração desenvolvida por Fujio Cho, em 1973. Esta ilustração, representada na Figura 1, acabou por se tornar um ícone no setor de produção sendo conhecida como “The Toyota Production System House” (Liker & Morgan, 2006).



Figura 1 - The Toyota Production System House
(Liker & Morgan, 2006)

Segundo Liker & Morgan (2006), o formato deste modelo equiparável a uma casa pretende realçar a importância de todas as estruturas para uma implementação bem-sucedida do TPS. A falha de uma destas estruturas compromete a casa, tornando-a instável e colocando todo o sistema em risco.

Este modelo tem como base a produção nivelada ou **Heijunka**, isto é, a procura de um fluxo produtivo equilibrado, reduzindo irregularidades e a sobrecarga. Um fluxo equilibrado abre portas aos processos estáveis e padronizados. A “Casa do TPS” é sustentada por dois pilares principais: **Just-in-Time** e **Jidoka**.

- **Just-in-Time (JIT):** Segundo Liker & Morgan (2006), este é o princípio mais conhecido e representa um sistema de fluxo contínuo que produz estritamente o necessário, nas quantidades necessárias, entregando sempre no momento e local certo. Desta forma, é possível evitar desperdícios relacionados com produção excessiva, tal como a acumulação de *stock*, criando um fluxo mais eficiente e transparente que facilita a deteção de anomalias, possibilitando a melhoria de qualidade e a capacidade de resposta relativamente às alterações de procura do mercado.

- **Jidoka:** *Jidoka* ou *Autonomation*, refere-se à “autonomação”, isto é, à automação com toque humano. Este conceito baseia-se na capacidade das máquinas de interromperem automaticamente a produção quando detetam alguma anomalia/problema, alertando os colaboradores a partir de algum *andon* (uso de luzes ou sinais sonoros para sinalizar defeitos ou erros). Este princípio previne a produção de unidades não conformes, libertando o colaborador para a realização de outras tarefas de valor acrescentado, o que permite o aumento dos níveis de qualidade do processo de forma contínua (Liker, 2004; Liker & Morgan, 2006).

No centro desta representação, encontra-se o conceito de “Pessoas envolvidas no **Kaizen**”. O *Kaizen*, palavra de origem japonesa que significa “melhoria contínua”, não é opcional no sistema *Lean*. Desta forma, na zona central da casa o foco é combinar o trabalho em equipa e a redução de desperdícios, envolvendo toda a organização no *Kaizen*. Por fim, no telhado da casa estão representados os objetivos do Toyota Production System: melhor qualidade, menor custo, menor *lead time*, melhor segurança e moral laboral elevada (Liker, 2004; Liker & Morgan, 2006).

2.1.2 *Lean Thinking*

Em 1996, Womack & Jones identificaram o conceito de *Lean Thinking* como a abordagem de gestão organizacional capaz de proporcionar sistemas operacionais eficientes e livres de desperdícios, através da prática da melhoria contínua em toda a organização. Este conceito tem em conta os seguintes princípios (Womack & Jones, 1996):

1. Definição de valor: A definição de valor é subjetiva, podendo-se alterar consoante o momento e o sujeito que o define. Desta forma, o valor deve ser apenas definido pelo cliente final e apenas é significativo quando expresso a partir de um produto e/ou serviço específico, que satisfaz as necessidades do cliente a um preço e num momento específicos.
2. Identificação da cadeia de abastecimento: A organização deve ser capaz de mapear todas as atividades necessárias para levar um produto específico através das três tarefas críticas de qualquer empresa: etapa de resolução de problemas, etapa de gestão de informação e, por fim, a etapa de transformação física. Por outras palavras, serão todos os processos existentes desde as matérias-primas até ao produto final nas mãos do cliente. É importante sublinhar que a cadeia de valor é constituída por atividades que acrescentam valor, atividades que não acrescentam valor, mas são necessárias e outras que são dispensáveis.
3. Criação de fluxo: Depois de todos aqueles processos que acrescentam valor estarem devidamente identificados e a cadeia de abastecimento seja mapeada, é importante garantir

que todos os processos sigam um fluxo contínuo. O foco é promover a agilidade e a fluidez de todos os processos que acrescentam valor ao produto/serviço por forma a que o produto final chegue ao cliente sem interrupções e/ou esperas.

4. Sistema produção *Pull*: As necessidades do cliente devem guiar a produção, assim, deve-se permitir que o primeiro passo da produção seja determinado pelo cliente. O objetivo principal é produzir a quantidade exata desejada pelo cliente, no momento necessário, garantindo uma redução de *stocks*, de custos e de ocupação de espaço físico.
5. Procura pela perfeição: Garantir que toda a organização está envolvida no *Kaizen*, procurando sempre melhorar os processos e eliminar desperdícios, promovendo a criação de valor.

2.1.3 Tipos de Desperdícios

Em 2004, Liker classificou os desperdícios em três tipos diferentes:

- *Muda* (desperdício): Segundo a Toyota, refere-se a tudo o que consome tempo, mas não acrescenta valor ao cliente. (Ohno, 1988), inicialmente identificou sete tipos de desperdícios que, mais à frente, serão descritos detalhadamente. Mais tarde, estes conceitos ganham outras formas dependendo do setor em questão.
- *Mura* (irregularidade): Variabilidade que resulta de calendários irregulares ou volumes flutuantes de produção, devido a problemas internos.
- *Muri* (sobrecarga): Consiste na sobrecarga de trabalho, de um equipamento ou na realização de atividades de difícil execução relativamente aos colaboradores. Levar a máquina ou o colaborador para além dos limites naturais.

É incontestável que todos os princípios, anteriormente citados, procuram reduzir ou eliminar quaisquer tipos de desperdícios. O TPS, relaciona a identificação dos *Muda* com a oportunidade de melhoria e, assim, (Ohno, 1988) identifica sete formas de desperdícios, explicados de seguida.

1. Transporte: Movimento, de materiais ou pessoas, entre os processos, não acrescentando valor ao produto.
2. Inventário: Excesso de matéria-prima, produto semiacabado ou produto acabado que provoca o aumento dos custos de transporte e armazenamento.
3. Movimento: Deslocações dos colaboradores que não acrescentam valor ao produto.
4. Esperas: Períodos temporais não produtivos de quaisquer recursos (materiais, humanos ou equipamentos), devido à não disponibilidade de outros materiais, recursos ou informações.

5. Sobreprodução: Produção em quantidades excessivas ou antes do tempo previsto, contrastando com o pilar *Just-in-Time*, contribuindo para o aumento de custos de armazenamento e mão-de-obra. Esta forma de desperdício muitas vezes contribui para que as outras seis formas também ocorram.
6. Sobreprocessamento: Concretização de processos excedentes que não acrescentam valor na perspectiva do cliente. Esta forma de desperdício acaba por consumir recursos extra que não se complementam com ganhos.
7. Defeitos: Produção de partes ou produtos em não conformidade com os requisitos de qualidade. Cada ocorrência destas pode passar por processos de retrabalho, substituição ou descarte, provocando um aumento de custos e tempo de produção. Por defeito entende-se qualquer trabalho que não cumpra os requisitos do cliente.

Mais tarde Womack & Jones (1996), expandem o conceito de Ohno e considera uma oitava forma de desperdício – Talento não utilizado. Esta forma de desperdício refere-se ao não aproveitamento de conhecimentos e/ou habilidades dos colaboradores.

2.2 Conceitos *Lean* no Retalho

O setor retalhista de bens de consumo é um dos setores com maior importância na economia, em especial o setor retalhista alimentar (Cortés Rodríguez et al., 2023b). Com o mundo do retalho a tornar-se cada vez mais relevante, competitivo, globalizado, tecnológico e volátil, crescem novas oportunidades e ameaças que enfraquecem as estratégias e as formas de gestão de negócios mais tradicionais. Desta forma, as empresas do setor devem procurar inovar e melhorar a forma como gerem as suas operações, tornando-as mais eficientes e aumentando o seu nível de serviço (García-Arca et al., 2020; Marques et al., 2022).

De acordo com Liker (2004), qualquer organização é capaz de beneficiar do *Lean*, desenvolvendo princípios que vão de encontro com as necessidades do seu negócio e mercado. Neste contexto, Marques & De Carvalho (2021), apresentam alguns casos de sucesso deste setor relativamente à adoção do *Lean*. A Walmart e a Staples construíram cadeias de abastecimentos eficientes aplicando princípios *Lean* fundamentais, enquanto o modelo de negócio do Mercadona organiza-se tendo em conta o cliente, focando-se na eliminação de tudo o que não acrescenta valor para o mesmo. Estes são só alguns casos que demonstram o impacto que a concretização de sistemas *Lean* têm vindo a ter em empresas do setor retalhista.

O conceito de hipermercado retalhista é muito recente e, por isso, este tipo de indústria enfrenta muitos desafios criando um horizonte cheio de possíveis estudos e melhorias (Saleheen et al., 2014). A sobrevivência deste tipo de empresas depende muito do desempenho da sua cadeia de abastecimento e o equilíbrio entre a capacidade de resposta e a eficiência das operações de armazém e de loja, isto é, a empresa deve fazer uma boa gestão de inventário, utilizar de forma mais eficiente o espaço da loja, tendo como foco produtos de valor mais elevado, melhorar a eficiência de transporte e logística, e prevenir o aparecimento de produtos defeituosos (Guimarães et al., 2022; Jaca et al., 2012). Apesar da importância de todos estes pontos, para o cliente o “coração e a alma” da cadeia de abastecimento encontra-se na própria loja e na possibilidade de ter produtos disponíveis para compra, realçando a importância da gestão de atividades internas (García-Arca et al., 2020).

Ainda assim, a revisão bibliográfica realizada conclui que, apesar do aumento de estudos relativos às atividades realizadas nos armazéns, as contribuições relativas às operações *in-store* no retalho alimentar, caracterizado pelo trabalho com produtos perecíveis e não perecíveis de baixo ciclo de vida, são ainda reduzidas.

Tal como é descrito anteriormente, a gestão eficaz das atividades internas é incontestável nas companhias que pretendam garantir um elevado nível de serviço que corresponda aos desejos dos seus clientes. No contexto de retalho, uma das métricas mais importantes e mais utilizadas para medir o desempenho da loja em termos de eficiência operacional é a *On-Shelf Availability* (OSA) (Chuang et al., 2016; Moorthy et al., 2015). Esta métrica é relativa à presença do produto na prateleira e nas condições necessárias de venda, no local correto, no momento certo (Stepaniuk, 2024). A relevância desta métrica deve-se ao seu impacto na procura atual e futura (Chuang et al., 2016).

Embora esta definição pareça simples de entender, a OSA pode ser prejudicada ao longo de toda a cadeia de abastecimento. A publicação de Stepaniuk (2024), lista algumas formas de manifestação de baixos níveis desta métrica:

- *Stock* disponível na loja, mas encontra-se no sítio errado ou armazenado na retaguarda;
- *Stock* disponível na prateleira, mas danificado ou sem condições para venda;
- *Stock* encontra-se em trânsito ou no armazém;
- *Stock* indisponível para encomenda ao distribuidor.

Segundo Moorthy et al. (2015), para além desta métrica, é recorrente utilizar-se outro indicador inversamente relacionado com a OSA, o *Out-of-Stocks* (OOS). Neste caso, é medido o número de produtos que não se encontram disponíveis na prateleira ou que não cumprem as condições necessárias de venda. O OOS pode ser classificado em dois tipos, dependendo da sua origem:

- *Store-OOS*: produto indisponível na loja;
- *Shelf-OOS*: produto com *stock* na loja, mas o cliente não tem possibilidade de o comprar.

A Figura 2 retrata um conjunto de possíveis razões para o consumidor não encontrar o produto que pretende na prateleira, isto é, razões que refletem ocorrências OOS.

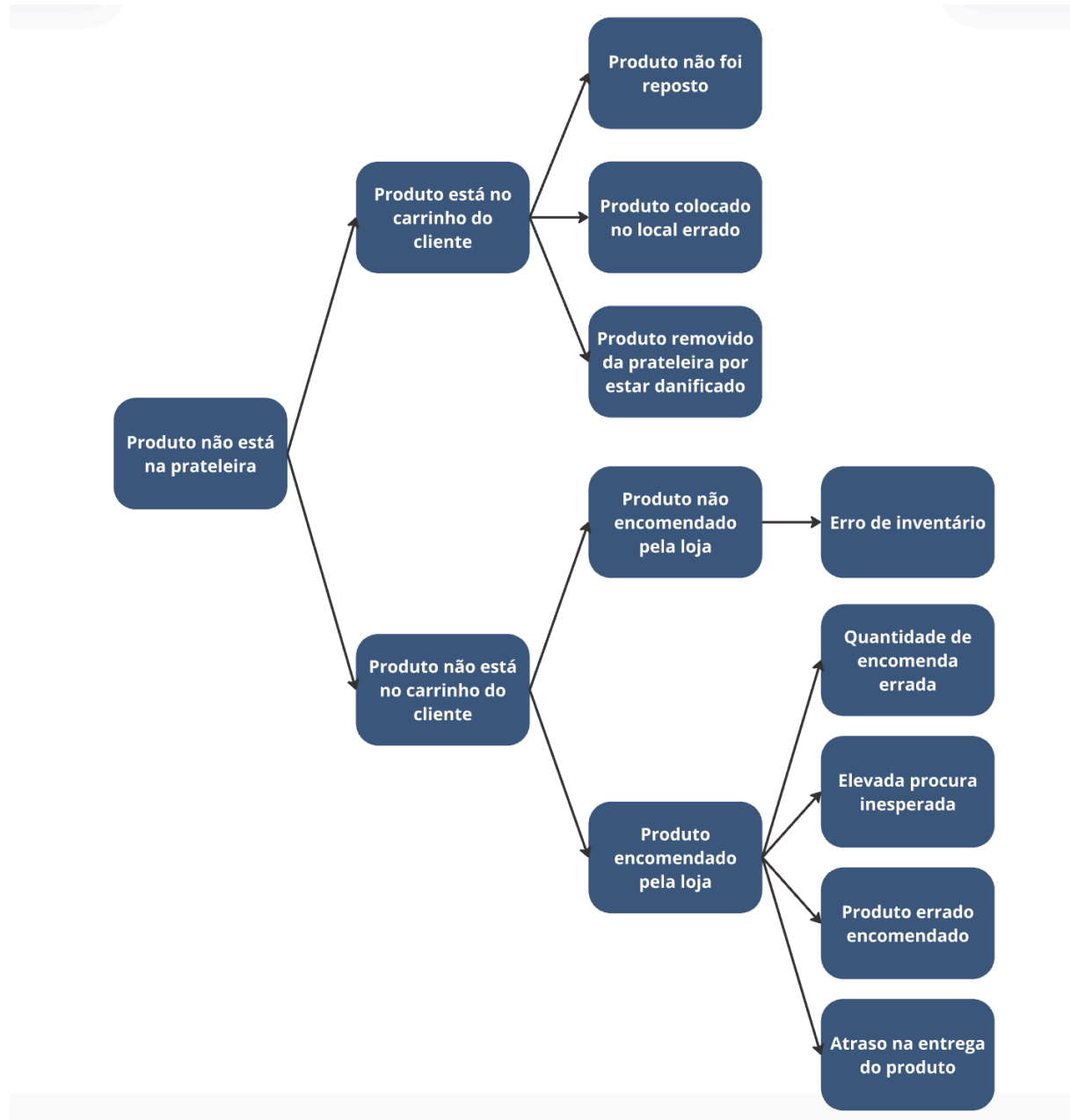


Figura 2 - Causas de OOS.

Adaptado de (Moorthy et al., 2015)

Um estudo internacional realizado pela Universidade Emory, com mais de 70.000 consumidores inquiridos, concluiu que, após presenciarem a primeira vez uma situação de OOS, cerca de 69% dos consumidores comprariam um produto substituto na mesma loja e 31% escolheria procurar o mesmo

produto, mas numa loja diferente, ou não comprar nada. O mesmo estudo revelou que com a repetição deste tipo de ocorrências os resultados são ainda mais pejorativos. Depois de presenciar este tipo de ocorrências pela terceira vez, a reação do consumidor seria reversa, ou seja, apenas 30% dos clientes comprariam um produto substituto na mesma loja e, os restantes 70%, procurariam o mesmo produto numa loja diferente ou não comprariam nada (Kaizen Institute, n.d.).

Moorthy et al. (2015) afirmam que, 20% de todas as ocorrências OOS ficam por resolver durante três dias, sugerindo a hipótese de certos consumidores depararem-se com ocorrências de forma repetitiva, levando os mesmos a deixar definitivamente de consumir na loja em questão. Dada a competitividade existente no setor, isto não seria uma decisão difícil de tomar por parte dos clientes mais insatisfeitos. O mesmo autor afirma que, quando uma família “leal” decide deixar de frequentar uma certa loja, a perda de receitas semanais pode ultrapassar os 150€. Este valor corresponde a cerca de 150.000€ em receitas perdidas num período de 20 anos por cada família.

Tendo em conta a pesquisa interna conduzida por Stepaniuk (2024), para níveis de OSA de 90% ou mais, as melhorias de desempenho desta métrica em 1% podem aumentar as vendas de produtos para além dos 0,8%. Os valores apresentados confirmam a relevância de manter indicadores como a OSA de acordo com o nível de serviço exigido pelos clientes (Moorthy et al., 2015). Por outro lado, 72% das ocorrências OOS são causadas por problemas ou ineficiências ao nível operacional interno da loja, tais como a encomenda e reposição nas quantidades erradas ou no *timing* errado, seguido de previsões imprecisas da procura ou má gestão do armazém/retaguarda. Apesar de existirem várias fontes de erro, Kaizen Institute sublinha que problemas internos estão no controlo dos retalhistas e, por isso, são sempre alvos possíveis de resolução.

2.3 Simulação

A simulação computacional é uma técnica de imitação do comportamento de determinados sistemas reais e dos seus processos, ao longo do tempo. Um sistema é qualquer conjunto de partes que funcionam de forma complementar, com um mesmo objetivo final. A simulação é então uma técnica que, por norma, compreende muito detalhe, ajudando a entender o funcionamento e a *performance* de sistemas nos seus diferentes estados, atuais e futuros (Smith & Sturrock, 2021). Como ferramenta de apoio à tomada de decisão, os modelos de simulação podem substituir ambientes atuais fornecendo evidências para testar hipóteses sobre o mundo real ou estados futuros deste sem quaisquer implicações práticas e/ou financeiras (Abideen & Mohamad, 2021b; Afonso et al., 2021; Kilic & ErKayman, 2021; Vázquez-Serrano et al., 2021). Um estudo de simulação requer o desenvolvimento de um modelo conceptual e,

por isso, é importante perceber o significado de modelo para que o entendimento do conceito de simulação seja claro (Law & Kelton, 1991; Vázquez-Serrano et al., 2021). Segundo Law & Kelton (1991), um modelo é um conjunto de pressupostos matemáticos ou relações lógicas utilizadas para entender o funcionamento de um sistema. Tendo em conta a complexidade dos problemas reais, a simulação torna-se a solução mais popular, mas, por vezes, as relações existentes nos sistemas podem ser simples, bastando métodos analíticos para imitar ou prever o comportamento dos mesmos.

A simulação tem sido aplicada em vários setores com diferentes propósitos. Smith & Sturrock (2021) apresentam apenas alguns dos setores que dão uso a esta técnica para aumentar o entendimento e melhorar as operações dos seus serviços:

- Produção (otimização de linhas de produção, aumento de produtividade, etc.);
- Hospitais (alocação de recursos, planeamento de desastres, etc.);
- Aeroportos (tráfego, *shuttles*, bilheteira, etc.);
- Sistemas de emergência (tempos de resposta, localização de estações, etc.);
- Serviço ao cliente (planeamento de capacidade, melhoria de serviço direto, etc.);
- Cadeias de abastecimento (pontos de encomenda, logística, etc.).

2.3.1 Tipos de modelos de simulação

Os modelos de simulação dividem-se em três dimensões diferentes: estático vs. dinâmico; contínuo vs. discreto; e determinístico vs. estocástico (Law & Kelton, 1991; Smith & Sturrock, 2021). Estas dimensões são descritas com mais detalhe em baixo.

- **Estático vs. Dinâmico:** Os modelos de simulação estáticos representam determinados momentos do sistema, ou sistemas em que o tempo não desempenha uma função essencial. Já os modelos de simulação dinâmicos, representam sistemas nos quais a passagem do tempo é fundamental para a estrutura do modelo. Neste último caso é impossível executar o modelo sem a passagem simulada do tempo.
- **Contínuo vs. Discreto:** Os modelos de simulação dinâmicos são constituídos por *state variables*, ou seja, variáveis que descrevem o estado do sistema em qualquer ponto da simulação. Caso o valor destas variáveis tenha a capacidade de se alterar de forma contínua ao longo da simulação, então o modelo é definido como contínuo. Por outro lado, caso o valor destas variáveis apenas altere em instantes separados de forma discreta e instantânea, então o modelo é definido como discreto. A maioria dos modelos que replicam filas de espera são deste tipo de simulação.

- **Determinístico vs. Estocástico:** Os modelos de simulação determinísticos são parametrizados com *inputs* constantes, fixos e não aleatórios. Estes modelos apresentam sempre os mesmos resultados, caso os valores não sejam alterados pelo utilizador. Pelo contrário, a maioria dos modelos de simulação são estocásticos, ou seja, são parametrizados com pelo menos um *input* aleatório a partir de distribuições probabilísticas.

2.3.2 Simulação Discreta (*Discrete-Event Simulation* - DES)

A simulação discreta, conhecida como *Discrete-Event Simulation* (DES) refere-se à modelação de sistemas que evoluem ao longo do tempo por resposta a alterações instantâneas em momentos específicos e separados. Nestes momentos ocorrem *events*, definidos como acontecimentos que, instantaneamente, alteram o estado do sistema (Law & Kelton, 1991).

Esta técnica de simulação surgiu nos finais dos anos 50, por autoria de Keith Douglas Tocher que desenvolveu a primeira linguagem deste tipo com o propósito de construir um modelo de simulação para uma fábrica siderúrgica no Reino Unido (Vázquez-Serrano et al., 2021).

2.3.3 Construção de um modelo de simulação discreta

Tal como foi descrito no capítulo 2.3, um modelo é um conjunto de pressupostos matemáticos ou relações lógicas utilizadas para representar o funcionamento de um sistema. A construção adequada da representação de um sistema a partir de um modelo de simulação segue um conjunto de etapas, que segundo Smith & Sturrock (2021) são as seguintes: conceção conceptual, análise de *inputs*, desenvolvimento do modelo, verificação e validação, e finalmente análise de *outputs* e experimentação. Este processo de simulação está representado na Figura 3, que se encontra abaixo.

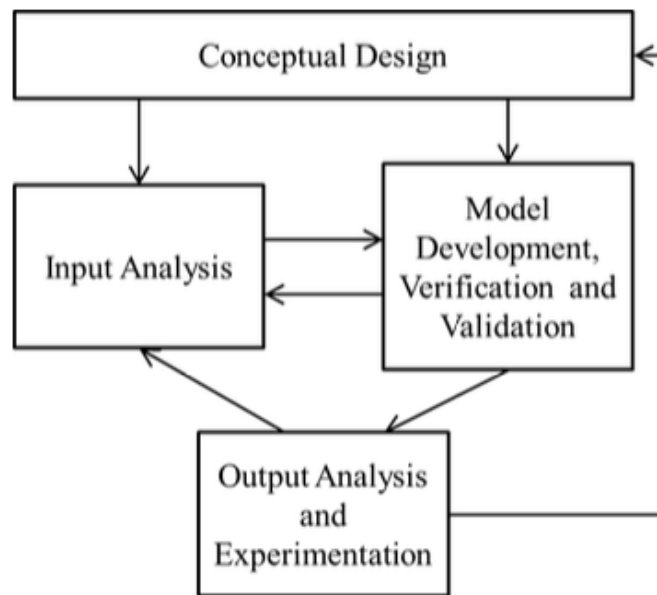


Figura 3 - Processo de simulação
(Smith & Sturrock, 2021)

É importante sublinhar que o processo de simulação não é obrigatoriamente sequencial e, grande parte das vezes, é um trabalho iterativo necessitando de várias verificações e correções ao longo da construção do modelo. Nos próximos parágrafos todas as etapas que constituem o processo de simulação serão explicadas mais detalhadamente.

O *conceptual design* necessita que haja um conhecimento em profundidade do sistema a modelar de forma a desenvolver modelos rigorosos e eficazes. Desta forma, a etapa em questão garante que o modelo vai responder de forma precisa às questões necessárias, tendo em conta que estes modelos são desenvolvidos com objetivos específicos em mente. A etapa de *design* conceptual pode ser levada a cabo de forma informal, utilizando espaços e materiais que promovam o pensamento livre e crítico. Esta forma de planeamento ajuda o modelador a estar afastado de todas as condições limitadoras que os *softwares* de modelação têm.

No que diz respeito à *input analysis*, esta etapa é responsável pela caracterização dos *inputs* do sistema, seguida do desenvolvimento de algoritmos e processos que geram observações das variáveis e processos aleatórios. Desta forma, uma das ações típicas desta etapa é caracterizar as variáveis de entrada aleatórias e especificar distribuições e processos correspondentes a estas. Por norma, o modelador tem na sua posse amostras de observação do sistema a modelar passando por ajustar distribuições estatísticas a estes dados, que serão utilizadas para gerar amostras de simulação.

Por outro lado, *model development* é o processo de transformação do modelo conceptual, anteriormente desenvolvido, num modelo de simulação representativo capaz de ser executado. Esta

etapa reconhece a necessidade de entender a metodologia de simulação e de programação de modo que o produto final seja um modelo eficaz. Para além deste processo, nesta etapa é realizada a verificação e a validação dos modelos. A verificação garante que o modelo se comporta da maneira que o modelador pretende, já a validação garante que o modelo é fiável e preciso quando comparado com o sistema real a modelar. Neste manual de Smith & Sturrock (2021), é sublinhada a impossibilidade de provar que o modelo está correto, para além de modelos muito simples. Dito isto, o foco passa por recolher evidências até que o modelador e o cliente estejam satisfeitos com a qualidade de representação dos modelos desenvolvidos.

Por último, assim que o modelo esteja verificado e validado, o mesmo é utilizado para recolher informação preciosa sobre o sistema modelado. Esta atividade envolve *output analysis* e *experimentation*. A *output analysis* cria inferências relativas ao sistema tendo em conta observações individuais, já a *experimentation* baseia-se na variação sistemática dos *inputs* e da estrutura do modelo de forma a testar e entender o comportamento do sistema em diferentes configurações.

2.3.4 Software *Simio*

O *Simio* é uma *framework* de modelação de simulação baseada em objetos inteligentes, sendo que os modelos são construídos a partir da combinação de vários tipos destes objetos. Os objetos inteligentes são desenvolvidos pelos modeladores e podem ser reutilizados em diferentes projetos, ainda assim, os modeladores podem preferir apenas utilizar os objetos pré-desenvolvidos. Esta última hipótese será ideal para os modeladores menos experientes, apesar do *software* ter sido construído de forma que a construção de novos objetos seja fácil até para os utilizadores iniciantes (Pegden, 2008). Um modelo *Simio* parece-se com o sistema real e, por norma, o modelador trabalha num ambiente 2D para facilitar a construção dos seus modelos. Ainda assim, o *software* tem capacidade para criar ambientes de animação 3D que complementam a modelação 2D (Sturrock & Pegden, 2011).

A *framework* de objetos do *Simio* segue os mesmos princípios de outras linguagens orientadas para objetos, mas este *software*, pelo contrário, aplica estes mesmos princípios numa *framework* de modelação ao invés de uma *framework* de programação. Desta forma, resulta um sistema de modelação gráfica em vez de uma linguagem de programação. É importante fazer referência a estas distinções para entender que para definir novos objetos e modelar sistemas neste *software* são necessárias competências de modelação e não de programação (Pegden, 2008).

Os próximos parágrafos estão reservados para a apresentação da interface do *Simio* e para a descrição das principais funcionalidades do mesmo. Na Figura 4 encontra-se representada a vista inicial do *Simio*, sem qualquer modelação ou alteração realizada.

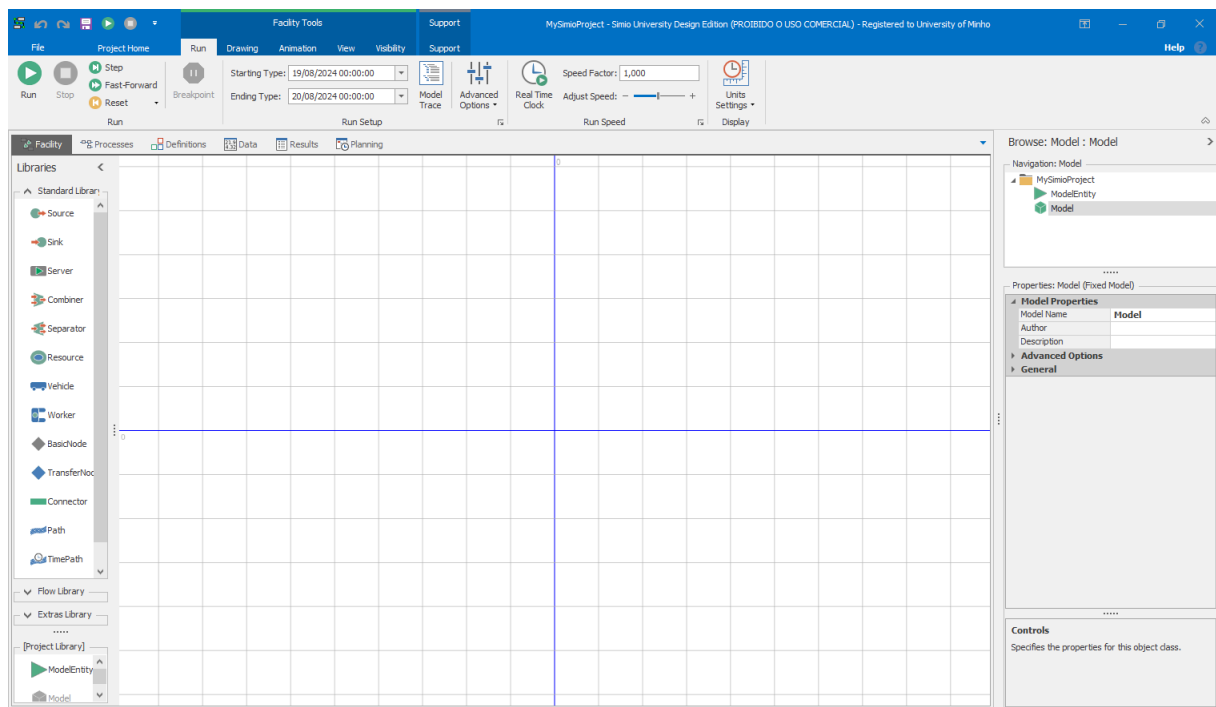


Figura 4 - Vista inicial do software *Simio*

Ao criar um projeto, o *Simio* cria automaticamente uma *Model Entity* onde é possível definir o comportamento das entidades do sistema e um *Model*, que representa o próprio modelo, no qual também serão feitas alterações ao longo da modelação.

Tendo em vista a Figura 4, identifica-se uma faixa superior constituída por quatro menus principais: *File*, *Project Home*, *Facility Tools* (dividido em vários outros menus: *Run*, *Drawing*, *Animation*, *View* e *Visibility*) e *Support*. No painel principal, situado abaixo, encontram-se cinco abas. A aba *Facility* contém o espaço onde se colocam os objetos para que se construa o modelo e a animação 2D e/ou 3D. A aba *Processes* diz respeito ao menu onde são construídos os processos que definem a lógica dos eventos que ocorrem no sistema. Neste menu encontra-se um conjunto de funções incorporadas em blocos de programação conhecidos como *steps*. Já as abas *Definitions* e *Data*, contêm o espaço e as definições necessárias para criar as bases analíticas estruturais, criando *states*, *properties*, events, bases de dados e outros conjuntos que possam ser relevantes para o modelo. Por último, na aba *Results* encontram-se os resultados da simulação.

Do lado direito é possível encontrar o painel *Browse*, que possibilita a edição de diferentes propriedades do modelo e outros objetos relacionados com o mesmo. A opção *Experiments*, oferece a

capacidade de criar várias simulações com diferentes cenários alternativos para o mesmo modelo. Para configurar estas experiências, os utilizadores podem variar parâmetros de forma a entender o seu efeito, sem que seja necessário alterar as propriedades inicialmente definidas. É nesta zona, representada na Figura 5, que ocorre grande parte do processo de avaliação do desempenho do sistema, apoiando a tomada de decisão no que diz respeito à realização de ações no sistema real.

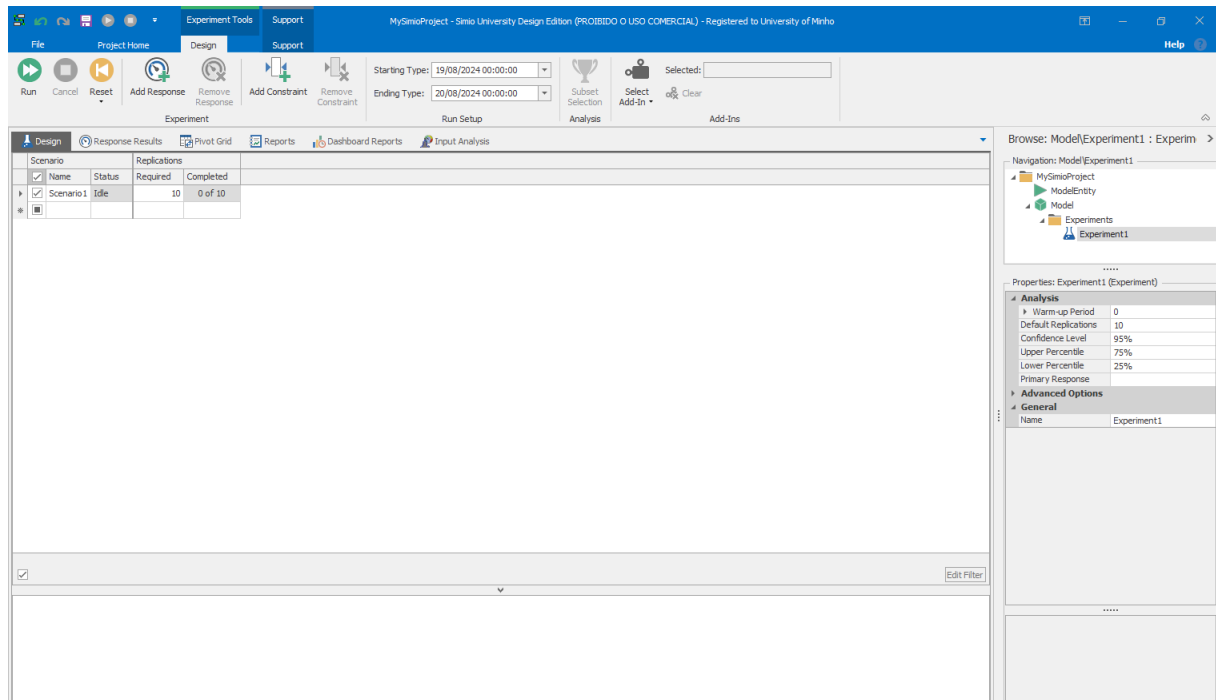


Figura 5 - Vista da área "Experiments" no software Simio

Já do lado esquerdo, encontra-se o painel *Libraries* que contém as bibliotecas de objetos utilizados para modelar o sistema. Neste painel pode-se ver diferentes objetos sendo que os mais relevantes e comuns estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Biblioteca Padrão de Objetos
Adaptado de (Sturrock & Pegden, 2011)

Objeto	Descrição
<i>Source</i>	Gera objetos do tipo entidade.
<i>Sink</i>	Destrói entidades que completaram os seus processos.
<i>Server</i>	Permite modelar processos com fila de entrada e saída.
<i>Combiner</i>	Combina múltiplas entidades numa entidade padrão.
<i>Separator</i>	Separa grupos de entidades ou cria cópia de entidades.
<i>Resource</i>	Objeto que pode ser detido ou libertado por outros objetos.
<i>Worker</i>	Recurso móvel que pode ser detido para realizar tarefas ou transportar entidades.
<i>Vehicle</i>	Transportador que pode seguir uma rota fixa ou realizar cargas e descargas em pontos específicos.
<i>BasicNode</i>	Interseção simples entre múltiplas ligações.
<i>TransferNode</i>	Interseção complexa que define destino ou modo de viagem.
<i>Connector</i>	Ligação com tempo de viagem nulo entre <i>nodes</i> .
<i>Path</i>	Ligação na qual entidades podem movimentar-se a uma certa velocidade.
<i>TimePath</i>	Ligação em que as entidades demoram um tempo específico a percorrer.
<i>Conveyor</i>	Ligação que modela dispositivos de transporte.

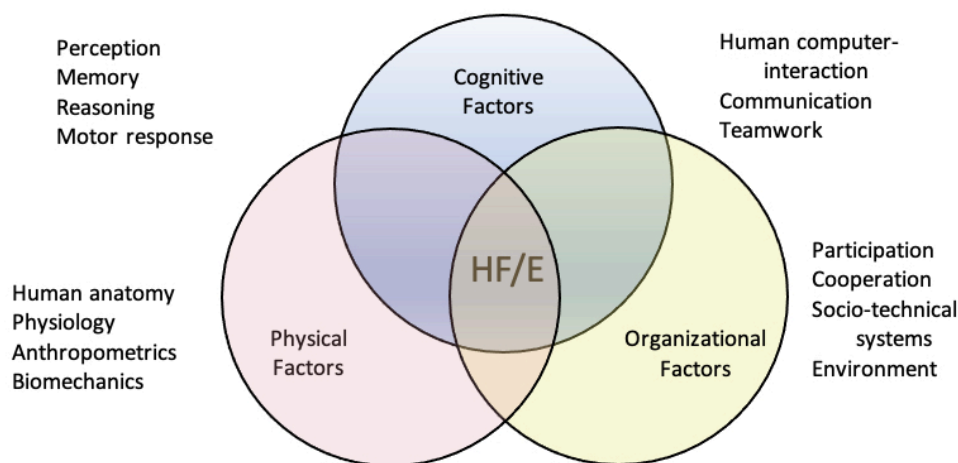
2.4 Ergonomia

Conhecida como “a ciência do trabalho”, a palavra ergonomia tem a sua origem etimológica nas palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis). Os termos “ergonomia” e “fatores humanos” são frequentemente utilizados como uma só expressão, ou seja, “ergonomia/fatores humanos” – HFE ou EHF. Esta foi uma prática adotada pela International Ergonomics Association (IEA) e, conforme a definição estabelecida pela mesma em 2000, a ergonomia é uma disciplina científica que se foca na compreensão das interações entre os seres humanos e os elementos que os rodeiam. Para além disso, aplica teorias, princípios, dados e métodos com o propósito de otimizar o bem-estar humano e os sistemas que os englobam (International Ergonomics Association (IEA), n.d.).

Segundo a International Ergonomics Association, a HFE é constituída pelo domínio físico, cognitivo e organizacional.

- **Ergonomia física:** A ergonomia física relaciona-se com as características anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas do ser humano no que diz respeito à atividade física. Os tópicos mais relevantes deste domínio incluem posturas de trabalho, manuseamento de materiais, movimentos repetitivos, perturbações músculo-esqueléticas relacionadas com trabalho, disposição do local de trabalho, segurança física e saúde.
- **Ergonomia cognitiva:** A ergonomia cognitiva está relacionada com os processos mentais, como por exemplo a percepção, a memória e as respostas motoras, dado que estas afetam as interações entre humanos e o sistema.
- **Ergonomia organizacional:** a ergonomia organizacional preocupa-se com a otimização de sistemas sociotécnicos, que incluem as estruturas, políticas e processos organizacionais.

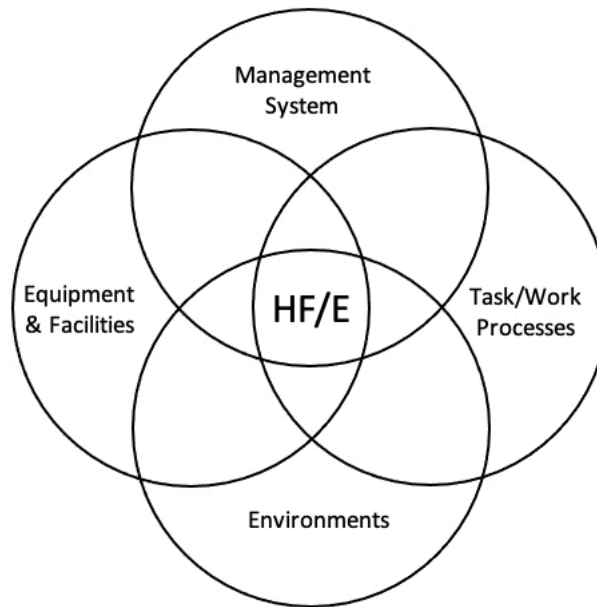
Estes domínios e as suas principais áreas de atuação encontram-se representadas no Diagrama de Venn presente na Figura 6.



*Figura 6 - Representação dos domínios ergonómicos em Diagrama de Venn
(International Ergonomics Association (IEA), n.d.)*

Para além da segurança e saúde física, a ergonomia e fatores humanos abordam os aspetos cognitivos e psicossociais da vida e do trabalho. Pode ainda, centrar-se nos aspetos microergonómicos de *design* de procedimentos, contexto e equipamento utilizados para executar tarefas, e nos aspetos macroergonómicos que incluem a organização do trabalho, tipos de postos de trabalho e a tecnologia que esses utilizam (IEA & ILO, 2021; Wilson, 2014). Desta forma, esta ciência apresenta grande valor no mundo do trabalho, contribuindo para a criação de sistemas de trabalho seguros e sustentáveis, da saúde e economia das organizações. As organizações que apostam nos princípios HFE apresentam

melhores resultados no que toca ao desempenho do colaborador e do próprio negócio. Assim, os membros da comunidade HFE sublinham a importância da participação de todas as partes interessadas nos grupos de *design* dos sistemas de trabalho – HFE participativa (Hendrick, 2003; International Ergonomics Association (IEA), n.d.). Este conceito encontra-se representado na Figura 7.



*Figura 7 - Representação da HFE Participativa em Diagrama de Venn
(International Ergonomics Association (IEA), n.d.)*

2.4.1 Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT)

As doenças musculoesqueléticas são lesões que podem afetar diferentes zonas do corpo como: os músculos, ossos, nervos, tendões, ligamentos, articulações, cartilagens e discos vertebrais. Segundo o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), foram conduzidos vários estudos epidemiológicos que provam a existência de relações causais entre o esforço físico realizado durante o trabalho e as Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT). Estas lesões estão maioritariamente associadas a movimentos repetitivos, força excessiva exercida, posturas estranhas e até estar de pé ou sentado em demasia (Da Costa & Vieira, 2010).

Segundo o 5º Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho (ECWS 2010), cerca de 33% dos trabalhadores europeus transportam cargas pesadas durante pelo menos um quarto do seu horário de trabalho; 46% dos trabalhadores ficam expostos a posições que provocam cansaço ou dor, pelo menos um quarto do tempo; cerca de 64% dos trabalhadores fazem movimentos repetitivos com as mãos ou os braços e 42% dos homens e apenas 24% das mulheres transportam cargas de elevado peso. Para além de grande parte dos trabalhadores se encontrarem expostos a diferentes causas de LMERT, este tipo de

doenças são o tipo de incapacidade de trabalho mais dispendiosa, sendo que se estima um custo a rondar os 215 mil milhões de dólares nos Estados Unidos em 1995 e cerca de 38 mil milhões de euros na Alemanha em 2002 (Da Costa & Vieira, 2010).

Existem vários tipos de LMERT, tais como: lesões na lombar ou síndrome do túnel cárpico e, cada uma delas apresenta fatores de risco diferentes. Isso dificulta a tarefa de um simples estudo de satisfazer os critérios para determinar a relação causal entre os fatores de risco e a própria LMERT. Desta forma, (Da Costa & Vieira, 2010) sublinha a importância de relacionar a informação derivada de diferentes estudos e métodos, com o propósito de diagnosticar as relações causais das LMERT com a maior precisão possível.

2.4.2 NIOSH

Tendo em conta as preocupações com o crescente número de LMERT, NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) desenvolveu um método de medição e análise de tarefas que exijam a elevação manual de carga com as duas mãos. Esta ferramenta consiste nas seguintes equações que avaliam uma tarefa específica de elevação manual (T. R. Waters et al., 1993):

- **Peso Limite Recomendável (PLR):** esta equação requiere a avaliação de certas características que descrevem a tarefa, tais como: a geometria da posição da mão, a frequência de elevação, duração do trabalho e o tipo de pega. O resultado desta equação dita o peso máximo que pode ser elevado, tendo em conta as características enumeradas anteriormente.
- **Índice de Elevação (IE):** este índice estima a exigência física relativa da tarefa, isto é, o rácio entre o peso real da carga levantada e o seu peso limite recomendável, sendo que qualquer índice com rácio superior a 1 dita a necessidade de corrigir a situação, por colocar em risco alguns trabalhadores e, rácios superiores a 3 alertam para uma necessidade de correção urgente.

2.4.3 Guia de Mital para Manuseamento Manual de Materiais

As LMERT são os problemas de saúde ocupacional mais frequentes na União Europeia (UE), sendo que os trabalhadores que desenvolvem tarefas de elevar, baixar, transportar, segurar, empurrar e/ou puxar manualmente materiais pesados (MMC) são os principais sujeitos a sofrer destes problemas (Mital et al., 1997). O Guia de Mital, ao contrário de vários outros guias existentes que apenas focam em tarefas de elevação manual, inclui todas as que envolvem qualquer MMC, ou seja, elevar, puxar, empurrar,

transportar e segurar. O guia inclui recomendações na forma de dados tabelados, que contam com parâmetros como a frequência, género, peso de carga e outros, possibilitando o *design* das diferentes tarefas enumeradas (Mital et al., 1997).

3. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

O presente capítulo tem como propósito enquadrar o projeto no contexto real em que se insere, de forma a potencializar a compreensão do trabalho desenvolvido no supermercado Continente Modelo em Paredes. Assim, inicialmente, será apresentada a MC, o grupo Sonae e a sua posição atual no mercado. De seguida, serão descritos todos os modelos de trabalho e projetos em que este estudo se encontra inserido, apoiando a visão e os valores da empresa em questão. Por fim, é realizada uma descrição mais detalhada do local de estudo.

3.1 MC Sonae

A Sonae é um grupo multinacional, fundado a 18 de Agosto de 1959, responsável pela gestão de uma grande variedade de negócios. Este grupo é constituído por marcas como MC (retalho alimentar, saúde e bem-estar), Worten (eletrónica), Sierra (imobiliário), Musti Group (cuidados para animais), BrightPixel (gestão de investimentos), NOS (telecomunicações), Sparkfood (comida saudável e sustentável), Universo (serviços financeiros) e marcas de moda (MO, Zippy, Losan e Salsa). O grupo Sonae mostra-se presente em 62 países e em 2023 apresentou um relatório de resultados consolidados com um volume de negócios equivalente a 8,4 mil milhões de euros (Grupo Sonae, 2024).

O grupo MC teve origem em 1985, dentro do Grupo Sonae, dada a abertura do Continente de Matosinhos, o primeiro hipermercado em Portugal (MC, 2024). A Figura 8 apresenta o logótipo da marca MC.



Figura 8 - Logótipo MC.

A MC é a marca líder do mercado nacional no setor de retalho alimentar em Portugal. Segundo Abrantes S. (2023), um estudo realizado pela Retail Data confirma que a MC lidera no setor, garantindo 24,90% de quota do mercado. A Figura 9 mostra a relação da quota de mercado retalhista entre a MC e as restantes marcas concorrentes do setor.

Comparação de quota do mercado retalhista

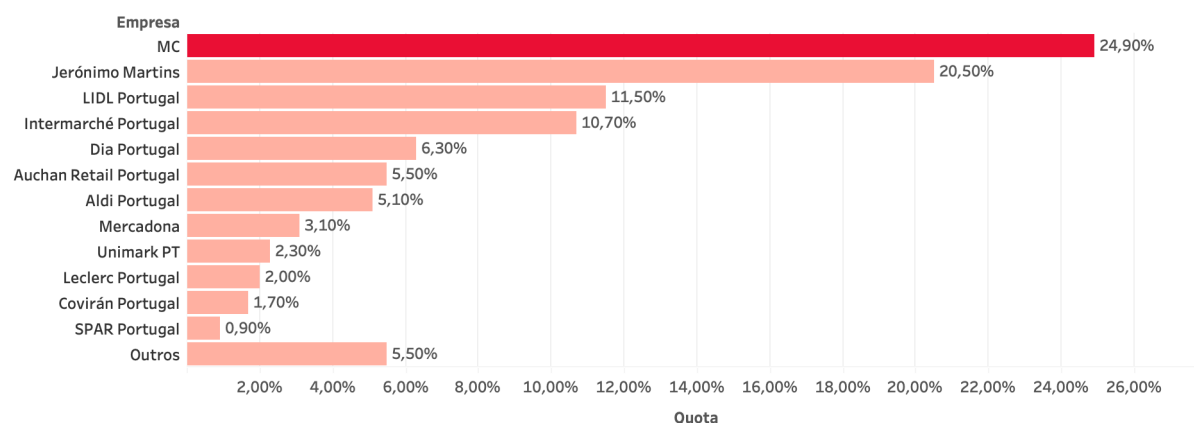


Figura 9 - Comparação de quota de mercado retalhista

Adaptado de (Abrantes S., 2023)

Esta marca é constituída por um portefólio de negócios de formatos diversificados e, em 2023, apresentou um volume de negócios de 6,607 milhões de euros, contando com 1452 lojas e mais de 38000 colaboradores (MC, 2024). Na Tabela 2, está apresentado o portefólio de negócios, incluindo as áreas de intervenção, do grupo MC.

*Tabela 2 - Negócios do grupo MC
(MC, 2024)*

Negócio	Superfície Comercial	Descrição
Retalho Alimentar	Continente	Hipermercados em localizações urbanas <i>premium</i> , ancorados em centros comerciais.
	Continente Modelo	Supermercados de grande dimensão.
	Continente Bom Dia	Supermercados de proximidade.
	Continente Online	Plataforma de comércio eletrónico de retalho.
	Meu Super	Lojas de proximidade franquizadas.
Negócios Complementares	ZU	Rede de lojas de artigos e serviços para animais de estimação, tais como veterinário e treinos.
	Note!	Lojas de artigos de papelaria, livros e serviços de conveniência.
	Bagga	Rede de cafetarias localizadas junto de lojas Continente e Continente Modelo.
Saúde, Bem-estar e Beleza	Wells	Parafarmácias com produtos e serviços de saúde, beleza, bem-estar e ótica.
	Arenal	Lojas com ampla oferta de produtos de parafarmácia e perfumaria, localizadas no norte de Espanha.
	Go Natural	Rede de restaurantes com produtos saudáveis e biológicos.

3.2 Modelo Y

O projeto em questão resulta de uma colaboração entre o Centro ALGORITMI, centro de investigação da Universidade do Minho, e a MC. Esta colaboração tem como objetivo diagnosticar e atuar, em caso de necessidade, nos vários eixos que constituem o Modelo de Gestão Integrada do Risco (Modelo Y), esquematizado na Figura 10.

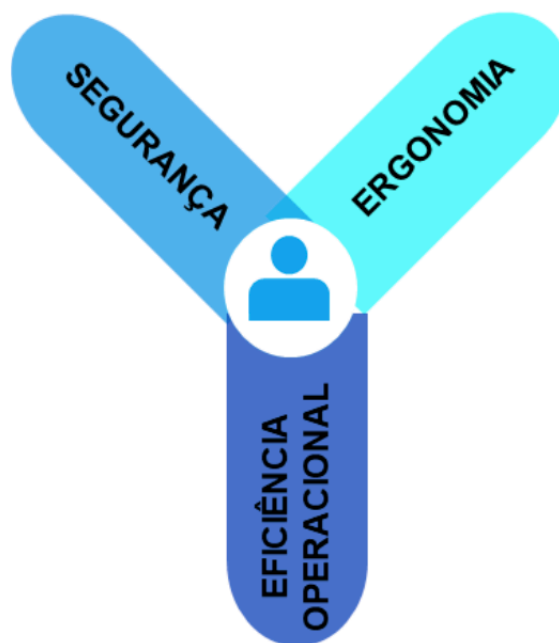


Figura 10 - Modelo de Gestão Integrada do Risco (Modelo Y)

O Modelo Y é resultado de uma parceria entre a Universidade do Minho, a MC e o Instituto *Kaizen* e assenta em três importantes eixos: Ergonomia, Segurança e Eficiência Operacional. O modelo é proveniente de um estudo realizado pelas entidades parceiras que evidencia a importância da eficiência operacional nas organizações e o facto desta não ser associada a outros modelos de risco já existentes.

Desta forma, os três eixos deste modelo fundamentam as tomadas de decisão relativamente aos cenários e testes realizados ao longo deste estudo.

3.3 Projeto A e Projeto B&C

A agenda do projeto realizado entre a parceria MC e UMinho, pretende o desenvolvimento de estudos em duas áreas distintas dos supermercados do grupo Sonae. Desta forma, o projeto foi subdividido em duas partes que distinguem estas áreas, Projeto A e Projeto B&C.

O Projeto A tem como objetivo atuar nas áreas relativas à retaguarda destes espaços de comércio, isto é, estudar e procurar melhorar as atividades que influenciam, de forma direta, as operações realizadas desde a chegada da carga ao estabelecimento até à colocação dos produtos na placa de vendas, dentro da loja. Estas operações incluem momentos de receção, *despicking*, armazenamento, gestão de armazém e reposição. Desta forma, o Projeto A terá uma influência direta nos produtos de Logística Interna Alimentar (LIA) e Não Alimentar (LINA) - não frescos. A classificação LIA e LINA é definida pela MC, sendo que, o grupo LIA inclui todos os produtos de carácter alimentar não fresco vendidos nos

supermercados, como por exemplo: bolachas, cereais, alimentação infantil, leite, café, enlatados, entre outros. Por outro lado, o grupo LINA inclui produtos de caráter não alimentar, como por exemplo: produtos de bazar, higiene, bem-estar, entre outros.

O Projeto B&C tem como objetivo atuar nas áreas relativas aos balcões de atendimento dos frescos (Projeto B) e das placas de venda (Projeto C). Desta forma, pretende-se com este projeto aumentar a eficiência, segurança e ergonomia das operações das áreas mencionadas, assim como, inovar no que toca à experiência do colaborador e do cliente na interação com a placa de venda. Relativamente aos balcões de atendimento de frescos, as operações incluem: momentos de receção, *despicking*, armazenamento, gestão de *stock*, reposição de áreas de livre-serviço e atendimento ao cliente, e consideram-se as seguintes áreas de atuação: talho, peixaria, padaria, charcutaria e *takeaway*.

Na Figura 11 é possível ver um organograma que resume o fluxo de abastecimento das várias áreas dos supermercados MC.



Figura 11 - Organograma dos vários fluxos de abastecimento

As áreas que constituem o Projeto A representam a grande maioria das vendas dos supermercados MC. Desta forma, este documento conta com um estudo focado no Projeto A, onde se sublinha a utilização de ferramentas de simulação discreta e técnicas *Lean* para a realização de diagnósticos com posterior desenvolvimento e análise de cenários alternativos aos estados iniciais. O seu propósito assenta na melhoria de todos os eixos do Modelo Y, apresentado no capítulo 3.2.

3.4 Loja em estudo

As atividades deste estudo foram todas desenvolvidas num supermercado piloto do Norte do país, o Continente Modelo de Paredes (Figura 12). Esta superfície comercial, da insígnia Continente Modelo, foi inaugurada em 2000 e possui uma área total de 3634 m², sendo que cerca de 55% destina-se à loja, ou seja, toda a zona de placas de venda, e cerca de 11% do espaço é ocupado pela retaguarda (400m²).



Figura 12 - Continente Modelo

3.4.1 Percurso dos produtos dentro da loja

O percurso percorrido pelos produtos dentro de um supermercado pode ser dividido em três grandes atividades: Descarga, que ocorre após o momento de chegada do camião que transporta os produtos encomendados pela loja; Tratamento de paletes, que corresponde ao momento de preparação dos produtos para serem repostos, englobando um conjunto de subatividades; e Reposição, que corresponde ao momento final do percurso, onde o colaborador coloca o produto à disposição do cliente. Este percurso encontra-se esquematizado na Figura 13, sendo que as atividades após a descarga, sombreadas na figura, serão o foco de modelação e simulação.

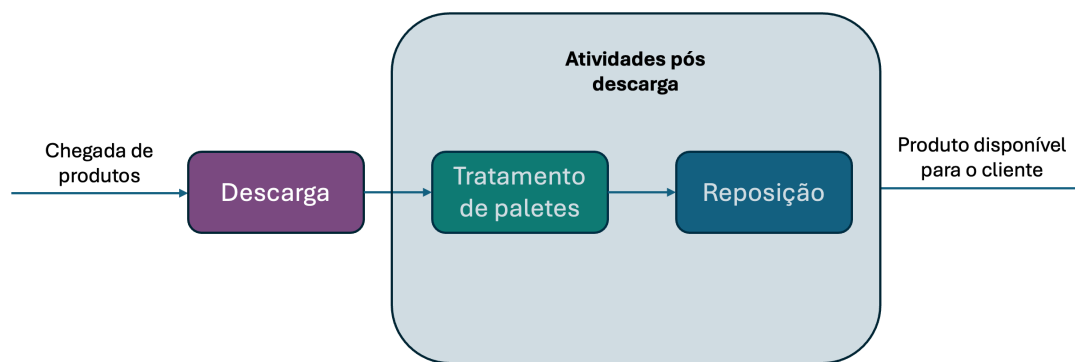


Figura 13 - Esquema ilustrativo do percurso dos produtos no supermercado.

3.4.2 Planta e organização intralogística do Continente Modelo de Paredes

Na Figura 14, encontra-se representada a planta da loja em estudo, sendo que as diferentes cores distinguem as áreas mais relevantes para o mesmo.



Figura 14 - Planta do Continente Modelo de Paredes

A área sombreada com a cor verde refere-se à área da loja constituída por vários corredores e placas de venda nas quais os produtos são colocados e, desta forma, tornam-se disponíveis para que o cliente os adquira. Nesta área, ocorre, maioritariamente, a atividade de reposição. Esta atividade resume-se à colocação de novos produtos nas placas de venda com o objetivo de garantir que todos aqueles produtos

que a loja afirma ter disponíveis para venda estejam realmente disponíveis ao cliente, evitando ruturas e, assim, perda de vendas. Para além desta atividade, são realizadas outras operações, mas que não serão referidas ao longo deste estudo tendo em conta que o foco se encontra naquelas que interferem diretamente com o fluxo de materiais, desde a chegada dos mesmos ao estabelecimento até que se encontrem disponíveis nas placas de venda.

Já as áreas vermelha e azul formam todas as zonas da retaguarda da loja em estudo. A retaguarda pode ser dividida em várias partes, tendo em conta a atividade principal que ocorre em cada uma dessas. Desta forma, a retaguarda foi dividida em duas partes: a zona de descarga (área azul) e a zona de armazenamento (áreas vermelhas).

Na zona de descarga, tal como o próprio nome indica, é realizada a atividade de descarga onde um colaborador, utilizando um empilhador, descarrega toda a carga enviada pelo centro de distribuição e transporta a mesma para a entrada da zona de armazenamento (área cor-de-rosa), colocando-as em fila. Este processo é realizado até que todas as paletes com destino a essa loja sejam descarregadas.

Na zona de armazenamento, ocorrem ações de armazenamento de produtos, *picking* e *despicking*. A atividade de *picking* caracteriza-se pela recolha de produtos armazenados, por norma com o objetivo de os repor em loja. Já a atividade de *despicking* ocorre na área amarela e é caracterizada pela separação de produtos das paletes multiproduto (paletes constituídas por produtos de diferentes categorias), em paletes monoproduto (paletes constituídas por produtos com a mesma categoria). O conceito *despicking* será explorado de forma detalhada nos próximos capítulos.

3.4.3 Caracterização das operações e fluxos da loja

Para entender de forma clara o funcionamento das atividades que fazem parte do percurso dos produtos, torna-se necessário entender de forma detalhada este mesmo percurso. Nos próximos parágrafos será realizada uma explicação detalhada do estado inicial dos processos envolvidos nas operações intralogísticas da loja.

Após a chegada do camião com a carga encomendada o colaborador responsável pela descarga irá conferir que todas as medidas foram seguidas, confirmando a temperatura do reboque que contém a carga e se o mesmo não foi aberto durante a viagem, de seguida transportará um porta-paletes que o motorista irá utilizar para movimentar as paletes para a retaguarda do reboque, de forma que o colaborador com um empilhador proceda à descarga das paletes. Este processo dentro do reboque ocorre porque não existe cais na loja em estudo e, sem realizar esta movimentação o empilhador não

teria capacidade de descarregar as paletes que se encontram no fundo do reboque. A descarga ocorre então na zona azul da Figura 14 e as paletes são deixadas na zona cor-de-rosa por ordem de descarga.

Finalizada a descarga, outro colaborador irá iniciar a atividade de *despicking*. Primeiramente, irá deslocar-se para a zona cor-de-rosa e, por ordem de fila, verifica o tipo de paleta que se encontra na frente. Caso esta paleta seja monoproduto, isto é, contenha apenas um tipo de produto ou se for do tipo de reposição à paleta, isto é, um produto que a sua reposição não seja realizada à unidade, mas sim com a paleta inteira, como por exemplo as caixas de açúcar, então o procedimento será armazenar esta paleta. Por outro lado, caso a paleta seja multiproduto, contendo vários produtos e de várias categorias diferentes, necessita de passar pelo processo de *despicking*. O processo de *despicking* caracteriza-se por separar e organizar uma paleta multiproduto em várias novas paletes monoproduto, facilitando assim a reposição. De forma exemplificativa, caso uma paleta de entrada (1E) contenha produtos de três categorias diferentes, os produtos serão colocados nas paletes de reposição ou saída (1, 4 e 5) de forma correspondente à sua categoria. Assim, seriam colocadas 3 caixas na paleta 1S, 18 caixas na paleta 4S e 1 caixa na paleta 5S, tal como esquematizado na Figura 15.

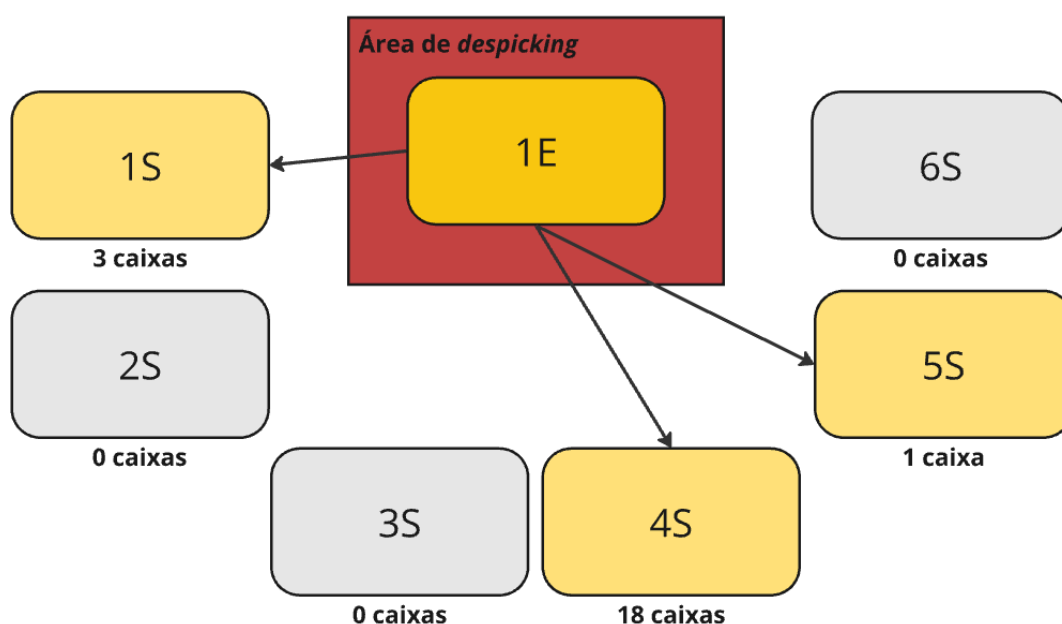


Figura 15 - Esquema exemplificativo do processo de *despicking*

Para além disso, existem produtos que no momento de chegada à loja se encontram em total rutura na loja e/ou no armazém e, por isso, a sua reposição é prioritária. Estes produtos fazem parte da lista de produtos VIP e são colocados numa paleta diferente (paleta VIP), independentemente da sua categoria, de forma que a sua reposição seja prioritária, isto é, com o objetivo da paleta VIP ser repostada antes do

que qualquer outra paleta. O processo explicado ocorre de forma cíclica até que todas as paletes tenham sido alvo de armazenamento ou *despicking*, conforme a necessidade.

Finalizado o tratamento das paletes descarregadas, o colaborador inicia o processo de reposição em que transporta as paletes de reposição para a loja, realizando a reposição dos produtos destas paletes. Este processo ocorre até que todos os produtos tenham sido repostos.

Recorrendo ao *software* Bizagi Modeler, foi possível representar, por meio de notação *Business Process Model and Notation* (BPMN), o processo e os subprocessos, alusivos ao fluxo das operações explicadas em cima. Nos Apêndice 1 a 3 encontram-se presentes os BPMNs mencionados.

4. DESCRIÇÃO ANALÍTICA DO PROCESSO ATUAL E PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

No âmbito da análise e melhoria de fluxos em operações intralógicas do Continente Modelo de Paredes, foi elaborado um modelo de simulação, utilizando o *software* Simio. A elaboração deste modelo permite, para além de entender a dinâmica operacional real destas operações com base nas suas características, simular vários cenários hipotéticos alternativos. Assim, é possível testar possíveis alternativas aos fluxos atuais por meio de avaliação de vários indicadores de desempenho e ergonomia que resultam da variação dos parâmetros intrínsecos ao sistema.

Este capítulo destina-se à exploração dos modelos em questão, abordando a sua construção analítica, os seus elementos e as dinâmicas envolvidas. Todos os elementos que constituem estes modelos procuram criar sistemas que se aproximam o máximo possível do contexto real. Nos seguintes subcapítulos serão apresentados vários registos que serviram de base para a construção e parametrização dos modelos de simulação, tendo estes sido fornecidos pela MC. Grande parte dos dados apresentados são resultado de várias análises realizadas às bases de dados inicialmente fornecidas. Os registos históricos utilizados estão incluídos nas datas entre 02 de Agosto de 2023 e 20 de Novembro de 2023. Apesar dos dados dizerem respeito a registos do Continente Modelo de Paredes, sublinha-se o facto de existirem vários supermercados MC que realizam os mesmos processos, podendo, portanto, estes modelos serem utilizados para analisar as operações desses mesmos supermercados.

Construir modelos de simulação é sinónimo de descrever analiticamente os processos construídos com máxima precisão possível. Desta forma, é necessário compreender toda a dinâmica e funcionamento do sistema a recriar, assim como recolher e tratar estatisticamente todos os dados que

sejam necessários para parametrizar o mesmo. Assim, este capítulo dedica-se ao estudo e descrição analítica das diferentes operações relevantes à construção dos modelos de simulação.

Tal como já foi referido, a base de dados utilizada conta com registos entre o dia 02 de Agosto de 2023 e 20 de Novembro de 2023. Nesta base de dados estão contabilizadas 133.921 entradas de produtos, distribuídos por 5.297 paletes diferentes ao longo deste período. Todos os produtos registados são caracterizados pelos seguintes pontos:

- Data de entrada na loja (d/m/a e dia da semana);
- Loja e insígnia;
- Tipo de *picking* utilizado na preparação da paleta no centro de distribuição;
- ID de paleta;
- SKU;
- Tipo de unidade de movimento;
- Tipo de unidade de carga;
- Tipo de fluxo;
- Número de caixas do produto;
- Volume da caixa;
- Número total de caixas na paleta;
- Volume da paleta;
- Categoria da unidade de negócio;
- Categoria de produto;
- Descrição da categoria;
- Descrição do produto;
- Peso da unitária de caixa e peso total da paleta.

Os produtos em análise estão distribuídos por várias categorias diferentes, neste caso, foram identificadas 119 categorias diferentes. Estas categorias estão disponíveis no Apêndice 4. Devido ao elevado número de categorias padrão existentes, foi realizado um tratamento desta característica de forma que as categorias fossem agrupadas noutras mais abrangentes, facilitando a parametrização do modelo. Para realizar este agrupamento, foi tido em conta o *modus operandi* da loja, oferecendo uma classificação mais amigável relativamente às operações e visão dos colaboradores. Desta forma, transformou-se as iniciais 119 categorias em apenas 10, focadas apenas nas categorias necessárias ao estudo das operações LIA. Apesar deste primeiro tratamento, foi ainda realizada uma reclassificação das

novas categorias para entender quais destas passariam pelo processo de *despicking*. O processo de tratamento de categorias e a nova classificação encontra-se representada na Tabela 3.

Tabela 3 - Tratamento de categorias existentes

Categorias (Tratamento 1)	Categorias (Tratamento 2 - <i>Despicking</i>)
Águas e Bebidas	Aperitivos
Aperitivos	Bolachas
Bolachas	Cereais
Cereais	Conservas
Conservas	Doçaria
Doçaria	Ingredientes Básicos
Garrafeira	
Ingredientes Básicos	
Leite	
OUTRO	

Tendo em conta que o manuseamento de material, neste caso as caixas com produtos LIA, é um fator de grande impacto nas operações em estudo, é importante alimentar os modelos de simulação com dados que espelham a realidade relativamente aos tipos de paletes que os colaboradores têm de tratar. Desta forma, foi construído um conjunto de características, de forma a recriar a variabilidade de paletes que passam pelas operações da loja. As características das paletes contêm dados como o número de caixas que a mesma transporta, o peso de cada caixa, a altura da paleta e o número de categorias diferentes existentes no seu suporte, que influenciam as operações realizadas pelo operador, seja a nível de eficiência operacional ou esforço ergonómico.

Durante o tratamento da paleta, o colaborador manuseia grandes quantidades de caixas e com pesos diferentes. A utilização do *software* Python e as suas bibliotecas de estatística e visualização de dados, permitiu realizar uma exploração e análise de dados de forma a inferir que tipo de distribuição traduzia o ajuste com melhor representação das características enumeradas anteriormente.

Relativamente ao número de caixas por paleta, a Tabela 4 representa as principais estatísticas descritivas deste problema e a Figura 16 apresenta a distribuição destes dados.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas do número de caixas por paleta

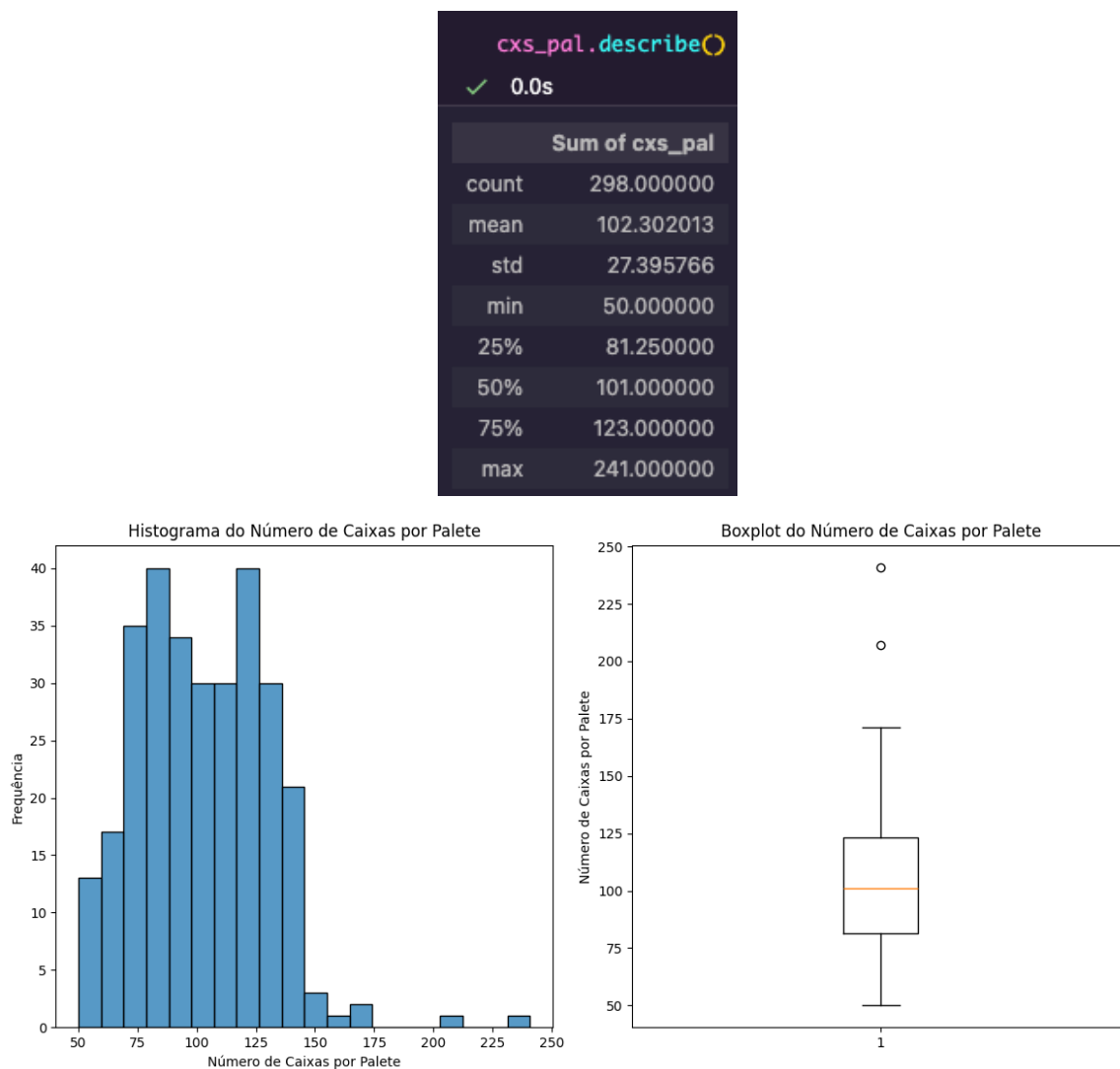


Figura 16 - Distribuição do número de caixas por paleta

A partir da Figura 16, foram realizados alguns ajustes estatísticos para perceber qual seria a distribuição que se ajustaria melhor aos dados. Na Figura 17, são representadas quatro distribuições diferentes que melhor se poderiam ajustar a estes dados, neste caso a distribuição Normal, Lognormal, Weibull e Gamma.

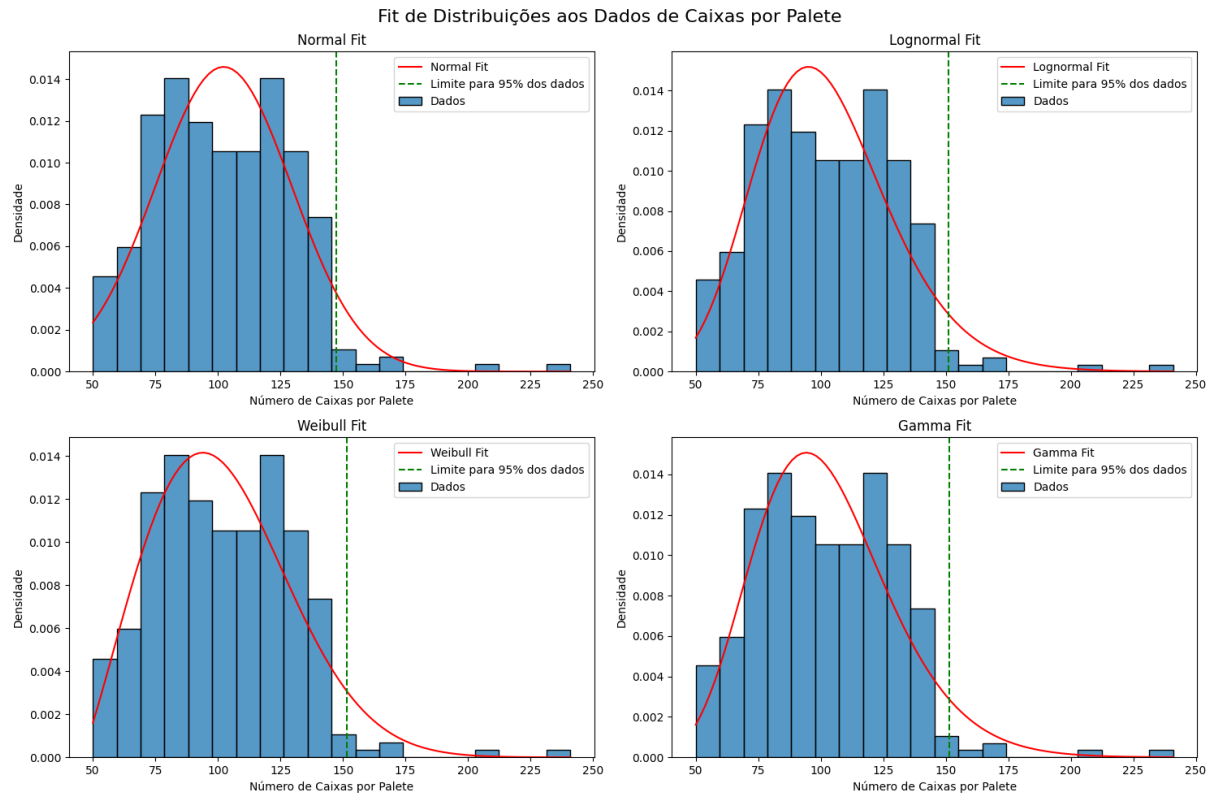


Figura 17 - Fit de distribuições aos dados de número de caixas por palete

Resultados do teste de ajuste das distribuições:

- Distribuição Normal: $p\text{-value} = 0.1499$
- Distribuição Lognormal: $p\text{-value} = 0.1939$
- Distribuição Weibull: $p\text{-value} = 0.1120$
- Distribuição Gamma: $p\text{-value} = 0.1047$

Analisando os gráficos anteriores e tendo em conta os resultados obtidos nos testes de ajuste, foi selecionada a distribuição Lognormal para representar o número de caixas por palete, com $shape$: 0.18, loc : -20.00 e $scale$: 146.88.

Relativamente ao peso das caixas, a Tabela 5 representa as principais estatísticas descritivas deste problema e a Figura 18 apresenta a distribuição destes dados.

Tabela 5 - Estatísticas descritivas do número de caixas por palete

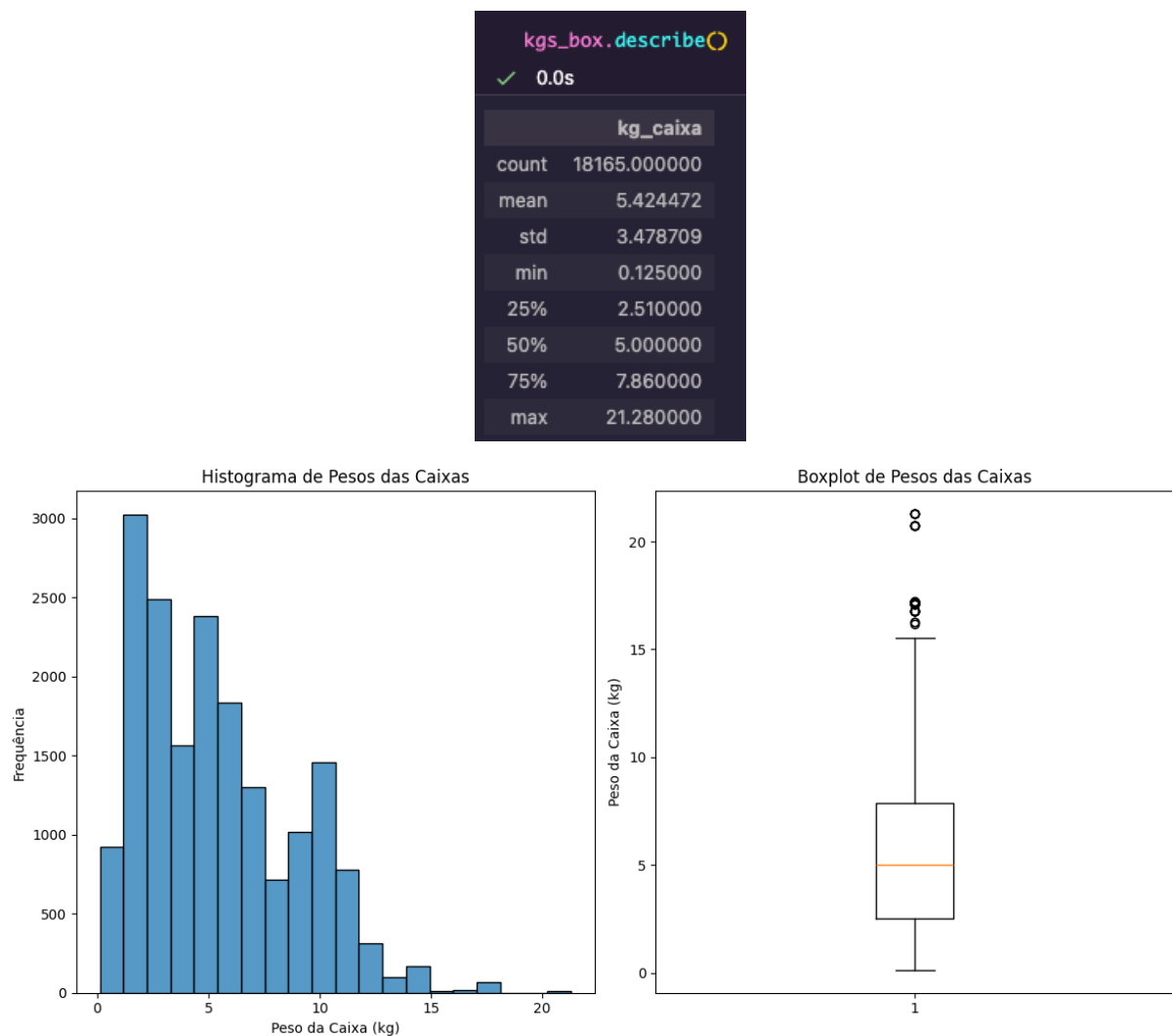


Figura 18 - Distribuição dos pesos das caixas

Tendo em conta a mesma linha de raciocínio do número de caixas por palete, foram realizados alguns ajustes estatísticos para perceber qual seria a distribuição que se ajustaria melhor aos dados dos pesos das caixas. Na Figura 19, são representadas quatro distribuições diferentes que melhor se poderiam ajustar a estes dados.

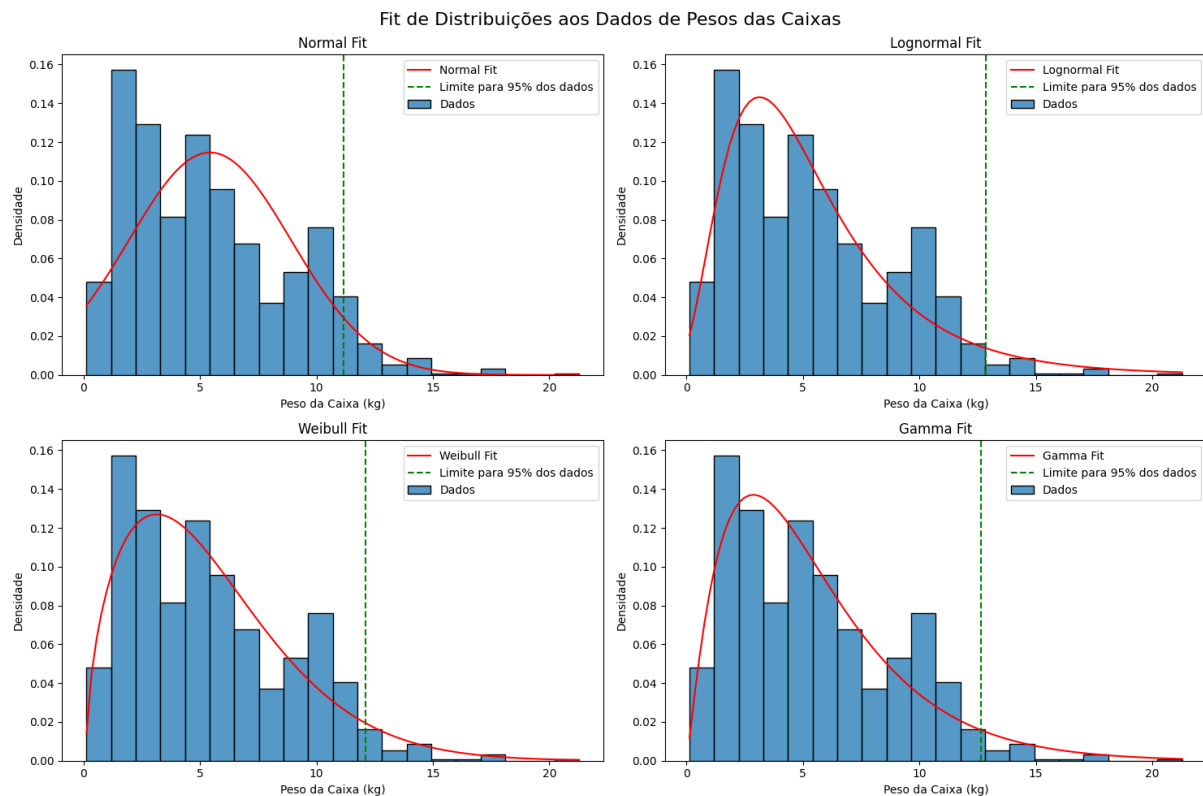


Figura 19 - Fit de distribuições aos dados de pesos das caixas

Resultados do teste de ajuste das distribuições:

- Distribuição Normal: $p\text{-value} = 0.1241$
- Distribuição Lognormal: $p\text{-value} = 0.2430$
- Distribuição Weibull: $p\text{-value} = 0.1401$
- Distribuição Gamma: $p\text{-value} = 0.1889$

Analisando os gráficos anteriores e tendo em conta os resultados obtidos nos testes de ajuste, foi selecionada a distribuição Lognormal para representar o peso das caixas, com *shape*: 0.52, *loc*: -1.56 e *scale*: 6.14.

Por fim, relativamente à frequência do número de categorias diferentes em cada paleta, conclui-se que o acontecimento mais frequente passa pelo transporte de uma, duas ou quatro categorias diferentes e o caso menos provável pelo transporte de seis categorias. Na Figura 20 é representada a distribuição destas frequências.

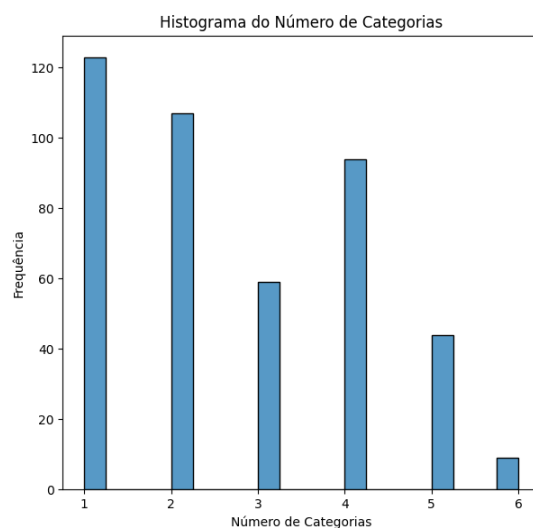


Figura 20 - Distribuição do número de categorias

Já na Tabela 6, é possível observar, de forma discriminada, as percentagens relativas a cada uma das possibilidades.

Tabela 6 - Distribuição percentual do número de categorias

Nº Categorias	Frequência (%)
1	28.2%
2	24.5%
3	13.5%
4	21.6%
5	10.1%
6	2.1%

5. DESENVOLVIMENTO E MODELAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE LOJA

Realizado o diagnóstico inicial e a descrição analítica dos fluxos, deu-se início à construção do modelo de simulação, utilizando o *software* Simio, que representa o funcionamento das operações intralogísticas realizadas nos supermercados MC. A Figura 21 apresenta a vista geral do sistema desenvolvido.



Figura 21 - Visão geral do modelo de simulação.

Na figura anterior, é possível observar o espaço comercial e a zona de retaguarda da loja em estudo. O sistema desenvolvido pode ser dividido da mesma maneira, sendo estas duas zonas as mais importantes para o estudo desenvolvido. Desta forma, na Figura 22 é possível observar a zona de retaguarda onde são modelados todos os processos relativos às atividades de retaguarda, e na Figura 23 a representação da loja e os seus vários corredores.

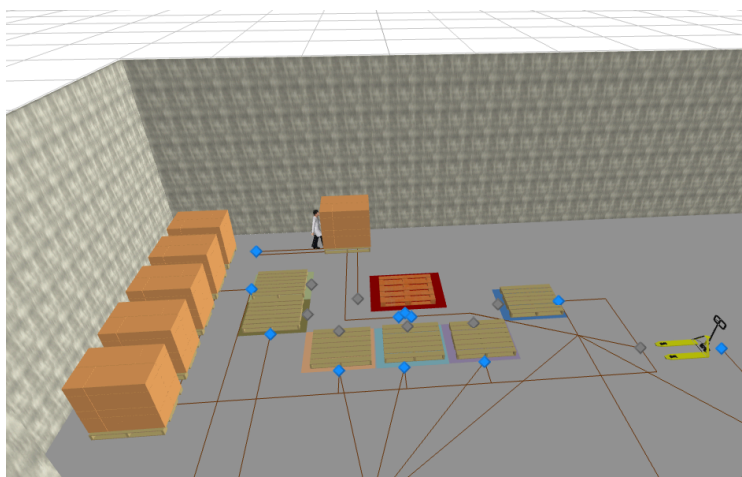


Figura 22 - Zona de retaguarda

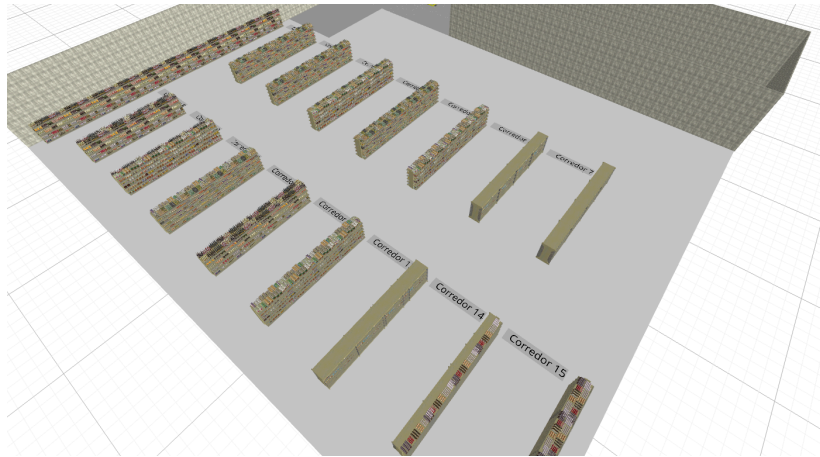


Figura 23 - Zona de loja

No decorrer da construção deste modelo de simulação, assumiu-se como um dos principais focos a flexibilidade dos seus parâmetros, conduzindo ao desenvolvimento de um modelo capaz de recriar vários cenários e oferecer grande liberdade ao utilizador para alterar alguns destes parâmetros a partir do painel de controlos, oferecendo-lhe a capacidade de explorar os diferentes comportamentos de forma rápida e simples. Na Figura 24, é apresentado o painel de controlos disponibilizado ao utilizador.

Controls	
General	
AlturaPaletaE	Random.Discrete(1, 0.7, 2, 1)
nWorkers_Desp	1
nWorkers_Rep	1
FluxoContínuo	False
SistemaInclinaçãoPaletes	False
UsaCarrinho	False
PaletesCamiao	Math.Floor(Random.Uniform(6, 9,99))
nPaletesTriggerToStore	PaletesCamiao_aux
TamanhoComboioLogístico	1
QtdPaletesContentor	Math.Round((Random.Lognormal(4.990, 0.18) - 40))
QtdConstrução_Pal	Random.Discrete(ModelEntity.PLS1, 0.5, ModelEntity.PLS2, 0.8, ModelEntity.PLS3, 0.90, ModelEntity.PLS4, 1)
QtdConstrução_Cart	Math.Round(Random.Uniform(60, 100))
VarPerc_atrito	0
VarPerc_kgBox	0
TempoReposiçãoProd	Random.Uniform(0.5,1.5) / (nWorkers_Rep - ((0.05)*nWorkers_Rep))

Figura 24 - Painel de controlos

De modo geral, a partir deste painel, o utilizador é capaz de controlar as seguintes propriedades:

- **AlturaPaletaE:** tipo de palete, caracterizado pela sua altura;
- **nWorkers_Desp e nWorker_Rep:** número de colaboradores nas atividades de *despicking* e reposição;
- **FluxoContínuo:** tipo de fluxo (lotes ou contínuo);
- **SistemaInclinaçãoPaletes:** ativar/desativar o Sistema de Inclinação de Paletes (SIP) durante o tratamento das paletes;

- **UsaCarrinho:** escolher paletes ou carrinhos como meio de transporte;
- **PaletesCamiao:** número de paletes para tratamento;
- **nPaletesTriggerToStore:** tamanho do lote de *despicking* e reposição;
- **TamanhoComboioLogístico:** ativar/desativar o comboio logístico e o seu tamanho;
- **QtdPaletesContentor:** distribuição da quantidade de produtos nas paletes para tratamento;
- **QtdConstrução_Pal e QtdConstrução_Cart:** distribuição máxima de produtos nas paletes ou carrinhos que recebem os produtos durante o *despicking*;
- **VarPerc_atrito e VarPerc_kgBox:** variação percentual do atrito e do peso dos produtos;
- **TempoReposiçãoProd:** distribuição do tempo de reposição por produto.

A alteração das diferentes propriedades permite a criação de várias combinações que se manifestam em diferentes cenários. Estes cenários e o estado das suas propriedades serão explorados ao longo das próximas secções que, para além disso, descrevem todos os raciocínios seguidos na modelação deste estudo.

Tendo em conta as operações em estudo e os cenários então desenvolvidos, sublinha-se a importância de criar diferentes *Model Entities* ao longo da modelação destes sistemas. Para isso, foram estabelecidas cinco *Model Entities*: “Paleta”; “Carrinho”, “Produto”, “Pal_Comb” e “Cart_Comb”. As entidades “Paleta” e “Carrinho”, representam as diferentes formas analisadas de transportar produtos e as entidades “Produto” simbolizam os produtos ou caixas manuseadas nas operações em questão. Já as entidades “Pal_Comb” e “Cart_Comb” são utilizadas em cenários que envolvem o transporte de produtos em comboios logísticos, os quais podem ser constituídos por um conjunto de paletes ou carrinhos. Na Figura 25 são apresentadas as entidades que definem os meios de transporte dos produtos e a entidade que representa os próprios produtos. Por sua vez, a Figura 26, ilustra as entidades relacionadas ao transporte em comboios logísticos.

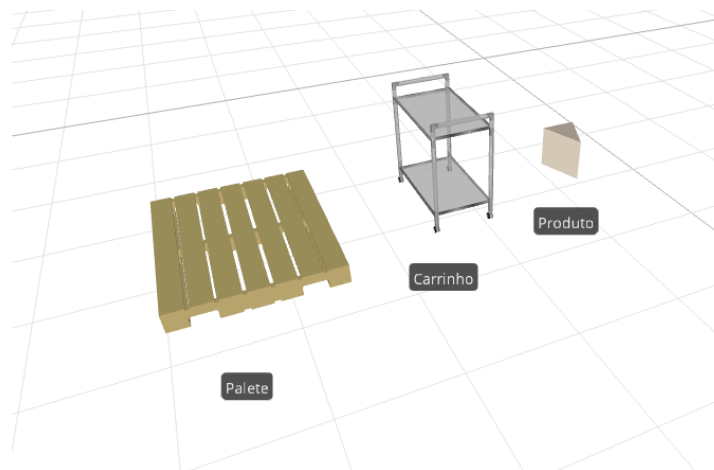


Figura 25 - Entidades representativas dos meios de transporte e dos produtos

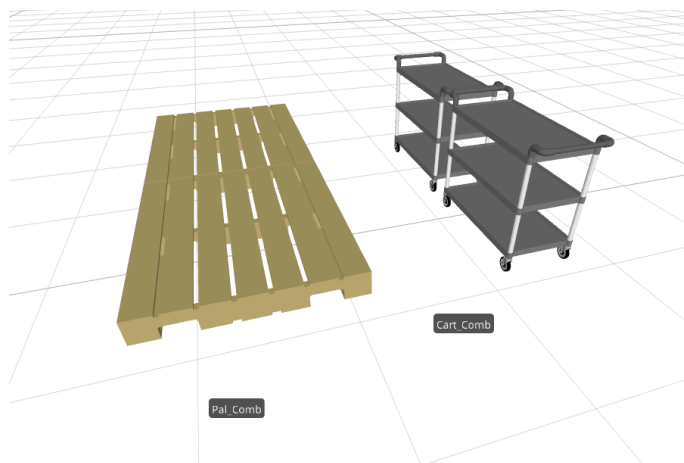


Figura 26 - Entidades representativas de comboio logístico

5.1 Modelação das atividades de *despicking* e manuseamento de materiais

Iniciada a simulação, o modelo irá gerar o número de paletes, segundo o valor do *PaletesCamiao*, definido pelo utilizador no painel de controlos. Estas paletes são *Model Entities* e simbolizam aquelas que foram descarregadas aquando da chegada de carga enviada pelo centro de distribuição.

Quando estas entidades são geradas é iniciado um processo - “DefineAtributosPaleta_CLog” - que vai gerar um conjunto de características das paletes em questão. Tal como podemos ver na Figura 27, este processo é responsável por definir a quantidade de produtos da paleta, a partir da propriedade *QtdPaletesContentor*, definir o número de categorias diferentes de produtos em cada paleta, o tipo/altura da paleta e por calcular a quantidade de produtos que irão ficar em cada uma das 12 zonas. A altura das paletes e as zonas são característica que serão explicadas com mais detalhe nos próximos parágrafos.

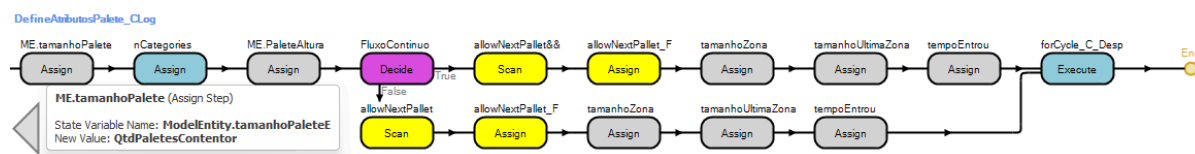


Figura 27 - Processo DefineAtributosPaleta_CLog

De seguida, o colaborador (*Worker*) irá transportar a primeira paleta da zona de descarga para a zona de *despicking*. A Figura 28, representa o transporte descrito em cima.

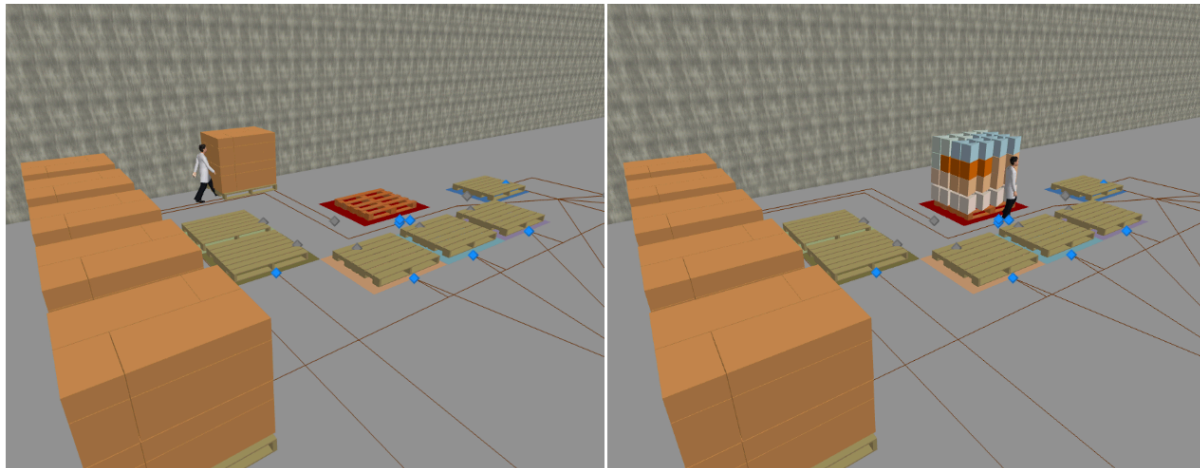


Figura 28 - Transporte de paleta da zona de descarga para a área de despicking

Considerando que cada paleta conta com um número específico de produtos, ao chegar a esta zona, a entidade “Produto”, gerada com uma *Picture* de paleta, iniciará um processo responsável por multiplicar esta em vários produtos. O número de produtos ou caixas em cada paleta segue a distribuição aleatória definida no capítulo de descrição analítica e parametrização. Esta multiplicação de entidades é apenas uma parte de um conjunto de processos que correm no momento de chegada da paleta à zona de *despicking*. Este conjunto de processos ocorre a partir da arquitetura de objetos apresentada na Figura 29.

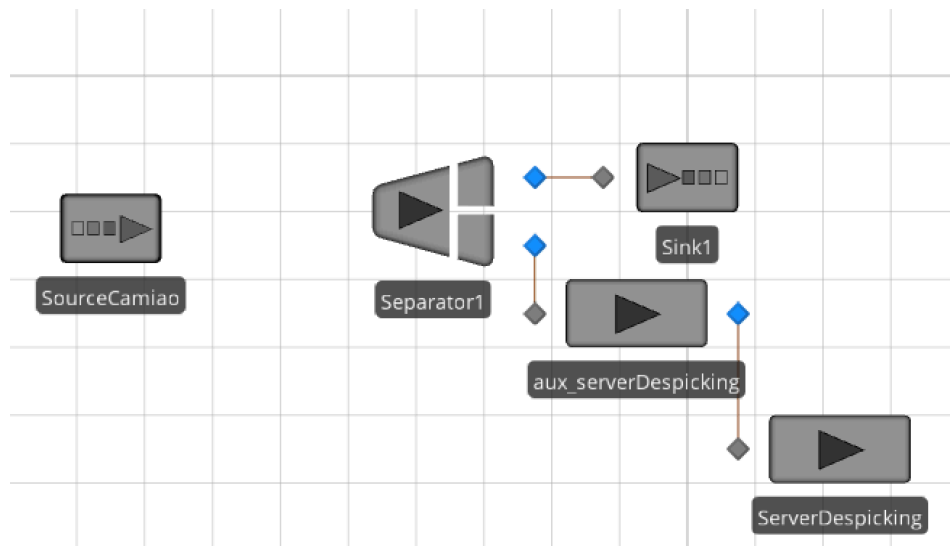


Figura 29 - Dinâmica para multiplicação de paletes em produtos

O processo de transformação de paletes em produtos, ocorre a partir da entrada das entidades “Produto” no *Separator1*. Aqui, estas entidades serão multiplicadas em várias entidades do mesmo tipo tendo como lógica de separação a opção *Make Copies* e seguem para o servidor que irá auxiliar a operação de *despicking*. A entidade *parent* segue para o *Sink1*, sendo destruída e eliminada do sistema.

A diversidade de estivas das paletes e as características dos produtos que as compõem criam desafios no momento de *despicking*, sobretudo devido à posição de difícil acesso em que por vezes os produtos se encontram na paleta. Em termos de modelação, esta complexidade resulta em aumentos de tempo ao manipular cada produto, dependendo da sua localização na construção da paleta e do tipo de paleta. Para facilitar a comparação dos tempos envolvidos, a paleta foi dividida estrategicamente em 12 partes, representando diferentes alcances funcionais horizontais e verticais. Enquanto os produtos são gerados, corre um processo – “Zonas_e_Destinos_etc” - à saída do *Separator1 (MemberOutput@Separator1)* que atribui algumas características às entidades “Produto”, tais como: peso (segundo a distribuição referida no capítulo de análise descritiva e parametrização), um ID que identifica o número da paleta em que este produto foi gerado, associa as entidades a uma parte da paleta tendo em conta que a paleta é dividida nas 12 partes já referidas e altera a sua *picture* (cor) tendo em conta a zona na qual foi colocado. Este processo está representado na Figura 30.

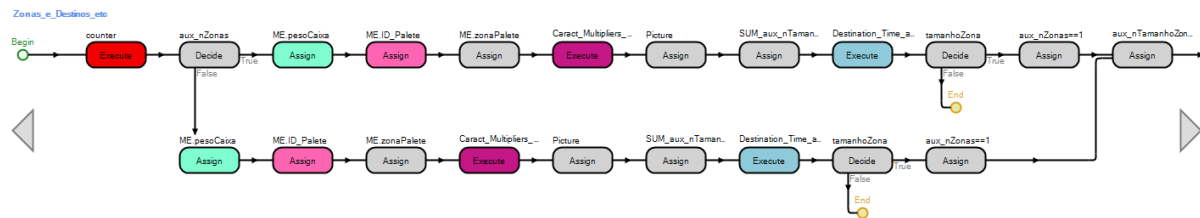


Figura 30 - Processo Zonas_e_Destinos_etc

A cada região da paleta está associado um fator de tempo que representa a dificuldade de manuseamento. Para facilitar o entendimento destas regiões foi desenvolvido um esquema simplificado deste sistema de posições, apresentado na Figura 31.

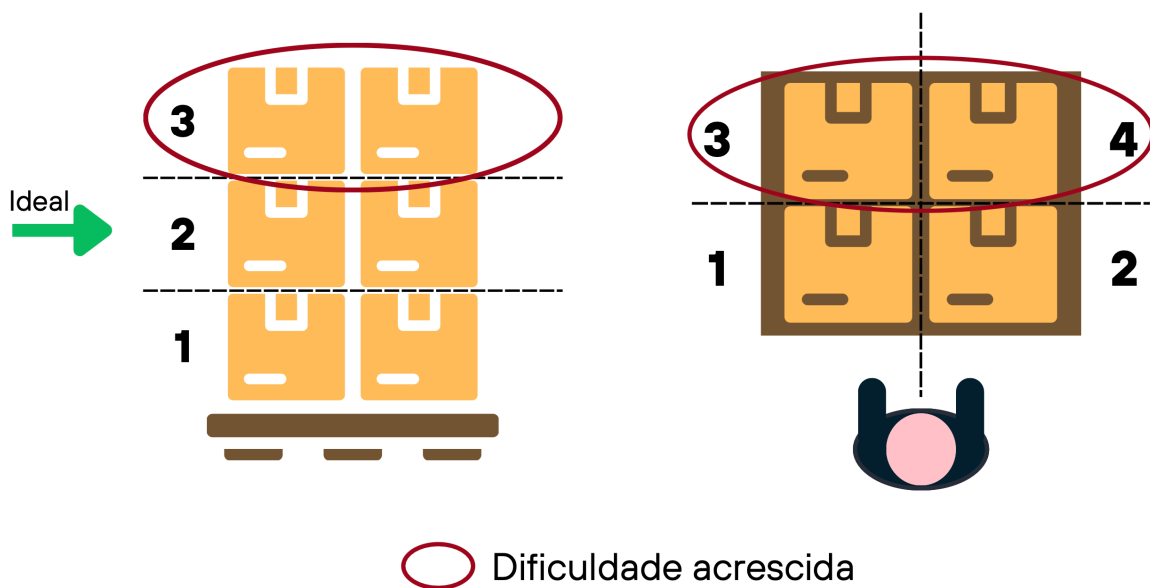


Figura 31 - Esquema de divisão da paleta segundo alcances funcionais.

O *despicking* é uma atividade fisicamente exigente e o seu nível de dificuldade aumenta em posições de maior alcance funcional vertical e/ou horizontal, dada a necessidade de realizar um maior número de movimentos adicionais para que seja assegurado o manuseamento correto dos produtos. Desta forma, os modelos contam com um conjunto de tabelas que ditam o tempo de *despicking* e o fator de tempo para cada zona das paletes, considerando a existência de duas alturas de paletes-tipo: paletes com cerca de 1,80m e 2,10m. O tempo de *despicking* por produto é dado pela distribuição uniforme (6, 10) segundos à qual é acrescido o fator de tempo extra em todos os casos, sendo que no tipo de paletes com alturas a rondar os 2,10m, os alcances das posições mais elevadas têm um fator maior relativamente ao tipo de paletes com cerca de 1,80m. Isto tem como objetivo realçar a exigência física superior no manuseamento dos produtos em certo tipo de paletes. Nas tabelas 7 e 8 estão apresentados os fatores de tempo definidos para estes dois tipos de paletes.

Tabela 7 - Fatores de tempo para paletes com cerca de 2,10m

Fatores Tempo210_Paleta		Fatores Tempo180_Paleta	Fatores Tempo210_Cart	Fatores Tempo180_Cart
	Zona Pallet	Tempo Despicking	Fator Tempo Zona Pallet	
▶ 1	1	Random.Uniform(6, 10)	0.03	
	2	Random.Uniform(6, 10)	0.03	
	3	Random.Uniform(6, 10)	0.09	
	4	Random.Uniform(6, 10)	0.09	
	5	Random.Uniform(6, 10)	0	
	6	Random.Uniform(6, 10)	0	
	7	Random.Uniform(6, 10)	0.02	
	8	Random.Uniform(6, 10)	0.02	
	9	Random.Uniform(6, 10)	0.15	
	10	Random.Uniform(6, 10)	0.15	
	11	Random.Uniform(6, 10)	0.2	
	12	Random.Uniform(6, 10)	0.2	
*				

Tabela 8 - Fatores de tempo para paletes com cerca de 1,80m

Fatores Tempo210_Paleta		Fatores Tempo180_Paleta	Fatores Tempo210_Cart	Fatores Tempo180_Cart
	Zona Pallet	Tempo Despicking	Fator Tempo Zona Pallet	
1	1	Random.Uniform(6, 10)	0.03	
2	2	Random.Uniform(6, 10)	0.03	
3	3	Random.Uniform(6, 10)	0.09	
4	4	Random.Uniform(6, 10)	0.09	
5	5	Random.Uniform(6, 10)	0	
6	6	Random.Uniform(6, 10)	0	
7	7	Random.Uniform(6, 10)	0.02	
8	8	Random.Uniform(6, 10)	0.02	
9	9	Random.Uniform(6, 10)	0.125	
10	10	Random.Uniform(6, 10)	0.125	
11	11	Random.Uniform(6, 10)	0.175	
12	12	Random.Uniform(6, 10)	0.175	

Analisando as tabelas anteriores e, considerando um produto exemplo que é manuseado a partir de uma paleta com cerca de 2,10m, caso o seu tempo de *despicking* base seja igual a nove segundos e o mesmo seja retirado da zona dez, o seu tempo total de *despicking* será igual a 10,35 segundos ($10,35s = 9s + (9s \cdot 0,15)$).

Tendo em conta os fatores destas tabelas, os produtos serão então manuseados um a um. Estes são retirados da paleta em *despicking* e colocados na paleta que corresponde à sua categoria. Para a construção do modelo foram consideradas seis categorias diferentes, que correspondem às categorias existentes neste processo, tal como descrito na Tabela 3. Assim, os produtos que chegam são distribuídos por estas paletes por categoria antes de serem transportadas para a loja. Uma distribuição aleatória vai definir o número de categorias diferentes que cada paleta transporta (*ModelEntity.nCategories*), sendo que, cada paleta pode transportar no mínimo uma categoria e no máximo seis, tal como referido no capítulo de parametrização do modelo. Os destinos possíveis de cada produto encontram-se listados na Tabela 9 e correspondem às posições numéricas representadas na Figura 32.

Tabela 9 - Possibilidade de destinos de cada produto

tbl_node Destino	
	Node_Destino
1	MemberInput@RecebeDespicking_01
2	MemberInput@RecebeDespicking_02
3	MemberInput@RecebeDespicking_03
4	MemberInput@RecebeDespicking_04
5	MemberInput@RecebeDespicking_05
6	MemberInput@RecebeDespicking_06

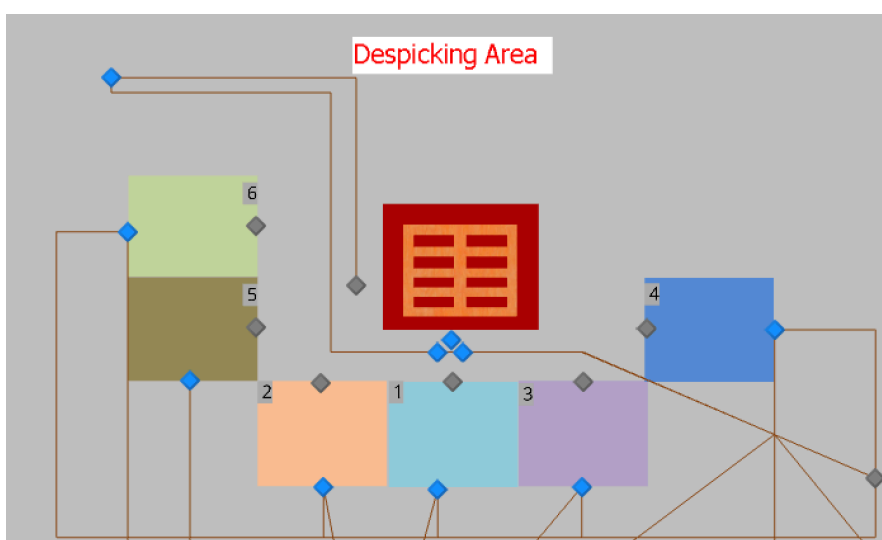


Figura 32 - Localização de cada destino possível dos produtos

Tal como referido anteriormente, a modelação destes modelos foca-se nas atividades de tratamento de paletes e reposição dos produtos, de forma a estudar os fluxos internos da loja. Nos próximos subcapítulos, serão apresentados os cenários desenvolvidos e, consequentemente, os seus parâmetros, elementos e dinâmicas.

A modelação do estado atual tem em conta os fluxos previamente existentes na loja, ou seja, os fluxos descritos nos Apêndice 1 a 3. De forma resumida, este cenário conta com a realização de *despicking* tendo em conta que os produtos são colocados nas paletes de reposição por categoria. Este processo ocorre de forma sistemática até que todas as paletes tenham sido *despickadas*. Terminado o *despicking* de todas as paletes, o colaborador irá então iniciar a reposição dos produtos, transportando uma paleta de cada vez para a loja, parando no corredor correspondente aos produtos que leva consigo e repondo-os. A atividade é finalizada quando todos os produtos tiverem sido repostos.

Com o objetivo de garantir que o modelo é capaz de simular e generalizar a distribuição de produtos por categorias de forma realista foi desenvolvido um conjunto de processos cíclicos que, tendo em conta o número de categorias (“nCategories”) de cada paleta, vai atribuir um destino lógico a cada um dos seus produtos. De forma exemplar imaginando que uma paleta tem a *state* “nCategories” igual a 3 então os produtos terão três destinos diferentes dentro dos seis destinos possíveis, por exemplo posição 1, 2 e 3. O conjunto em questão é constituído pelos seguintes processos: “forLoop_Categories_i_Desp”, “forLoop_Categories_k_Desp” e “Tbl_Write_D” e é executado no final do processo “DefineAtributosPaleta_CLog”, representado anteriormente na Figura 27. O conjunto cíclico encontra-se representado na Figura 33.

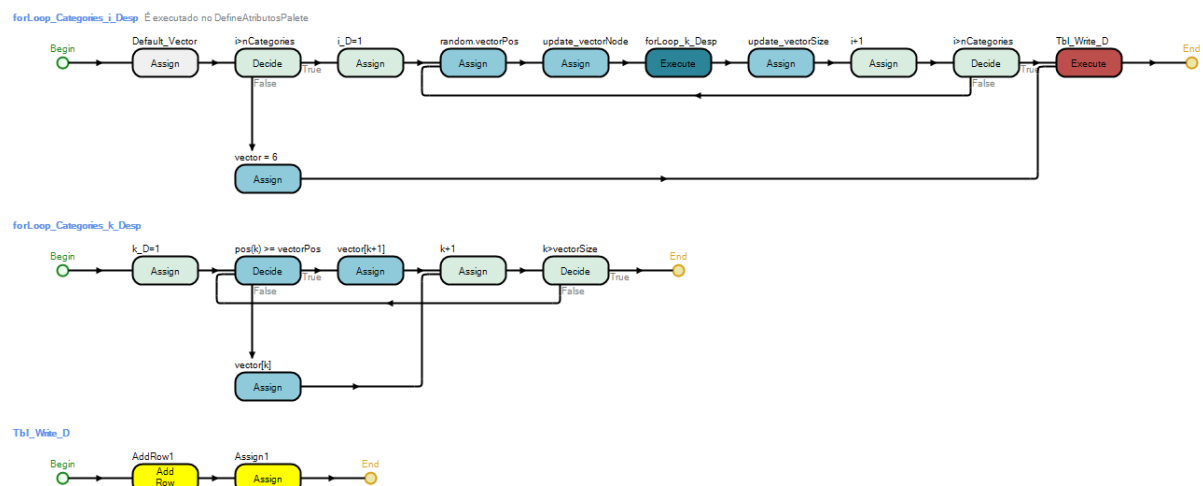


Figura 33 - Conjunto de processos responsáveis por definir as categorias destino

Para ajudar a entender o funcionamento dos ciclos deste conjunto, as iterações realizadas nestes processos foram sintetizadas no seguinte esquema da Figura 34.

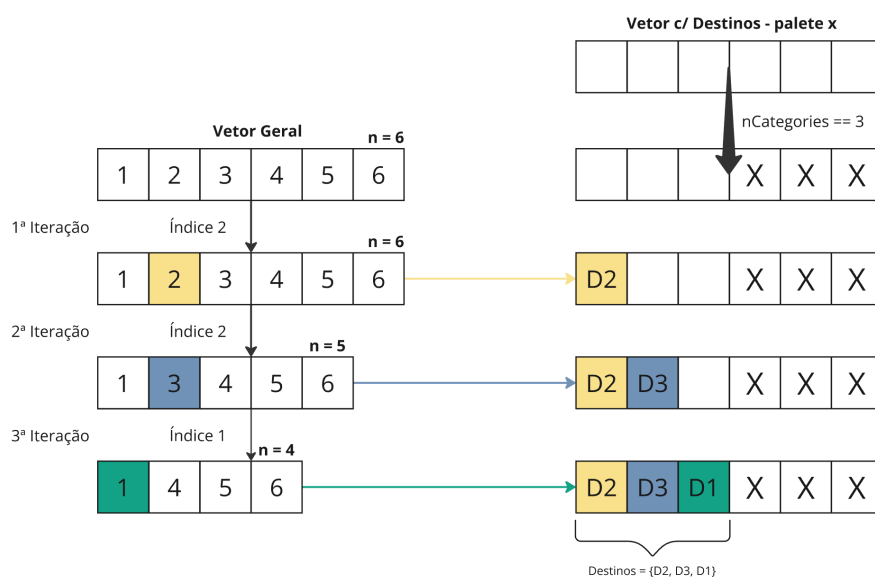


Figura 34 – Esquema exemplificativo dos processos responsáveis por definir as categorias destino

Como é possível observar na Figura 34, os processos pressupõem a existência de um vetor geral que contém todos os seis destinos possíveis, tal como o da esquerda, e um vetor associado a cada paleta, inicialmente vazio, que irá receber como entradas a referência dos *nodes* a partir da Tabela 9. Este vetor de destinos aceita apenas o número de entradas igual ao valor de “nCategories”, isto é, tal como no exemplo do esquema, sendo que “nCategories” é igual a 3 então o vetor toma um tamanho igual a três. De seguida, uma das posições do vetor geral é escolhida de forma aleatória e, consequentemente, atribuída ao vetor de destinos da paleta, neste caso podemos ver que foi escolhida a posição 2, relativa ao *node* 2. Após esta atribuição, o vetor geral reduz o seu tamanho numa unidade e o ciclo continua a realizar iterações nos mesmos modos até que todos os índices do vetor de destinos tenham um *node* associado. De modo geral, é possível ver que no exemplo esquematizado foram atribuídas três categorias diferentes à paleta em questão e, por fim, essas três categorias foram refletidas em três destinos diferentes para os seus produtos (D1, D2 e D3).

No final de cada ciclo, ou seja, sempre que é finalizada a definição de possíveis destinos dos produtos de uma paleta, o vetor final de destinos é registado numa tabela *output*, este que podemos ver na Tabela 10, onde se encontram registados os vetores de duas paletes exemplificativas, a primeira paleta apresenta cinco destinos (*nodes*: 1, 2, 3, 4 e 5) e a segunda paleta quatro destinos (*nodes*: 2, 3, 4 e 6).

Tabela 10 - Tabela output com os destinos de despicking

tbl_outp_Despicking Destinos							Table Category: Output
	Destino1	Destino2	Destino3	Destino4	Destino5	Destino6	
1	MemberInput@RecebeDespicking_04	MemberInput@RecebeDespicking_01	MemberInput@RecebeDespicking_03	MemberInput@RecebeDespicking_02	MemberInput@RecebeDespicking_05	[None]	
2	MemberInput@RecebeDespicking_02	MemberInput@RecebeDespicking_03	MemberInput@RecebeDespicking_06	MemberInput@RecebeDespicking_04	[None]	[None]	
*							

Iniciando-se a atividade de *despicking* o destino dos produtos é definido pelos *nodes* estimados na tabela anterior, sendo que um dos *nodes* disponíveis é escolhido com igual aleatoriedade para cada um dos produtos, tal como podemos ver no primeiro *step* “nodePaletaDestino” da Figura 35. Isto ocorre no processo “Destination_Time_and_Type” que pode ser consultado no seu formato completo no Apêndice 5.

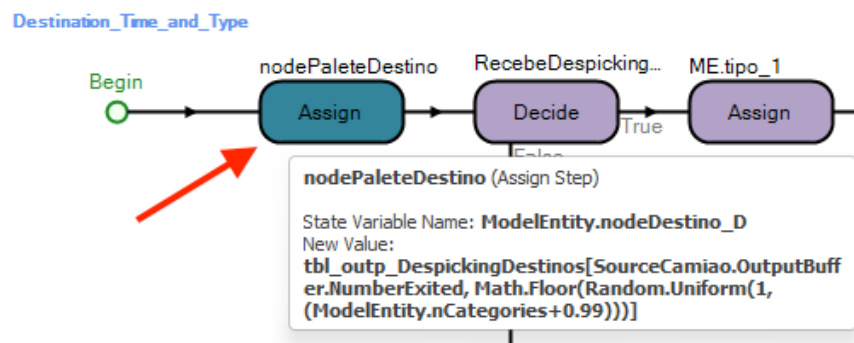


Figura 35 - Step “nodePaletaDestino”

É importante sublinhar que o destino do produto está diretamente relacionado com o seu tipo e, com intuito de garantir esta relação importante para modelação de alguns processos explorados mais à frente, foram colocados *steps*, no processo citado no parágrafo anterior, que associam o destino do produto ao seu tipo, tal como podemos ver na Figura 36.

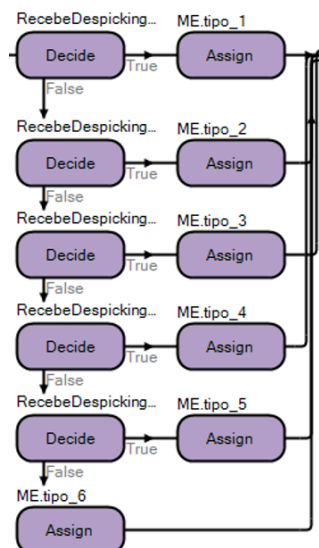


Figura 36 - Steps de relação entre o destino do produto e o seu tipo

O *Worker* irá então realizar a atividade de *despicking*, colocando as entidades “Produto” nas paletes de categoria correspondente até que estas atinjam a sua capacidade máxima. Assim que as paletes atingem a sua capacidade máxima são transportadas para a zona de espera enquanto que na zona de *despicking* é gerada uma nova entidade “Paleta” vazia para substituir a anterior, tal como é possível observar na Figura 37.

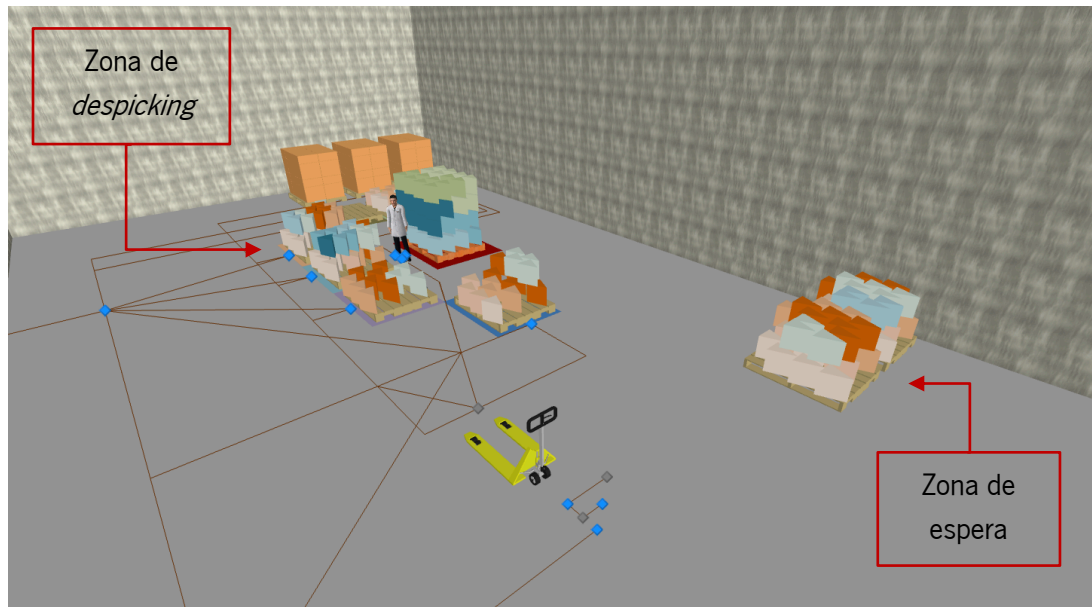


Figura 37 - Worker a colocar os produtos nas paletes de categoria

A modelação desta atividade é realizada a partir de um conjunto de seis *Combiners* que realizam o *batch* entre as entidades *parent* “Paleta” e as entidades *member* “Produto” em cada uma das posições de *despicking* (Figura 38).

Properties: RecebeDespicking_06 (Combiner)	
Batching Logic	
Batch Quantity	ModelEntity.tamanhoPaletes
Matching Rule	Any Entity
Batch Quantities (More)	0 Rows
Other Batching Options	
Parent Ranking Rule	First In First Out
Member Ranking Rule	First In First Out
Must Simultaneously Batch	False
Release Batch Early Triggers	1 Row
Suspend Batching When Down	True

Figura 38 - Propriedades dos Combiners responsáveis pelo batch após despicking.

Na Figura 38 é possível observar o método que define a quantidade total do *batch*. A *state* “ModelEntity.tamanhoPaletes” refere-se à capacidade máxima que cada paleta de reposição abrange, sendo que este tamanho é definido pela propriedade do modelo “QtdConstrução_Pal” referida no início do capítulo como uma propriedade controlada pelo utilizador. Como padrão esta propriedade define que

existem quatro tipos de paletes de categoria tendo em conta a sua capacidade, estes tipos de palete estão representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Tipos de palete categoria segundo capacidade máxima

Tipo de Palete	Distribuição	Probabilidade
PLS1	Math.Round(Random.Uniform(71, 100))	50%
PLS2	Math.Round(Random.Uniform(101, 135))	30%
PLS3	Math.Round(Random.Uniform(40, 70))	10%
PLS4	Math.Round(Random.Uniform(136, 165))	10%

O objetivo de modelar quatro tipos diferentes de palete, relativamente ao seu tamanho, é de simular o facto de haver produtos com volumes muito distintos, por vezes o colaborador pode considerar que uma palete ficou cheia com poucos produtos devido aos seus grandes volumes ou vice-versa. Desta forma, garante-se que o modelo é capaz de abranger a variedade de possibilidades, tendo em conta que foi desconsiderada a modelação do volume como característica das entidades “Produto”.

Para além disso, ainda na Figura 38 é possível ver que existe um *trigger* com a função de libertar o *batch* antes de este atingir a sua capacidade máxima. Este *trigger* funciona à base de um evento que tem como objetivo garantir que caso todos os produtos tenham sido *despickados* o *batch* é libertado, dando continuação às atividades de reposição (exploradas com detalhe mais à frente). Pode-se ver na Figura 39 que o evento “tudoParaLoja” é responsável pela libertação das entidades.

Properties:	
Release Batch Early Trigger	
Trigger Type	Event Based
Triggering Event Name	tudoParaLoja
Release Decision Type	Conditional
Release Condition Or Probability	RecebeDespicking_06.ParentInputBu...

Figura 39 - Propriedades do trigger de libertação de entidades para reposição

5.2 Modelação das atividades de transporte e reposição na loja

No cenário padrão, a partir do momento em que todos os produtos são *despickados* o modelo dispara o evento “tudoParaLoja” que sinaliza o final das atividades de *despickinge* o início das atividades de transporte e reposição na loja. O objetivo deste subcapítulo é de retratar a modelação destas atividades, as suas características e os pressupostos que foram considerados ao longo do seu desenvolvimento.

As atividades de transporte e reposição dos produtos nas placas de venda do espaço comercial das lojas representam um sistema volátil no que toca ao seu comportamento. Tendo em conta esta flexibilidade do sistema, é necessário modelar com cuidado as várias características inerentes ao mesmo. O espaço comercial modelado conta com uma área constituída por quinze corredores onde os produtos do tipo LIA são disponibilizados ao cliente através das placas de venda. Com o objetivo de monitorizar e analisar o esforço relativo a movimentações realizado pelos colaboradores, foi desenvolvida uma matriz com as distâncias entre todos os *nodes* do sistema. Para desenvolver esta matriz foi utilizada a planta da loja em formato CAD (*Computer Aided Design*), a qual serviu para realizar os cálculos das distâncias de cada ponto de interesse para o modelo de simulação, resultando na matriz apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Matriz de distâncias entre os pontos de interesse, em metros.

tbl_dist																											
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	p17	p18	p19	p20	p21	p22	p23	p24	p25	p26	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3.5	17.75	21.75	25.75	29.75	33.75	37.75	41.75	30.5	34.5	38.5	42.5	46.5	50.5	54.5	58.5	
12	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	39.5	
13	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	
14	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	
15	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	29.75	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	
16	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	
17	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	37.75	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	
18	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	41.75	39.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	35.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	
19	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	39.5	
20	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	35.5	
21	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	31.5	
22	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	23.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	27.5	
23	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	19.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	23.5	
24	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	15.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	19.5	
25	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	35.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	11.5	35.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	15.5	
26	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	39.5	35.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	39.5	35.5	31.5	27.5	23.5	19.5	15.5	3.5	
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Outra questão importante que foi tida em conta foi a forma de modelação dos corredores em que serão realizadas as tarefas de reposição. A ação de repor produtos nas placas de venda, e em qual colocar, deve ter em consideração não só a quantidade de artigos que a paleta transporta, mas também o número de tipos diferentes de produtos. Dito isto, no momento em que a paleta é libertada após o evento “tudoParaLoja” ser disparado é executado um processo que analisa e regista o número de tipos diferentes de produtos existentes nas paletes para que, mais à frente, seja possível escolher, de forma probabilística, os corredores onde será necessário realizar reposição. Assume-se, naturalmente, que quantos mais tipos de produtos diferentes estiverem numa paleta maior a probabilidade e a necessidade de percorrer corredores distintos. Para modelar este comportamento, foi desenvolvido um ciclo, a partir

de um conjunto de processos, que percorre todos os índices do *BatchMember* da entidade *parent*, verificando os tipos de todas as entidades “Produto” e registrando sempre que se depara com uma categoria ainda não registrada anteriormente. Na Figura 40, pode-se analisar o conjunto de processos que constituem o ciclo referido em cima.

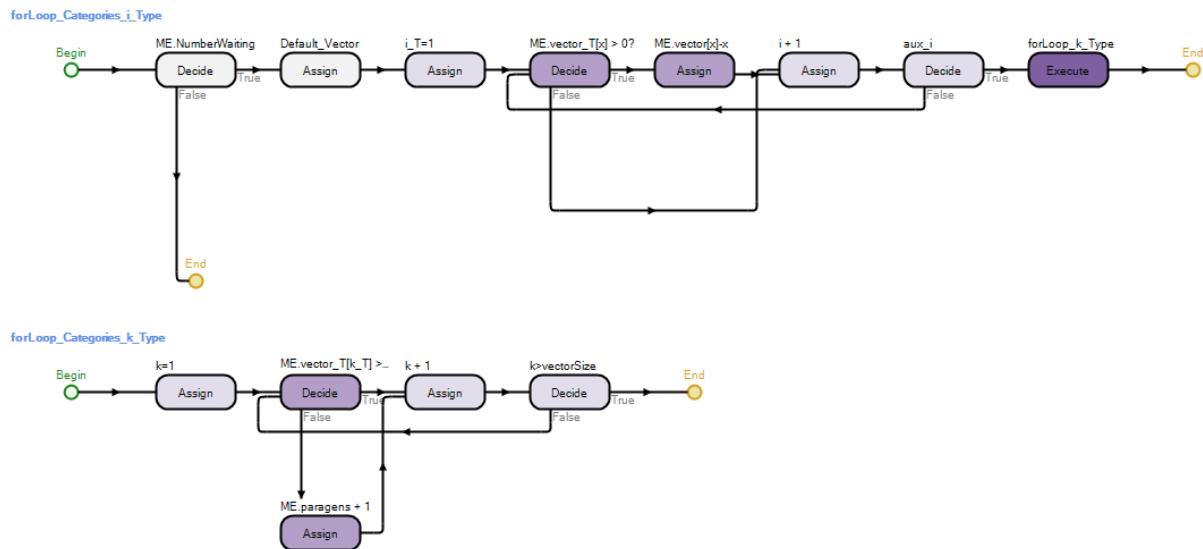


Figura 40 - Conjunto de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta que segue para reposição

Com o intuito de facilitar a visão deste ciclo em funcionamento, foi desenvolvido um esquema representativo do mesmo, tal como se pode observar na Figura 41.

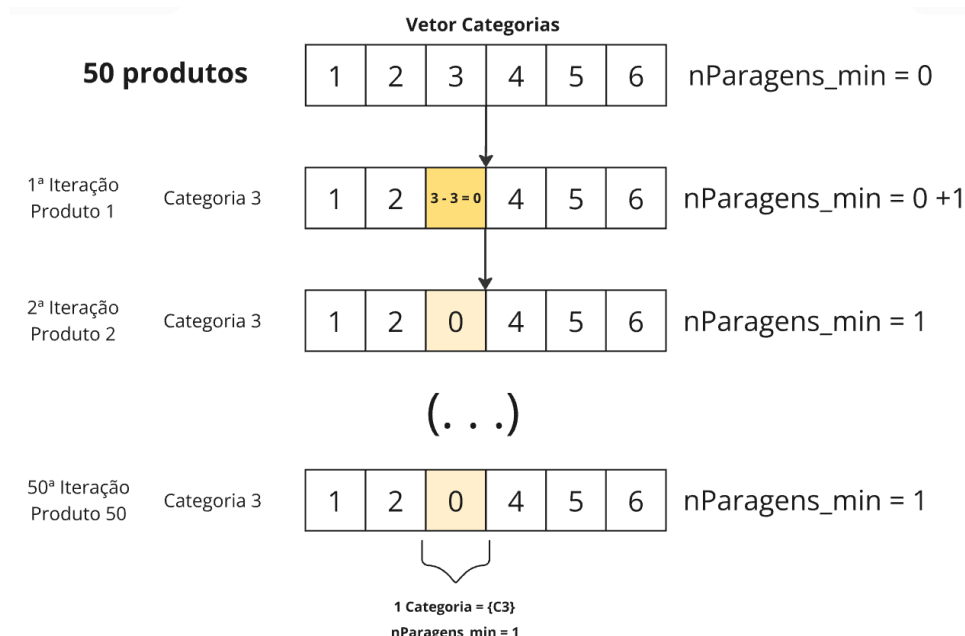


Figura 41 - Esquema exemplificativo dos de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta (cenário padrão)

Tendo em conta, tal como referido no capítulo anterior e observado no processo do Apêndice 5, que no cenário padrão o tipo do produto depende da sua paleta destino e, por isso, será de esperar que neste

caso o número de categorias que cada paleta transporta seja apenas uma. Apesar disso, sublinha-se a importância da modelação deste conjunto de processos com o objetivo de garantir a flexibilidade do modelo para cenários que tenham comportamentos distintos deste, como é o caso do cenário de fluxo contínuo que será explorado em detalhe mais à frente. Focando no exemplo da Figura 41, que retrata o funcionamento destes processos no cenário padrão, é possível observar que o processo inicia com um vetor de categorias de tamanho igual a seis em que os seus índices são numerados de 1 a 6. Cada número do índice representa uma categoria/tipo de produto. Iniciando o ciclo exemplo numa paleta com 50 produtos, verifica-se que na primeira iteração é verificada a *state* tipo da entidade “Produto” que, neste caso, apresenta um tipo igual a 3 e, por isso, este mesmo valor será subtraído no índice adequado e é acrescida uma unidade ao número de paragens mínimas. Já na segunda iteração, como é de esperar o produto é também do tipo 3, mas como o vetor já contém o valor 0 nessa posição não é realizada nenhuma alteração e o processo segue para a próxima iteração. O raciocínio é iterado em todos os produtos do *BatchMember* da paleta, sendo que no final deste caso conclui-se que a paleta transporta apenas uma categoria (categoria 3), levando ao mínimo de uma paragem num dos corredores.

Após a análise do primeiro exemplo, é pertinente apresentar um segundo caso que destaque os casos em que as paletes possam transportar mais do que uma categoria, como é o caso de fluxo contínuo. Seguindo a mesma linha de raciocínio, foi desenvolvido outro esquema exemplificativo para este caso, tal como se pode observar na Figura 42.

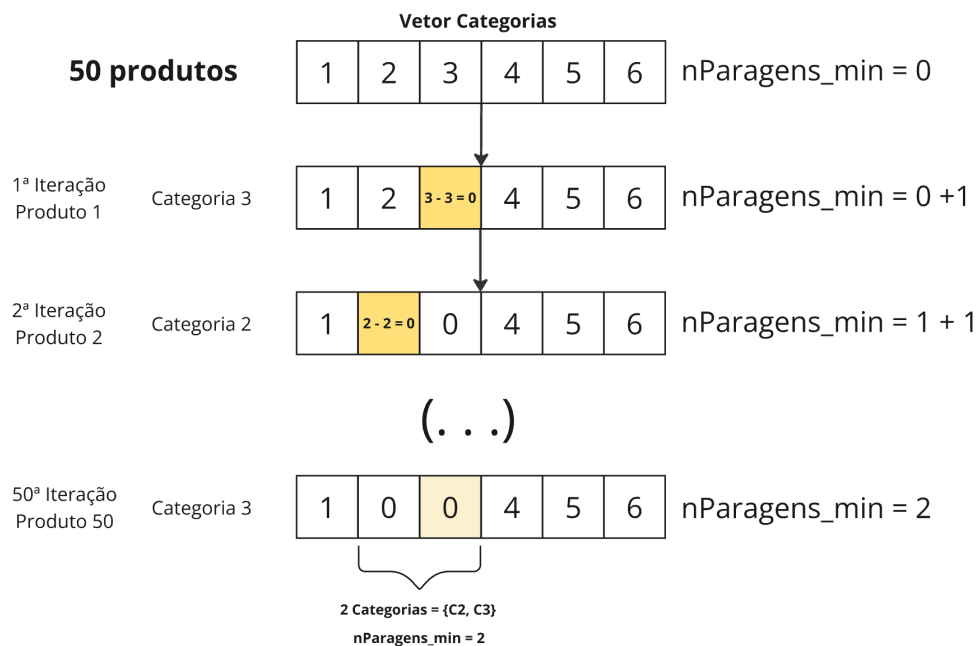


Figura 42 - Esquema exemplificativo dos de processos relativos ao ciclo de registo de categorias numa paleta (cenário alternativo)

No segundo exemplo, o ciclo segue as mesmas regras e pressupostos, mas sublinha-se a alteração no que toca ao resultado do vetor final de categorias e ao número mínimo de paragens. Neste caso, o processo verificou que na primeira iteração o produto tratava-se de um produto do tipo 3 e na segunda iteração que se tratava de um produto do tipo 2, nas restantes iterações não foi registado nenhum tipo diferente de produto, terminando assim o processo com um vetor final de duas categorias e duas paragens mínimas. Com estes dois exemplos percebe-se que este modo de análise facilita a modelação dos sistemas de reposição, simulando com precisão a necessidade de se deslocar a mais corredores nos casos em que são transportados produtos de diferentes tipos na mesma paleta.

Apesar de ser importante perceber o número de categorias de produtos que cada paleta transporta para possibilitar a simulação da reposição nos vários corredores, é importante referir que o colaborador por vezes necessita de voltar a repor produtos num corredor onde já o tinha feito. Imaginemos um caso exemplo em que uma paleta contém vários produtos de uma categoria no topo, mas que alguns produtos do mesmo corredor se encontram no final da paleta fruto da atividade de *despicking*, tal como representado na Figura 43.

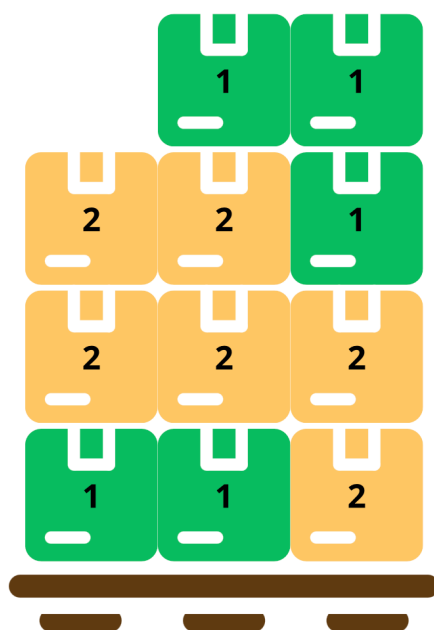


Figura 43 - Esquema exemplificativo de uma paleta com categorias de produtos em zonas distintas

O esquema acima demonstra que o colaborador necessitará inicialmente de se dirigir ao corredor correspondente aos produtos do tipo 1, localizados no topo da paleta, para realizar a sua reposição na prateleira. No entanto, apesar da mesma paleta transportar mais produtos do tipo 1, que também seriam repostos no mesmo corredor, será necessário repor primeiro os produtos do tipo 2 visto que estes bloqueiam o alcance aos produtos da zona final da paleta. Caso o colaborador pretendesse alcançar os

produtos do final, corria o risco de quebrar a estabilidade da paleta e, por isso, o colaborador precisará de retornar ao corredor inicial após finalizar a reposição dos produtos do tipo 2. Para modelar a possibilidade de o colaborador necessitar de retornar a corredores já percorridos, foi desenvolvido um subprocesso que define o método de seleção dos corredores para reposição. Esse subprocesso considera a probabilidade igual da paleta necessitar de repetir ou não corredores durante a reposição dos seus produtos. Desta forma, o modelo reflete um comportamento onde a repetição de corredores é tratada como uma possibilidade inerente ao processo, garantindo maior flexibilidade e relação com as situações reais de reposição. O subprocesso em questão está representado na Figura 44.

Destinos_Paragens

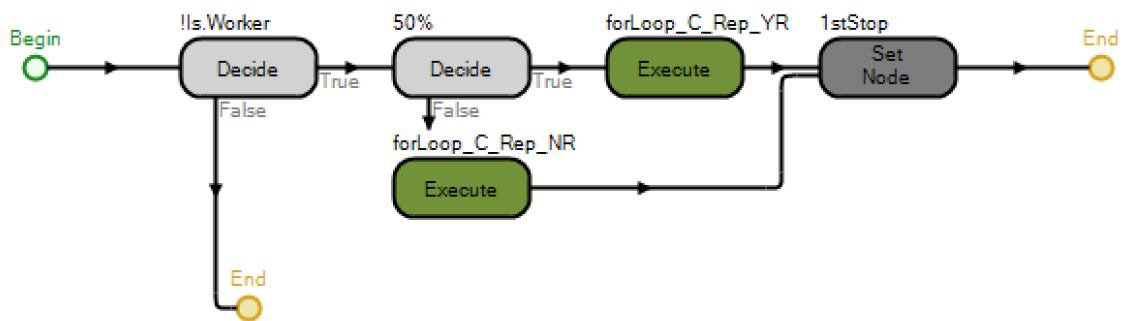


Figura 44 - Processo Destinos_Paragens

Conforme ilustrado na figura acima, o modelo apresenta uma probabilidade de 50% de permitir a repetição de corredores executando o processo denominado “forLoop_C_Rep_YR”. Caso a repetição não seja permitida, o modelo segue o processo alternativo, “forLoop_C_Rep_NR”, que impede a repetição de corredores no momento da sua seleção.

O conjunto de processos responsável pela construção do vetor com os *nodes* destino de paragem para reposição de cada paleta estão retratados na Figura 45.

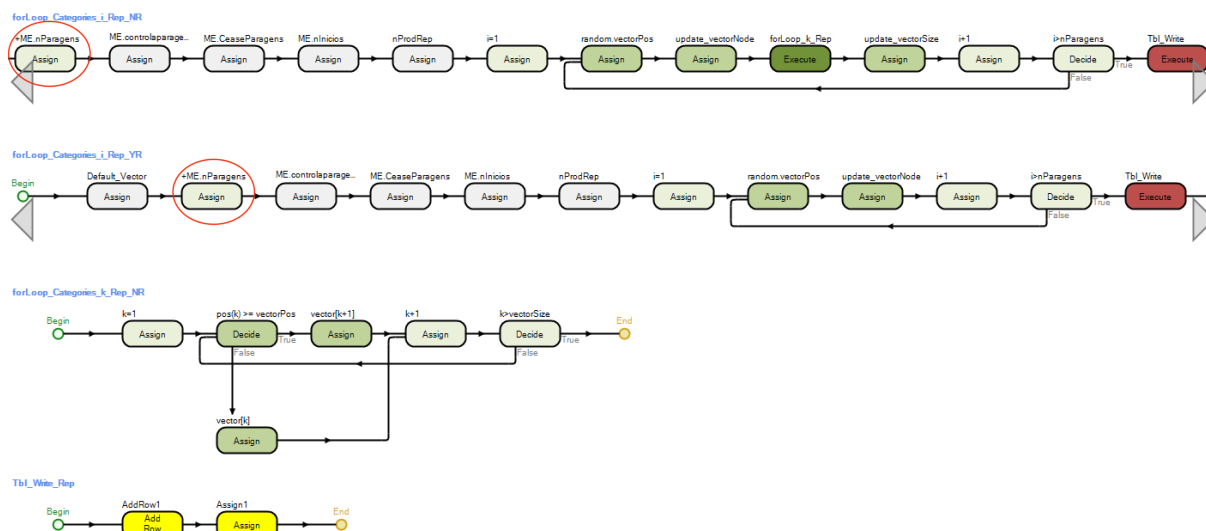


Figura 45 - Conjunto de processos responsável pela construção do vetor com destinos de reposição

Para além da possível necessidade de passar várias vezes pelo mesmo corredor existem outros aspetos específicos no que toca à reposição de produtos nestas lojas. Por vezes, é possível encontrar o mesmo produto exposto em diferentes zonas da loja, seja por decisão estratégica de *marketing* ou pela presença desse produto em catálogo promocional, que, consequentemente, aumentará as vendas do mesmo e, por isso, torna-se obrigatório garantir que este se encontra exposto em vários pontos do espaço comercial. Tendo em conta estes casos, antes do modelo executar os ciclos respetivos à escolha dos destinos de reposição, sublinha-se a importância de se modelar os casos em que o produto se encontra exposto em vários pontos da loja. Para isso, foi acrescentado o *step*, rodeado a vermelho no conjunto de processos da figura anterior, que acresce zero, uma ou no máximo duas paragens extra ao número de paragens original da palette. As propriedades deste *step* estão representadas na Figura 46.

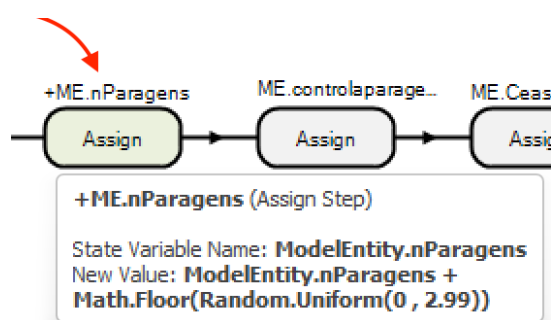


Figura 46 - Step responsável pelo aumento do número de paragens nos casos excecionais de exposição múltipla

Tal como referido anteriormente, nos casos em que a palette poderá ter de repetir corredores durante a reposição de produtos, o modelo irá executar o processo “forLoop_C_Rep_YR”, o qual não apresenta qualquer restrição durante a escolha dos corredores. Por outro lado, no caso da execução do processo

“forLoop_C_Rep_NR” o vetor de destinos de reposição executará um processo intermédio que serve como barreira à repetição de *nodes* no vetor de destinos de reposição. No final de cada ciclo, é executado o processo “Tbl_Write_Rep” que regista o vetor de destinos numa tabela de *output*, como observável no exemplo da Tabela 13.

Tabela 13 - Tabela output com os destinos de reposição

	tbl_outp_Despicking Destinos		tbl_Out_P_Ergo Indexes_Cart		tbl_Out_P_Ergo Indexes_Pallet		tbl_outp_Replenishment Destinos								
	Destino1	Destino2	Destino3	Destino4	Destino5	Destino6	Destino7	Destino8	Destino9	Destino10	Destino11	Destino12	Destino13	Destino14	Destino15
1	Input@Corredor5	Input@Corredor3	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]
2	Input@Corredor12	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]
3	Input@Corredor10	Input@Corredor4	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]
4	Input@Corredor12	Input@Corredor14	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]
5	Input@Corredor3	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]	[None]

Após a execução deste conjunto de processos, como etapa final dos ciclos, observa-se na Figura 47 que o destino do primeiro corredor de reposição é atribuído à entidade através do *step Set Node*. Este *step* faz parte do processo “Destinos_Paragens” e desempenha a função de definir o primeiro destino, utilizando o vetor de destinos de reposição construído nos processos anteriores.

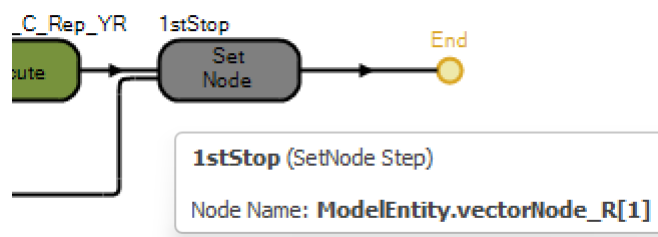


Figura 47 - Step Set Node do primeiro destino de reposição

A Figura 48, representa o momento em que todas as atividades de *despicking* das paletes são concluídas. Com isso, inicia-se o processo de transporte para a loja, seguido da reposição dos produtos nas prateleiras.

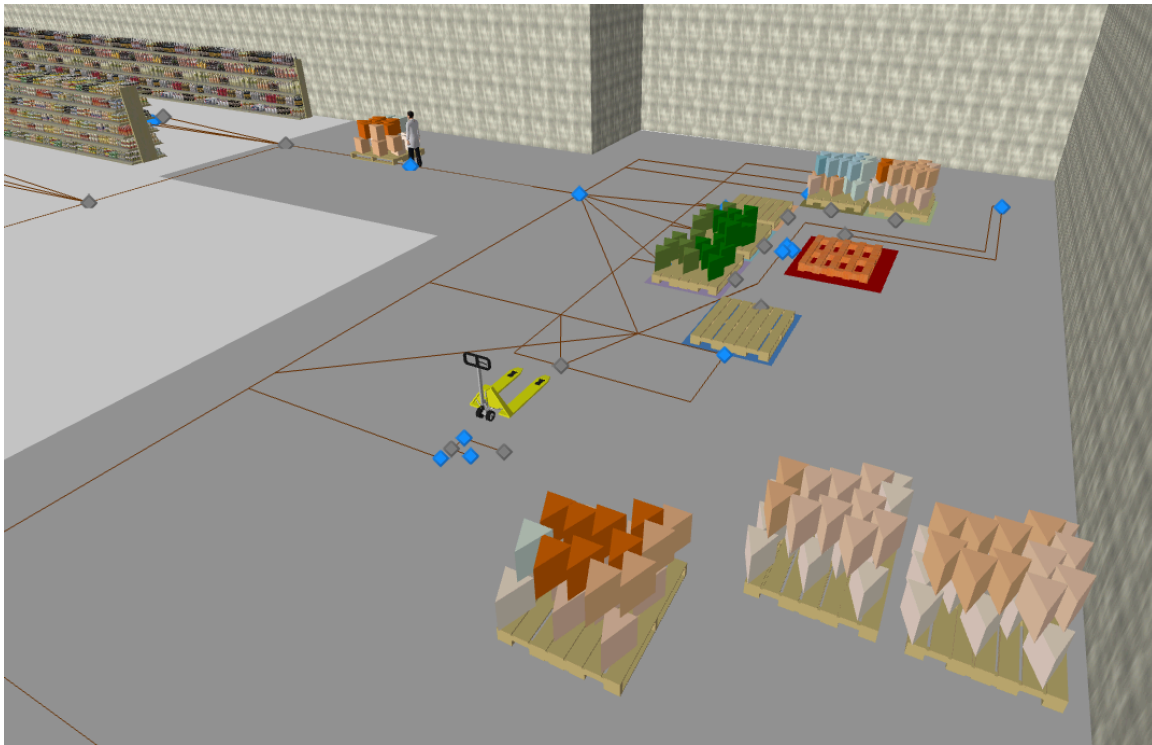


Figura 48 - Representação da retaguarda no momento final do despicking

Tendo em conta que todas as paletes já passaram pelos processos necessários à alocação de destinos são então transportadas pelo *Worker* da zona de retaguarda até aos seus corredores onde irá repor os produtos. O momento em que os colaboradores chegam ao corredor está representado na Figura 49.



Figura 49 - Momento de reposição dos produtos nas prateleiras

Para simplificar a modelação dos processos de reposição e não sendo significativo adotar métodos mais complexos, assumiu-se que os produtos de cada paleta são distribuídos de forma equitativa pelos corredores listados como destinos, ou seja, caso uma paleta contenha 100 produtos e possua 4 paragens programadas, serão repostos 25 produtos em cada um dos corredores. Com o objetivo de simular a reposição dos produtos de forma individual, foi colocado um *Separator* em cada corredor. Estes objetos irão separar as entidades “Produto” da entidade “Paleta”, enviando os produtos para um *Sink*, eliminando-os do sistema. Este acontecimento pretende simular a chegada dos produtos às prateleiras e, tendo em conta que o âmbito do estudo termina nesse instante, considera-se que este ponto é uma fronteira do sistema. Aquando da chegada da entidade *parent* (paleta e produtos) ao *input* de separação ocorre a separação e é disparado o processo “Reposição_Prod”, representado na Figura 50.

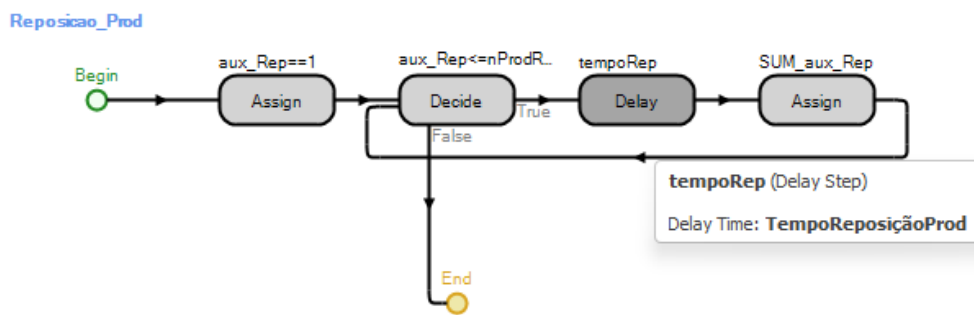


Figura 50 - Processo “Reposição_Prod”

Este processo opera de forma cíclica e é responsável por garantir a simulação de reposição dos produtos de forma individual. Durante a sua execução, é aplicado um *delay*, com valor igual à distribuição da propriedade “TempoReposicaoProd” e que ocorre tantas vezes quanto o tamanho de separação. Sublinha-se o facto de o utilizador ter a capacidade de alterar esta propriedade, representativa do tempo de reposição de um produto.

Após a execução de todos os *steps* de *delay*, é executado o processo “Controla_Paragens”, apresentado na Figura 51.

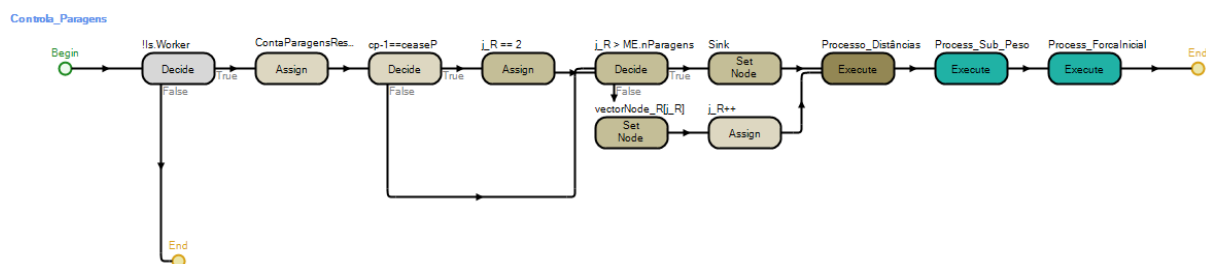


Figura 51 - Processo “Controla_Paragens”

Este processo tem o objetivo de realizar o controlo das paragens já realizadas. Se a paleta ainda não tiver sido dirigida para todos os corredores do seu vetor de destinos, é-lhe atribuída o próximo

corredor ou, por outro lado, caso esta já tenha passado por todos os destinos é encaminhada para um *Sink*, onde são realizados os cálculos das estatísticas finais antes da entidade ser eliminada do sistema.

Todos os processos descritos nos parágrafos anteriores são executados até ao término da *run* (ato de executar ou realizar uma simulação), que ocorre quando todos os produtos relativos às paletes de descarga são repostos.

5.3 Modelação de parâmetros para geração de cenários alternativos

O desenvolvimento deste modelo de simulação visa proporcionar uma ferramenta altamente flexível, permitindo aos utilizadores ajustar e explorar uma ampla gama de cenários, sem perder a consistência nas relações dos objetos ao longo de toda a simulação. A grande capacidade de adaptação do modelo garante que, independentemente das combinações de controlos escolhidas, cada objeto mantém a sua integridade e interação de forma realista e fiel ao cenário. Essa flexibilidade permite uma análise detalhada a nível operacional e ergonómico, tornando o modelo uma solução adaptável para qualquer necessidade de simulação relativamente às atividades em estudo. Desta forma, nos próximos parágrafos, serão descritas as alterações realizadas para ajustar o funcionamento dos processos com base nos cenários selecionados pelo utilizador através do painel de controlo. Além disso, serão explicadas as dinâmicas desenvolvidas durante a modelação dos processos relacionados com o cálculo dos índices ergonómicos - Guia de Mital e NIOSH 91.

5.3.1 Modelação do cenário alternativo – Utilização de Carrinho

Um dos controlos que pode ser alterado pelo utilizador é o meio de transporte dos produtos, que pode ser feito através de paletes ou de carrinhos. Esta opção surge no âmbito do projeto com o objetivo de testar o comportamento do sistema em cenários que pretendam eliminar o uso de paletes na loja, especialmente devido ao desafio de utilizá-las em dias de grande afluência. Este subcapítulo explica as alterações que a utilização de carrinhos proporciona a nível operacional, enquanto as implicações a nível ergonómico serão exploradas com maior profundidade no capítulo 5.4.

Quando a opção “UsaCarrinho” se encontra ativa, as entidades “Paleta” são substituídas pelas entidades “Carrinho”, dando ao sistema o aspeto visível na Figura 52.

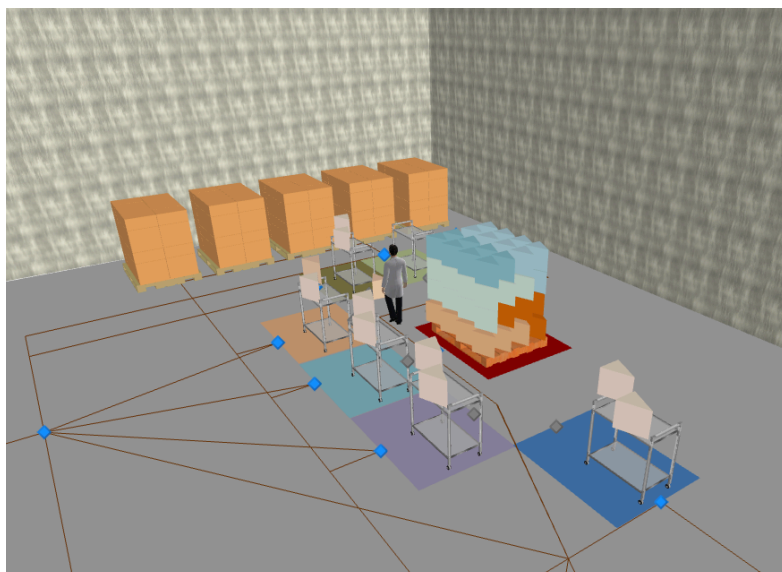


Figura 52 - Atividade de *despicking* com utilização de carrinhos

Esta propriedade, por si só, provoca alterações a nível operacional, mas o seu impacto principal passa pela melhoria ergonómica das operações. No entanto, a utilização de carrinhos exige o uso de uma tabela de tempos de *despicking* diferente, uma vez que a posição em que os produtos são colocados permanece constante e distinta das paletes. O carrinho proporciona um alcance funcional vertical praticamente fixo na mesma altura e, assim, foram criadas tabelas de tempos e fatores de *despicking* para o caso em que esta atividade é realizada para carrinhos. Nas Tabelas 14 e 15, observa-se que o tempo de *despicking* de cada zona da paleta reduz em cerca de 10%, simulando o aumento na facilidade e velocidade de *despicking* para estes casos.

Tabela 14 - Fatores de tempo com carrinho para paletes mãe com cerca de 2,10m

Fatores Tempo210_Palette		Fatores Tempo180_Palette		Fatores Tempo210_Cart	Fatores Tempo180_Cart
	Zona Palette	Tempo Despicking	Fator Tempo Zona Palette		
1	1	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.03		
2	2	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.03		
3	3	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.09		
4	4	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.09		
5	5	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0		
6	6	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0		
7	7	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.02		
8	8	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.02		
9	9	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.15		
10	10	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.15		
11	11	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.2		
12	12	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.2		

Tabela 15 - Fatores de tempo com carrinho para paletes mãe com cerca de 1,80m

Fatores Tempo210_Paleta	Fatores Tempo180_Paleta	Fatores Tempo210_Cart	Fatores Tempo180_Cart
	Zona Paleta	Tempo Despicking	Fator Tempo Zona Paleta
1	1	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.03
2	2	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.03
3	3	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.09
4	4	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.09
5	5	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0
6	6	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0
7	7	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.02
8	8	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.02
9	9	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.15
10	10	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.15
11	11	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.2
12	12	Random.Uniform(6, 10)*0.90	0.2

Além disso, o carrinho oferece um transporte mais fácil devido à sua morfologia e construção, o que resulta num aumento na sua velocidade de transporte. A velocidade de transporte de uma paleta é de 0,55 m/s, sendo que com o carrinho considerou-se um aumento para 0,7 m/s. Apesar disso, o carrinho apresenta uma capacidade de transporte mais reduzida em relação às paletes, sendo que se considerou uma distribuição uniforme de mínimo e máximo iguais a 60 artigos e 100 artigos, respetivamente, para modelação.

5.3.2 Modelação do cenário alternativo - *Early Trigger*

Este cenário alternativo foi desenvolvido com o objetivo de representar situações em que o utilizador deseja reduzir o tamanho do lote de trabalho. Considerando que o número de paletes-mãe descarregadas pelo camião simboliza uma ordem de produção, no cenário padrão, o colaborador trabalha com o lote máximo, dado que, antes de iniciar a reposição dos produtos, necessita de realizar o *despicking* de todas as paletes.

Neste caso, o *trigger* é igual ao número de paletes descarregadas. Por outro lado, o cenário alternativo introduz maior flexibilidade, permitindo a redução do tamanho do lote e autorizando o início da reposição mais cedo. Por exemplo, no cenário padrão caso sejam descarregadas seis paletes, todas passarão pela primeira etapa de *despicking* e, somente após a conclusão desta etapa, é que é iniciada a reposição dos produtos. Já no cenário alternativo em questão, com um *trigger* igual a dois, o colaborador irá realizar o *despicking* de duas paletes e inicia a reposição dos produtos resultantes. Após essa reposição, o processo de *despicking* é retomado para as próximas duas paletes, repetindo este ciclo até que todas as paletes sejam *despickadas* e todos os produtos sejam repostos.

Este cenário foi modelado com base num processo específico que monitoriza o número de paletes que já foram submetidas ao *despicking* e compara com o valor do *trigger*. Quando o número de paletes

processadas atinge o valor do *trigger*, essas paletes são libertadas dos objetos de combinação, e a reposição dos seus produtos é iniciada, conforme ilustrado na Figura 53.

VerificaPalletTrigger

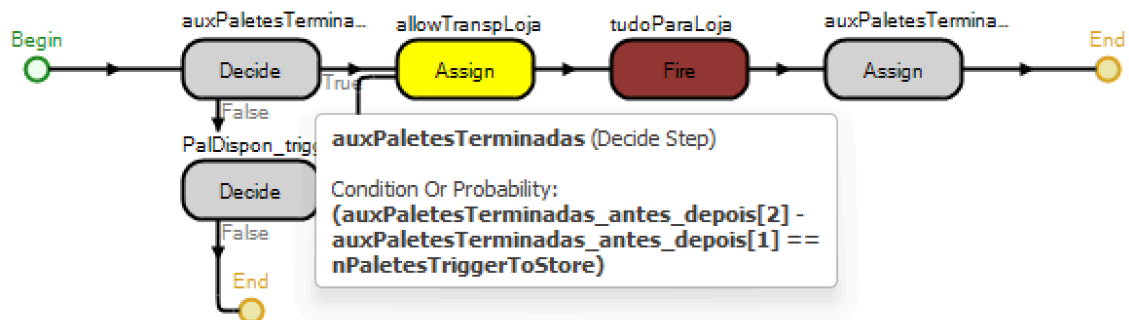


Figura 53 - Processo "VerificaPalletTrigger"

Este cenário alternativo altera o procedimento das atividades de *despicking* e pode ser consultado nos Apêndices 6 e 7.

5.3.3 Modelação do cenário alternativo - Fluxo Contínuo

Tal como no cenário anterior, o cenário de fluxo contínuo tem como objetivo simular ambientes que pretendam adotar os princípios *Lean Thinking*, avaliando a capacidade desses princípios de promoverem agilidade e fluidez nos processos de valor acrescentado deste setor. Neste caso, o foco recai sobre os processos que movimentam e aproximam os produtos das prateleiras, assegurando que estes se encontram disponíveis para o cliente.

Este cenário procura transportar os produtos de forma rápida e rítmica em direção às prateleiras, para isso, as atividades de *despicking* passam a ser realizadas todas para a mesma posição, ignorando a ideia padrão de realizar a separação dos produtos tendo em conta a sua categoria. Desta forma, o colaborador transporta os produtos da paleta-mãe para uma paleta ou carrinho de reposição e, ao contrário do cenário padrão onde o objetivo passa por realizar *despicking* de todas as paletes antes de iniciar a reposição, aqui o objetivo é iniciar a reposição sempre que a paleta-destino ou o carrinho-destino atingirem a sua capacidade máxima de transporte. As atividades relativas ao *despicking*, estão representadas na Figura 54.

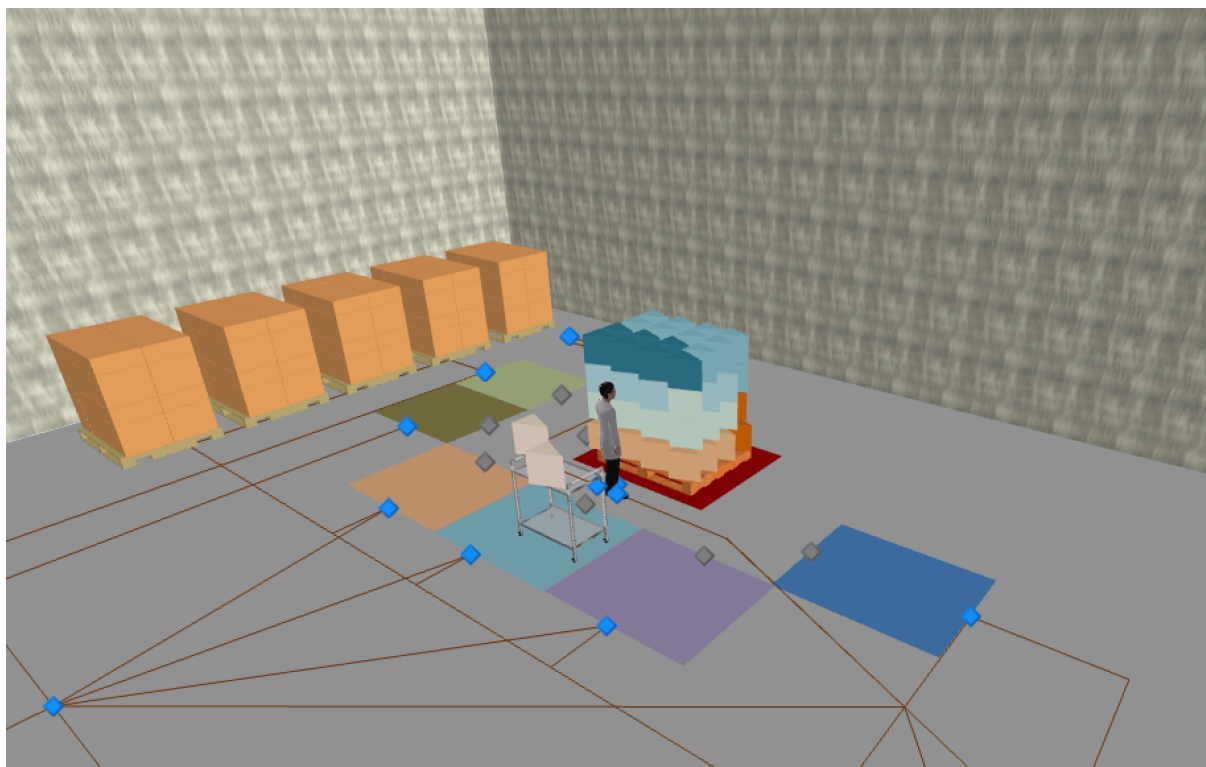


Figura 54 - Atividades de despicking no cenário de fluxo contínuo com carrinho

Foi necessário realizar duas alterações principais nos processos para que fosse possível modelar este cenário. A primeira alteração passa por forçar o colaborador a colocar os produtos sempre na mesma posição, independentemente do seu tipo. Para tal, foi acrescentado um *step* no processo “Destination_Time_and_Type”, presente no Apêndice 4, que tem como função mudar o destino de todos produtos para a posição 1 de *despicking*. Esta alteração está representada na Figura 55.

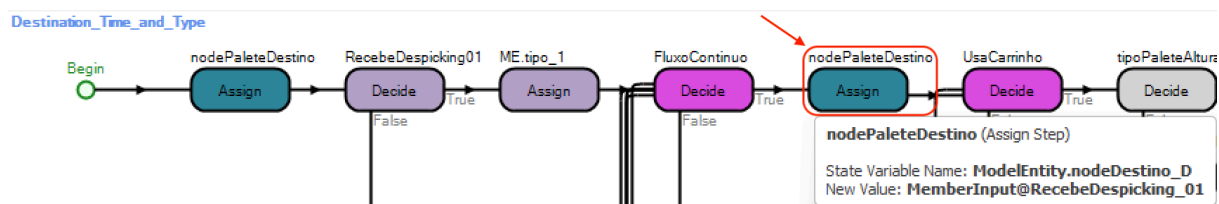


Figura 55 - Step responsável por direcionar todos os produtos para a posição 1 de despicking

Para além disso, é imprescindível garantir que a paleta ou carrinho sejam libertados, iniciando a reposição dos seus produtos, a partir do momento em que esta atinge a sua capacidade máxima. Assim, foi acrescentado um *step* que antecipa o transporte dos produtos para a loja a partir do momento em que a entidade é libertada do objeto de combinação das atividades de *despicking*, quando atinge a sua capacidade máxima. Este step, responsável por tornar a *state* “allowTranspLoja” igual a 1 que, consequentemente dispara o evento “tudoParaLoja”, pode ser analisado na Figura 56.

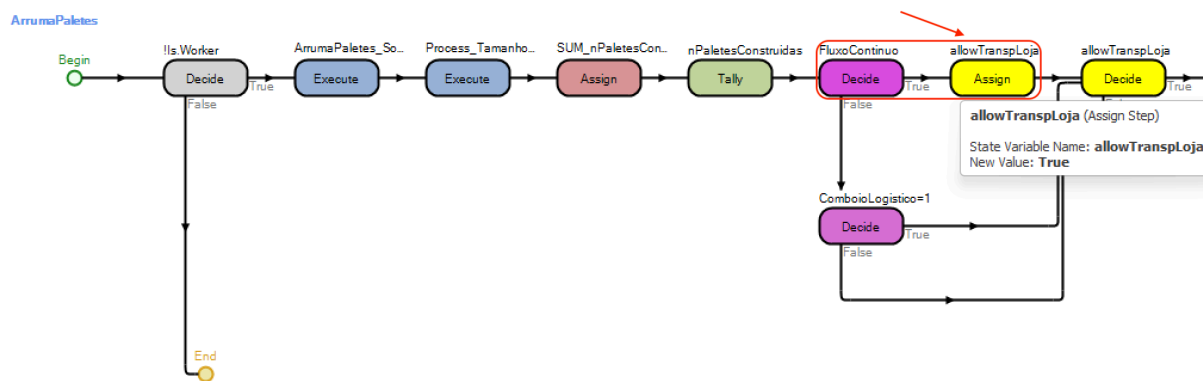


Figura 56 - Step responsável por autorizar a reposição depois de se atingir a capacidade da entidade de transporte

Nos Apêndices 8 e 9 é possível consultar o procedimento seguido quando se trabalham nestes modos.

5.3.4 Modelação do cenário alternativo – Comboio Logístico

Atualmente, os comboios logísticos são uma opção frequente no que toca a operações internas do setor industrial, seja em armazéns, centros de distribuição e até linhas de produção. Este meio de transporte consiste num conjunto de veículos ou módulos conectados entre si, formando uma espécie de comboio, capaz de transportar produtos para abastecimento ou recolhê-los ao longo dos postos. É uma abordagem que permite o transporte de maior número de objetos de uma só vez e, pela mesma razão, surge a ideia de testar este método no setor de retalho, no que toca às atividades de transporte de produtos para a loja como uma forma de tornar o movimento de produtos mais rápido e eficiente. Para além disso, nos casos em que este comboio é motorizado espera-se uma redução significativa do esforço físico exigido aos colaboradores, contribuindo, conseqüentemente, para uma redução do risco de lesões musculoesqueléticas. É, portanto, um cenário com potencial para promover uma relação positiva entre a ergonomia e a eficiência operacional.

Para modelar os processos relacionados com este cenário foi necessário desenvolver um conjunto adicional de subprocessos, garantindo que as interações entre os objetos continuavam a ocorrer em concordância com a realidade. Assim, podemos ver na Figura 57, o conjunto extra de objetos numa área dedicada à construção dos comboios logísticos a partir das paletes ou carrinhos.

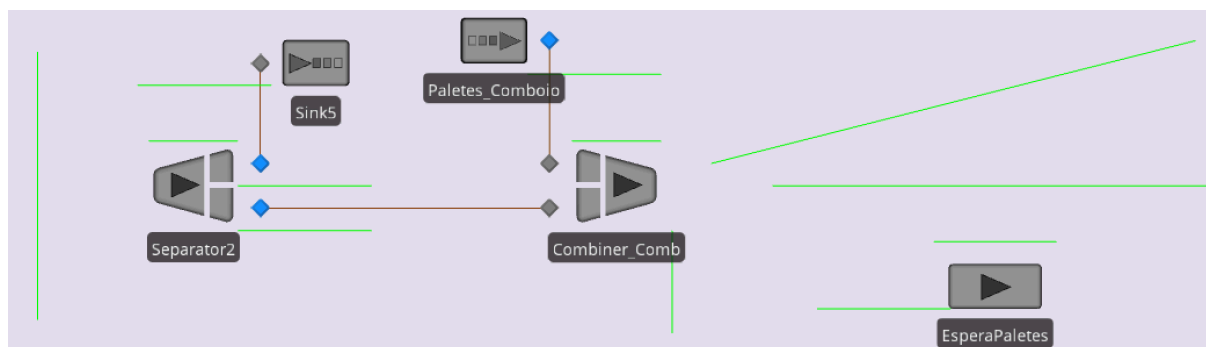


Figura 57 - Área dedicada aos objetos adicionais no cenário de comboio logístico

Tendo em conta o formato em que as atividades anteriormente descritas foram modeladas, a abordagem mais adequada para desenvolver estes processos consiste em simular a montagem/acoplamento dos módulos (paletes ou carrinhos) num comboio logístico a partir da zona de espera, após o processo de *despicking*. Neste contexto, a área ilustrada na Figura 57 tem a função de gerir e processar a montagem do comboio.

O fluxo deste cenário inicia com o direcionamento de todas as paletes ou carrinhos resultantes do *despicking* para a zona de espera, onde é realizada a contagem do número de paletes em espera e, quando esse número iguala o tamanho definido para o comboio, o processo de montagem é iniciado. Inicialmente, as entidades *parent* e *member* são separadas, a partir de um *Separator*, sendo que as entidades do tipo *parent* são destruídas e as entidades *member* avançam para o próximo objeto, *Combiner*, tal como representado na Figura 58.

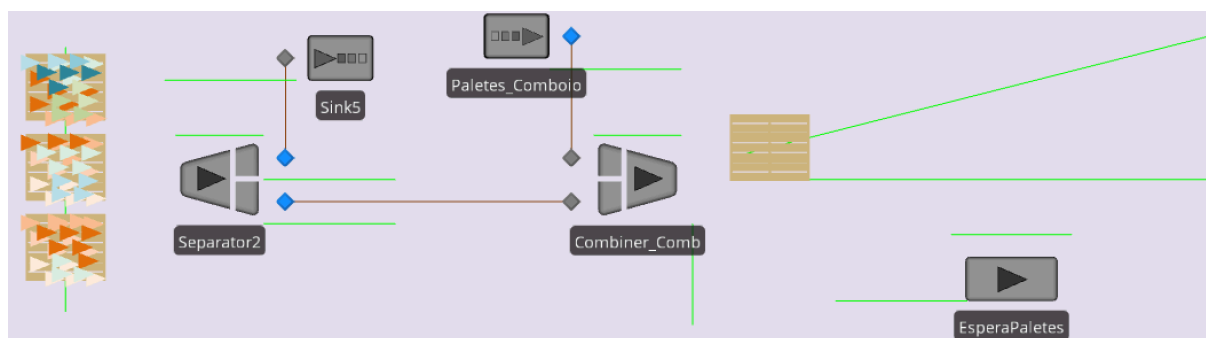


Figura 58 - Início do processo de criação do comboio logístico

No *Combiner*, ocorre a combinação das entidades “Produto”, separadas anteriormente e, recorrendo às entidades “Pal_Comb” e “Pal_Comb” geradas a partir de um *Source* específico, será criado um conjunto paleta-produto novo com a configuração de comboio logístico. Na Figura 59 ilustra-se o momento após esta recombinação de entidades.

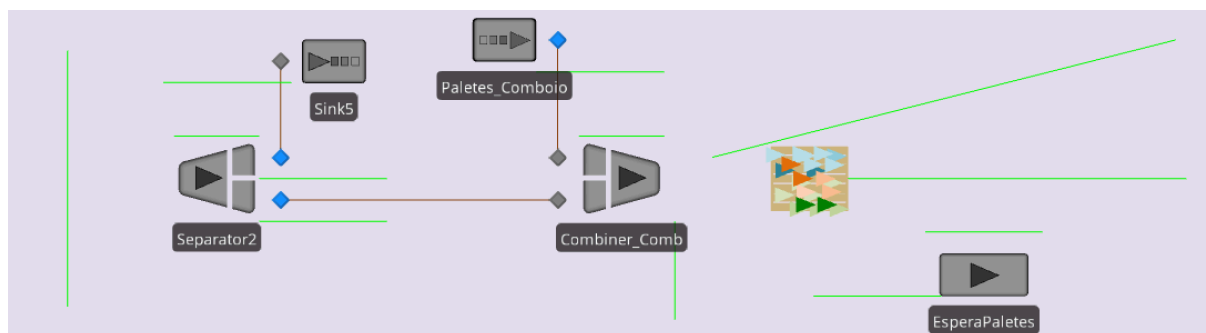


Figura 59 - Momento após a recombinação de entidades

Por fim, este conjunto de entidades é devolvido à zona de espera, tal como representado na Figura 60 para que possa continuar o processo de forma normal.

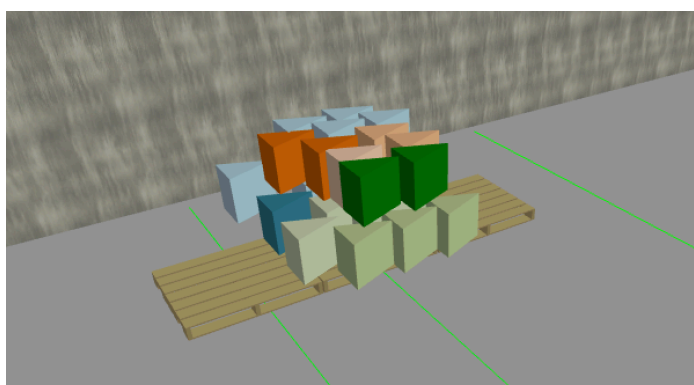


Figura 60 - Finalização da montagem do comboio logístico e retorno à zona de espera

Este conjunto possui um formato que varia de acordo com o tamanho do comboio, sendo que, tal como ilustrado na Figura 61, o seu número de módulos é ajustado conforme a escolha do utilizador.

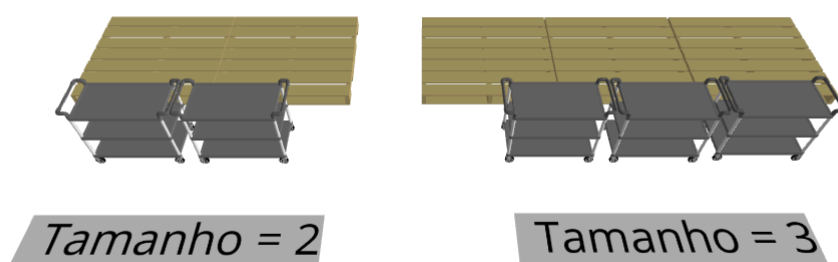


Figura 61 - Exemplo de módulos de comboio logístico, segundo o tamanho do mesmo

Todos os processos relacionados com a modelação destas etapas podem ser consultados no Apêndice 10.

5.4 Modelação de índices ergonómicos

O Modelo Y, apresentado no capítulo introdutório, destaca a importância de alinhar a eficiência operacional com práticas que promovam a ergonomia e a segurança ocupacional. Desta forma, torna-se indispensável que um modelo de simulação, desenvolvido neste contexto, seja capaz de realizar análises mais abrangentes e detalhadas, incorporando não só os indicadores de desempenho do sistema, mas também métricas relacionadas com o eixo de ergonomia. Esta abordagem visa possibilitar o cruzamento de dados e análises entre os indicadores operacionais e os índices ergonómicos das mesmas operações, permitindo um estudo mais alargado de fatores que influenciam o comportamento e as condições dos sistemas nestes contextos.

Tendo isto em conta, tornou-se clara a necessidade de incorporar índices ergonómicos no modelo de simulação, sendo que os métodos escolhidos para o cálculo destes foram o Guia de Mital e o NIOSH 91. Estes métodos adequam-se às tarefas realizadas nas operações intralogísticas do estudo e são reconhecidos pelas suas capacidades de avaliação de tarefas que envolvem o manuseamento manual e a realização de movimentos repetitivos com cargas.

Os próximos subcapítulos pretendem explicar o funcionamento de cada um dos métodos utilizados, assim como descrever como é que foi realizada a modelação e incorporação no modelo em descrição.

5.4.1 Modelação do Guia de Mital

O Guia de Mital é um método que tem como objetivo capacitar, através de um só documento, a análise de todas as atividades que envolvam tarefas como elevar, baixar, transportar, segurar, empurrar e/ou puxar manualmente materiais pesados. No contexto deste trabalho, o método foi aplicado como uma ferramenta para o estudo do esforço físico dos colaboradores durante o transporte de cargas com a utilização de paletes e/ou carrinhos.

A integração do Guia de Mital torna o modelo capaz de recolher os dados necessários e, consequentemente, calcular índices ergonómicos sempre que estas tarefas ocorrem. Esta ferramenta garante a identificação de comportamentos e parâmetros do sistema que tornam estas tarefas críticas para a saúde física do colaborador.

Com base nas tarefas definidas como alvo de estudo e aplicação do Guia de Mital e considerando a abrangência do método para ambos os géneros, foram selecionadas as atividades, listadas a seguir, para análise ergonómica:

- **Esforço Inicial para Empurrar (com duas mãos)** – Sexo Masculino
- **Esforço de Manutenção para Empurrar (com duas mãos)** – Sexo Masculino
- **Esforço Inicial para Empurrar (com duas mãos)** – Sexo Feminino
- **Esforço de Manutenção para Empurrar (com duas mãos)** – Sexo Feminino
- **Esforço Inicial para Puxar (com duas mãos)** – Sexo Masculino
- **Esforço de Manutenção para Puxar (com uma mão)** – Sexo Masculino
- **Esforço Inicial para Puxar (com duas mãos)** – Sexo Feminino
- **Esforço de Manutenção para Puxar (com uma mão)** – Sexo Feminino

Tendo em conta que o modelo abrange cenários com paletes e com carrinhos, foi necessário selecionar tanto atividades de empurrar como de puxar.

As atividades selecionadas permitem realizar uma avaliação dos diferentes tipos de necessidades físicas envolvidas no uso de porta paletes e/ou carrinhos no transporte de cargas, considerando assim, tanto o esforço inicial, necessário para iniciar o movimento da carga, como o esforço de manter o movimento da mesma. A necessidade de abranger o estudo a ambos os géneros surge da importância de garantir que a análise se adapta às características físicas de qualquer equipa de trabalho.

O Guia de Mital opera através de um conjunto de tabelas predefinidas, para cada uma das suas atividades, que associa as diferentes combinações de parâmetros das tarefas a um índice recomendado de esforço. Desta forma, o método é capaz de determinar os limites seguros de esforço físico no contexto da tarefa. No caso das atividades selecionadas, estas tabelas contêm os seguintes parâmetros:

- **Altura da pega (cm):** altura da pega em que a força é aplicada, medida em relação ao solo;
- **Percentil de população:** considera as capacidades físicas de diferentes grupos populacionais;
- **Frequência da tarefa (n/min):** número de repetições realizadas num intervalo de tempo;
- **Distância (m):** distância percorrida a realizar a tarefa.

Na Figura 62, é apresentado um exemplo onde se pode observar o formato das tabelas do Guia de Mital, identificando os parâmetros numerados anteriormente.

Pulling

Pulling activity is similar to pushing activity in that the object weight is supported by the floor and force is applied to the object being pulled. As compared to manual lifting, pulling activities are not very strenuous. In this chapter, we provide data for designing two-handed and one-handed pulling activities.

Table 6.1 Recommended initial forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pulling.

		Frequency of pull ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
2.1 m pulling distance									
144 (135)	90	14 (13)	16 (16)			18 (17)		19 (19)	23 (22)
	75	17 (16)	19 (19)			22 (20)		23 (23)	28 (26)
	50	20 (19)	23 (22)			26 (24)		28 (28)	33 (31)
	25	24 (21)	27 (25)			31 (28)		32 (32)	39 (35)
	10	26 (24)	30 (28)			34 (31)		36 (36)	44 (39)
95 (89)	90	19 (14)	22 (16)			25 (18)		27 (21)	32 (23)
	75	23 (16)	27 (19)			31 (21)		32 (25)	39 (27)
	50	28 (19)	32 (23)			36 (25)		39 (29)	47 (32)
	25	33 (22)	37 (26)			42 (29)		45 (33)	54 (37)
	10	37 (25)	42 (29)			48 (32)		51 (37)	61 (41)
64 (57)	90	22 (15)	25 (17)			28 (19)		30 (22)	36 (24)
	75	27 (17)	30 (20)			34 (22)		37 (26)	44 (28)
	50	32 (20)	36 (24)			41 (26)		44 (30)	53 (33)
	25	37 (23)	42 (27)			48 (30)		51 (35)	61 (38)
	10	42 (26)	48 (31)			54 (34)		57 (39)	69 (43)
7.6 m pulling distance									
144 (135)	90			11 (11)		16 (16)		17 (17)	21 (20)
	75			14 (14)		20 (19)		21 (21)	26 (24)
	50			16 (16)		24 (22)		25 (25)	31 (28)
	25			19 (19)		28 (25)		29 (29)	36 (32)
	10			21 (21)		31 (28)		33 (32)	40 (36)

Figura 62 - Exemplo de tabela do Guia de Mital para identificação de parâmetros

A combinação destes parâmetros é o que caracteriza a atividade, permitindo calcular a força recomendada máxima de cada caso, ou seja, o limite de esforço físico para que a atividade seja realizada de forma segura. As tabelas disponibilizadas por (Mital et al., 1997) e associadas às tarefas em estudo, podem ser consultadas nos Anexos 1 a 4.

Estas tabelas foram adaptadas e formatadas para integração com o *software* Simio e, para isso, as tabelas foram formatadas no formato *dataframe* e, posteriormente, ajustadas ao formato necessário para leitura e processamento no Simio. As tabelas transformadas podem ser consultadas nos Apêndices 11 a 14.

Deste método resulta o cálculo de um índice, dado a partir da razão entre a força real e a força máxima tendo em conta a cadência de uma certa atividade que, nos casos em que este índice é superior a 1 significa que a atividade necessita de ser redesenhada.

$$R = \frac{\text{força real}}{\text{força tabelada}},$$

$R > 1$, Necessidade de redesenhar a atividade

$R < 1$, Atividade não necessita de redesenho

De forma a incorporar este método no modelo de simulação, considerou-se todo o percurso que cada palete realiza, de forma a registar e calcular todas variáveis intermédias necessárias e, por fim, comparar os valores obtidos com os valores tabelados que, consequentemente, darão resultado à

avaliação da atividade. O raciocínio implementado em cada momento de transporte é explicado nos parágrafos seguintes, através de um exemplo representativo do problema.

Imagine-se, com intuito explicativo, um cenário onde uma das paletes de reposição apresenta um número total de três paragens para repor os produtos, sendo que esta atividade durou cerca de 18 minutos totais, tal como representado no esquema da Figura 63, apresentado a seguir.

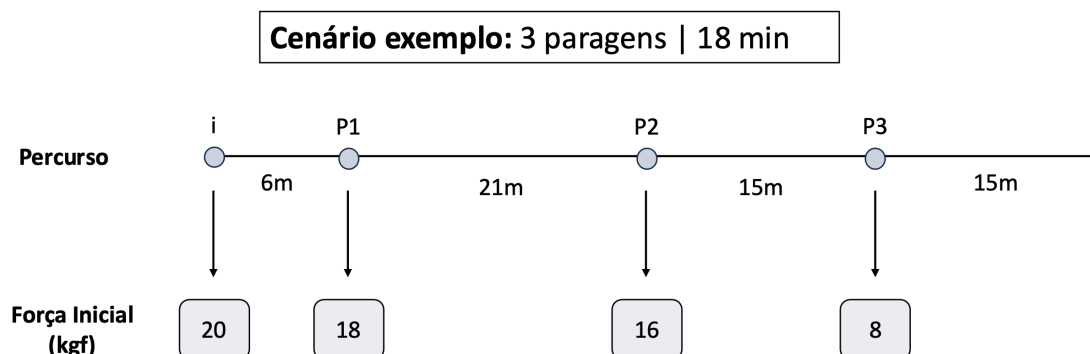


Figura 63 - Esquema exemplificativo da modelação do cálculo de Mital

A partir do momento em que sabemos o número de paragens para reposição e a duração da atividade, é possível determinar a frequência da atividade, calculada através da razão entre o número de arranques e a duração total da atividade. O número de arranques é tomado pela soma do número de paragens e o arranque inicial, tal como na equação seguinte.

$$freq = \frac{n^{\circ} \text{ paragens} + 1}{\text{duração da atividade}} = \frac{3 + 1}{18} = 0,22/\text{min}$$

Para além destes parâmetros, é necessário determinar a distância entre cada movimento e a força, inicial ou de manutenção, exercida em cada um dos pontos. Pode-se observar na Figura 63, que a cada paragem a força apresenta uma redução dado que os produtos vão sendo repostos e, por isso, o peso total da paleta reduz. Por fim, é calculada a força real média exercida durante a atividade e a distância média pelo colaborador, tal como realizado na equação seguinte.

$$FRi \text{ (média)} = \frac{\sum_{p=0}^n \text{Força Real}}{n^{\circ} \text{ paragens} + 1} = \frac{20 + 18 + 16 + 8}{4} = 15,5 \text{ kgf}$$

$$Dist \text{ (média)} = \frac{\sum_{p=0}^n \text{Distância}}{n^{\circ} \text{ paragens} + 1} = \frac{6 + 21 + 15 + 15}{4} = 14,25 \text{ m}$$

Determinados todos os parâmetros, a tabela do Guia de Mital é consultada de forma a recolher o valor máximo de esforço recomendado para a atividade e, por fim, é calculado valor do índice R, através da razão entre o valor real e o tabelado.

Sempre que o colaborador movimentava as paletes ou os carrinhos da zona de retaguarda para a loja, é calculado o peso total da carga que este transporta. Este cálculo é realizado através da soma do peso individual de cada produto que se encontra na paleta, da própria paleta e do porta-paletes ou do carrinho nos casos em que isto se aplica. O processo “Soma_Peso” é responsável por realizar essa operação de cálculo, através da leitura e soma do peso das entidades de cada índice do *BatchMembers*, tal como ilustrado na Figura 64.

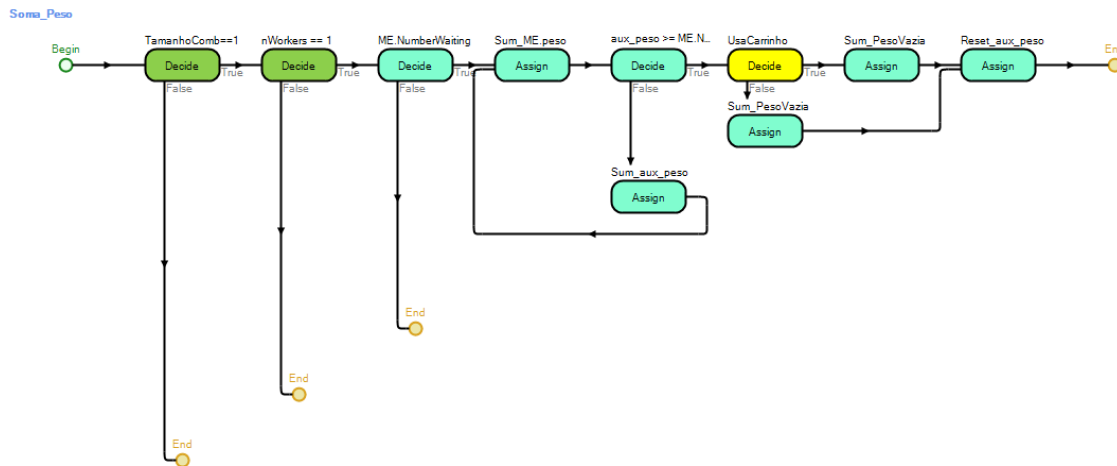


Figura 64 - Processo “Soma_Peso”

Para além disso, desenvolveu-se um processo – “Subtrai_Peso” – que repete a lógica do processo anterior, mas, desta vez, nos momentos de movimentação de produtos na loja. Isto porque, a cada reposição de produtos, é necessário reiniciar a variável peso e recalculá-lo, garantindo que a diminuição correspondente à reposição é devidamente considerada no desenrolar do método. Na Figura 65, é apresentado o processo “Subtrai_Peso”.

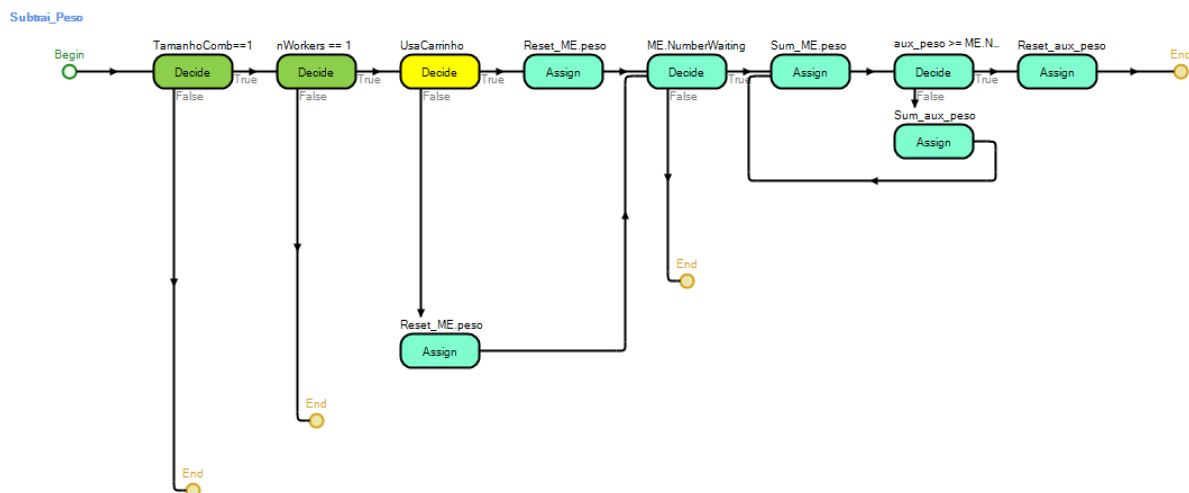


Figura 65 - Processo “Subtrai_Peso”

A força real realizada pelo colaborador é também determinada nos momentos descritos anteriormente, através do processo “Calcula_Forca” representado na Figura 66.

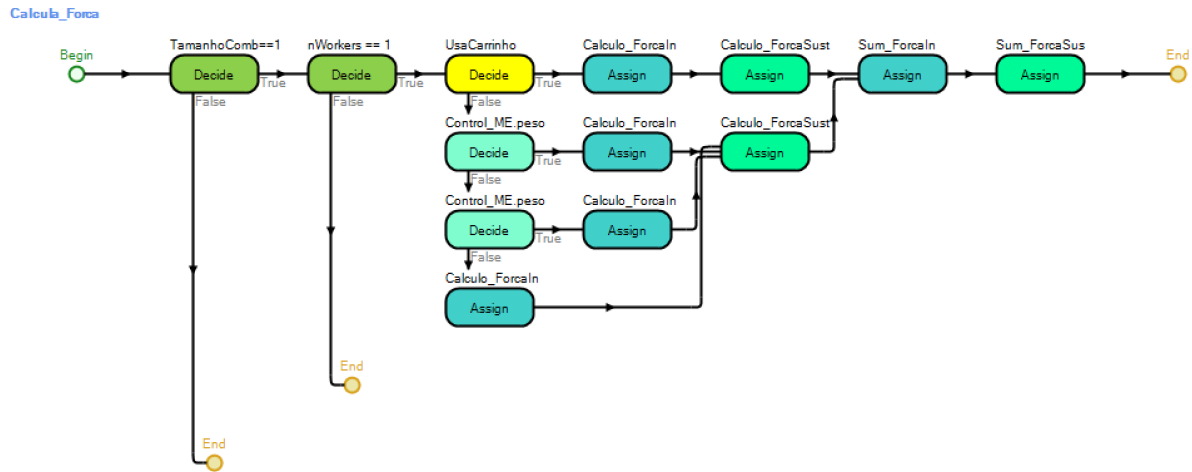


Figura 66 - Processo "Calcula_Forca"

Este processo utiliza as seguintes equações para calcular a força inicial e a força de manutenção, em kgf, aplicada pelo colaborador para mover uma carga.

$$F_i = \mu_s \cdot m \text{ e } F_m = \mu_k \cdot m$$

Onde:

- **F_i** : força inicial necessária para iniciar o movimento de uma carga;
- **F_m** : força de manutenção necessária para manter uma carga em movimento;
- **μ_s** : coeficiente de atrito estático;
- **μ_k** : coeficiente de atrito dinâmico;
- **m** : massa da carga.

Foi necessário realizar um estudo presencial no Continente Modelo de Paredes com o objetivo de perceber o comportamento dos coeficientes estático e dinâmico na zona de retaguarda. Este estudo tem o propósito de parametrizar os processos responsáveis pelo cálculo das forças ao longo da simulação e, para isso, foram selecionadas algumas paletes e carrinhos com pesos distintos para que, com um dinamômetro, fosse possível recolher a amplitude das forças iniciais e de manutenção associadas a cada caso.

Relativamente à recolha de dados das paletes, foram selecionadas paletes com 212 kg, 358 kg e 666 kg. Para cada uma destas paletes foram realizados vários testes que, posteriormente, deram resultado a uma aproximação do coeficiente de atrito. Para o caso das paletes os resultados podem ser consultados no Apêndice 15 e, no caso dos carrinhos, os resultados são apresentados no Apêndice 16.

Analisando o Apêndice 15, é possível perceber que o coeficiente estático sofre uma certa variação quando se comparam paletes com pesos diferentes. Neste caso, o coeficiente médio diminui com o aumento do peso. Este parâmetro é dependente de um grande número de variáveis do ambiente e, como neste caso, o foco passa apenas por calcular uma aproximação deste coeficiente concluiu-se que esta variação ocorre devido à diferença de estabilidade das paletes diretamente proporcionais ao seu peso o que cria um comportamento distinto aquando da leitura das forças através do dinamómetro. Para garantir que o modelo se comporta conforme a realidade, foram consideradas que as paletes com menos de 250kg teriam um coeficiente estático igual a 0,07554 e que as paletes com pesos superiores a 550kg teriam um coeficiente igual a 0,04152, já as restantes têm associadas a si um coeficiente de 0,05603. Para o caso em que se utilizam carrinhos, este coeficiente ronda os 0,05590. Por fim, relativamente ao coeficiente dinâmico, este tem um valor médio de 0,04238 para as paletes e cerca de 0,02837 para os carrinhos.

Depois de uma entidade, palete ou carrinho, realizar todas as atividades e antes de esta ser destruída do sistema, o processo “Calcula_Indice” realiza todos os cálculos descritos no início do subcapítulo, disponibilizando assim os valores médios das forças e todos os parâmetros necessários para a consulta das tabelas, tal como ilustrado na Figura 67.

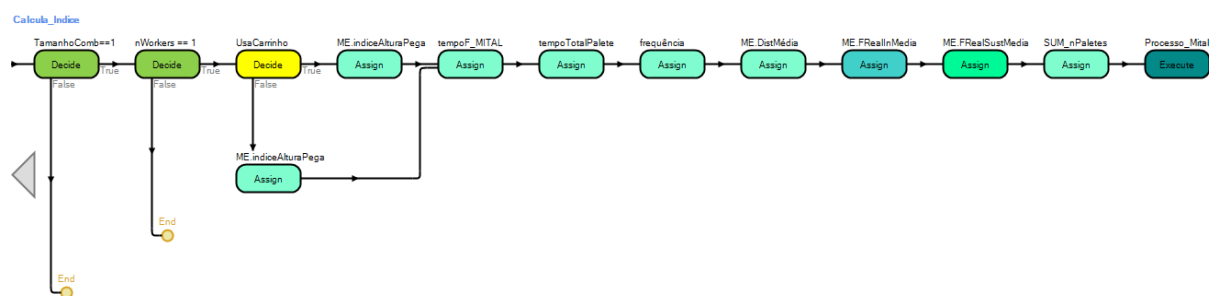


Figura 67 - Steps iniciais do processo “Calcula_Indice”

Depois destes *steps* iniciais, são executados os processos “Param_Mital” e “Colunas_Mital” que são responsáveis por consultar e guardar os valores recomendados de forças, através dos parâmetros recolhidos durante a simulação. Estes processos podem ser analisados nos Apêndices 17 e 18. De seguida, dá-se continuidade ao processo “Calcula_Indice” que para finalizar este estudo realiza o cálculo dos índices, comparando os valores reais e os recomendados das forças iniciais e de manutenção, e regista estes valores numa tabela *output* para que os valores de cada palete possam ser consultados no final de cada *run*, tal como apresentado na Figura 68.

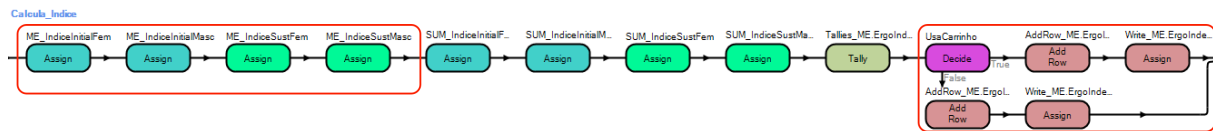


Figura 68 - Steps finais do processo "Calcula_Indice"

5.4.2 Modelação da Equação de NIOSH 91

O NIOSH é uma organização norte americana que tem como objetivo a pesquisa e o desenvolvimento de recomendações no que respeita à prevenção de acidentes e doenças relacionadas com o trabalho. Entre várias contribuições deste instituto, uma das mais importantes trata-se da NIOSH *Lifting Equation*, uma ferramenta utilizada para avaliar o risco de lesões durante a realização de atividades de levantamento manual de cargas. Esta equação de levantamento é utilizada para calcular o Peso Limite Recomendável (PLR), ou seja, o peso recomendado que um trabalhador pode levantar, numa certa tarefa, de forma segura. A equação considera vários fatores ergonómicos e biomecânicos e, além do PLR, também calcula o Índice de Elevação (IE), que indica o grau de risco associado à tarefa.

Equação de Elevação NIOSH 91:

$$PLR = CC \cdot MA \cdot MF \cdot MV \cdot MH \cdot MP \cdot MD, \text{ em kg}$$

A equação contempla vários parâmetros durante o cálculo do peso limite recomendável. Estes parâmetros encontram-se enumerados e explicados a seguir, assim como os multiplicadores resultantes destes.

Parâmetros da Equação de Elevação NIOSH 91:

- **V:** altura de início da elevação (cm);
- **H:** distância horizontal entre as mãos e a vertical passando pelos tornozelos no início da elevação (cm) – dependente de L (profundidade do objeto);
 - Se $V \geq 25 \text{ cm}$, $H = 20 + \frac{L}{2}$;
 - Se $V < 25 \text{ cm}$, $H = 25 + \frac{L}{2}$;
 - Caso o objeto esteja sujo ou contaminado, deve-se adicionar 5 cm.
- **D:** distância percorrida durante a movimentação (cm);
- **A:** assimetria do movimento do tronco em relação ao plano sagital (°);
- **T:** duração do período com atividades de manipulação de cargas (min);
- **F:** frequência das movimentações (elevações/min);
- **P:** qualidade da pega do objeto (boa, aceitável ou má).

A Figura 69 representa graficamente a postura corporal das atividades de estudo desta equação e os parâmetros inerentes ao processo de cálculo da equação NIOSH 91.

Multiplier Factors in the NIOSH Lifting Equation

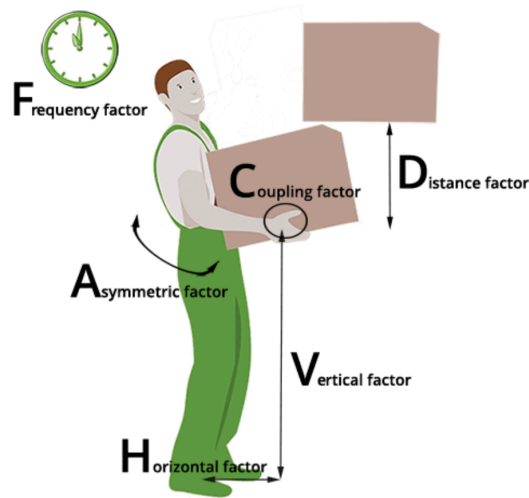


Figura 69 - Representação gráfica da postura corporal e parâmetros da Equação de NIOSH 91

Retirado de (T. Waters et al., 2021)

Multiplicadores da Equação de Elevação NIOSH 91:

- **MH (multiplicador horizontal):** $MH = \frac{25}{H}$
- **MV (multiplicador vertical):** $MV = 1 - 0,003 \cdot |V - 75|$
- **MD (multiplicador de distância):** $MD = 0,82 + \frac{4,5}{D}$
- **MA (multiplicador de assimetria):** $MA = 1 - 0,032 \cdot A$
- **MF (multiplicador de frequência):** valor obtido através de uma tabela (Anexo 5)
- **MP (multiplicador de pega):** valor obtido através de uma tabela (Anexo 5)

Por fim, o índice de elevação é obtido através da razão entre a carga real e o peso limite recomendável.

$$IE = \frac{\text{Carga Real}}{\text{Peso Limite Recomendável (PLR)}}$$

Para os casos em que o IE é menor ou igual a 1, a atividade não apresenta riscos para os trabalhadores, não sendo necessária qualquer ação neste âmbito. Já nos casos em que o valor do IE é superior a 1, é necessário corrigir a situação dado o risco para alguns dos trabalhadores e, quando este índice supera valores iguais a 3, é necessário realizar uma ação de correção com urgência devido ao risco elevado de lesão que a maioria dos trabalhadores corre quando expostos a tarefas desse tipo.

A Equação de Elevação NIOSH 91 pode ser utilizada para casos simples, ou seja, quando os parâmetros das tarefas não apresentam uma variação significativa ou quando o interesse do estudo passa apenas por avaliar a tarefa mais crítica. Por outro lado, este método pode ser aplicado em casos de multitarefa, isto é, quando existem diferenças significativas entre os parâmetros das tarefas. Nestes casos é importante que as variáveis sejam avaliadas separadamente.

Tendo em conta que a introdução deste método tem como objetivo a avaliação da atividade de *depicking*, considerou-se que a aplicação do método teria como base a análise multitarefa. Esta decisão tem em conta que a atividade em estudo apresenta variações significativas no que toca ao peso dos artigos e às posições iniciais e finais dos produtos manuseados que, conseqüentemente, gera variação na distância percorrida por este. A equação utilizada tem as seguintes limitações: as elevações devem ser realizadas sem movimentações bruscas, sem restrições à postura mais favorável, boas condições mecânicas e as elevações são realizadas de pé. Sendo que a atividade em avaliação cumpre todas estas condições, conclui-se que a Equação de Elevação NIOSH 91 Multitarefa é um dos métodos indicados para realizar este estudo.

Análise Multitarefa:

Este método apresenta um procedimento mais trabalhoso tendo em conta que é necessário determinar uma série de parâmetros para cada uma das tarefas simples:

1. Determinar **PLRIF_j** (PLR sem considerar a frequência, ou seja, MF = 1);
2. Determinar **PLRTS_j** ($PLRIF_j \cdot MF_j$);
3. Determinar **IEIF_j** ($\frac{Peso\ Máx_j}{PLRIF_j}$);
4. Determinar **IETS_j** ($\frac{Peso\ Méd_j}{PLRTS_j}$);
5. Ordenar as tarefas simples por ordem decrescente do valor de IETS_j;
6. Determinar **IEC** (Índice de Elevação Composto: $IEC = IETS_1 + \sum AIE$), onde:

$$\sum AIE = IETS_2 + \left(\frac{1}{MF_{1,2}} - \frac{1}{MF_1} \right) + IETS_3 + \left(\frac{1}{MF_{1,2,3}} - \frac{1}{MF_{1,2}} \right) + \dots$$

$MF_{1,2}$: MF para uma frequência de f1+f2

$MF_{1,2,3}$: MF para uma frequência de f1+f2+f3

Significado dos Parâmetros Multitarefa:

PLRIF_j; traduz a exigência relativa à força muscular para uma simples repetição da tarefa;

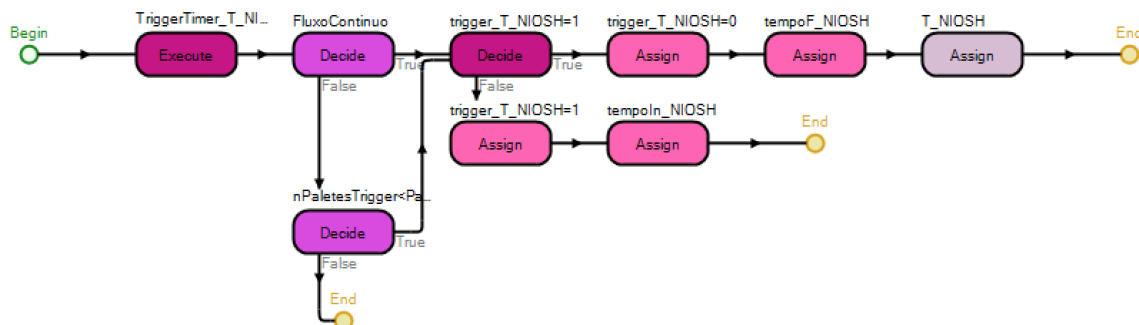
PLRTS_j; traduz a exigência global da tarefa, assumindo que é a única a ser executada;

IEIF_j; determina a carga biomecânica máxima a que o corpo estaria sujeito, não tendo em conta a frequência da tarefa;

IETS_j; permite uma melhor representação das exigências metabólicas através do peso médio. Para valores superiores a 1, indica a necessidade de intervenção ergonómica, de forma a reduzir a exigência fisiológica global.

Ao longo dos processos do modelo é possível encontrar um conjunto de *steps* que são responsáveis por contabilizar o tempo que o colaborador se encontra ocupado nas atividades de *despicking* de cada paleta. Na Figura 70, encontra-se representado um conjunto exemplo destes *steps* importantes para a definição do parâmetro T e, consequentemente, para o cálculo da frequência de movimentações em cada paleta.

TriggerTimer_T_NIOSH



TriggerTimer_T_NIOSH_2

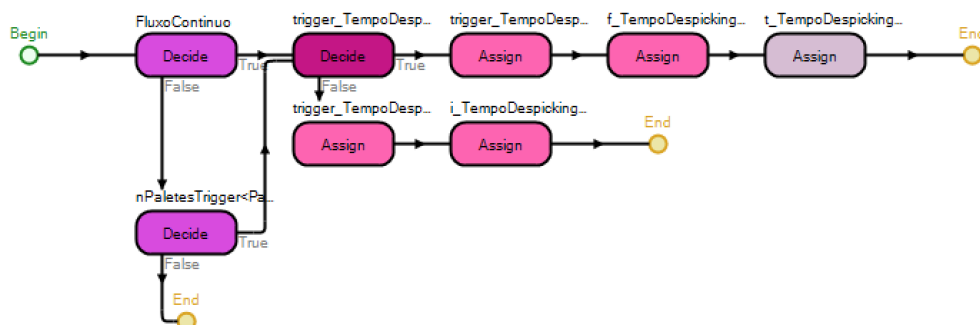


Figura 70 - Exemplo de steps responsáveis por determinar o tempo de atividade de despicking

Estes *steps* possibilitam que seja criado o registo da Tabela 16 “tbl_outp_NIOSH_aux”, onde é guardado o ID da paleta, o seu tempo de *despicking* e o número de produtos de cada uma.

Tabela 16 - Tabela "tbl_outp_NIOSH_aux",

tbl_outp_NIOSH_Aux	tbl_outp_NIOSH_Base	tbl_c
	Paleta	Tempo Despicking
1	1	23,1630
2	2	38,9990

Tal como descrito anteriormente, as paletes-mãe foram divididas em zonas sendo que, verticalmente, encontramos estas paletes com três zonas distintas. A partir da divisão vertical, foram associadas alturas, em cm, com o objetivo de caracterizar a posição inicial do movimento de *despicking*, sendo que é um dos parâmetros importantes para caracterizar a atividade. Na Figura 71, é possível consultar como é que esta divisão foi conduzida para os dois tipos de paletes.

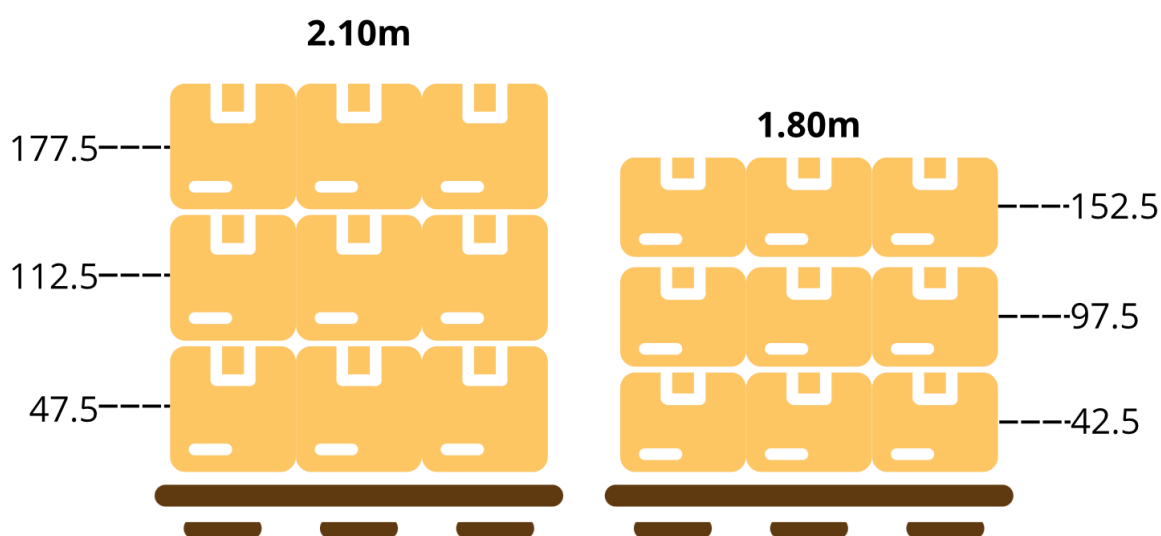


Figura 71 - Posição vertical inicial para os diferentes tipos de paletes

Esta divisão é pensada para os casos em que não é utilizado nenhum sistema de inclinação de paletes. Para os casos em que se pretenda estudar o impacto de um sistema desses, assumiu-se que a posição inicial seria de 110 cm. Para além disso, foi aplicado o mesmo raciocínio para as paletes e carrinhos de reposição que, neste caso, caracterizarão as posições finais do produto durante a atividade de *despicking*. Na Figura 72, encontram-se representadas, através de um esquema, as posições finais das paletes e dos carrinhos de reposição.

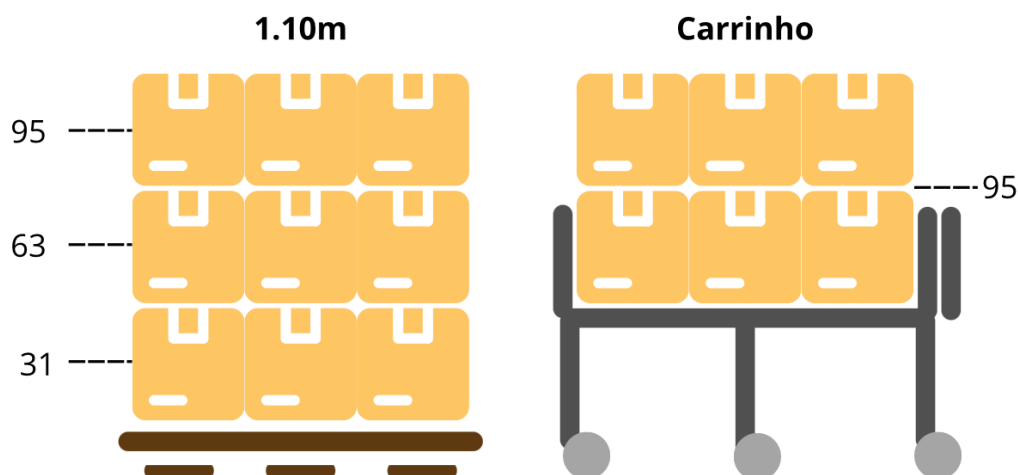


Figura 72 - Posição vertical final para os diferentes meios de reposição

As tabelas inseridas no *software* de simulação que contemplam as zonas e as relativas posições verticais, podem ser consultadas nos Apêndices 19 e 20. O processo “Caract_Multipliers_NIOSH_1”, representado na Figura 73, é então responsável por relacionar estas tabelas com o comportamento do sistema durante o decorrer da simulação, definindo então os parâmetros de distância vertical e horizontal de cada produto.

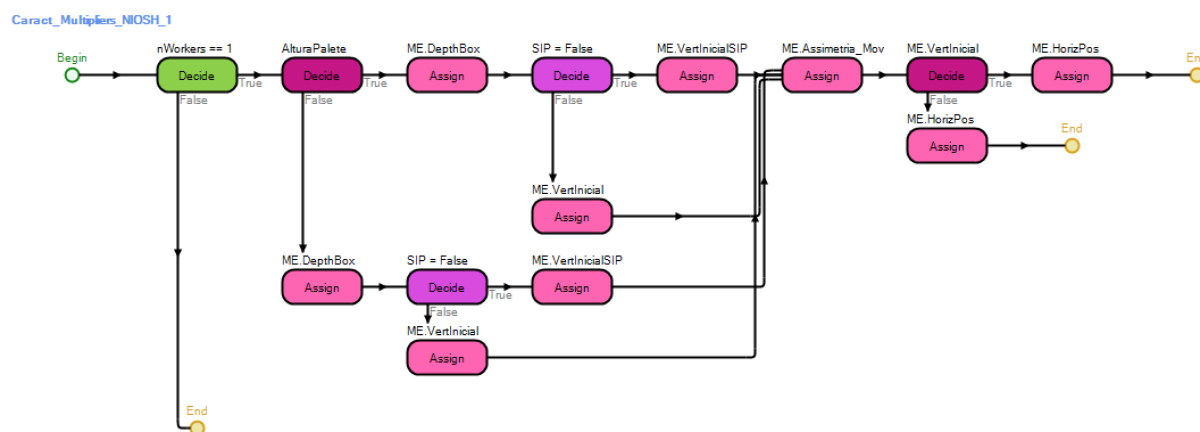


Figura 73 - Processo "Caract_Multipliers_NIOSH_1"

Ao longo de cada *run* são construídas várias tabelas *output* que registam e calculam os vários parâmetros necessários à Equação NIOSH 91. Estas tabelas registam os parâmetros para cada produto que passa pelas mãos do colaborador e, tal como se pode ver na Figura 74, o processo responsável pela criação da primeira tabela regista o ID da paleta e do produto, o seu peso, a distância horizontal e as posições iniciais e finais.

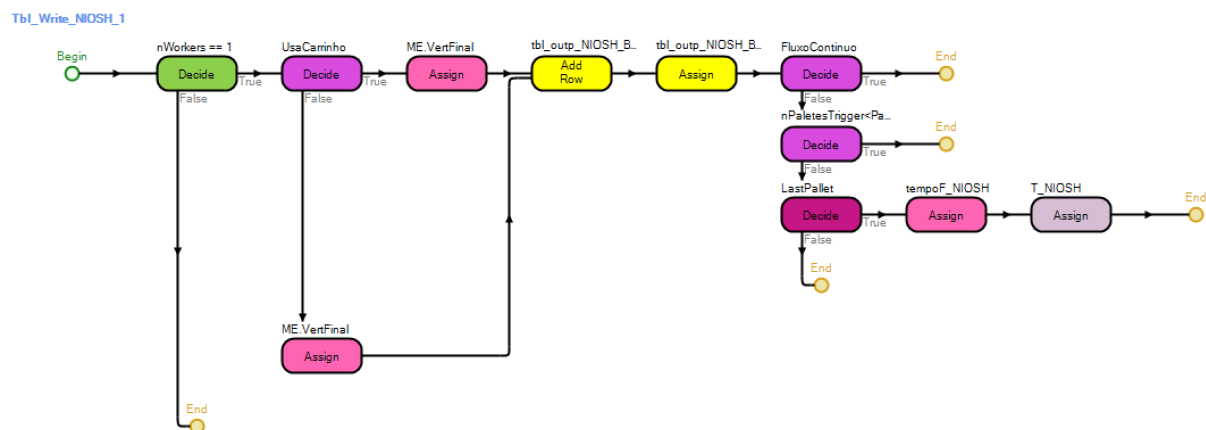


Figura 74 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_1"

Na tabela seguinte (Tabela 17) é representada parte de uma tabela exemplo construída pelo processo anterior. Nessa tabela sublinha-se o facto de esta ter uma coluna não referida anteriormente, isto porque esta coluna é preenchida por um outro processo responsável por atribuir um número relativo ao tipo de combinação entre a posição inicial e posição final vertical. Esta combinação serve de auxiliar para processos mais avançados que serão explicados nos próximos parágrafos.

Tabela 17 - Excerto exemplo da tabela "tbl_outp_NIOSH_Base"

tbl_outp_NIOSH_Aux	tbl_outp_NIOSH_Base			tbl_outp_NIOSH_Base_Order		tbl_outp_NIOSH1	tbl_outp_N
	Paleta	Ticket	Peso	Pos_Horizontal	Pos_Vertical_Inicial	Pos_Vertical_Final	Combination
1	1	125	7,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
2	1	122	3,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
3	1	120	6,0000	35,0000	177,5000	31,0000	3
4	1	117	2,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
5	1	111	1,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
6	1	109	2,0000	35,0000	177,5000	31,0000	3
7	1	104	4,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
8	1	97	6,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
9	1	89	4,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
10	1	88	7,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
11	1	87	5,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
12	1	85	3,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
13	1	81	2,5000	35,0000	177,5000	31,0000	3
14	1	78	7,5000	35,0000	112,5000	31,0000	9
15	1	74	1,5000	35,0000	112,5000	31,0000	9

Cada combinação de posições iniciais e finais resulta num valor único e, na Figura 75, encontra-se representado o processo responsável pela atribuição das combinações e consequente registo na tabela mencionada anteriormente.

tenham as mesmas características e que, dessa forma, serão consideradas “tarefas” distintas para a aplicação do método NIOSH 91 multitarefa. Os três processos ilustrados nos Apêndices 22 a 24 são os responsáveis por agrupar as tarefas, sendo que o resultado desta ordenação é uma nova tabela *output*, tal como ilustrado na tabela exemplo seguinte.

Tabela 18 - Tabela exemplificativa do agrupamento das instâncias em tarefas NIOSH 91 (“tbl_outp_NIOSH2”)

tbl_outp_NIOSH_Aux		tbl_outp_NIOSH_Base		tbl_outp_NIOSH_Base_Order		tbl_outp_NIOSH1		tbl_outp_NIOSH2		tbl_outp_NIOSH3		tbl_outp_NIOSH4		tbl_outp_NIOSH_Results							Table Category: Output NIOSH				
Paleta		Combination	N_Produtos	Peso_Total	Peso_Máximo	Peso_Médio	Frequência	Pos_Horizontal	Pos_Vertical_Inicial	Pos_Vertical_Final	MH	MV	MA	MP	MD	MF	PLRIF	IEIF	PLTRS	IETS					
1	1	1	1	13	82,0000	11,5000	6,3077	5,4397	35,0000	177,5000	95,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9700	9,9495	1,1558	9,6510	0,6536				
2		1	2	20	80,0000	10,0000	4,0000	5,4397	35,0000	177,5000	63,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	0,9700	9,7761	1,0229	9,4828	0,4218				
3		1	3	13	57,5000	7,5000	4,4231	5,4397	35,0000	177,5000	31,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8507	0,9700	9,6784	0,7749	9,3881	0,4711				
4		1	7	14	88,0000	12,0000	6,2857	5,4397	35,0000	112,5000	95,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9700	15,7051	0,7641	15,2340	0,4126				
5		1	8	13	77,0000	13,5000	5,9231	5,4397	35,0000	112,5000	63,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,9109	0,9700	13,2814	1,0165	12,8829	0,4598				
6		1	9	13	61,5000	10,5000	4,7308	5,4397	35,0000	112,5000	31,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,8752	0,9700	12,7609	0,8228	12,3781	0,3822				
7		1	13	13	59,0000	10,5000	4,5385	5,4397	35,0000	47,5000	95,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,9700	13,0986	0,8016	12,7057	0,3572				
8		1	14	13	70,0000	11,5000	5,3846	5,4397	35,0000	47,5000	63,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,1103	0,9700	15,8993	0,7233	15,4223	0,3491				
9		1	15	14	56,0000	10,5000	4,0000	5,4397	35,0000	47,5000	31,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,0927	0,7500	15,6474	0,6710	11,7355	0,3408				
10	2	1	62	347,5000	15,5000	5,6048	4,7181	35,0000	177,5000	95,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9400	9,9495	1,5579	9,3525	0,5993					
11		2	2	1,5000	1,0000	0,7500	4,7181	35,0000	177,5000	63,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	1,0000	9,7761	0,1023	9,7761	0,0767					
12		2	7	60	338,5000	17,0000	5,6417	4,7181	35,0000	112,5000	95,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9400	15,7051	1,0824	14,7628	0,3822				
13		2	13	60	345,5000	15,0000	5,7583	4,7181	35,0000	47,5000	95,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,8000	13,0986	1,1452	10,4789	0,5495				

Na Tabela 18 podemos ver um resultado exemplo da primeira tabela que agrupa as tarefas necessárias para o cálculo da Equação NIOSH 91. Esta já inclui todos os multiplicadores necessários assim como cada parâmetro multitarefa, tais como: PLRIF, IEIF, PLTRS e IETS. De seguida, tal como já foi descrito, é necessário ordenar as tarefas por ordem decrescente do valor de IETS. Este processo é realizado, novamente, através de um *step Search* que é registada cada instância numa nova tabela “tbl_outp_NIOSH3”, tal como no exemplo da Tabela 19 (ordenada pela última coluna).

Tabela 19 - Tabela exemplificativa do resultado da tabela “tbl_outp_NIOSH3”

tbl_outp_NIOSH_Aux		tbl_outp_NIOSH_Base		tbl_outp_NIOSH_Base_Order		tbl_outp_NIOSH1		tbl_outp_NIOSH2		tbl_outp_NIOSH3		tbl_outp_NIOSH4		tbl_outp_NIOSH_Results						Table Category: Output NIOSH			
	Paleta	Combination	N_Produtos	Peso_Total	Peso_Máximo	Peso_Médio	Frequência	Pos_Horizontal	Pos_Vertical_Inicial	Pos_Vertical_Final	MH	MV	MA	MP	MD	MF	PLRIF	IEIF	PLTRS	IETS			
1	1	1	13	82,0000	11,5000	6,3077	5,4397	35,0000	177,5000	95,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9700	9,9495	1,1558	9,6510	0,6536			
2	2	1	62	347,5000	15,5000	5,6048	4,7181	35,0000	177,5000	95,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9400	9,9495	1,5579	9,3525	0,5993			
3	2	13	60	345,5000	15,0000	5,7583	4,7181	35,0000	47,5000	95,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,8000	13,0986	1,1452	10,4789	0,5495			
4	1	3	13	57,5000	7,5000	4,4231	5,4397	35,0000	177,5000	31,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8507	0,9700	9,6784	0,7749	9,3881	0,4711			
5	1	8	13	77,0000	13,5000	5,9231	5,4397	35,0000	112,5000	63,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,9109	0,9700	13,2814	1,0165	12,8829	0,4598			
6	1	2	20	80,0000	10,0000	4,0000	5,4397	35,0000	177,5000	63,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	0,9700	9,7761	1,0229	9,4828	0,4218			
7	1	7	14	88,0000	12,0000	6,2857	5,4397	35,0000	112,5000	95,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9700	15,7051	0,7641	15,2340	0,4126			
8	1	9	13	61,5000	10,5000	4,7308	5,4397	35,0000	112,5000	31,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,8752	0,9700	12,7609	0,8228	12,3781	0,3822			
9	2	7	60	338,5000	17,0000	5,6417	4,7181	35,0000	112,5000	95,0000	0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9400	15,7051	1,0824	14,7628	0,3822			
10	1	13	13	59,0000	10,5000	4,5385	5,4397	35,0000	47,5000	95,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,9700	13,0986	0,8016	12,7057	0,3572			
11	1	14	13	70,0000	11,5000	5,3846	5,4397	35,0000	47,5000	63,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,1103	0,9700	15,8993	0,7233	15,4223	0,3491			
12	1	15	14	56,0000	10,5000	4,0000	5,4397	35,0000	47,5000	31,0000	0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,0927	0,7500	15,6474	0,6710	11,7355	0,3408			
13	2	2	2	1,5000	1,0000	0,7500	4,7181	35,0000	177,5000	63,0000	0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	1,0000	9,7761	0,1023	9,7761	0,0767			

De seguida, pretende-se determinar o Índice de Elevação Composto (IEC) para cada paleta e, para isso, é necessário calcular o Índice de Elevação específico de cada tarefa e, consequente, realizar o somatório destes. Os processos ilustrados nos Apêndices 25 a 28, são responsáveis por realizar os cálculos necessários para a determinação dos índices de cada tarefa e, por fim, registá-los na tabela “tbl_outp_NIOSH4”. Na Tabela 20 é possível analisar um excerto exemplificativo da tabela resultante destes processos onde se encontram registados, novamente, todos os multiplicadores e parâmetros da Equação NIOSH 91, mas, desta vez, acompanhados pelo índice final de cada tarefa e alguns auxiliares intermédios relevantes à obtenção da tabela com todos os parâmetros finais.

Tabela 20 - Excerto exemplo da tabela "tbl_outp_NIOSH4"

tbl_outp_NIOSH4			tbl_outp_NIOSH_Results							Table Category: Output NIOSH			
MH	MV	MA	MP	MD	MF	PLRIF	IEIF	PLTRS	IETS	Aux1	Aux2	Aux R	IE
0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9700	9,9495	1,1558	9,6510	0,6536	0,9700	0,9700	1,0000	0,6536
0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8507	0,9700	9,6784	0,7749	9,3881	0,4711	0,7000	0,9400	0,3647	0,1718
0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,9109	0,9700	13,2814	1,0165	12,8829	0,4598	0,7000	0,9400	0,3647	0,1677
0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	0,9700	9,7761	1,0229	9,4828	0,4218	0,7000	0,9400	0,3647	0,1539
0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9700	15,7051	0,7641	15,2340	0,4126	0,7000	0,9400	0,3647	0,1505
0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	0,8752	0,9700	12,7609	0,8228	12,3781	0,3822	0,7000	0,9400	0,3647	0,1394
0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,9700	13,0986	0,8016	12,7057	0,3572	0,7000	0,9400	0,3647	0,1303
0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,1103	0,9700	15,8993	0,7233	15,4223	0,3491	0,7000	0,9400	0,3647	0,1273
0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	1,0927	0,7500	15,6474	0,6710	11,7355	0,3408	0,7000	0,9400	0,3647	0,1243
0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8745	0,9400	9,9495	1,5579	9,3525	0,5993	0,9400	0,9400	1,0000	0,5993
0,7143	0,9175	1,0000	0,9500	0,9147	0,8000	13,0986	1,1452	10,4789	0,5495	0,7500	0,9400	0,2695	0,1481
0,7143	0,8875	1,0000	1,0000	1,0771	0,9400	15,7051	1,0824	14,7628	0,3822	0,7500	0,9400	0,2695	0,1030
0,7143	0,6925	1,0000	1,0000	0,8593	1,0000	9,7761	0,1023	9,7761	0,0767	0,7500	0,9400	0,2695	0,0207

Por fim e ainda através do processo ilustrado no Apêndice 26, é determinado o IEC de cada paleta e registado na "tbl_outp_NIOSH_Results", tal como representado no exemplo da Tabela 21.

Tabela 21 - Exemplo do resultado da tabela "tbl_outp_NIOSH_Results"

tbl_outp_NIOSH_Aux	tbl_outp_NIOSH_Base				tbl_outp_NIOSH_Base_Order			tbl_outp_NIOSH1	tbl_outp_NIOSH2	tbl_outp_NIOSH3	tbl_outp_NIOSH4	tbl_outp_NIOSH_Results			
	Paleta1	Paleta2	Paleta3	Paleta4	Paleta5	Paleta6	Paleta7	Paleta8	Paleta9	Paleta10	Paleta11	Paleta12	Paleta13	Paleta14	Paleta15
1	1.8188	0.8710	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Em jeito de conclusão, entende-se que a modelação do método multitarefa NIOSH 91 transforma este modelo numa ferramenta bastante capaz no que toca à análise de tarefas de elevação manual de cargas. O registo das características e dos movimentos associados a todos os produtos, dos multiplicadores das instâncias e dos parâmetros das tarefas, possibilita análises de granularidade elevada, como é o caso do índice composto da paleta ou até de uma atividade de *despicking* completa. Permite ainda análises de granularidades mais reduzidas, como por exemplo, caso o utilizador considere relevante analisar o comportamento dos índices simples de cada tarefa. Para além disso, o método foi modelado de forma flexível, sendo utilizável em qualquer cenário parametrizado no modelo apresentado.

5.5 Plano Experimental

Elaborou-se um plano experimental que possibilita a avaliação e comparação consistente de vários cenários, assegurando uma análise imparcial dos diferentes sistemas em consideração. Este plano mostra-se capaz de testar diversos métodos de *despicking* e reposição, sendo que estas atividades podem diferir no procedimento das operações ou nos materiais utilizados.

Dado que o modelo suporta a análise de vários cenários, mas apresenta restrições para testar certos parâmetros simultaneamente, o plano foi estruturado em grupos distintos. Esta divisão facilita a interpretação dos resultados obtidos, conforme ilustrado na Tabela 22.

Tabela 22 - Grupos do plano experimental

Tipo de Cenário	Tipo de Análise
Lote	Operacional
	Ergonómica
Fluxo Contínuo	Operacional
	Ergonómica

Na Tabela 23 são descritos os parâmetros a serem estudados em cada um dos grupos mencionados anteriormente. Para evitar sobrecarregar a interpretação dos resultados, o foco da análise ergonómica será direcionado aos cenários que demonstram maior relevância no contexto operacional, sendo que o objetivo nunca será sugerir ou recomendar cenários ergonomicamente inviáveis.

Tabela 23 - Parâmetros e domínios do plano experimental

Tipo de Análise	Tipo de Cenário	Parâmetros	Tamanho do Domínio	Domínio
Operacional	Lote	Nº Colaboradores	3	1, 2 ou 3
		Usa Carrinho	2	Sim ou Não
		Trigger	5	1, 2, 3, 4 ou tudo
		Tamanho Comboio	3	1, 2 ou 3
		Usa SIP	2	Sim ou Não
		Tipo de Paleta	3	1.80m, 2.10m ou aleatório
	Fluxo Contínuo	Nº Colaboradores	3	1, 2 ou 3
		Usa Carrinho	2	Sim ou Não
		Usa SIP	2	Sim ou Não
		Tipo de Paleta	3	1.80m, 2.10m ou aleatório
Ergonómica	Lote	Usa Carrinho	2	Sim ou Não
		Trigger	3	1, 2 ou tudo
		Usa SIP	2	Sim ou Não
		Tipo de Paleta	3	1.80m, 2.10m ou aleatório
		Variação % Peso	5	-10, -20, 0, 10, 20
		Variação % Atrito	5	-10, -20, 0, 10, 20
	Fluxo Contínuo	Usa Carrinho	2	Sim ou Não
		Usa SIP	2	Sim ou Não
		Tipo de Paleta	3	1.80m, 2.10m ou aleatório
		Variação % Peso	5	0 e $\pm$ {10, 20}
		Variação % Atrito	5	0 e $\pm$ {10, 20}

Este plano experimental, com a combinação dos parâmetros apresentados, resulta num total de 1776 cenários, sendo que 576 resultam do conjunto de análise operacional e os restantes 1200 do conjunto ergonómico.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSTAS DE MELHORIA

Por fim, tem-se um modelo que integra diferentes sistemas relativos às atividades de *despicking* e reposição. Desta forma, o presente capítulo serve como meio de interpretação e discussão sobre o comportamento, tanto operacional como ergonómico, de cada um destes sistemas, assim como a sua comparação.

A discussão de resultados inicia-se com a avaliação do desempenho no cenário atual de funcionamento das atividades em estudo, seguida pelo teste e análise de diversos cenários alternativos.

Antes de abordar os resultados, é apresentado o quadro de indicadores utilizado ao longo da discussão e a dimensão do plano experimental para cada tipo de análise.

6.1 *Framework* de Indicadores e Dimensão do Plano Experimental

Como referido anteriormente, a exploração dos vários cenários será conduzida através de uma análise operacional e ergonómica e, desta forma, foram construídos dois *frameworks* com indicadores relevantes a cada análise.

Tendo em conta que o objetivo de estudo é avaliar o comportamento de sistemas em ambientes operacionais de retalho, foram definidos indicadores operacionais que permitem uma avaliação clara e objetiva das atividades de *despicking* e reposição. Tal como ilustrado na Tabela 24, podemos ver que estes indicadores abrangem de forma completa aspetos relativos a transportes, manuseamento de materiais entre outros comportamentos operacionais.

Tabela 24 - *Framework* de indicadores operacionais

Indicador	Descrição
WIP	WIP da área de retaguarda
TC <i>Despicking</i> Pal/Cart	Tempo de ciclo (TC) de <i>despicking</i> de paletes/carrinhos
TC <i>Despicking</i> Produto	Tempo de ciclo (TC) de <i>despicking</i> de produtos
TC Transporte para Loja	Tempo de ciclo (TC) de transportes de material para a loja
TA Produto	Tempo de atravessamento do produto
Makespan Produto	Makespan do produto
Distância	Distância total percorrida pelo colaborador

Relativamente à análise ergonómica, tal como já foi referido anteriormente, foram desenvolvidos métodos que permitem analisar o esforço físico das tarefas de transporte e manuseamento de carga. Desta forma, foi desenvolvido um *framework* capaz de reproduzir os índices, não só em formato médio,

mas também máximo, permitindo uma interpretação mais eficaz e flexível do comportamento dos sistemas no âmbito da ergonomia de trabalho, tal como ilustrado na Tabela 25.

Tabela 25 - Framework de indicadores ergonómicos

Indicador	Descrição
Índice Força Inicial Fem	Valores máximo e médio do índice Mital para forças de arranque do sexo feminino.
Índice Força Inicial Masc	Valores máximo e médio do índice Mital para forças de arranque do sexo masculino.
Índice Força de Manutenção Fem	Valores máximo e médio do índice Mital para forças de manutenção do sexo feminino.
Índice Força de Manutenção Masc	Valores máximo e médio do índice Mital para forças de manutenção do sexo masculino.
Índice NIOSH 91	Valores mínimo, médio e máximo do índice de NIOSH 91.

Visto que neste estudo foram efetuadas simulações para estimar o desempenho do sistema em vários cenários, sublinha-se a importância de garantir a fiabilidade dos resultados das replicações produzidas. Para isso, foi utilizada uma métrica de avaliação do intervalo de confiança, mais concretamente, o *half-width*. Esta métrica indica a precisão da estimativa média resultante da simulação, onde valores menores refletem uma maior precisão de resultados.

Para isso, foi utilizada a simulação de um primeiro cenário, o cenário padrão, sendo que este caracteriza analiticamente o desempenho do modelo atual de trabalho. Este cenário foi simulado com dez replicações.

A partir deste ponto, foram escolhidos dois indicadores relevantes que apoiem na inferência do número de replicações necessárias, sendo que os indicadores operacionais escolhidos foram o tempo de ciclo de transportes para a loja e o WIP da zona de retaguarda. Relativamente aos indicadores ergonómicos, foi utilizado um indicador de NIOSH 91 e um do Guia de Mital, sendo que são os dois métodos em utilização neste estudo.

As dez replicações do cenário padrão resultaram numa média e um *half-width* igual a 1,174 horas e 0,083, respetivamente, para o tempo de ciclo de transportes para a loja. No caso do WIP da zona de retaguarda, obteve-se uma média igual a 377,627 artigos e um *half-width* de 37,171. Para atingir o nível de precisão desejado, foi calculado o número necessário de replicações por cenário e para tal, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$n = n_0 \cdot \frac{h_0^2}{h^2}, \text{ sendo que:}$$

n: número de replicações para atingir um *half-width* desejado (*h*);

n₀: número atual de replicações correspondente ao *half-width* atual (*h₀*);

h₀: *half-width* atual;

h: *half-width* desejado.

Sublinha-se que o valor para o *half-width* desejado foi calculado como um valor percentual da média dos indicadores.

Como observável na Tabela 26, conclui-se que, tal como esperado, a variabilidade dos indicadores selecionados não é igual e, por isso, para atingir um nível de confiança igual a 95%, o número de replicações varia entre os indicadores. Tendo em conta a complexidade do modelo, a capacidade computacional necessária para dar seguimento à simulação de todas as replicações e os valores obtidos após a utilização da equação anterior, assumiu-se que o número de replicações para a análise operacional do sistema seria 30, dado que é um valor intermédio de ambos os indicadores utilizados.

Tabela 26 - Definição do número de replicações de análise operacional

OPERACIONAL			
TC Transporte Loja		WIP	
u	1,174	u	377,627
n₀	10,000	n₀	10,000
h₀	0,083	h₀	37,171
%	n	%	n
1%	496,474343	1%	968,909765
2%	124,118586	2%	242,227441
3%	55,1638159	3%	107,656641
4%	31,0296464	4%	60,5568603
5%	19,8589737	5%	38,7563906
6%	13,790954	6%	26,9141602
7%	10,1321295	7%	19,7736687
8%	7,75741161	8%	15,1392151
9%	6,12931288	9%	11,961849
10%	4,96474343	10%	9,68909765

O mesmo raciocínio foi aplicado para o grupo de *runs* com objetivo de analisar o comportamento ergonómico do sistema. Neste caso, o número de replicações necessários apresenta-se mais baixo do que o caso operacional e, assim, foi selecionado um número total de 20 replicações para o estudo da ergonomia do trabalho. A aplicação da fórmula anterior, encontra-se representada na Tabela 27.

Tabela 27 - Definição do número de replicações de análise ergonômica

ERGONÔMICO			
NIOSH		Mital	
u	1,3126	u	0,9469
n0	10,000	n0	10,000
h0	0,1219	h0	0,0573
%	n	%	n
1%	862,467247	1%	366,185388
2%	215,616812	2%	91,5463471
3%	95,8296941	3%	40,6872654
4%	53,9042029	4%	22,8865868
5%	34,4986899	5%	14,6474155
6%	23,9574235	6%	10,1718163
7%	17,6013724	7%	7,47317119
8%	13,4760507	8%	5,72164669
9%	10,6477438	9%	4,52080726
10%	8,62467247	10%	3,66185388

6.2 Discussão de Resultados – Análise Operacional

A primeira análise passa pelo estudo comportamental do cenário padrão. Neste caso, não são aplicadas quaisquer alterações ou restrições aos parâmetros-padrão presentes no modelo, de forma a gerar resultados que caracterizam o comportamento do estado atual de trabalho nas atividades em avaliação. Foi utilizada a ferramenta Power BI para computação e visualização dos resultados das experiências, sendo que os resultados obtidos deste cenário encontram-se representados na Figura 77.

Controlo	Média Paletes Despickadas (un) Média Produtos Despickados (un)		6,93	763,93
Indicadores Despicking	Média TC Despicking Paletes (min) Média TC Despicking Produtos (s) Média WIP Célula (un) Média Pal/Car Construídos (un)			
	25,24 13,50 382,47 11,00			
Indicadores Reposição	Média TC Transporte Loja (min) Média Ponderada TC Transporte Loja (min) Média TA Produto (min) Média Distância Total Percorrida (m)			
	73,99 56,74 547,40 688,09			

Figura 77 - Resultados operacionais do cenário padrão em Dashboard Power BI

Atendendo aos resultados obtidos e observáveis na Figura 77, verifica-se que este é um cenário que apresenta valores elevados no que toca ao número médio de produtos WIP, sendo que estes representam praticamente metade do número total de produtos *despickados* e, por sua vez, manuseados pelo colaborador. Isto implica que muitos produtos demoram a passar pelo processo de *despicking* ou a sair da zona de retaguarda, o que potencia um ritmo lento e/ou a baixo do desejado no que toca à reposição destes e, conseqüente, diminuição de valor no que respeita ao cliente.

Esta questão confirma-se após a análise do valor médio do tempo de atravessamento do produto. Este indicador apresenta valores elevados, sublinhando que o tratamento em lotes, neste caso em lotes

de tamanho igual ao número de paletes descarregadas no dia, cria grandes ineficiências quando o objetivo de criar valor passa por garantir que os produtos estejam disponíveis para o cliente.

Partindo destes resultados, são testadas várias experiências, cada uma com objetivos distintos, com o intuito de avaliar a viabilidade de implementar alterações no modo de trabalho deste sistema.

6.2.1 Experiência Operacional I – Implementação de um comboio logístico

O propósito desta experiência passa por avaliar como é que a implementação de um comboio logístico e a variação do seu tamanho influencia, a nível operacional, o comportamento do sistema. Desta experiência espera-se uma melhoria nos processos tendo em conta que o transporte de produtos para a loja passa a ser feito em maiores quantidades. Foram então conduzidas experiências onde se alteraram os parâmetros do comboio logístico, sendo que o cenário padrão/controlado é caracterizado nestes resultados por ter um tamanho de comboio igual a um. Os resultados são apresentados na Figura 78.

Tamanho Comboio = 1 (Controlo)	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	73,99	56,74	547,40	688,09
Tamanho Comboio = 2	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	381,33	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	167,63	56,39	543,22	477,14
Tamanho Comboio = 3	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	381,25	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	233,49	56,28	541,85	444,64

Figura 78 - Resultados da experiência operacional I em Dashboard Power BI

Partindo dos resultados expostos na Figura 78, procedeu-se à construção dos gráficos, representados na Figura 79, permitindo uma interpretação mais intuitiva e acessível destes valores. Os indicadores apresentados são incluídos nos diferentes gráficos da figura seguinte.

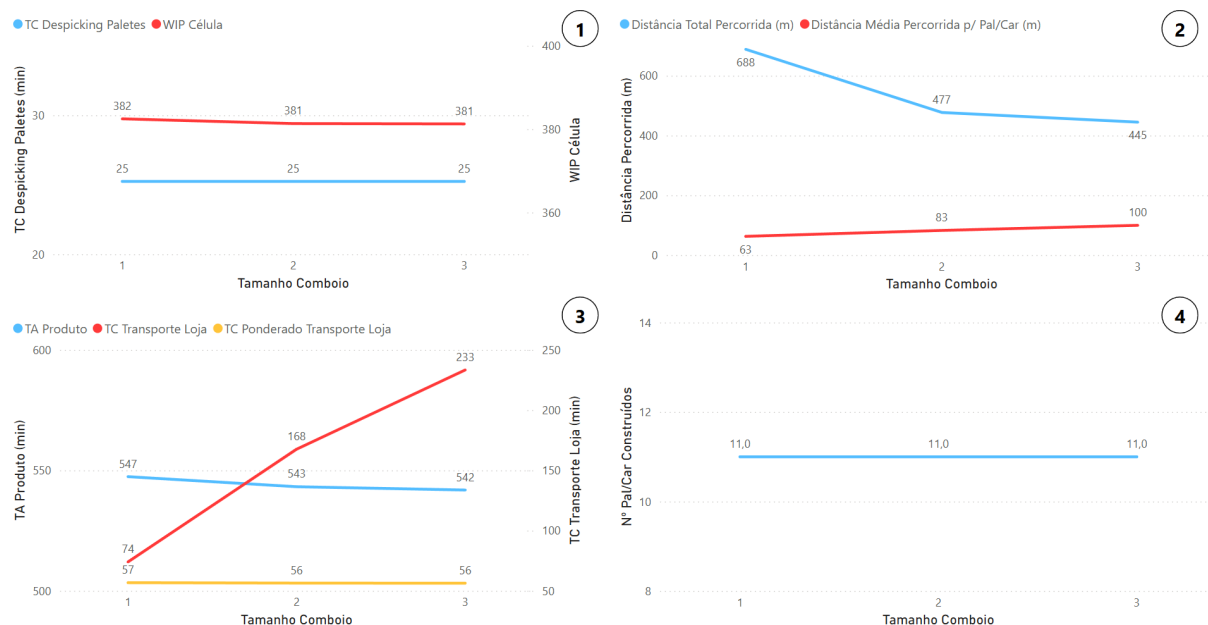


Figura 79 - Gráficos da experiência operacional I em Dashboard Power BI

Os vários gráficos apresentados na figura anterior mostram que a utilização de um comboio logístico no processo de transporte de produtos apenas gera alterações significativas na distância percorrida pelo colaborador e no tempo de ciclo de transportes para a loja.

Analisando o gráfico número 1, é possível perceber que o tempo de ciclo médio de *despicking* de paletes e o WIP médio da zona de retaguarda não manifestam quaisquer alterações relacionadas com o tamanho do comboio logístico, isto porque a introdução deste meio de transporte não interfere diretamente com a atividade de *despicking*, mas sim com o comportamento do sistema no que toca ao transporte de carga para a loja. Apesar disso, estas experiências demonstram que o tamanho do comboio logístico se relaciona de forma diretamente proporcional com o tempo de ciclo médio de transportes para a loja, apesar da média ponderada deste indicador não sofrer quaisquer alterações. Este comportamento pode ser explicado pelo facto de o colaborador estar mais tempo presente na loja a movimentar o comboio e os produtos pelos corredores e, consequentemente, a repô-los. Tendo em conta que o objetivo do comboio passa pelo transporte de mais produtos, é natural que a atividade de reposição seja mais demorada levando aos resultados apresentados. Ainda assim, o facto de a média ponderada do tempo de ciclo de transportes não sofrer alterações, prova que o aumento do tempo de ciclo de transporte para a loja se equilibra com o tempo disposto a repor produtos nas prateleiras, não sendo observados comportamentos significativamente distintos neste contexto. Por outro lado, este parâmetro apresenta resultados positivos no que toca à distância total percorrida pelo colaborador. Neste caso, a distância média percorrida por cada comboio (linha vermelha do gráfico 2), isto é, a distância média percorrida em cada transporte de produtos para a loja, aumenta de forma diretamente proporcional com o tamanho

deste. Este fenómeno é explicado pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, onde um maior número de produtos aumenta a probabilidade de serem transportados mais tipos ou categorias de produtos que, consequentemente, resultam na necessidade de passar por mais corredores para repor estes todos. Ainda assim, a distância total percorrida (linha azul do gráfico 2) durante a realização destas tarefas reduz à medida que o tamanho do comboio aumenta, isto porque elimina-se a necessidade de realizar tantas viagens entre a retaguarda e a loja, e vice-versa, para iniciar a reposição de produtos que se encontram noutras paletes.

Tendo em conta a análise desta experiência, conclui-se que este parâmetro não gera alterações significativas na eficácia de *despicking*, sendo que a alteração mais importante de sublinhar é a capacidade de reduzir a distância média total percorrida pelo colaborador em cerca de 35%.

6.2.2 Experiência Operacional II – Variação do tamanho de lote de trabalho (*Trigger*)

Esta experiência tem como objetivo avaliar o impacto decorrente da variação do tamanho de lote definido para trabalho. Esta experiência tem por base o princípio de *Lean Thinking* que sublinha a importância de garantir a agilidade e fluidez de todos os processos que acrescentam valor ao produto/serviço por forma a que o produto final chegue ao cliente sem interrupções e/ou esperas. Desta forma, espera-se que a diminuição do lote de trabalho se reflita num sistema mais ágil e capaz de focar o seu comportamento na criação de valor e, por isso, no transporte de produtos de forma mais fluída para as prateleiras, tornando-se mais eficaz na disponibilidade destes ao cliente. O cenário padrão é traduzido pelo *trigger* igual ao número total de paletes descarregadas pelo camião. Os resultados desta experiência estão ilustrados na Figura 80.

	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
Trigger = Camião	25,24	13,50	382,47	11,00
(Controlo)	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	73,99	56,74	547,40	688,09
Trigger = 4	107,65	51,70	200,24	13,73
	67,18	42,03	302,10	858,93
Trigger = 3	119,95	57,73	157,18	16,03
	60,64	36,05	243,79	1.007,81
Trigger = 2	133,55	63,95	110,08	21,03
	47,67	26,79	177,53	1.301,09
Trigger = 1	153,87	73,34	57,73	30,93
	34,37	18,31	103,27	1.942,82

Figura 80 - Resultados da experiência operacional II em Dashboard Power BI

Desta *dashboard* resultam os gráficos ilustrados na Figura 81, a partir do qual será conduzida a seguinte análise.

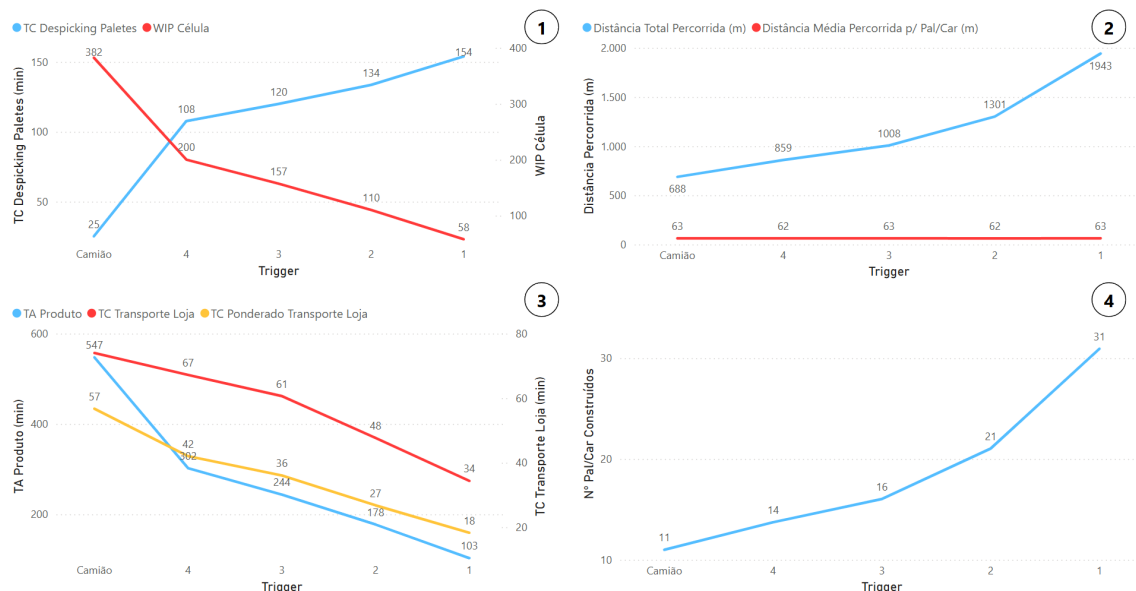


Figura 81 - Gráficos da experiência operacional II em Dashboard Power BI

O grupo de gráficos ilustrados na figura anterior mostra, desde logo, que a diminuição unitária do tamanho do lote ou *trigger* apresenta uma relação proporcional com o WIP médio da célula (zona de retaguarda), tal como seria esperado. Esta relação reflete-se numa diminuição acentuada à medida que

o *trigger* diminui, simbolizando que este pode ser um parâmetro essencial a ter em conta, principalmente, em estabelecimentos de menor dimensão e que, consequentemente, não têm tanta capacidade para manter tantos produtos na zona de retaguarda ao longo das atividades de *despicking* e reposição. Sublinha-se que, apenas através da alteração de um lote máximo para um lote/*trigger* igual a 1, é possível garantir uma redução percentual média de cerca de 85% do WIP na zona de retaguarda.

Por outro lado, o tempo de ciclo médio de *despicking* das paletes apresenta um comportamento inverso ao do WIP. Neste caso, o tempo de ciclo médio aumenta de forma inversamente proporcional ao tamanho do lote de trabalho. Este comportamento pode ser explicado através do aumento de interrupções da atividade de *despicking* para realizar reposição dos produtos. No caso em que o *trigger* é considerado 1, o colaborador de cada vez que finaliza o *despicking* de uma paleta irá iniciar a reposição dos produtos resultantes, levando a que o *despicking* das restantes paletes só volte a iniciar no final da reposição dos produtos da primeira. Estas interrupções intermediárias resultam num tempo de ciclo de *despicking* mais elevado, mas, tal como se pode observar na Figura 81 isto acaba por implicar uma reposição mais rápida e rítmica dos produtos, resultando numa redução do tempo de atravessamento dos produtos. Tendo em conta que a atividade que acrescenta valor a estas tarefas é a aproximação dos produtos das prateleiras e a sua exposição e disponibilidade ao cliente, pode-se desconsiderar que o aumento do tempo de ciclo de *despicking* seja um ponto negativo neste cenário. Para além disso, o tempo de ciclo médio de transportes para a loja segue o mesmo comportamento positivo para o caso, correspondendo às expectativas comportamentais desta experiência.

Pelo contrário, a redução do tamanho do lote traduz-se num aumento de paletes construídas. Este comportamento é justificado pelo facto desta variação se traduzir, incontestavelmente, num processo que utiliza menos a capacidade máxima dos seus meios de transporte de produtos devido às interrupções mais recorrentes para reposição. Pela mesma razão, é expectável, e confirmado pelos resultados da experiência, que a distância total percorrida pelo colaborador seja afetada, podendo acarretar consigo problemas no que toca à ergonomia do processo. Esta questão será explorada mais à frente aquando da discussão dos resultados das experiências desse âmbito.

Em jeito de conclusão, confirma-se que este é um parâmetro com potencial para melhorar a eficiência destas atividades, principalmente no que toca a garantir um fluxo rápido e rítmico dos produtos para a loja. É também importante sublinhar que este pode ser um cenário importante para os estabelecimentos de retalho que apresentem restrições de espaço e pretendam reduzir o número de material WIP.

6.2.3 Experiência Operacional III – Variação integrada do *Trigger* e do tamanho do

comboio logístico

Tendo em conta os resultados das Experiências Operacionais I e II, deu-se seguimento à Experiência III que tem como propósito avaliar o impacto da variação de vários parâmetros, focando na dupla de parâmetros explorados nas experiências anteriores. Desta experiência espera-se encontrar uma melhoria nos processos através da integração de um lote reduzido e a integração de um comboio logístico. Para além disso, pretende-se analisar o comportamento do sistema através da alteração de outros parâmetros, tais como o número de colaboradores, a substituição das paletes de reposição por carrinhos, a introdução de um sistema de inclinação de paletes e a variação do tipo de paletes descarregadas. Destes últimos é expectável que apenas o número de colaboradores tenha um impacto significativo no desempenho operacional do processo, visto que os restantes têm um papel focado na ergonomia do trabalho, segundo a qual serão conduzidas várias experiências mais à frente.

Foram então conduzidas experiências onde se conjugaram os parâmetros do comboio logístico e do *trigger*. Os resultados da experiência que conjuga os dois parâmetros em foco estão ilustrados de forma gráfica na Figura 82. Os restantes são apresentados nas figuras presentes no Apêndice 30.

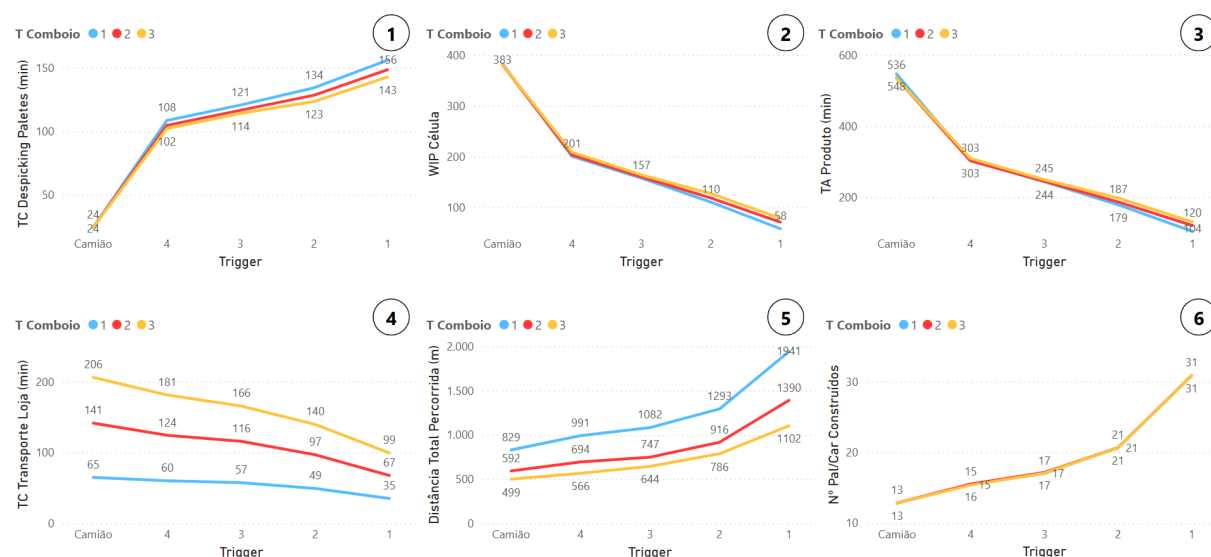


Figura 82 - Gráficos da experiência operacional III em Dashboard Power BI

Analisando a Figura 82 conclui-se que a introdução de um comboio logístico apresenta-se como uma solução eficaz para o problema das longas distâncias percorridas pelos colaboradores, as quais poderão ter implicações ergonómicas, especialmente em cenários que envolvam o trabalho com lotes reduzidos. Ainda assim, o comboio logístico apresenta implicações no tempo de ciclo de transporte de loja para as quais os comboios com menores dimensões apresentam melhor desempenho.

Por outro lado, e, analisando os gráficos ilustrados no Apêndice 30, entende-se que a introdução de um sistema de inclinação e a variação do tipo de palete não resultam em comportamentos significativamente distintos do cenário padrão. Espera-se que estes dois parâmetros tenham uma influência mais elevada a nível ergonômico do que operacional. Ainda assim, a introdução de um carrinho e a variação do número de colaboradores apresentam-se como parâmetros com grande influência no comportamento operacional do sistema e, por isso, de seguida serão analisadas experiências em maior detalhe focadas nestes parâmetros.

6.2.4 Experiência Operacional IV – Substituição das paletes de reposição por carrinhos

O propósito desta experiência passa por avaliar como é que a substituição das paletes de reposição por carrinhos influencia, a nível operacional, o comportamento do sistema. Foram então conduzidas experiências onde se alterou o parâmetro “UsaCarrinho” no cenário padrão. Os resultados são apresentados na Figura 83.

Paletes de Reposição	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	73,99	56,74	547,40	688,09
Carrinhos de Reposição	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (min)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	23,59	12,61	382,79	12,73
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	65,60	48,40	545,00	814,00

Figura 83 - Resultados da experiência operacional IV em Dashboard Power BI

A partir destes resultados foram compilados os gráficos apresentados na Figura 84, facilitando a leitura das alterações resultantes da substituição das paletes de reposição por carrinhos.



Figura 84 - Gráficos da experiência operacional IV em Dashboard Power BI

A análise dos gráficos presentes na figura anterior, conclui que a introdução de carrinhos neste cenário não gera alterações muito significativas a nível operacional. É possível ver que o tempo de ciclo médio de *despicking* das paletes reduz substancialmente, o que se deve ao facto de os carrinhos garantirem que a posição final dos produtos ao longo desta atividade ocorre a um nível vertical mais confortável de realizar a atividade e, por isso, também mais rápido. O tempo de ciclo médio de transportes para a loja também apresenta uma redução, novamente, ligeira ainda que isso se traduza num ganho quando o objetivo é colocar os produtos na prateleira. Por outro lado, dado que a capacidade máxima dos carrinhos é inferior à das paletes, o número de produtos transportados é menor e, consequentemente, o número médio de carrinhos construídos é, neste cenário, mais elevado e a distância total percorrida pelo colaborador é também mais elevada. Segundo os gráficos em análise, cerca de dois carrinhos extra necessários resultam em quase mais 200m percorridos.

Apesar disso, estas alterações resultantes apresentam uma amplitude curta, mostrando que a introdução de carrinhos no processo apresentam melhorias substanciais no que toca ao aumento de valor acrescentado nas operações estudadas. Para além disso, estes cenários podem apresentar mais valias a nível ergonómico e, por isso, será um ponto chave em análise nas experiências ergonómicas.

6.2.5 Experiência Operacional V – Variação do número de colaboradores

A quinta experiência operacional tem como objetivo avaliar o impacto decorrente da variação do número de colaboradores alocados às atividades de *despicking* e reposição. Desta experiência esperam-se resultados significativos, principalmente, no que toca à velocidade e ritmo a que as tarefas são

realizadas. O cenário padrão é traduzido por ter apenas um colaborador. Os resultados desta experiência estão ilustrados na Figura 85.

Nº Colaboradores = 1	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (min)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	73,99	56,74	547,40	688,09
Nº Colaboradores = 2	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	17,45	9,29	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	37,29	31,58	294,60	688,09
Nº Colaboradores = 3	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (min)	Média WIP Célula (un)	Média Pal/Car Construídos (un)
	14,76	7,83	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média Ponderada TC Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	25,06	23,14	209,98	688,09

Figura 85 - Resultados da experiência operacional V em Dashboard Power BI

Na Figura 86, estão representados de forma gráfica os resultados apresentados na figura anterior.

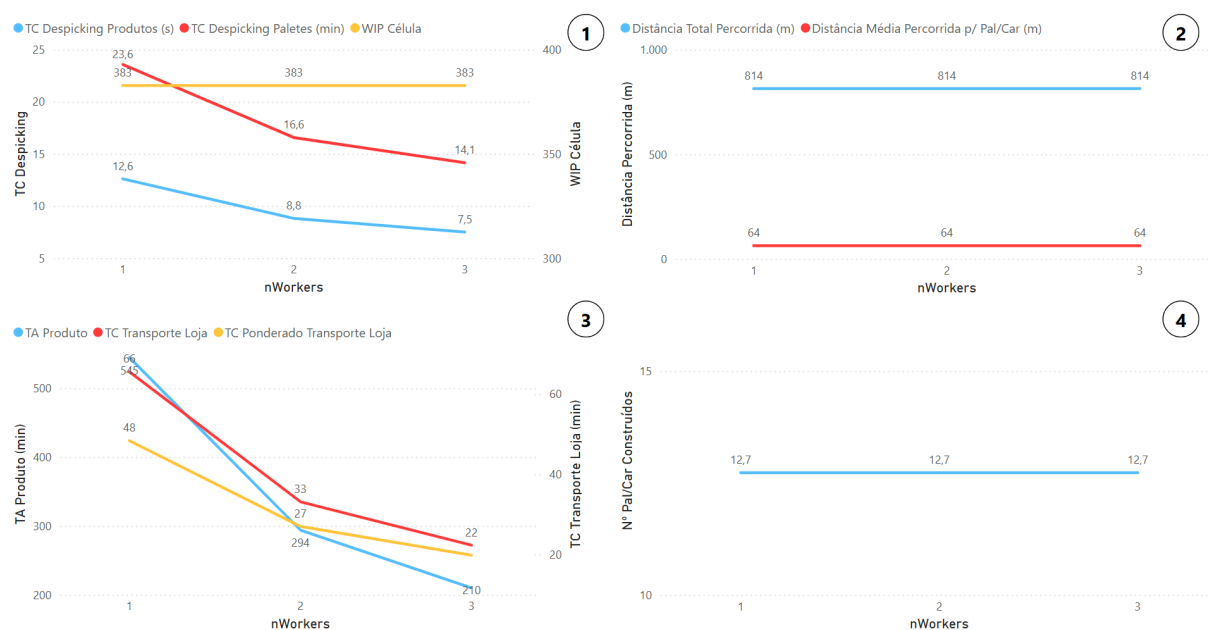


Figura 86 - Gráficos da experiência operacional V em Dashboard Power BI

Analisando o primeiro gráfico, confirmam-se as expectativas quanto ao aumento da eficiência nas atividades de *despicking*. Observa-se que a alocação de um número maior de colaboradores nas tarefas de *despicking* resulta numa redução significativa do tempo médio de ciclo de *despicking* tanto para os produtos quanto para as paletes. Para além disso, o tempo de atravessamento e o tempo de ciclo das atividades de transporte para a loja apresentam o mesmo tipo de comportamento, evidenciando uma redução proporcional ao aumento de recursos alocados.

No entanto, sublinha-se que estes indicadores apresentam uma evolução ligeiramente curvilínea, sugerindo que existe uma relação decrescente nos ganhos alcançados com esta variação de recursos humanos. Embora o aumento do número de colaboradores contribua para uma maior eficiência, os benefícios adicionais tornam-se progressivamente menos acentuados. Dado este comportamento, é fundamental avaliar cuidadosamente o equilíbrio entre o número de recursos alocados e os custos associados a tal, garantindo uma relação custo-benefício otimizada para cada situação específica.

6.2.6 Experiência Operacional VI – Introdução de um fluxo contínuo

A última experiência operacional tem como objetivo avaliar os impactos da implementação de um fluxo contínuo em comparação à estratégia adotada na Experiência II, baseada na redução do tamanho do lote de trabalho. É pretendido testar se a transição para um sistema de fluxo contínuo é capaz de trazer benefícios significativos em termos operacionais. Esta ideia tem origem nos princípios *Lean Thinking*, onde se procura desenvolver o sistema de forma a garantir que os materiais fluam sem interrupções ao longo de todas as atividades. Recorde-se que neste cenário o transporte é realizado imediatamente após atingir a capacidade máxima de produtos de uma paleta e que o *despicking* só continua após reposição destes produtos. Para além disso, neste sistema não se consideram categorias para separação, sendo todos colocados na mesma paleta ou carrinho, de forma indiferenciada.

Primeiramente, foram compilados os resultados do cenário de fluxo contínuo para comparativo com o cenário padrão, tal como ilustrado na Figura 87.

Lote Padrão	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula	Média Pal/Car Construídos (un)
	25,24	13,50	382,47	11,00
	Média TC Transporte Loja (min)	Média TC Ponderado Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	73,99	56,74	547,40	688,09
Fluxo Contínuo	Média TC Despicking Paletes (min)	Média TC Despicking Produtos (s)	Média WIP Célula	Média Pal/Car Construídos (un)
	142,47	73,87	104,87	8,07
	Média TC Transporte Loja (min)	Média TC Ponderado Transporte Loja (min)	Média TA Produto (min)	Média Distância Total Percorrida (m)
	129,49	63,86	148,25	1.229,47

Figura 87 - Resultados da experiência operacional VI em Dashboard Power BI

De seguida, e como meio de facilitar a interpretação destes resultados, foram desenvolvidos vários gráficos que permitem a comparação desta alteração com vários cenários. Nestes cenários estão incluídos o caso padrão, os vários casos de redução do tamanho do lote de trabalho e a implementação de um sistema de fluxo contínuo. O cenário de fluxo contínuo é traduzido pelo *trigger* igual a 0. Este conjunto de gráficos está apresentado na Figura 88.

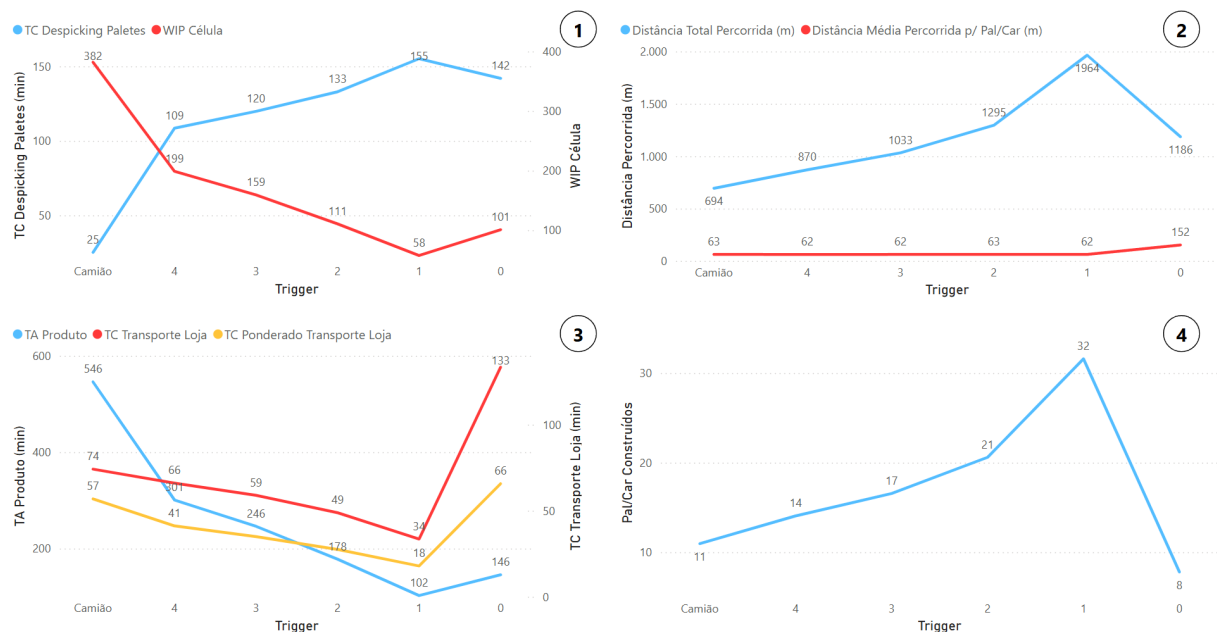


Figura 88 - Gráficos da experiência operacional VI em Dashboard Power BI

As expectativas seriam que o comportamento do sistema com fluxo contínuo seguisse o mesmo padrão que as respostas demonstradas na variação do tamanho do lote, mas, tal como é perceptível através da análise dos gráficos da Figura 88, o comportamento é ligeiramente distinto.

Neste caso, os resultados demonstram que, comparativamente com o cenário padrão, o tempo de ciclo médio de *despicking* de paletes e o WIP médio da zona de retaguarda apresentam melhorias, tal como esperado. Ainda assim, este cenário apresenta resultados menos positivos quando comparado com o cenário de *trigger* igual 1 paleta, sendo que o seu comportamento apresenta semelhanças com o cenário de *trigger* igual a 2. Apesar de tudo, sublinha-se que, neste aspeto, continua a ser um cenário capaz de apresentar melhorias em comparação com o cenário padrão.

O cenário de fluxo contínuo evidencia um aumento do tempo de ciclo médio de transportes para a loja. No entanto, apesar de não estar explicitamente representado nos gráficos, pode-se inferir que este é o cenário em que o primeiro produto é repostado de forma mais rápida, ou seja, a primeira paleta de reposição é transportada para a loja mais cedo. Isto ocorre porque o foco deste cenário é atingir a capacidade máxima da paleta de reposição e iniciar imediatamente a reposição dos produtos, minimizando o tempo de espera para o início das operações de reposição. Essa abordagem é reforçada pelo comportamento do tempo médio de atravessamento do produto, que apresenta valores similares aos cenários de *trigger* 1 e 2. Esta semelhança valida a teoria e as características do fluxo contínuo, destacando a sua eficiência em antecipar a reposição dos produtos.

Relativamente ao número de paletes construídas, observa-se uma redução significativa. Este comportamento, em conjunto com os resultados obtidos para a distância percorrida pelos colaboradores,

pode ser atribuído ao foco deste cenário na maximização da capacidade das paletes de reposição. Ao priorizar a utilização completa da capacidade das paletes e o facto de não haver divisão dos produtos por categorias, o sistema reduz o número total de paletes necessárias pelo maior aproveitamento da sua capacidade, diminuindo assim o volume de movimentação do colaborador.

O comportamento deste cenário demonstra as características do fluxo contínuo, sublinhando a sua eficiência em antecipar a reposição dos produtos e maximizar a utilização dos recursos, sem comprometer o desempenho global do sistema.

Para além destas representações gráficas, o Apêndice 31 explora o comportamento destes cenários considerando a variação dos restantes parâmetros do modelo.

O conjunto de análises realizadas nos parágrafos anteriores, concluem que as variações dos diferentes parâmetros do sistema resultam, na sua maioria, em comportamentos operacionais bastante distintos do cenário padrão. No capítulo seguinte serão estudados os impactos de vários parâmetros a nível ergonómico, incluindo a redução do tamanho do lote de trabalho, a utilização de carrinhos e a introdução de um fluxo contínuo, visto que estes apresentam comportamentos capazes de impactar positivamente o sistema.

6.3 Discussão de Resultados – Análise Ergonómica

A análise ergonómica inicia-se, tal como na análise operacional, pelo estudo comportamental do cenário padrão. Neste caso, não são aplicadas quaisquer alterações ou restrições aos parâmetros-padrão presentes no modelo, de forma a gerar resultados que caracterizam o comportamento do estado atual de trabalho nas atividades em avaliação. Sendo que se trata de uma avaliação ergonómica dos métodos de Mital e NIOSH, será dado foco aos indicadores máximos, visto que estes representam o pior caso de cada cenário no que toca ao esforço exigido pelas atividades de *despicking* e reposição. Os resultados obtidos deste cenário, encontram-se representados na Figura 89.



Figura 89 - Resultados ergonómicos do cenário padrão em Dashboard Power BI

Analisando os resultados apresentados na figura anterior, fica claro que o cenário padrão em que as atividades são exercidas apresentam níveis de esforço elevados, seja no âmbito do *despicking*, onde se obteve um valor máximo do índice de NIOSH igual a 1,63, ou seja, superior ao aceitável, seja no âmbito das tarefas de transporte ou nas de reposição. Relativamente aos índices de Mital, os resultados mostram que estas atividades necessitam de uma intervenção urgente, sendo que, para além disso, os resultados mostram-se mais pejorativos para o género feminino.

Partindo destes resultados, foram conduzidas várias experiências, cada uma com objetivos distintos, sendo que o intuito geral passa por avaliar a viabilidade de implementar alterações no modo de trabalho deste sistema, procurando sempre melhorar o bem-estar e a saúde física dos colaboradores durante o trabalho.

6.3.1 Experiência Ergonómica I – Variação do tamanho de lote de trabalho (*Trigger*)

Esta experiência, tal como a Experiência Operacional II, tem como objetivo avaliar o impacto decorrente da variação do tamanho de lote definido para trabalho. Esta experiência pretende estudar como é que a intercalação entre a atividade de *despicking* e de reposição pode interferir no resultado dos índices ergonómicos, sendo que estes dependem em grande parte da frequência a que cada atividade é realizada. Para além disso, tal como já foi confirmado anteriormente, este é um conjunto de cenários que com a diminuição do lote leva a uma maior distância total percorrida pelo colaborador, podendo então ter consequências a nível das tarefas de transporte de carga. Os resultados desta experiência, encontram-se graficamente representados na Figura 90.

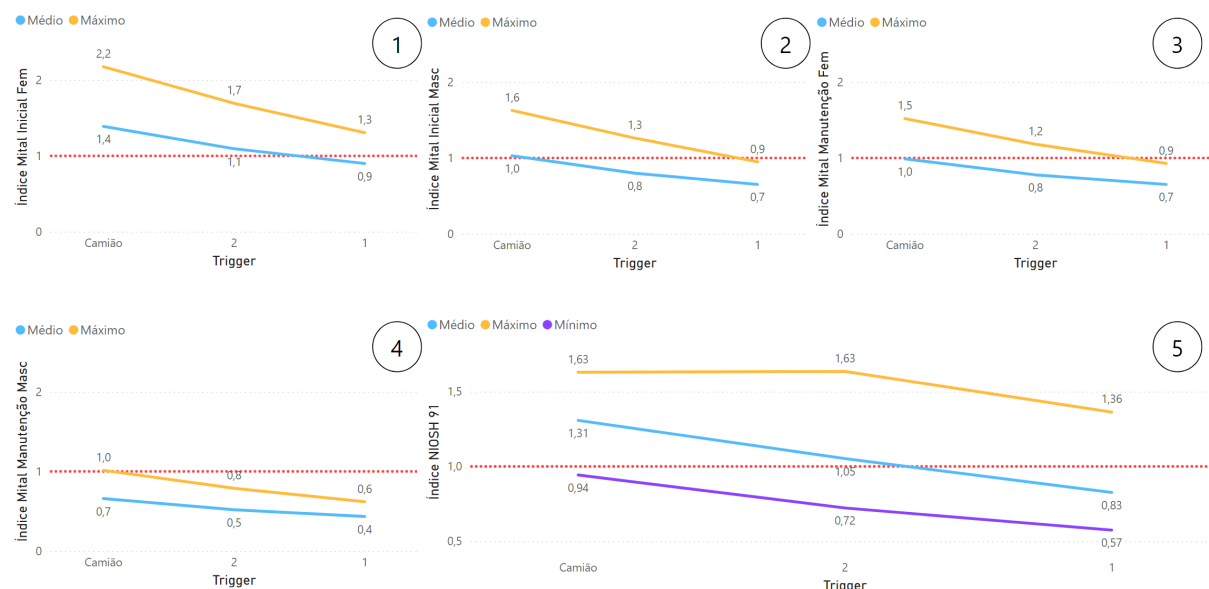


Figura 90 - Gráficos da experiência ergonómica I em Dashboard Power BI

Analisando os gráficos resultantes desta experiência, entende-se que a redução do lote de trabalho, por si só, já se mostra uma possível solução para melhorar o comportamento do sistema a nível ergonómico. Nestes resultados, entende-se que qualquer um dos índices estudados apresenta uma relação diretamente proporcional, ou seja, os índices tendem a apresentar valores mais baixos a cada redução do tamanho do lote de trabalho. Isto, tal como referido anteriormente, pode ser explicado pelo facto de este tipo de processo criar intervalos entre os dois tipos de atividade em estudo e, dessa forma, reduzir a frequência de ações em cada um deles. Sendo que a frequência é um parâmetro que altera significativamente o resultado de qualquer um destes índices, é então garantido que estes irão baixar em reflexão da diminuição do tamanho do lote de trabalho. Na Figura 91, são apresentados os resultados para um *trigger* igual a 1, que de toda a experiência apresenta melhores resultados.



Figura 91 - Resultados da experiência ergonómica I em Dashboard Power BI

Ainda assim, tal como podemos ver na figura anterior, os valores máximos do índice de NIOSH e Mital para forças de arranque feminino apresentam-se superiores a 1. Os índices máximos de Mital de forças de arranque masculino e de forças de manutenção feminino, apresentam valores também muito próximos a 1. Isto demonstra que, apesar das melhorias constatadas nestas experiências, esta pode não ser uma solução suficiente para garantir um ambiente de trabalho seguro ao nível do esforço físico de todas as tarefas.

6.3.2 Experiência Ergonómica II – Substituição das paletes de reposição por carrinhos

O propósito desta experiência passa por avaliar como é que a substituição das paletes de reposição por carrinhos influencia, a nível ergonómico, o comportamento sistema. Foram então conduzidas experiências onde se alterou o parâmetro “UsaCarrinho” relativamente ao cenário padrão. Os resultados são apresentados na Figura 92.



Figura 92 - Gráficos da experiência ergonômica II em Dashboard Power BI

Pela análise dos gráficos presentes na figura anterior conclui-se que a introdução de carrinhos neste cenário, para além de gerar alterações a nível operacional, tal como analisado na Experiência Operacional IV, pode fazer a diferença a nível ergonómico, sendo um diferenciador entre ter um índice máximo superior ou inferior ao aceitável. Como podemos ver nos gráficos 1 e 2, os índices máximos de Mital para forças de arranque, feminino e masculino, apresentam uma melhoria aquando da utilização de carrinhos nestas atividades. Ainda assim, não é suficiente para colocar este índice feminino numa posição aceitável, ao contrário do género masculino. O índice máximo de NIOSH também apresenta uma descida acentuada. No entanto, o índice máximo de forças de manutenção masculino não apresenta grande diferença comportamental a esta alteração no sistema. Já de forma contraditória aos restantes indicadores, o índice máximo de forças de manutenção feminino apresenta uma agravação em sistemas que utilizam carrinho ao invés de paletes de reposição. A questão de os índices de forças de manutenção não apresentarem valores satisfatórios pode ser explicada pela própria natureza física entre manter o movimento das cargas através da ação de puxar, tal como ocorre com as paletes, que apresenta uma dinâmica distinta da ação de empurrar, como é o caso dos carrinhos. Estes resultados sugerem que, para cargas e atividades com as características analisadas neste estudo, a ação de empurrar pode não ser a abordagem mais eficiente para manter o movimento, evidenciando uma potencial limitação desse método em condições semelhantes.

Na Figura 93, são apresentados os resultados dos indicadores aquando da implementação de um carrinho no sistema.

Índice Força Inicial Máx - Feminino

1,13!
Máximo Aceitável: 1,00 (+12.93%)

Índice Força Inicial Máx - Masculino

0,79✓
Máximo Aceitável: 1,00 (-20.61%)

Índice NIOSH Máx

0,97✓
Máximo Aceitável: 1,00 (-2.67%)

Índice Força Manutenção Máx - Feminino

2,17!
Máximo Aceitável: 1,00 (+116.7%)

Índice Força Manutenção Máx - Masculino

0,86✓
Máximo Aceitável: 1,00 (-13.83%)

Figura 93 - Resultados da experiência ergonômica II em Dashboard Power BI

6.3.3 Experiência Ergonômica III – Implementação de um Sistema de Inclinação de Paletes

A terceira experiência ergonômica, tem como objetivo avaliar o impacto decorrente da implementação de um Sistema de Inclinação de Paletes nas atividades de *despicking* no cenário padrão. Desta experiência, esperam-se resultados significativos, principalmente, em relação aos índices de NIOSH, estes que avaliam ergonomicamente as tarefas realizadas ao longo do *despicking*. Os resultados desta experiência estão ilustrados na Figura 94.

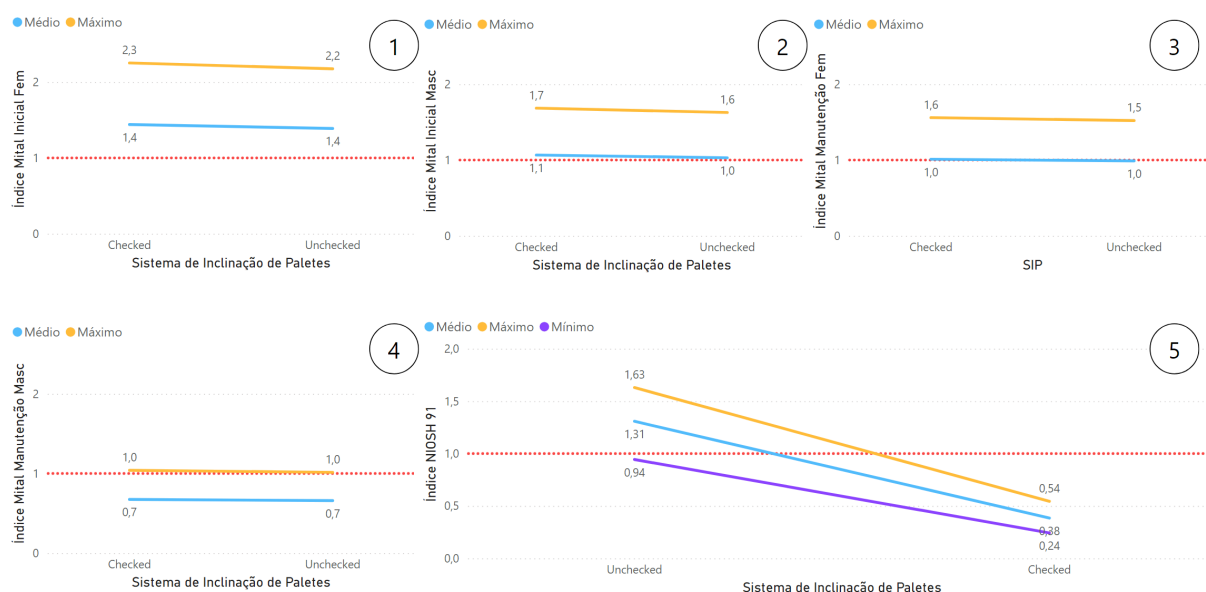


Figura 94 - Gráficos da experiência ergonômica III em Dashboard Power BI

Analisando os gráficos da figura anterior, verifica-se, uma redução significativa do índice de NIOSH. Até ao momento, a implementação de um SIP demonstra ser o fator mais impactante nesse aspeto. Os valores representados nos gráficos evidenciam o impacto positivo de um equipamento que posiciona os produtos de forma ergonomicamente mais favorável à sua elevação. Em tarefas como esta, tradicionalmente muito exigentes para o colaborador, a utilização de uma solução deste tipo destaca-se

como uma intervenção crucial para minimizar o esforço físico e a probabilidade de lesões musculoesqueléticas.

Por outro lado, este equipamento não se mostra capaz de gerar alterações significativas nos restantes indicadores.

Os resultados da implementação deste equipamento são apresentados na Figura 95.

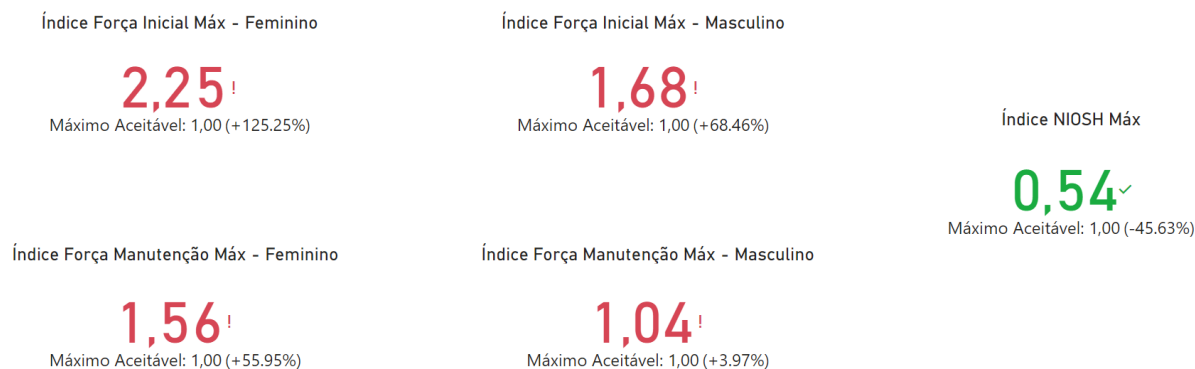


Figura 95 - Resultados da experiência ergonómica III em Dashboard Power BI

6.3.4 Experiência Ergonómica IV – Variação do tipo de palete

Dando continuidade ao raciocínio da experiência anterior, a Experiência Ergonómica IV pretende analisar os efeitos da variação do tipo de palete geradas no sistema. É importante relembrar que as paletes do tipo 1 têm cerca de 2,10m, as paletes do tipo 2 cerca de 1,80m e o tipo *random* uma mistura de ambas. Os resultados desta experiência são apresentados graficamente na Figura 96.

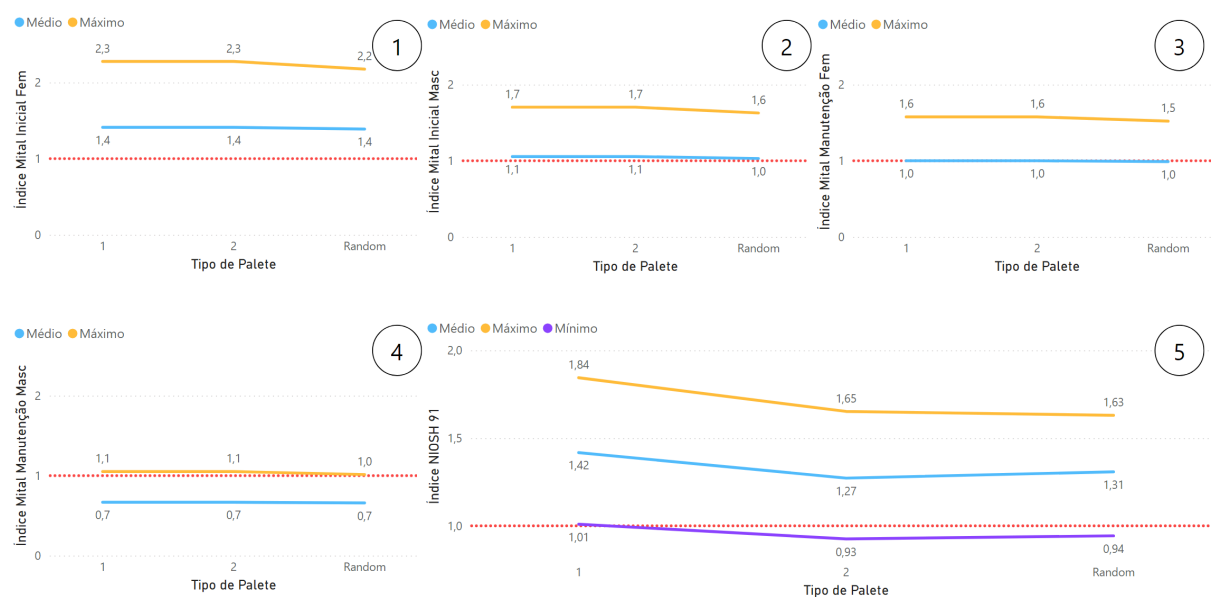


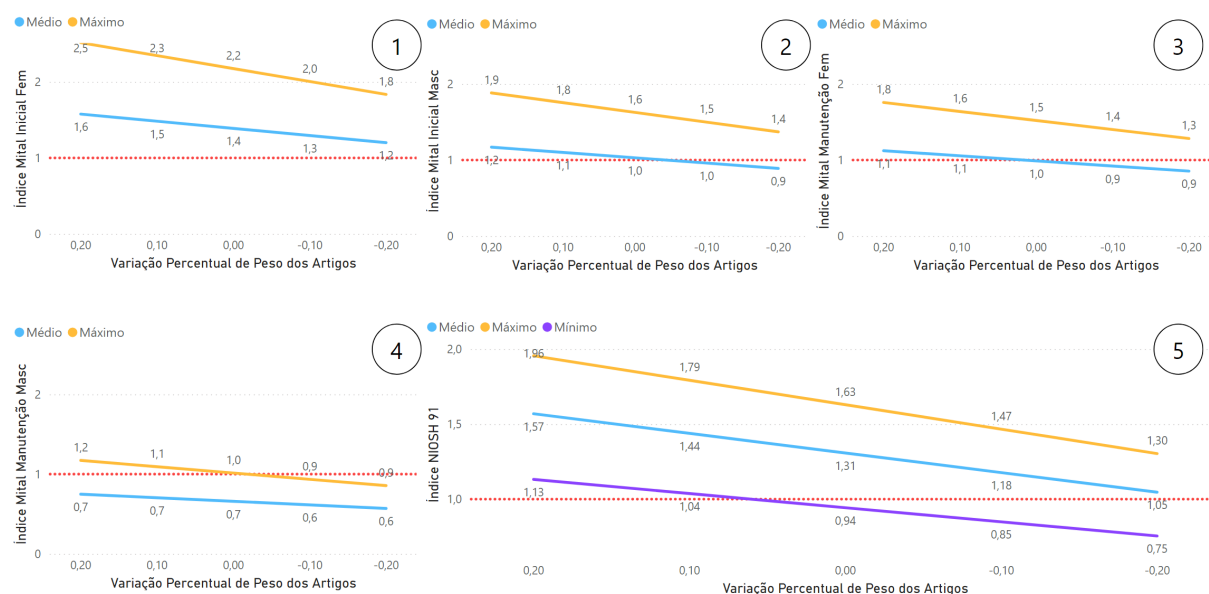
Figura 96 - Gráficos da experiência ergonómica IV em Dashboard Power BI

A análise dos gráficos permite concluir que a variação do tipo de paleta apenas interfere no índice de NIOSH. Conforme ilustrado na figura anterior, observa-se um aumento desse índice quando o sistema é configurado para gerar paletes com alturas mais elevadas. Ainda assim, o comportamento dos sistemas que consideram exclusivamente a existência de paletes do tipo 2, não apresentam alterações significativas neste índice quando comparados com o comportamento do cenário padrão (paletes do tipo aleatório).

Com base nestes resultados, considera-se que para os sistemas em estudo, recomenda-se evitar que todas as paletes enviadas às lojas excedam os 2 metros de altura, uma vez que isso pode impactar negativamente o comportamento ergonômico do sistema, agravando potenciais riscos de saúde física. É, portanto, importante garantir um equilíbrio no tipo e estiva das paletes, promovendo uma configuração que otimize as condições operacionais e ergonômicas de trabalho.

6.3.5 Experiência Ergonômica V – Variação percentual do peso dos artigos

Esta experiência tem como objetivo analisar o comportamento do sistema relativamente à variação do peso dos artigos enviados para a loja. Para dar seguimento a esta experiência, foi criado um parâmetro capaz de gerar uma variação percentual do peso dos produtos. Os resultados desta experiência estão representados na Figura 97.



Os resultados da experiência comprovam que, visto que todos os índices em estudo dependem do peso da carga, estes apresentam uma relação diretamente proporcional, em o aumento do peso promove resultados menos favoráveis à saúde física dos colaboradores. Este comportamento reforça a

importância de considerar o peso como um fator crítico na construção das paletes que são enviadas para as lojas e que, consequentemente, serão manuseadas pelos trabalhadores.

Desta forma, sublinha-se a importância de garantir sistemas logísticos que sejam projetados para minimizar o peso das cargas, garantindo que a saúde física dos colaboradores não seja deteriorada e contribuindo para a produtividade e eficiência do sistema.

6.3.6 Experiência Ergonômica VI – Variação percentual do atrito

O propósito desta experiência passa por avaliar como é que o atrito afeta o esforço físico relacionado com as tarefas de movimento de carga. Desta forma, procura-se perceber se a substituição dos equipamentos utilizados atualmente por equipamentos que apresentem menos ou mais atrito é um fator importante para a qualidade ergonômica geral do sistema.

A experiência foi conduzida através do mesmo raciocínio da experiência anterior, introduzindo um parâmetro que altera, percentualmente, o nível de atrito dos equipamentos (paletes e carrinhos de reposição). Os resultados desta experiência, aplicados a sistemas que utilizam paletes de reposição, são apresentados na Figura 98.

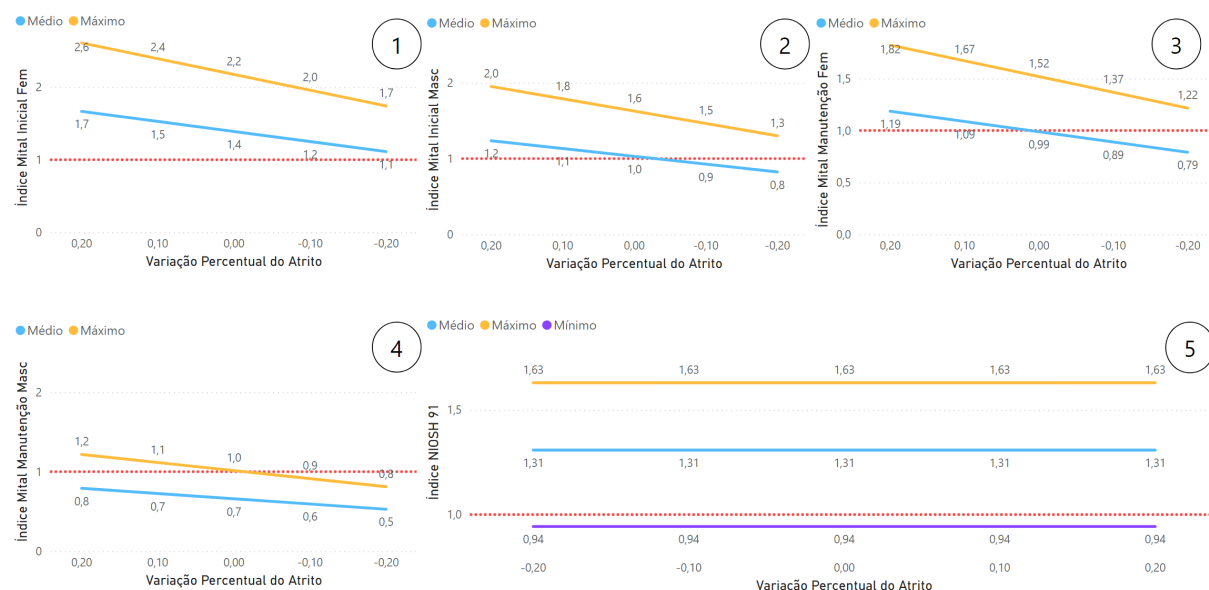


Figura 98 - Gráficos da experiência ergonômica VI (paletes de reposição) em Dashboard Power BI

Da análise destes resultados conclui-se que este parâmetro não apresenta qualquer influência nas atividades de *despicking* e, por isso, não se observam quaisquer alterações no índice de NIOSH. Para além disso, é um parâmetro que gera grande impacto no que toca às atividades de transporte de carga, gerando grandes alterações no que toca aos índices de Mital.

Podemos ver que todos os índices se relacionam de forma proporcional com a variação percentual de atrito, sendo que a redução do coeficiente de atrito se reflete numa melhoria dos índices relativos às forças de arranque e manutenção.

Esta experiência demonstra o que esperar caso a substituição dos equipamentos de transporte de material das lojas esteja em causa. Nesses casos, deve-se procurar e investir em equipamentos que demonstrem condições favoráveis à redução de atrito com o solo, melhorando assim o comportamento dos indicadores, seja para colaboradores do género masculino ou feminino.

Tal como analisado na Experiência Ergonómica II, apesar da utilização de carrinhos de reposição apresentar-se como uma solução capaz de melhorar os índices em questão, por vezes não garantia que estes fossem transformados em valores aceitáveis, ou noutros casos, quando o faziam, continuavam a ser valores muito perto de 1. Desta forma, foi conduzida uma experiência intermédia que mostra o impacto que poderia ser criado por um carrinho com valores de atrito mais reduzidos, em comparação com o testado inicialmente. Os resultados deste teste estão representados na Figura 99.

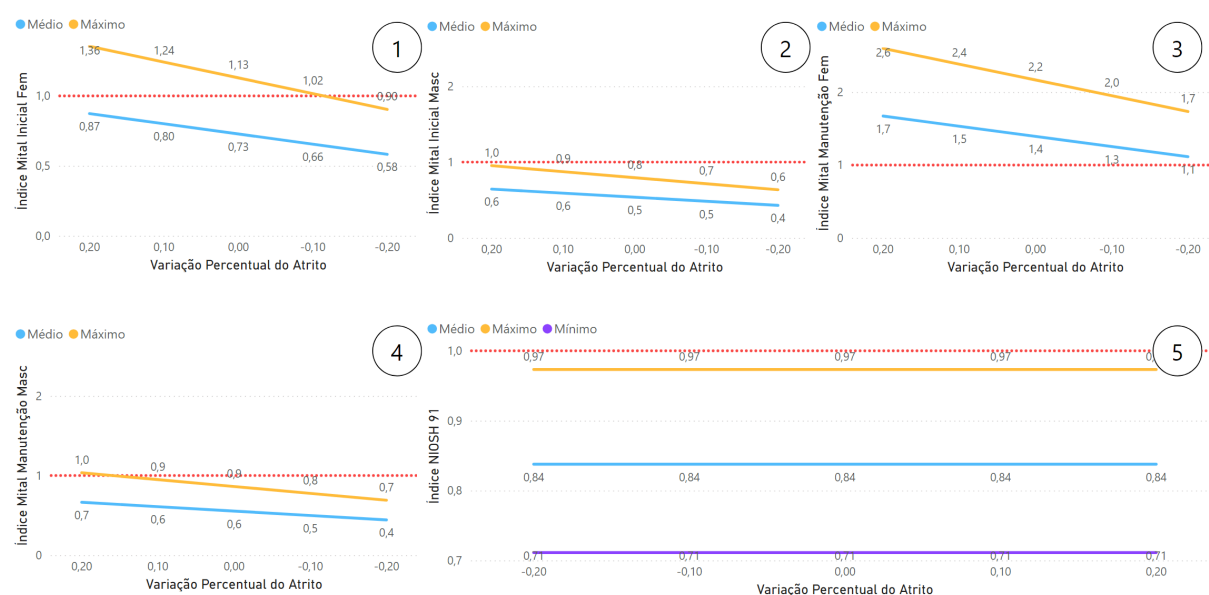


Figura 99 - Gráficos da experiência ergonómica VI (carrinhos de reposição) em Dashboard Power BI

Analisando a Figura 99, é possível perceber que para os índices de forças de arranque e manutenção do género masculino, uma variação percentual negativa de 10% no valor do atrito já seria o suficiente para garantir um nível mais seguro no que toca a estes indicadores. Para além disso, com esta variação o equipamento já seria capaz de produzir valores do índice de Mital de forças de arranque feminino perto da fronteira aceitável, algo que com o carrinho atual não ocorre.

Assim, conclui-se que o valor do coeficiente de atrito é um parâmetro relevante a ter em conta aquando da compra de equipamentos. Este é um parâmetro que pode fazer a diferença entre ter um

sistema capaz de garantir o bem-estar dos colaboradores ou ter um sistema ineficiente capaz de desenvolver lesões musculoesqueléticas no que toca a atividades de transporte de carga.

6.3.7 Experiência Operacional VII – Introdução de um fluxo contínuo

Por fim, foi conduzida uma experiência capaz de demonstrar o impacto ergonómico que um trabalho em fluxo contínuo traz para este sistema (Trigger = 0). Os resultados da última experiência são apresentados na Figura 100.

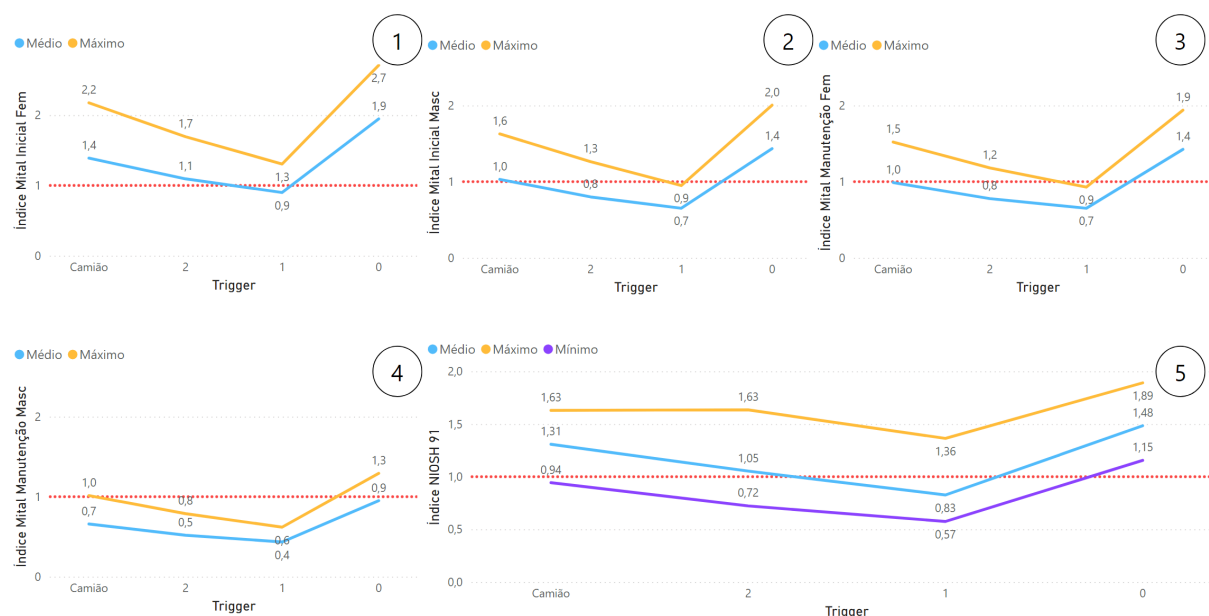


Figura 100 - Gráficos da experiência ergonómica VII em Dashboard Power BI

Tal como ocorre na Experiência Operacional, este cenário não reproduz a mesma tendência observada na redução do tamanho do lote de trabalho. Pelo contrário, os resultados obtidos indicam que, em praticamente todos os indicadores avaliados, o desempenho do sistema é inferior ao do cenário padrão. Demonstrando, portanto, um impacto negativo mais elevado nas métricas ergonómicas.

Desta forma, este não é um cenário capaz de garantir a saúde física do colaborador.

6.3.8 Experiência Operacional VIII – Integração de parâmetros com potencial ergonómico

Em jeito de conclusão, e após a análise detalhada das várias experiências ergonómicas descritas nos parágrafos anteriores, foram selecionadas e integradas algumas das implementações que demonstraram impacto positivo para o sistema, nomeadamente redução para lote igual a 1, utilização de carrinhos e sistema de inclinação de paletes. Obtiveram-se então o seguinte conjunto de indicadores ergonómicos máximos, ilustrados na Figura 101.

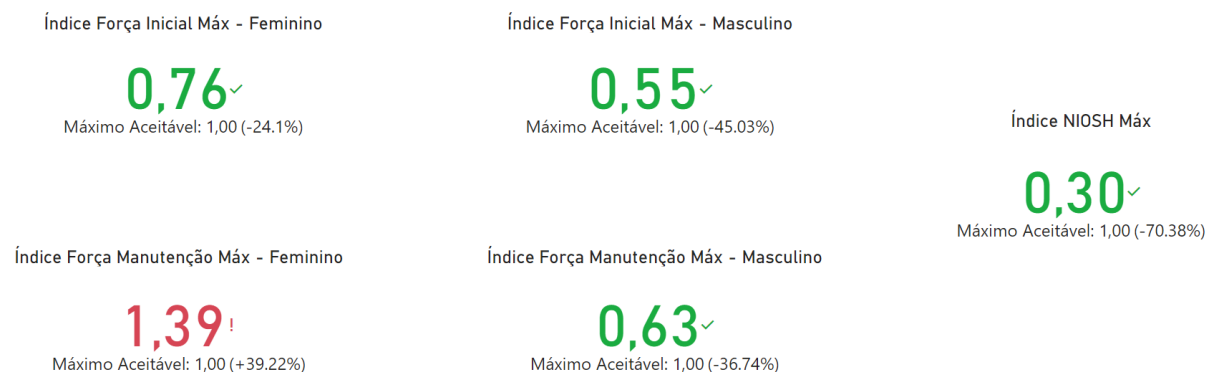


Figura 101 - Resultados ergonómicos da integração de várias implementações

Tendo em conta os resultados na figura anterior, conclui-se que o conjunto de parâmetros selecionados para esta experiência integrada resulta num sistema bastante positivo a nível ergonómico. Esta experiência apresenta um conjunto de alterações capazes de resolver vários problemas do cenário padrão, relativos a esforço físico. Apenas o índice de força de manutenção máximo feminino apresenta valores superiores a 1, sublinhando-se a capacidade deste cenário reduzir os restantes índices para valores bastante satisfatórios.

6.4 Análise Crítica

Nos subcapítulos anteriores foi analisado o comportamento de diferentes sistemas construídos com a implementação de várias soluções e equipamentos, considerando tanto o desempenho operacional quanto ergonómico.

O cenário padrão foi também alvo de estudo, sendo que a nível operacional destacou-se o elevado nível de WIP na área de *despicking*, com uma média de 382 artigos, apesar dos resultados razoáveis no que toca ao tempo de ciclo médio de *despicking* das paletes, de aproximadamente 25 minutos. Contudo, este cenário apresentou resultados insatisfatórios no que toca ao fluxo de produtos para as prateleiras - atividade essencial para agregar valor ao cliente em contexto operacional no retalho. O tempo médio de atravessamento por produto atingiu cerca de 550 minutos, enquanto a distância total percorrida pelo colaborador foi de cerca de 688 metros.

Relativamente ao potencial ergonómico deste modo de operação, nenhum dos indicadores estudados atingiu resultados aceitáveis neste âmbito, superando os limites estipulados para garantir que as atividades sejam executadas de forma não prejudicial à saúde física dos colaboradores. Relativamente a este conjunto de indicadores, destacaram-se como mais críticos ao bem-estar dos colaboradores o índice de força inicial máxima para o sexo feminino e o índice de NIOSH máximo, com valores de 2,18

e 1,63, respetivamente. Os resultados obtidos sublinham a importância de estudar alternativas tanto a nível operacional quanto ergonómico.

Com o objetivo de superar as limitações do sistema atual, foi desenvolvido um conjunto de soluções que integraram um plano experimental. Esse plano teve o propósito de analisar o comportamento do sistema em diferentes contextos, sempre com foco na otimização das atividades de *despicking* e reposição, a nível operacional e ergonómico. Relativamente às experiências conduzidas no âmbito operacional, a introdução de comboios logísticos no processo demonstrou ser uma solução eficaz na redução da distância total percorrida pelos colaboradores em cerca de 35,3% apesar do tempo de ciclo de transporte para a loja ser mais elevado, algo que pode ser explicado pelo facto do colaborador transportar mais produtos de uma só vez e, por isso, estar presente em loja durante mais tempo. Já a redução do tamanho do lote de trabalho foi um dos parâmetros que apresentou maior eficiência no que toca ao transporte de produtos para a prateleira chegando a uma redução percentual máxima do tempo de atravessamento do produto de aproximadamente 81,1% e uma redução de 84,9% do WIP na área de *despicking*. Esta é uma solução que se traduz numa reposição mais rápida e rítmica, tendo em conta que o colaborador antecipa a reposição ao invés de iniciar as atividades de reposição após *despicking* total do conjunto de paletes-mãe em fila. A integração do comboio logístico com a redução do tamanho do lote de trabalho apresentou resultados positivos no que toca à redução da distância total percorrida pelos colaboradores, apesar de ter implicações no tempo de ciclo médio de transportes para a loja. A substituição das paletes por carrinhos de reposição refletiu-se na redução em cerca de 10,8% do tempo de ciclo de transporte para a loja, ainda que a distância total percorrida tenha apresentado um aumento de aproximadamente 18,3%. Por fim, a introdução de um fluxo contínuo apresentou-se como uma solução mais eficiente do que o modelo padrão de trabalho, apesar de apresentar um aumento de cerca de 43,1% do tempo de atravessamento por produto e de 74% do WIP na zona de *despicking*, quando comparado com o melhor cenário no que toca ao tamanho do lote de trabalho mais reduzido (*trigger* = 1). Sublinha-se que apesar destes resultados, este é um cenário que garante a reposição do primeiro produto de forma mais rápida, tendo em conta que as atividades de reposição são iniciadas a partir do momento em que a paleta ou carrinho de reposição atinge a sua capacidade máxima, ao contrário dos restantes cenários que definem o início destas atividades tendo em conta o *despicking* total de um certo número de paletes (*trigger*).

As diversas experiências realizadas ao longo do último capítulo foram capazes de evidenciar o potencial das diferentes soluções em termos operacionais. Desta forma, também foram estudados vários sistemas sob a ótica ergonómica, assegurando uma avaliação mais detalhada e completa. Tal como no

primeiro conjunto de análises operacionais, foi estudado o impacto da redução dos lotes que voltou a apresentar resultados satisfatórios, desta vez a nível ergonómico. O sistema foi capaz de reduzir todos os indicadores em estudo para valores inferiores a 1, à exceção do índice de Mital de forças de arranque feminino e do índice de NIOSH. Estes resultados podem ser explicados pelo facto deste método de trabalho criar intervalos entre as atividades de *despicking* e de reposição, reduzindo a frequência de ações em cada um deles. Visto que a frequência é um parâmetro que altera significativamente o resultado dos índices ergonómicos em estudo, confirma-se que o resultado destes será mais reduzido em reflexão da diminuição do tamanho do lote de trabalho. A introdução de carrinhos no sistema demonstrou-se uma solução capaz de reduzir percentualmente o índice de NIOSH em cerca de 40,5%. Teve também um impacto positivo nos restantes indicadores, à exceção do índice de Mital de forças de manutenção. Para além destas soluções, a introdução de um sistema de inclinação de paletes apresentou-se como uma solução de grande potencial no que toca à redução do esforço realizado durante as tarefas de *despicking*, sendo capaz de reduzir o índice de NIOSH de 1,63 para cerca de 0,54. O sistema de inclinação de paletes é a solução que apresenta resultados mais impactantes no que toca ao índice de NIOSH dado ser um equipamento que torna possível a realização de *despicking* com os produtos todos a uma altura sustentável no que toca ao esforço físico realizado durante o manuseamento de produtos. Por fim, os resultados obtidos através da variação do peso dos artigos e do coeficiente de atrito dos equipamentos de transporte, sublinharam a importância de ter estes parâmetros em conta durante o planeamento destas operações de forma a garantir um ambiente de *despicking* e reposição ergonómico.

Tendo em conta os cenários desenvolvidos e os resultados obtidos após a análise do comportamento do sistema em cada um desses casos, confirma-se a relevância da redução do tamanho do lote de trabalho que, em conjunto com a substituição das paletes por carrinhos e a introdução de um sistema de inclinação de paletes, constituem a configuração do sistema com melhor desempenho em termos combinados de eficiência operacional e índices ergonómicos.

7. CONCLUSÃO

O presente capítulo tem como propósito sintetizar as considerações finais relativas ao estudo desenvolvido ao longo deste documento. Neste capítulo, são apresentadas reflexões sobre os resultados obtidos, destacando-se as suas implicações no contexto do problema analisado. Para além disso, são sublinhados possíveis trabalhos e pesquisas futuras.

Desta forma, este capítulo organiza-se em dois subcapítulos: Considerações Finais e Trabalhos e Pesquisas Futuras.

7.1 Considerações Finais

Este projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento de um modelo de simulação capaz de representar o funcionamento real das operações intralogísticas de uma loja de retalho alimentar. O modelo foi concebido para avaliar a eficiência operacional e ergonómica das atividades de *despicking* e reposição, conduzidas na zona de retaguarda e no espaço comercial da loja, respetivamente. Para isso, o desenvolvimento deste projeto seguiu várias etapas, incluindo visitas estratégicas à loja Continente Modelo de Paredes de forma a realizar o diagnóstico fundamental à parametrização do estado em que as tarefas eram levadas a cabo, assim como recolher dados essenciais que, por sua vez, tornaram possível o desenvolvimento do modelo de simulação apresentado.

Com base no diagnóstico inicial, foram concebidos e modelados diversos cenários alternativos fundamentados nos princípios *Lean* e nas necessidades específicas do sistema, com o propósito de garantir que o modelo fosse capaz, não só de otimizar o sistema a nível operacional, mas também de considerar os aspetos ergonómicos que se mostram fundamentais para o bem-estar e saúde física dos colaboradores. Assim, este modelo destaca-se como uma ferramenta inovadora e multifuncional, capaz de testar e avaliar operações intralogísticas tanto do ponto de vista operacional quanto ergonómico, oferecendo uma base sólida para a tomada de decisões e implementação de melhorias neste tipo de ambientes.

A análise dos resultados obtidos ao longo das diversas experiências realizadas neste estudo, permitiram inferir que o estado de arte das atividades intralogísticas apresentava tanto limitações operacionais quanto ergonómicas, comprometendo o desempenho desejado. Desta forma, a aplicação combinada de vários princípios *Lean*, focados na criação de valor e no estabelecimento de fluxos rápidos e rítmicos dos materiais, juntamente com a utilização inovadora deste modelo de simulação, possibilitou a identificação de implementações que, facilmente, oferecem ganhos significativos para ambos os níveis. Apesar de

grande parte dos resultados positivos estarem diretamente ligados à adoção de princípios *Lean*, este estudo e o modelo desenvolvido permitiram obter um *insight* importante: que nem todos os conceitos industriais podem ser aplicados universalmente a outros setores, pelo menos sem serem devidamente adequados ao contexto. Um exemplo claro presente neste estudo é o facto de a redução do tamanho do lote de trabalho apresentar resultados extremamente positivos, em contraste com os cenários de fluxo contínuo. Estes últimos, embora eficazes e aplicados em setores industriais, não alcançaram o desempenho esperado neste projeto devido às especificidades das atividades intralógicas analisadas - *despicking* e reposição.

Por fim, tendo em conta a discussão de resultados e a análise crítica desenvolvidos no capítulo anterior, sublinha-se o impacto resultante da redução dos lotes de trabalho, que, em conjunto com a substituição de paletes por carrinhos e a implementação de um sistema de inclinação de paletes, integram uma solução capaz de potencializar o sistema tanto a nível operacional quanto ergonómico.

7.2 Trabalhos e Pesquisas Futuras

A eficiência operacional e o bem-estar físico dos colaboradores são aspetos essenciais em qualquer ambiente de trabalho, não se restringindo apenas ao setor de retalho. Nesse sentido, reconhece-se a importância de desenvolver mecanismos que permitam a adaptação deste modelo a outros contextos, nomeadamente industriais. Para além disso, recomenda-se a adaptação e transformação deste modelo único numa nova ferramenta dedicada à avaliação ergonómica, capaz de se ajustar a diferentes setores e de realizar estudos detalhados sobre ergonomia a níveis mais profundos. A flexibilidade intrínseca ao modelo desenvolvido possibilita essa adaptação, ampliando a sua aplicabilidade e capacidade de análise de processos e condições ergonómicas de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abideen, A., & Mohamad, F. B. (2021a). Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*, 16(1), 70–102. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>
- Abideen, A., & Mohamad, F. B. (2021b). Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*, 16(1), 70–102. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>
- Abrantes S. (2023). *Mercadona perto do marco 50. Sonae lidera em quota de mercado.* <https://www.distribuicao hoje.com/retalho/mercadona-perto-do-marco-50-sonae-lidera-em-quota-de-mercado/>
- Afonso, T., Alves, A. C., Carneiro, P., & Vieira, A. (2021). Simulation pulled by the need to reduce wastes and human effort in an intralogistics project. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(4), 274–285. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2021-4-294>
- Aminoff, A., Kettunen, O., & Pajunen-Muhonen, H. (2002). Research on Factors Affecting Warehousing Efficiency. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 5(1), 45–57. <https://doi.org/10.1080/13675560110114252>
- Calvo, E., Cui, R., & Wagner, L. (2023). Disclosing Product Availability in Online Retail. *Manufacturing and Service Operations Management*, 25(2), 427–447. <https://doi.org/10.1287/msom.2020.0882>
- Chuang, H. H. C., Oliva, R., & Liu, S. (2016). On-shelf availability, retail performance, and external audits: A field experiment. *Production and Operations Management*, 25(5), 935–951. <https://doi.org/10.1111/poms.12519>
- Cortés Rodríguez, R., Gutierrez, L., & Fuentes-Fuentes, M. del M. (2023). Impact of Hoshin Kanri on lean management: a case study in the food retail industry. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 40(4), 942–964. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2022-0019>
- Creswell, J. W., Hanson, W. E., Clark Plano, V. L., & Morales, A. (2007). Qualitative Research Designs: Selection and Implementation. *The Counseling Psychologist*, 35(2), 236–264. <https://doi.org/10.1177/0011000006287390>
- Da Costa, B. R., & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. In *American Journal of Industrial Medicine* (Vol. 53, Issue 3, pp. 285–323). <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>

- Dunkin, Ann., ACM Digital Library., & ACM Special Interest Group on Simulation and Modeling. (2009). *Winter Simulation Conference*. Winter Simulation Conference.
- García-Arca, J., Prado-Prado, J. C., & González-Portela Garrido, A. T. (2020). On-shelf availability and logistics rationalization. A participative methodology for supply chain improvement. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.101889>
- Grupo Sonae. (2024, April). *Grupo Sonae - Negócios*. Resultados Consolidados 2023. <https://www.sonae.pt/pt/sonae/o-grupo-e-os-negocios/>
- Guimarães, R., Almeida, L., Barros, M., Afecto, M. C., Figueira, M. L., Mota, D., Galvão, M., Barreira, M., & Lima, R. M. (2022). Restructuring picking and restocking processes on a hypermarket. *Production Engineering Archives*, 28(1), 64–72. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.08>
- Hendrick, H. W. (2003). Determining the cost-benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics*, 34(5), 419–427. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(03\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(03)00062-0)
- IEA, & ILO. (2021). *Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HFE) design and management of work systems*. www.ilo.org/publns.
- International Ergonomics Association (IEA). (n.d.). *What Is Ergonomics (HFE)?* Retrieved August 5, 2024, from <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- Jaca, C., Santos, J., Errasti, A., & Viles, E. (2012). Lean thinking with improvement teams in retail distribution: A case study. *Total Quality Management and Business Excellence*, 23(3–4), 449–465. <https://doi.org/10.1080/14783363.2011.593907>
- Kaizen Institute. (n.d.). *How to ensure product on-shelf availability in retail*. <https://kaizen.com/insights/on-shelf-availability-retail-uk/>
- Kilic, R., & ErKayman, B. (2021). A simulation approach for transition to jit production system. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(3), 489–500. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-3-566>
- Koshnevis, B. (1994). *Discrete Systems Simulation* (McGraw-Hill, Ed.).
- Law, A. M., & Kelton, D. W. (1991). *SIMULATION MODELING & ANALYSIS*. It~11 In</US1 ~" h gl n • • ,ing So.
- Liker, J. K. (2004). *The 14 principles of the Toyota way: An executive summary of the culture behind TPS*. <https://www.researchgate.net/publication/290007864>

- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. In *Academy of Management Perspectives* (Vol. 20, Issue 2, pp. 5–20). Academy of Management. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Marques, P. A., Carvalho, A. M., & Santos, J. O. (2022). Improving Operational and Sustainability Performance in a Retail Fresh Food Market Using Lean: A Portuguese Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010403>
- Marques, P. A., & De Carvalho, A. M. (2021). Reducing Shrinkage and Stockouts in a Food Retail Store. *Jurnal Teknik Industri*, 23(2), 93–100. <https://doi.org/10.9744/jti.23.2.93-100>
- MC. (2024). *Relatório de Contas Anual*.
- MC. (2024). *MC - Sobre Nós*. <https://mc.sonae.pt/sobre-nos/>
- Mital, A., Nicholson, A. S., & Ayoub, M. M. (1997). *A Guide to Manual Materials Handling*.
- Moorthy, R., Behera, S., & Verma, S. (2015). On-Shelf Availability in Retailing. *International Journal of Computer Applications*, 115(23), 47–51. <https://doi.org/10.5120/20296-2811>
- O'Brien, R. (1998). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System - Beyond Large-Scale Production* (1st Edition).
- Pegden, C. D. (2008). Introduction To Simio. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*.
- Saleheen, F., Hasan Miraz, M., Habib, M. M., Hanafi, Z., & Habib#, Z. H. (2014). Challenges of warehouse operations: A case study in retail supermarket. In *Int. J Sup. Chain. Mgt* (Vol. 3, Issue 4). <https://www.researchgate.net/publication/292651353>
- Smith, J. S., & Sturrock, D. T. (2021). *Simio and Simulation-Modeling, Analysis, Applications-6th Edition*.
- Stepaniuk, D. (2024). *How Technology is Transforming On-Shelf Availability for FMCG and Grocery Retailers*. <https://www.netguru.com/blog/onshelf-availability>
- Storch, R. L., & Lim, S. (1999). Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding. *Production Planning and Control*, 10(2), 127–137. <https://doi.org/10.1080/095372899233280>
- Sturrock, D. T., & Pegden, C. D. (2011). Recent Innovations in Simio. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*.
- Vázquez-Serrano, J. I., Peimbert-García, R. E., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2021). Discrete-event simulation modeling in healthcare: A comprehensive review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212262>
- Waters, T., Putz-Anderson, V., & Garg, A. (2021). *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. <https://doi.org/https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB94110 revised092021>

- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776.
<https://doi.org/10.1080/00140139308967940>
- Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*, 45(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021>
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed The World*. Simon & Schuster.
- Womack, J., & Jones, T. (1996). Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – BPMN DO PROCESSO DE DESCARGA

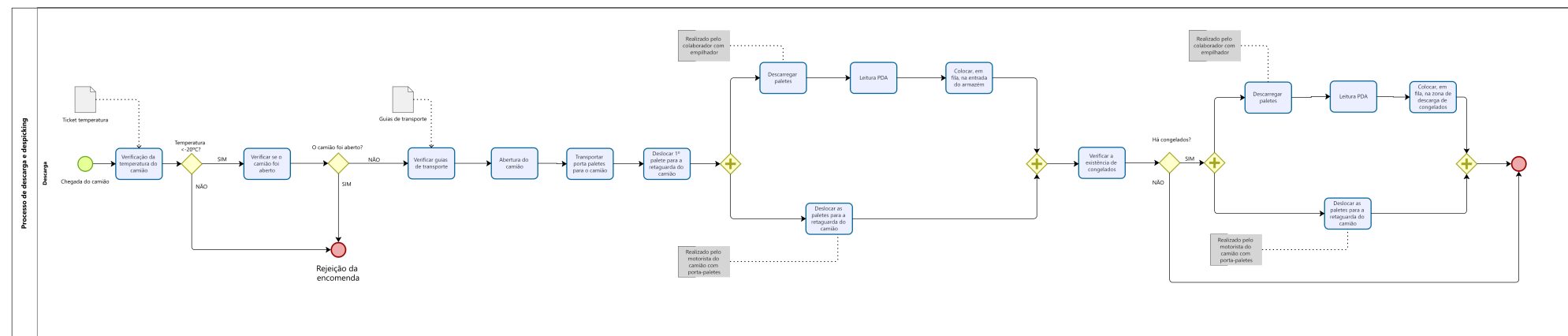


Figura 102 - BPMN do processo de descarga

APÊNDICE 2 – BPMN DO PROCESSO DE *DESPICKING* (ESTADO INICIAL)

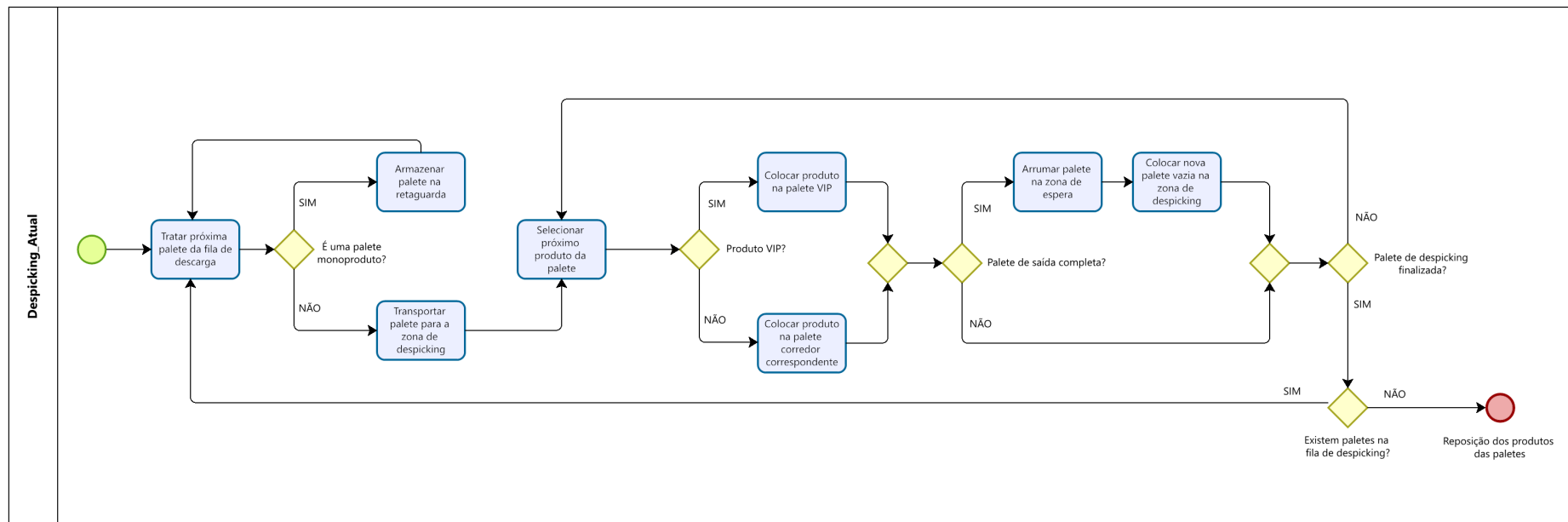


Figura 103 - BPMN do processo de despicking (estado inicial)

APÊNDICE 3 – BPMN DO PROCESSO COMPLETO (ESTADO INICIAL)

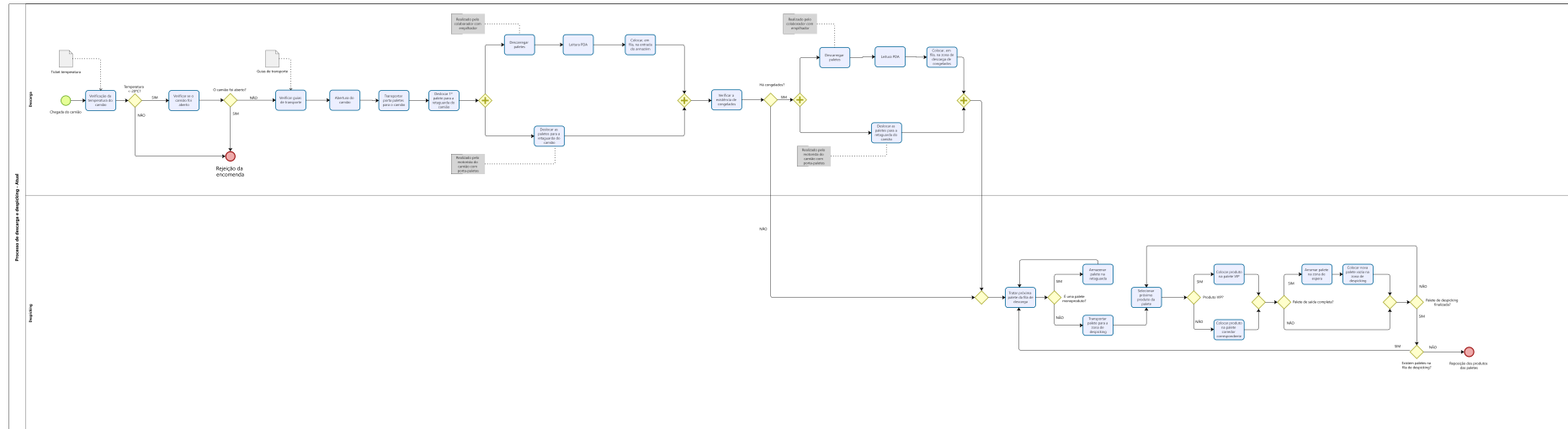


Figura 104 - BPMN do processo completo (estado inicial)

APÊNDICE 4 – CATEGORIAS INICIAIS DE PRODUTOS

Categorias Iniciais		
águas	Frutas Bio	pão industrial&tosta
alimentação infantil	gato	pão tradicional
aperitivos	Gordura&Crema Culinária	papelaria
auto	gorduras líquidas	pastelaria
aves e coelho	heavy nursery	peixe e marisco cong
bacalhau seco e cong	hig e proteção bebê	Pequeno Almoco
bagagem	higiene corporal	perfum. e cosmética
banho	higiene íntima	Preparacao Alimentos
bazar bzt	higiene oral	prod papel e consum.
Bebida&Crema Vegetal	iluminação e energia	prod veterinários
bebidas	impulso	produtos para cabelo
bebidas quentes	ingredientes básicos	produtos para homem
beleza bzt	iogurtes e sobrem.	proteção pessoal
bem estar bzt	jardim	publicações
bolachas	laticínios e altern	quarto
bovino	lavandaria	queijos
bricolage	legumes	refeições
brinquedos	Legumes Bio	refeições congeladas
cão	leites e natas	refrigerantes
casa bzt	limp. e tratam roupa	rewards
cereais	limpeza da cozinha	saúde bzt
cervejas	Limpeza e Conforto	small&textl nursery
Charcutaria	Limpeza Superfícies	sobremesas
conservas	livraria	sobremesas cong
cozinha	material comunicação	suíno
cozinha fácil	Material Decoração	sumos e néctares
cuidados do corpo	material economato	Suplementação
decoreção	material embalagem	TA Atendimento
DECORAÇÃO DE NATAL	material equipamento	TA Livre Serviço
desporto	material etiquetagem	tabaco
doçaria	material hig/limpeza	tecnologia bzt
eletrodomésticos	material multiuso	temperos
Especialidades Bio	mel e compotas	têxteis
especialidades c&q	mesa	Tratamento Ambiente
especialidades f e l	mobiliário	Tratamento Tecidos
espirit/espum/fortif	organização	v.classif.nac/estran
fardamento	outros animais	vegetais e frut cong
fashion bzt	ovino/caprino	Vendáveis
festa	ovos	vinhos correntes
frutas	padaria/pastelaria	

Figura 105 - Categorias iniciais de produtos

APÊNDICE 5 – PROCESSO “DESTINATION_TIME_AND_TYPE”

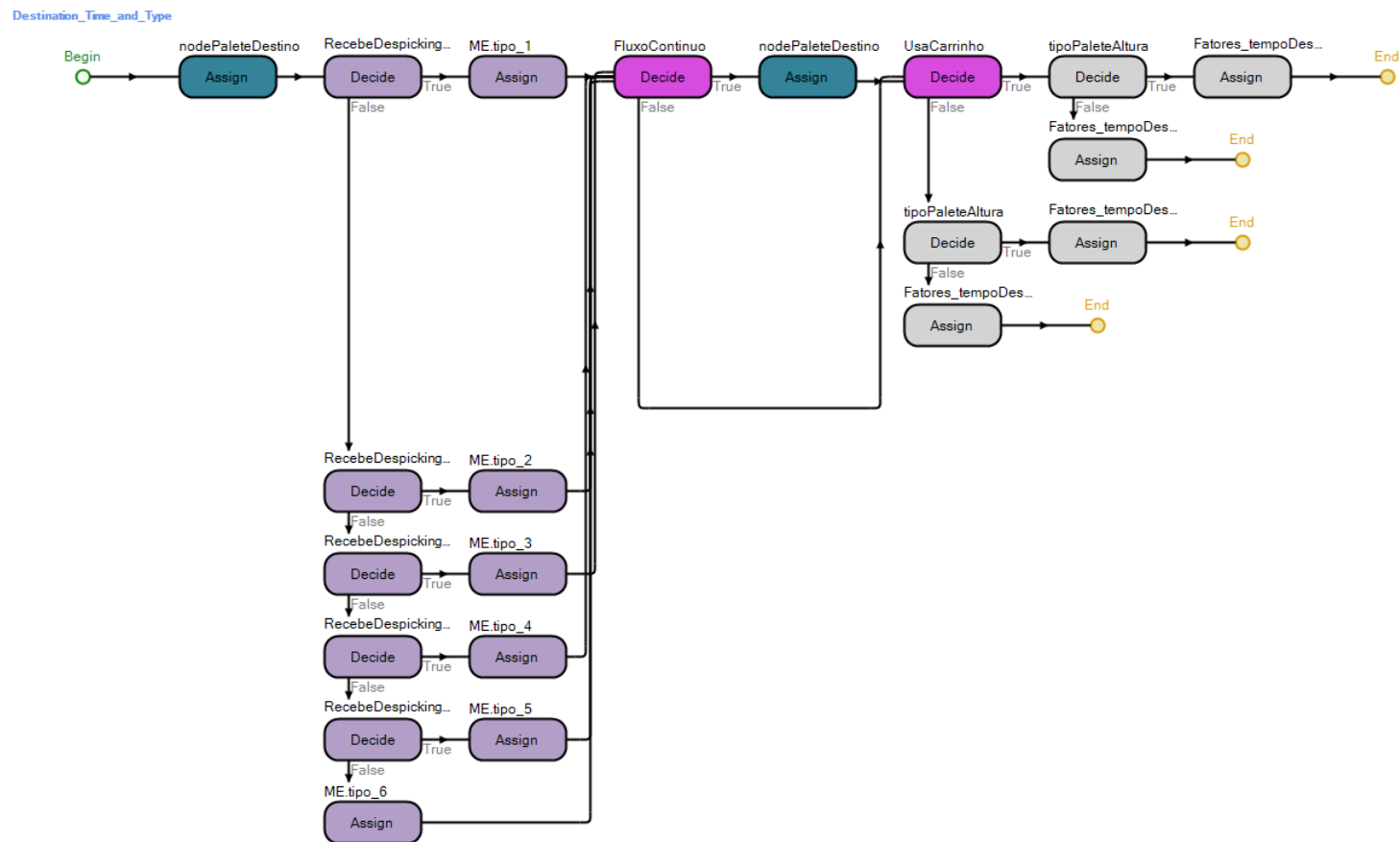


Figura 106 - Processo “Destination_Time_and_Type”

APÊNDICE 6 – BPMN DO PROCESSO DE *DESPICKING* (*EARLY TRIGGER*)

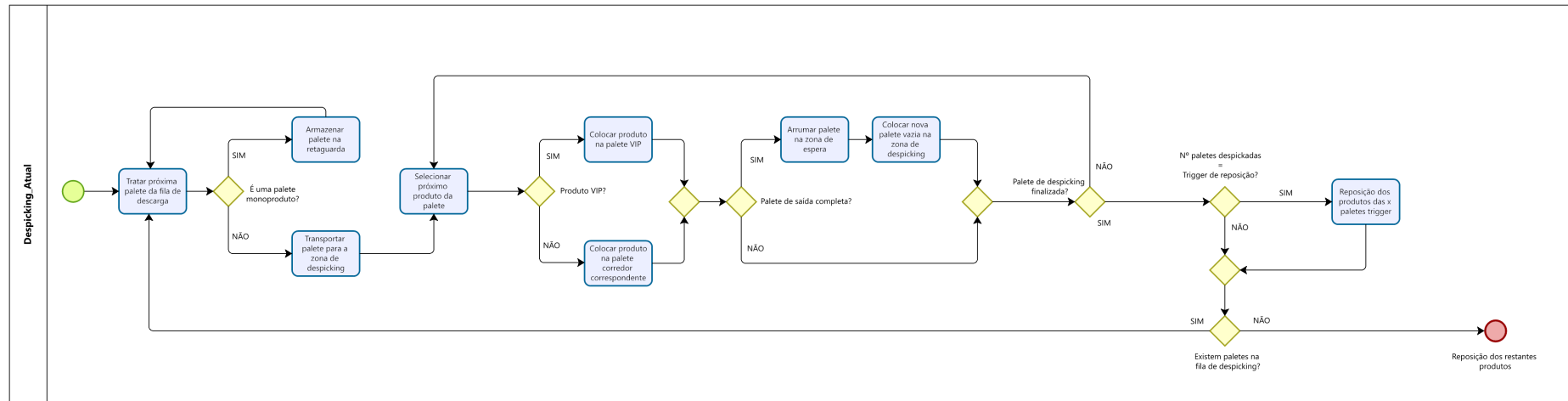


Figura 107 - BPMN do processo de despicking (early trigger)

APÊNDICE 7 – BPMN DO PROCESSO COMPLETO (*EARLY TRIGGER*)

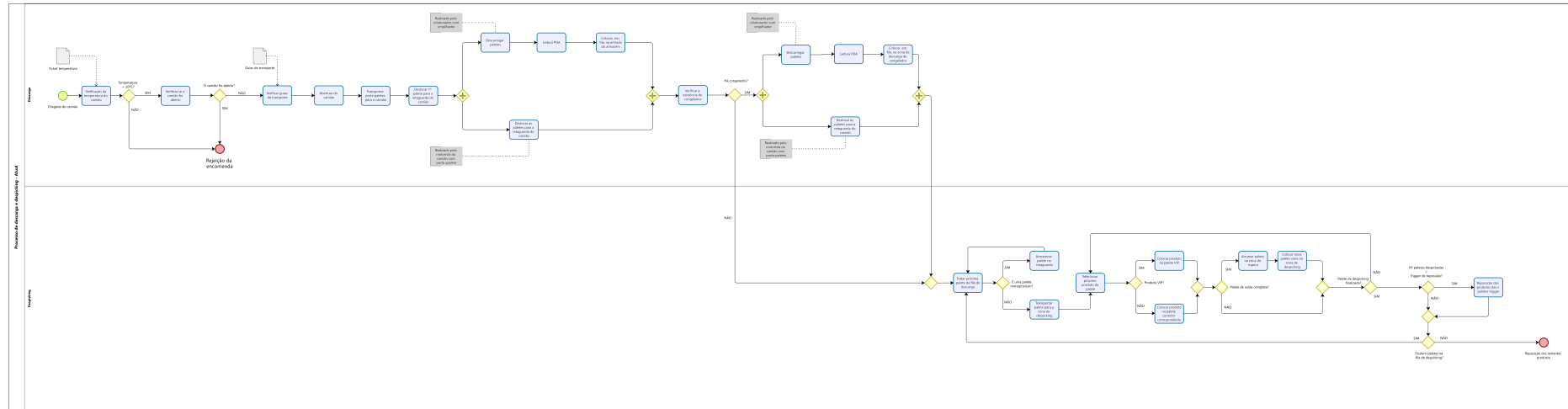


Figura 108 - BPMN do processo completo (early trigger)

APÊNDICE 8 – BPMN DO PROCESSO DE *DESPICKING* (FLUXO CONTÍNUO)

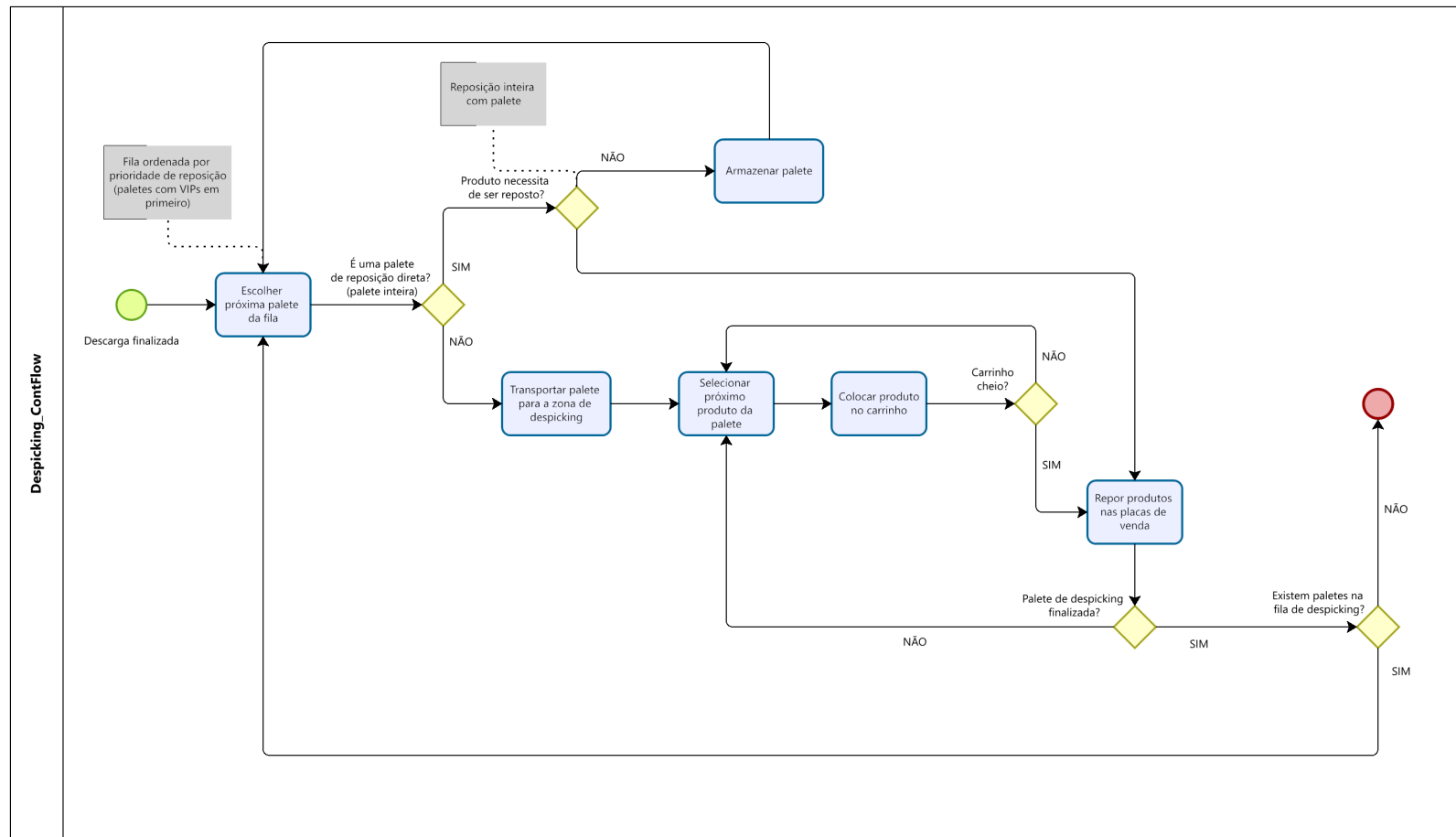


Figura 109 - BPMN do processo de despicking (fluxo contínuo)

APÊNDICE 10 – CONJUNTO DE PROCESSOS RELATIVOS À MODELAÇÃO DO CENÁRIO COMBOIO LOGÍSTICO

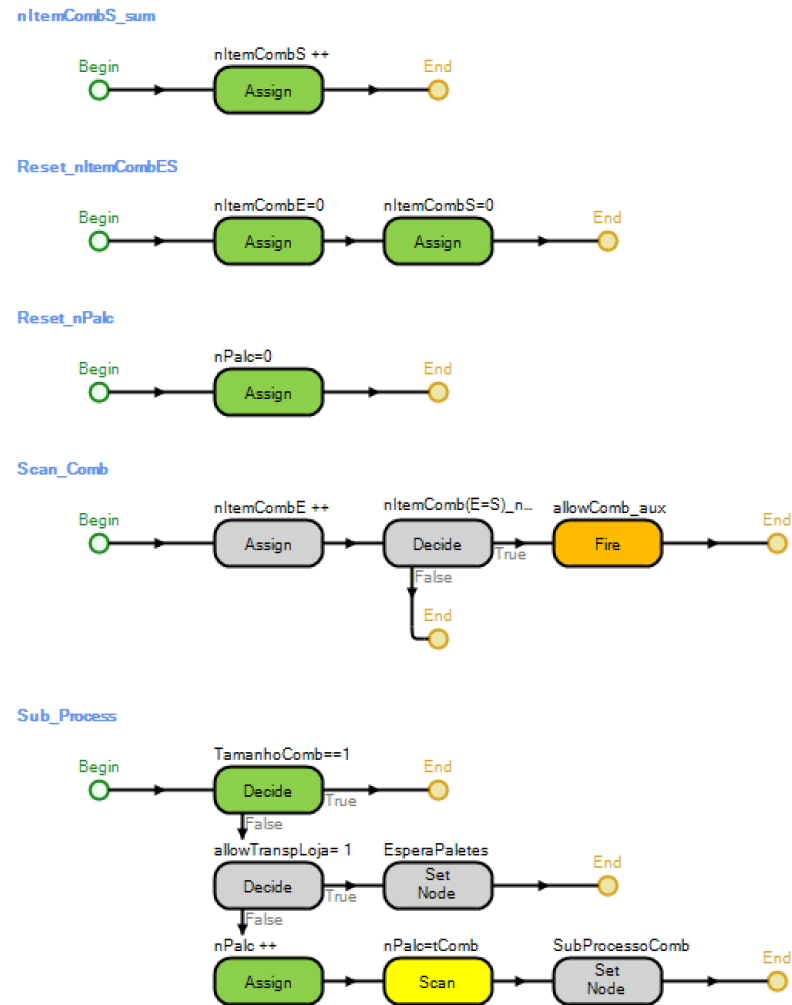


Figura 111 - Conjunto de processos relativos à modelação do cenário Comboio Logístico

APÊNDICE 11 – TABELAS MITAL DE FORÇA INICIAL PARA ATIVIDADES DE EMPURRAR COM 2 MÃOS

Tabela 28 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (género feminino)

tbl_PULL_Sustained_1H_Masc		tbl_PUSH_Initial_2H_Fem			tbl_PUSH_Sustained_2H_Fem			tbl_PUSH_Initial_2H_Masc		
	Tabela_Distancia	Altura_Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
1	2.1	1	14	15	16	16	17	19	20	22
2	2.1	2	14	15	16	16	17	19	20	22
3	2.1	3	11	12	13	13	14	15	16	18
4	7.6	1	13	15	15	16	16	17	18	20
5	7.6	2	10	13	14	15	16	18	19	21
6	7.6	3	5	10	11	13	14	15	16	17
7	15.2	1	1	8	10	12	14	15	15	17
8	15.2	2	0	5	8	11	14	15	16	17
9	15.2	3	0	3	6	9	12	13	13	15
10	30.5	1	0	2	5	9	12	13	14	17
11	30.5	2	0	0	1	7	12	14	15	18
12	30.5	3	0	6	7	9	11	12	12	15
13	45.7	1	0	2	5	9	12	13	14	17
14	45.7	2	0	0	1	7	12	14	15	18
15	45.7	3	0	6	7	9	11	12	12	15
16	61	1	0	0	0	6	10	12	13	15
17	61	2	0	0	0	6	10	12	13	16
18	61	3	0	0	0	4	8	10	11	13

Tabela 29 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (género masculino)

tbl_PULL_Sustained_1H_Masc		tbl_PUSH_Initial_2H_Fem		tbl_PUSH_Sustained_2H_Fem			tbl_PUSH_Initial_2H_Masc			
	Tabela_Distancia	Altura_Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
1	2.1	1	20	22	23	13	25	26	26	31
2	2.1	2	21	24	25	14	26	27	28	34
3	2.1	3	19	22	23	13	24	25	25	31
4	7.6	1	0	12	14	18	21	22	22	26
5	7.6	2	2	14	16	20	23	24	25	30
6	7.6	3	0	11	13	17	20	21	21	26
7	15.2	1	0	10	13	16	19	20	20	25
8	15.2	2	0	11	13	18	22	23	23	28
9	15.2	3	0	8	10	15	19	20	20	24
10	30.5	1	0	0	0	8	15	18	19	24
11	30.5	2	0	0	0	8	17	20	22	27
12	30.5	3	0	0	0	5	14	17	19	23
13	45.7	1	0	0	2	8	13	15	16	20
14	45.7	2	0	0	0	5	14	17	19	23
15	45.7	3	0	0	0	5	12	15	16	20
16	61	1	0	0	0	0	9	12	14	18
17	61	2	0	0	0	1	11	14	16	20
18	61	3	0	0	0	0	9	12	14	17

APÊNDICE 12 – TABELA MITAL DE FORÇA DE MANUTENÇÃO PARA ATIVIDADES DE EMPURRAR COM 2 MÃOS

Tabela 30 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (género feminino)

tbl_PULL_Sustained_1H_Masc		tbl_PUSH_Initial_2H_Fem		tbl_PUSH_Sustained_2H_Fem				tbl_PUSH_Initial_2H_Masc		
	Tabela_Distancia	Altura_Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
1	2.1	1	5	8	9	9	10	11	11	14
2	2.1	2	5	7	8	8	9	10	10	13
3	2.1	3	4	6	7	7	8	9	9	12
4	7.6	1	1	4	5	6	7	8	8	11
5	7.6	2	0	4	5	7	8	9	9	11
6	7.6	3	1	4	5	6	7	8	8	11
7	15.2	1	4	4	4	4	4	6	7	9
8	15.2	2	4	4	4	4	4	6	7	10
9	15.2	3	4	4	4	4	4	6	7	9
10	30.5	1	0	0	0	1	4	5	6	8
11	30.5	2	0	0	0	1	4	5	6	9
12	30.5	3	0	0	0	1	4	5	6	8
13	45.7	1	0	0	0	2	4	5	5	8
14	45.7	2	0	0	0	1	4	5	6	8
15	45.7	3	0	0	0	2	4	5	5	7
16	61	1	0	0	0	0	1	3	4	6
17	61	2	0	0	0	0	1	3	4	6
18	61	3	0	0	0	0	1	3	4	6

Tabela 31 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (género masculino)

tbl_PULL_Sustained_1H_Masc		tbl_PUSH_Initial_2H_Fem		tbl_PUSH_Sustained_2H_Fem			tbl_PUSH_Initial_2H_Masc			tbl_PUSH_Sustained_2H_Masc
	Tabela_Distancia	Altura_Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
1	2.1	1	10	13	14	14	15	17	18	22
2	2.1	2	10	13	14	15	16	18	19	23
3	2.1	3	10	13	14	15	16	17	18	23
4	7.6	1	0	4	6	10	13	14	15	18
5	7.6	2	0	4	6	10	13	14	15	18
6	7.6	3	0	4	6	9	12	13	14	18
7	15.2	1	0	0	0	6	11	12	13	16
8	15.2	2	0	0	0	6	11	12	13	16
9	15.2	3	0	0	0	6	11	12	12	15
10	30.5	1	0	0	0	0	6	10	12	16
11	30.5	2	0	0	0	0	6	10	12	16
12	30.5	3	0	0	0	0	6	9	11	15
13	45.7	1	0	0	0	0	5	8	10	13
14	45.7	2	0	0	0	0	5	8	9	13
15	45.7	3	0	0	0	0	5	8	9	13
16	61	1	0	0	0	1	5	7	8	11
17	61	2	0	0	0	1	5	7	8	11
18	61	3	0	0	0	1	5	7	8	10

APÊNDICE 13 – TABELAS MITAL DE FORÇA INICIAL PARA ATIVIDADES DE PUXAR COM 2 MÃOS

Tabela 32 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (género feminino)

tbl_PULL_Initial_2H_Fem		tbl_PULL_Initial_2H_Masc		tbl_PULL_Sustained_1H_Fem			tbl_PULL_Sustained_1H_Masc			
	Tabela_Distancia	Altura Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
► 1	2.1	1	13	16	16	17	17	18	19	22
2	2.1	2	14	16	17	17	18	20	21	23
3	2.1	3	15	17	18	18	19	21	22	24
4	7.6	1	1	9	11	14	16	17	17	20
5	7.6	2	10	13	14	15	16	18	19	21
6	7.6	3	11	14	15	16	17	19	20	22
7	15.2	1	0	4	7	10	13	14	15	17
8	15.2	2	0	3	5	10	14	15	16	18
9	15.2	3	0	4	6	11	15	16	17	19
10	30.5	1	0	2	5	9	12	13	14	17
11	30.5	2	0	3	6	10	13	14	15	18
12	30.5	3	0	3	6	10	13	14	15	19
13	45.7	1	0	0	0	3	10	13	14	16
14	45.7	2	0	3	6	10	13	14	15	18
15	45.7	3	0	3	6	10	13	14	15	19
16	61	1	0	0	0	4	8	10	11	14
17	61	2	0	0	0	6	10	12	13	16
18	61	3	0	0	1	7	11	13	14	17

Tabela 33 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (género masculino)

tbl_PULL_Initial_2H_Fem		tbl_PULL_Initial_2H_Masc		tbl_PULL_Sustained_1H_Fem			tbl_PULL_Sustained_1H_Masc			
	Tabela_Distancia	Altura_Pega	10min	5min	4min	2_4min	1min	0_5min	0_2min	0_125hora
► 1	2.1	1	14	16	17	17	18	19	19	23
2	2.1	2	19	22	23	24	25	26	27	32
3	2.1	3	22	25	26	27	28	29	30	36
4	7.6	1	1	9	11	14	16	17	17	21
5	7.6	2	0	12	15	19	23	24	24	29
6	7.6	3	2	15	18	22	26	27	27	33
7	15.2	1	2	9	11	13	15	16	16	20
8	15.2	2	2	12	15	18	21	22	23	28
9	15.2	3	0	13	15	20	24	25	26	31
10	30.5	1	0	0	1	7	12	14	15	19
11	30.5	2	0	0	0	7	16	19	21	26
12	30.5	3	0	0	0	8	18	22	24	30
13	45.7	1	0	0	0	5	10	12	13	16
14	45.7	2	0	0	0	0	14	23	28	23
15	45.7	3	0	0	0	7	16	19	21	26
16	61	1	0	0	0	4	8	10	11	14
17	61	2	0	0	0	0	8	13	16	19
18	61	3	0	0	0	0	10	15	18	22

APÊNDICE 14 – TABELA MITAL DE FORÇA DE MANUTENÇÃO PARA ATIVIDADES DE PUXAR COM 1 MÃO

Tabela 34 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de puxar com 1 mão (género feminino)

tbl_PULL_Initial_2H_Fem		tbl_PULL_Initial_2H_Masc	tbl_PULL_Sustained_1H_Fem
	Frequente	Infrequente	
► 1	7	10	

Tabela 35 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de puxar com 1 mão (género masculino)

tbl_PULL_Sustained_1H_Masc		tbl_PU	
	Frequente	Infrequente	
► 1	10	15	

APÊNDICE 15 – TABELA DE FORÇAS E COEFICIENTES DE ATRITO - PALETES

Tabela 36 - Tabela de forças e coeficientes de atrito estático - paletes

Fi Média	Massa	Fi registrada	Coeficiente	Coef Médio
17.60	212	14.2	0.06094	0.07554
	212	15.1	0.06481	
	212	21.9	0.09399	
	212	20.3	0.08712	
	212	17.3	0.07425	
	212	16.8	0.07210	
	212	14.5	0.06223	
	212	17.1	0.07339	
	212	20.1	0.08627	
	212	18.8	0.08069	
	212	17.5	0.07511	
21.24	358	17.8	0.04697	0.05603
	358	21.9	0.05778	
	358	25.8	0.06807	
	358	22.9	0.06042	
	358	22.2	0.05858	
	358	18.3	0.04828	
	358	19.1	0.05040	
	358	15.3	0.04037	
	358	27.1	0.07150	
	358	26.1	0.06887	
	358	17.1	0.04512	
28.53	666	27.2	0.03959	0.04152
	666	30.0	0.04367	
	666	28.1	0.04090	
	666	28.4	0.04134	
	666	28.5	0.04148	
	666	27.0	0.03930	
	666	24.0	0.03493	
	666	35.0	0.05095	
	666	30.4	0.04425	
	666	27.6	0.04017	
	666	27.6	0.04017	

Tabela 37 - Tabela de forças e coeficientes de atrito dinâmico - paletes

Fi Média	Massa	Fi registrada	Coeficiente	Coef Médio
12.72	300	12.2	0.04067	0.04238
	300	9.8	0.03267	
	300	11.5	0.03833	
	300	11.5	0.03833	
	300	12.5	0.04167	
	300	11.9	0.03967	
	300	12.0	0.04000	
	300	16.7	0.05567	
	300	14.6	0.04867	
	300	15.1	0.05033	
	300	13.1	0.04367	
	300	11.9	0.03967	
	300	12.3	0.04100	
	300	12.7	0.04233	
	300	10.5	0.03500	
	300	13.7	0.04567	
	300	10.8	0.03600	
	300	15.7	0.05233	
	300	13.6	0.04533	
	300	12.2	0.04067	

APÊNDICE 16 – TABELA DE FORÇAS E COEFICIENTES DE ATRITO – CARRINHOS

Tabela 38 - Tabela de forças e coeficientes de atrito estático - carrinhos

Fi Média	Massa	Fi registrada	Coeficiente	Coef Médio
8.05	144	7.0	0.04861	0.05590
	144	8.1	0.05625	
	144	7.5	0.05208	
	144	7.8	0.05417	
	144	7.5	0.05208	
	144	7.0	0.04861	
	144	9.5	0.06597	
	144	9.3	0.06458	
	144	7.8	0.05417	
	144	8.3	0.05764	
	144	8.9	0.06181	
	144	8.0	0.05556	
	144	8.9	0.06181	
	144	8.4	0.05833	
	144	7.3	0.05069	
	144	9.5	0.06597	
	144	7.0	0.04861	
	144	7.8	0.05417	
	144	7.4	0.05139	
	144	8.0	0.05556	

Tabela 39 - Tabela de forças e coeficientes de atrito dinâmico - carrinhos

Fi Média	Massa	Fi registrada	Coeficiente	Coef Médio
4.09	144	3.8	0.02639	0.02837
	144	6.7	0.04653	
	144	4.3	0.02986	
	144	4.6	0.03194	
	144	4.1	0.02847	
	144	4.1	0.02847	
	144	4.4	0.03056	
	144	4.7	0.03264	
	144	3.1	0.02153	
	144	4.0	0.02778	
	144	3.5	0.02431	
	144	3.5	0.02431	
	144	3.3	0.02292	
	144	3.6	0.02500	
	144	3.9	0.02708	
	144	4.0	0.02778	
	144	3.8	0.02639	
	144	4.2	0.02917	
	144	4.4	0.03056	
	144	3.7	0.02569	

APÊNDICE 17 – PROCESSO “PARAM_MITAL”

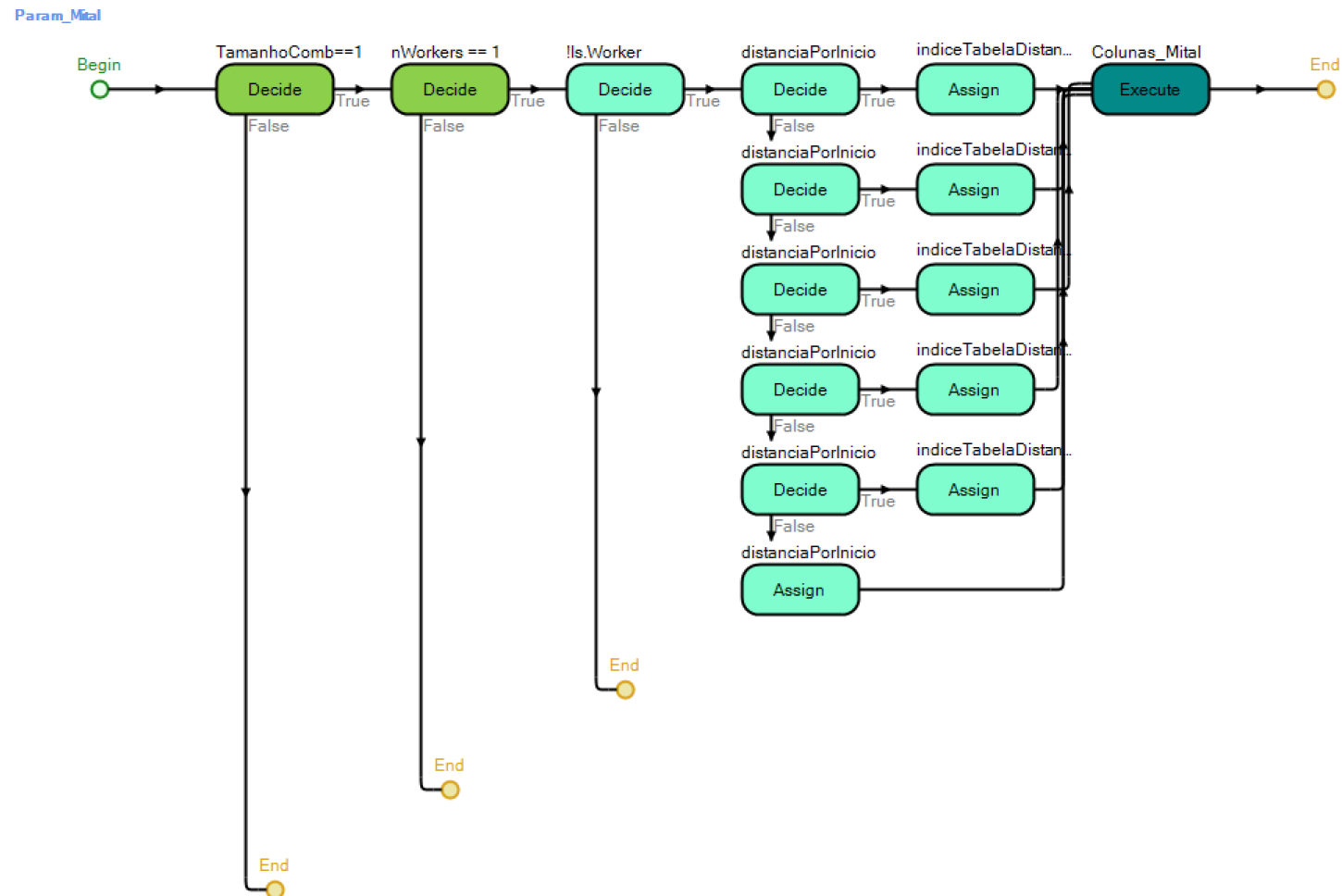


Figura 112 - Processo "Param_Mital"

APÊNDICE 18 – PROCESSO “COLUNAS_MITAL”

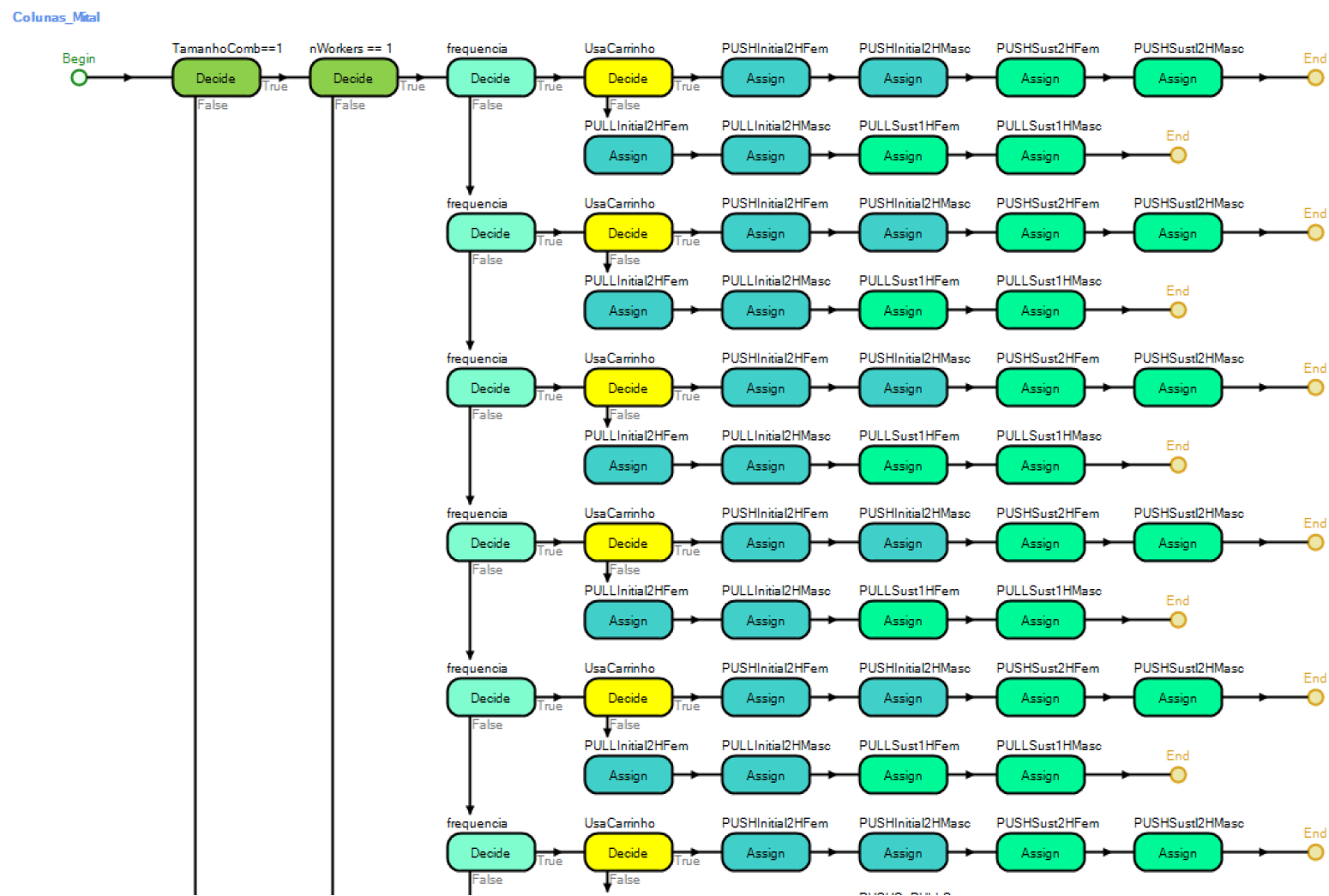


Figura 113 - Processo "Colunas_Mital"

APÊNDICE 19 – POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL INICIAL DE PALETES MÃE

Tabela 40 - Posição horizontal e vertical inicial de paletes de 2,10m

tbl_Pallet Box Areas_210		tbl_Pallet Box Areas_180	
	Zona	Pos Horizontal	Pos Vertical Inicial
▶ 1	1	30	47.5
2	2	30	47.5
3	3	30	47.5
4	4	30	47.5
5	5	30	112.5
6	6	30	112.5
7	7	30	112.5
8	8	30	112.5
9	9	30	177.5
10	10	30	177.5
11	11	30	177.5
12	12	30	177.5

Tabela 41 - Posição horizontal e vertical inicial de paletes de 1,80m

tbl_Pallet Box Areas_210		tbl_Pallet Box Areas_180	
	Zona	Pos Horizontal	Pos Vertical Inicial
► 1	1	30	42.5
2	2	30	42.5
3	3	30	42.5
4	4	30	42.5
5	5	30	97.5
6	6	30	97.5
7	7	30	97.5
8	8	30	97.5
9	9	30	152.5
10	10	30	152.5
11	11	30	152.5
12	12	30	152.5

APÊNDICE 20 – POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL FINAL DE PALETES DE REPOSIÇÃO

Tabela 42 - Posição horizontal e vertical final de paletes de reposição

tbl_Pallet Box Areas_210		tbl_Pallet Box Areas_180		tbl_Pallet Box Areas_110
	Zona	Pos Horizontal	Pos Vertical Final	
▶ 1	1	30	31	
2	2	30	31	
3	3	30	31	
4	4	30	31	
5	5	30	63	
6	6	30	63	
7	7	30	63	
8	8	30	63	
9	9	30	95	
10	10	30	95	
11	11	30	95	
12	12	30	95	

APÊNDICE 21 – POSIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL FINAL DE CARRINHOS DE REPOSIÇÃO

Tabela 43 - Posição horizontal e vertical final de carrinhos de reposição

tbl_Pallet Box Areas_210		tbl_Pallet Box Areas_180	tbl_Pallet Box Areas_110	tbl_Cart Box Areas
	Zona	Pos Horizontal	Pos Vertical Final	
▶ 1	1	30	95	
2	2	30	95	
3	3	30	95	
4	4	30	95	
5	5	30	95	
6	6	30	95	
7	7	30	95	
8	8	30	95	
9	9	30	95	
10	10	30	95	
11	11	30	95	
12	12	30	95	

APÊNDICE 22– PROCESSO “TBL_WRITE_NIOSH_3_1”

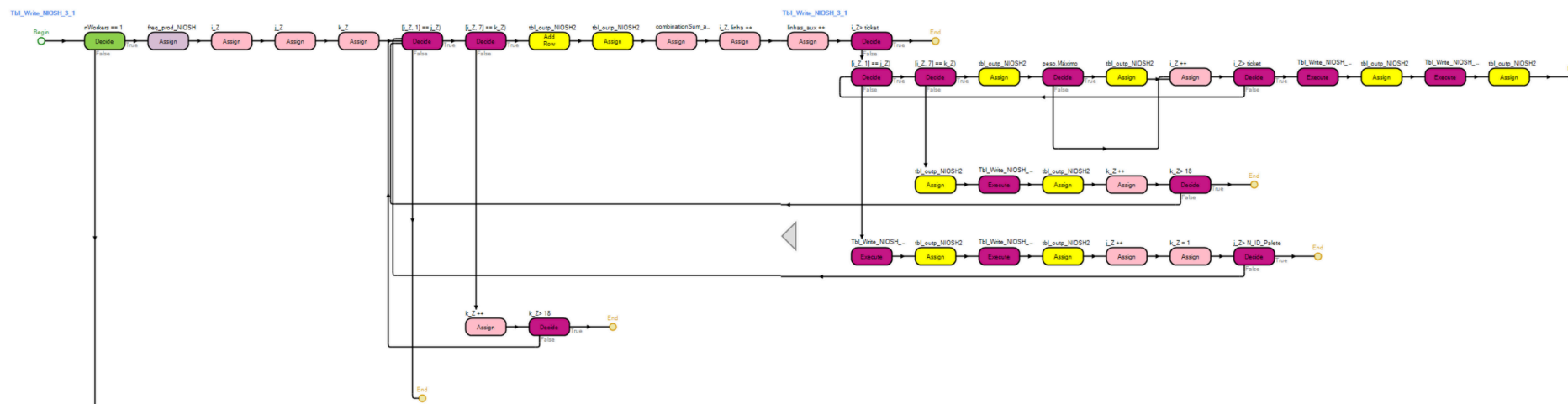


Figura 114 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_3_1"

APÊNDICE 23 – PROCESSO “TBL_WRITE_NIOSH_3_Aux_1”

Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_1

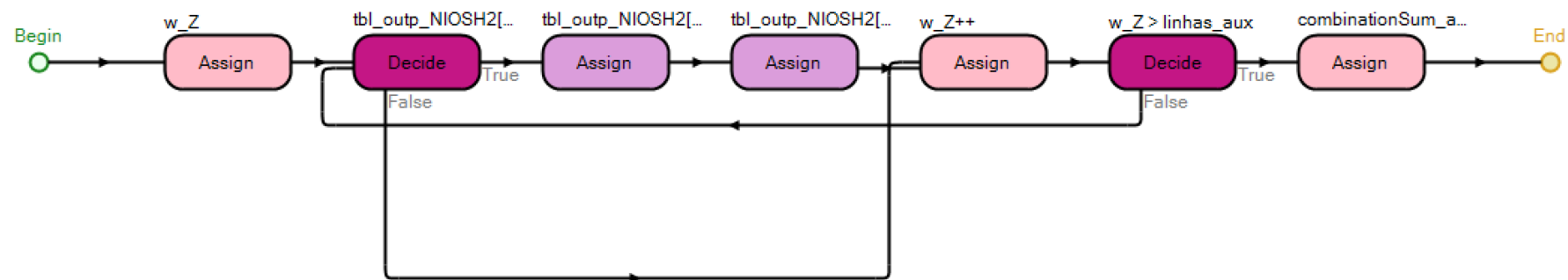


Figura 115 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_3_Aux_1"

APÊNDICE 24 – PROCESSO “TbL_WRITE_NIOSH_3_Aux_2”

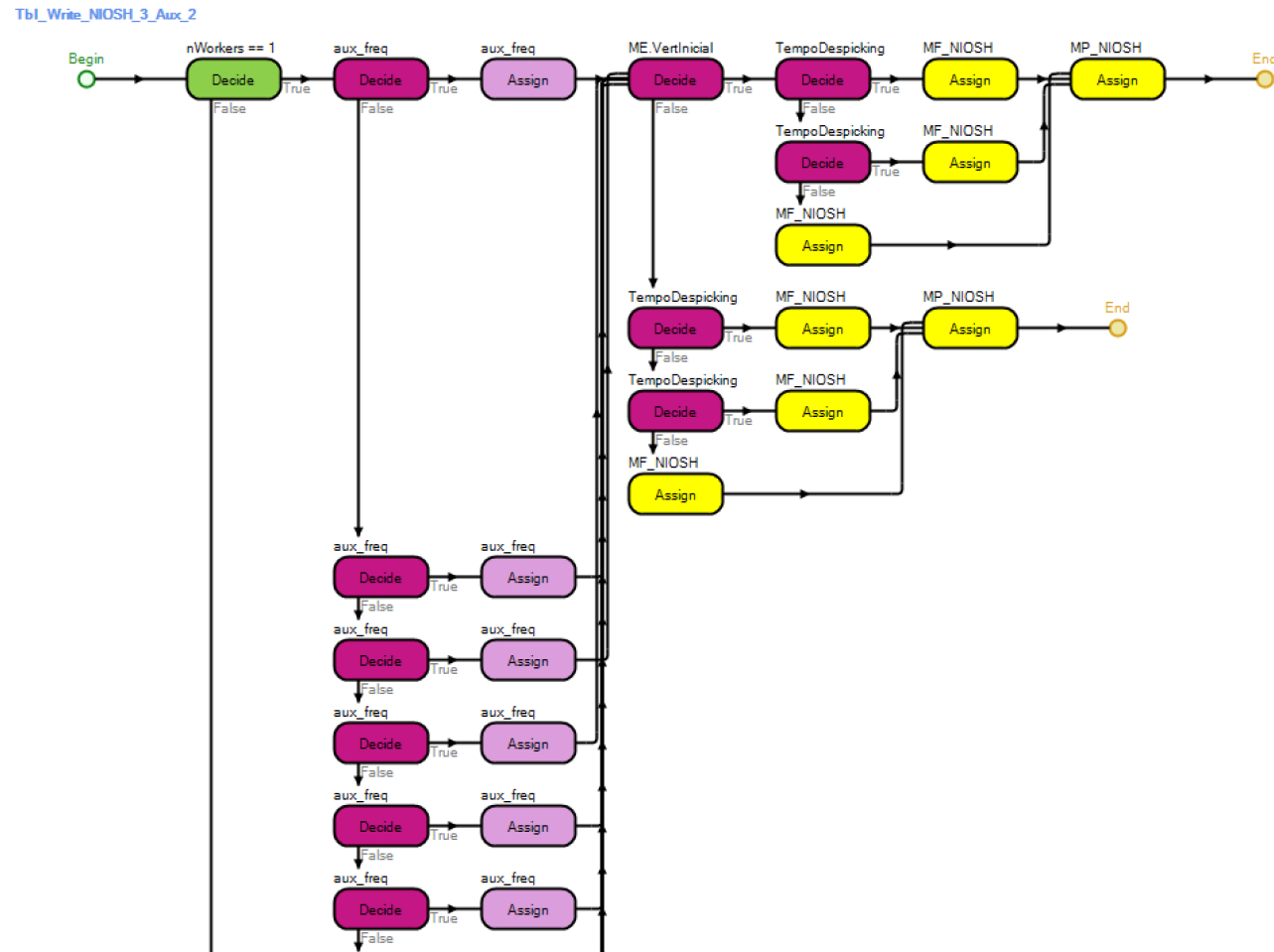


Figura 116 - Processo "TbL_Write_NIOSH_3_Aux_2"

APÊNDICE 25 – PROCESSO “TbL_WRITE_NIOSH_4”

TbL_Write_NIOSH_4

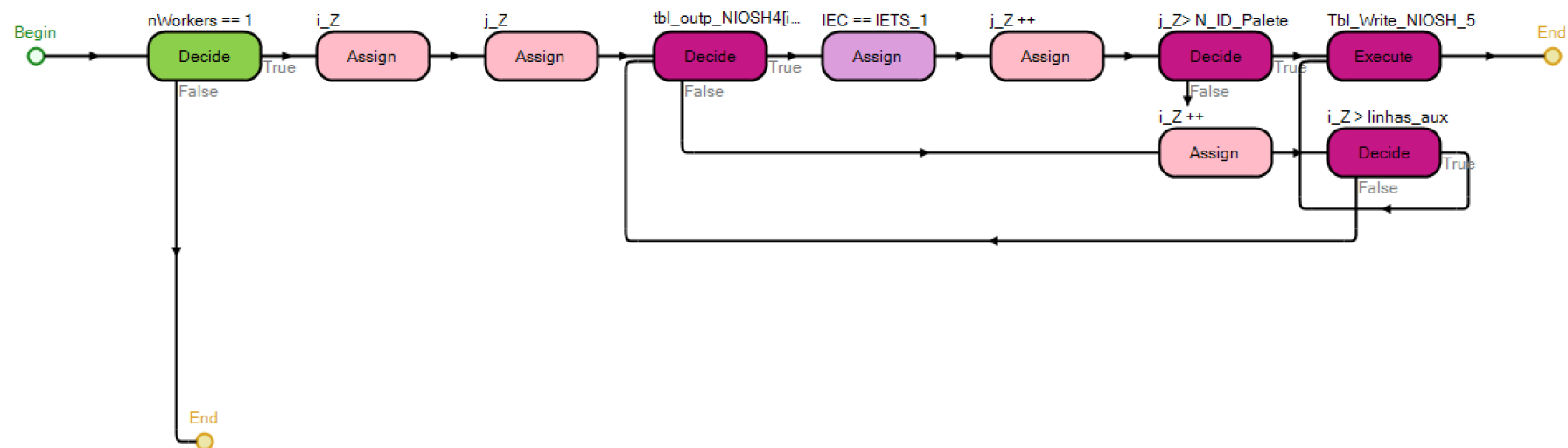


Figura 117 - Processo "TbL_Write_NIOSH_4"

APÊNDICE 26– PROCESSO “TBL_WRITE_NIOSH_5”

Tbl_Write_NIOSH_5

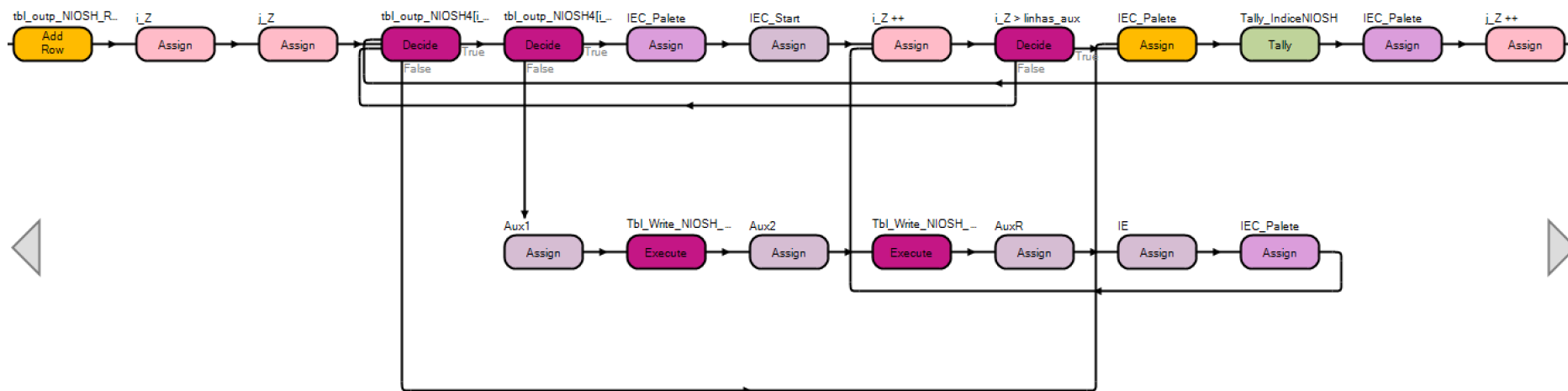


Figura 118 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5"

APÊNDICE 27 – PROCESSO “TBL_WRITE_NIOSH_5_Aux_1”

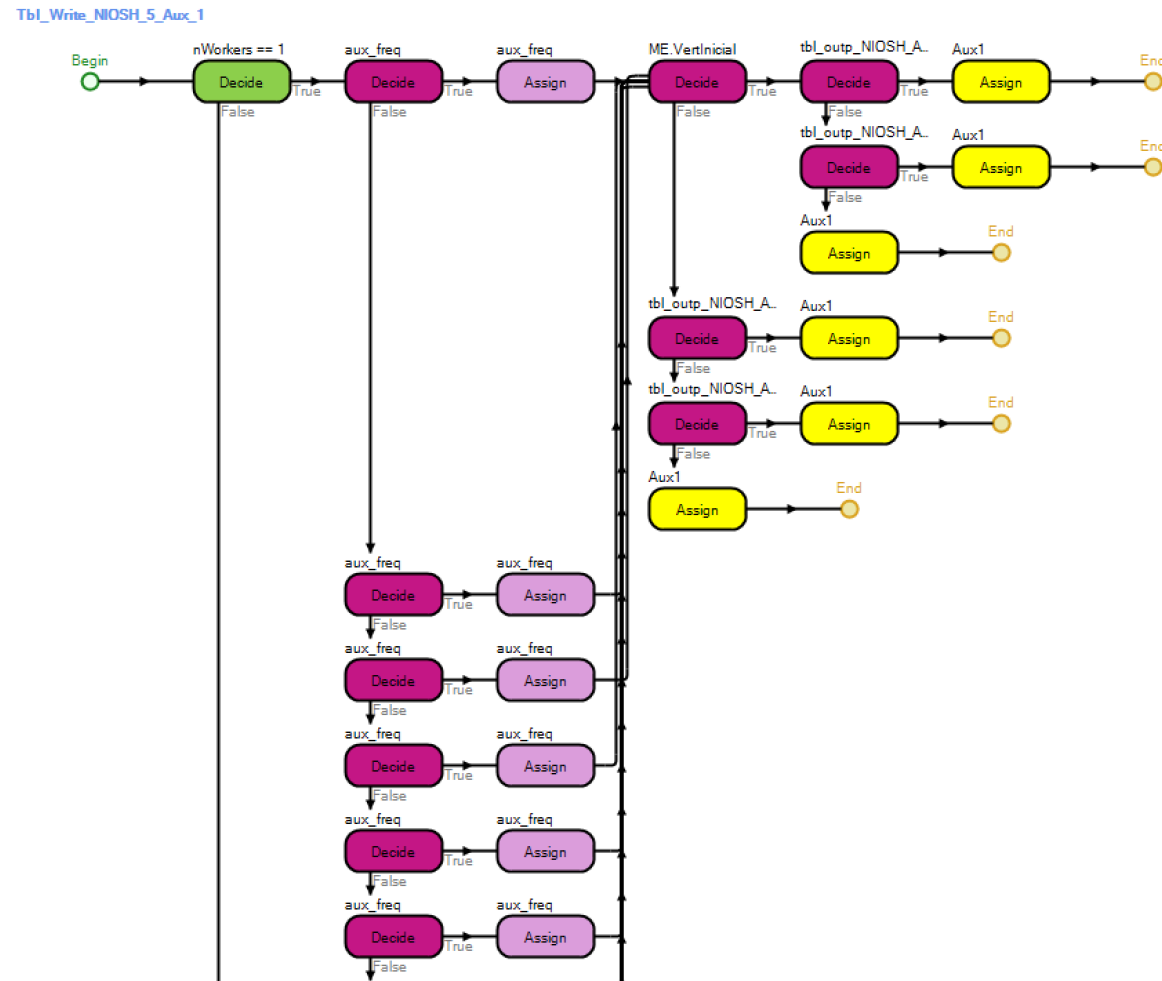


Figura 119 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_1"

APÊNDICE 28– PROCESSO “TBL_WRITE_NIOSH_5_AUX_2”

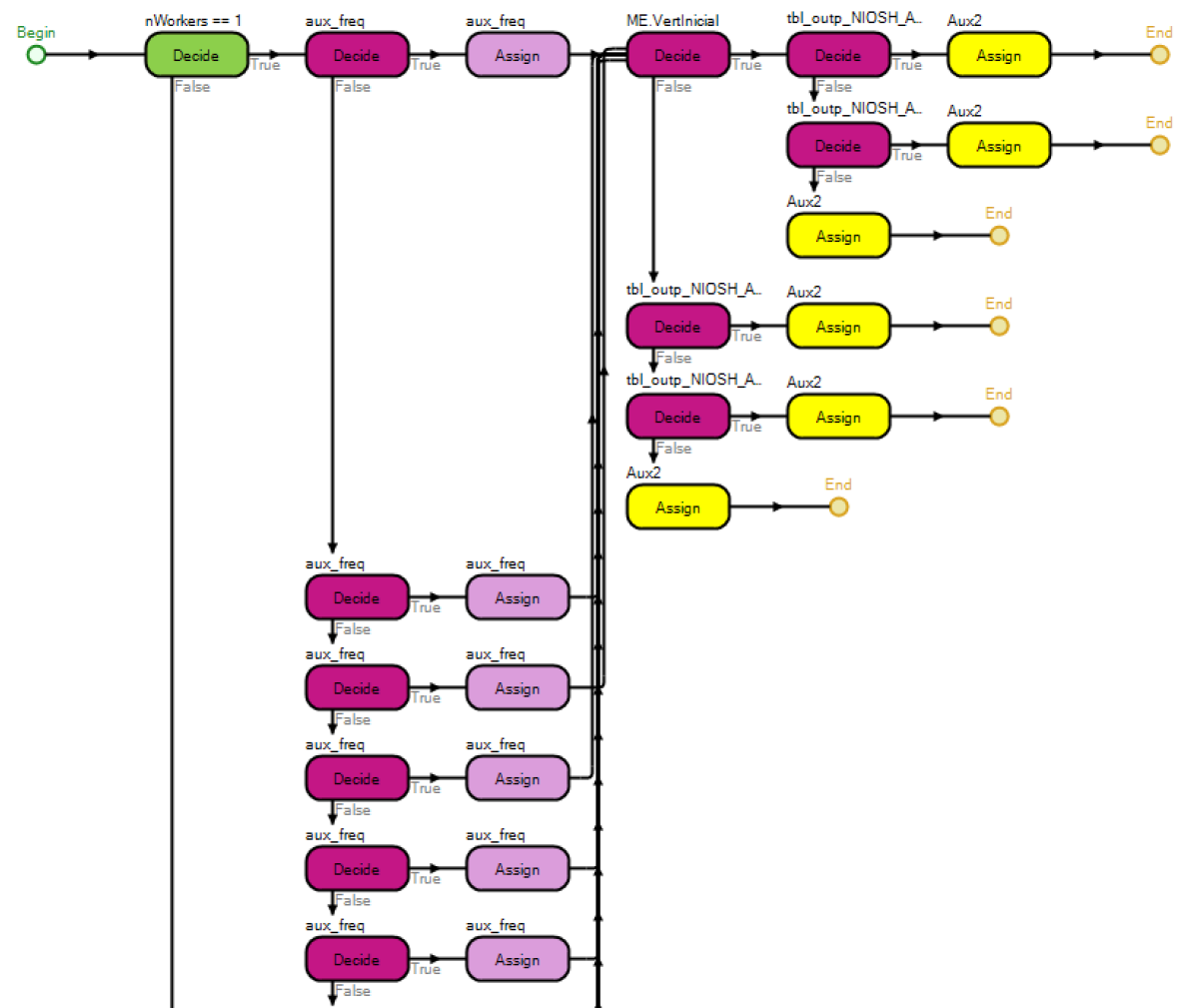


Figura 120 - Processo "Tbl_Write_NIOSH_5_Aux_2"

APÊNDICE 30 – RESULTADOS GRÁFICOS DA VARIAÇÃO DOS DIFERENTES PARÂMETROS DA EXPERIÊNCIA III

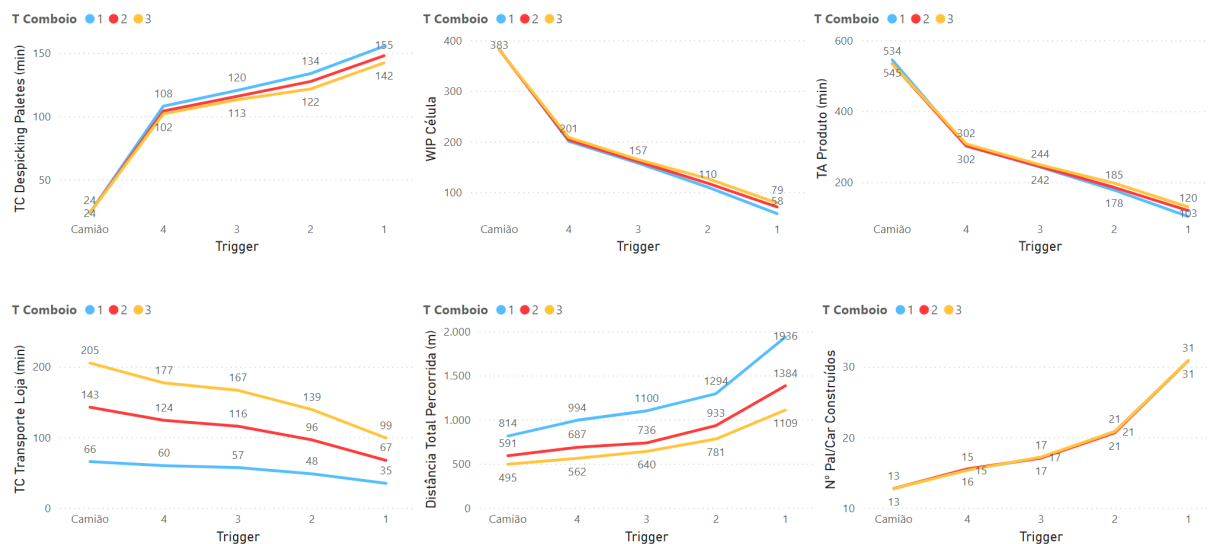


Figura 121 - Gráficos da experiência operacional III com utilização de carrinhos em Dashboard Power BI

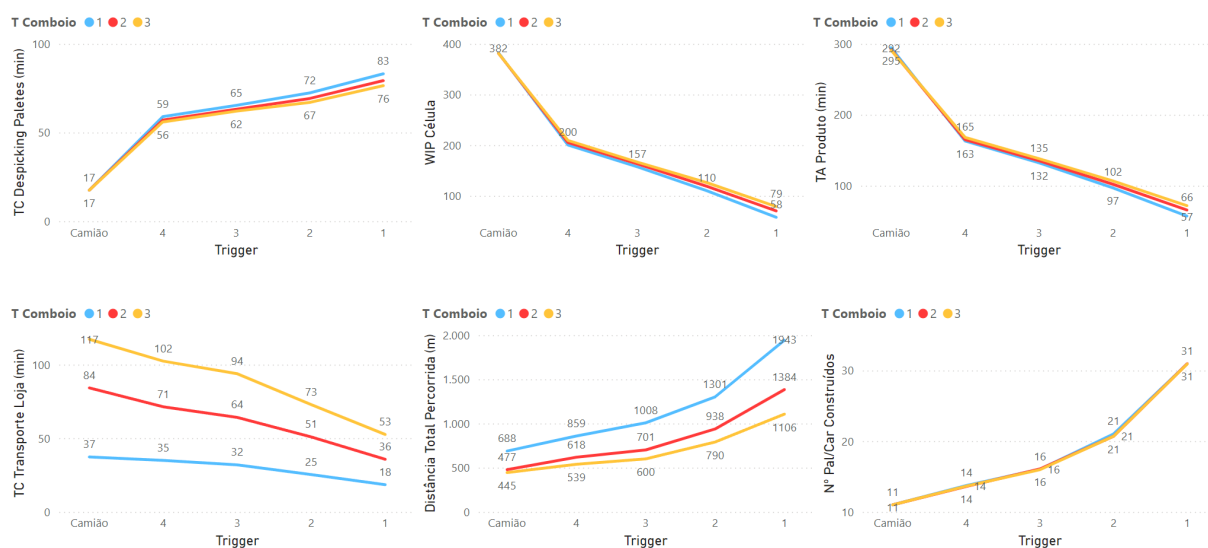


Figura 122 - Gráficos da experiência operacional III com 2 colaboradores em Dashboard Power BI

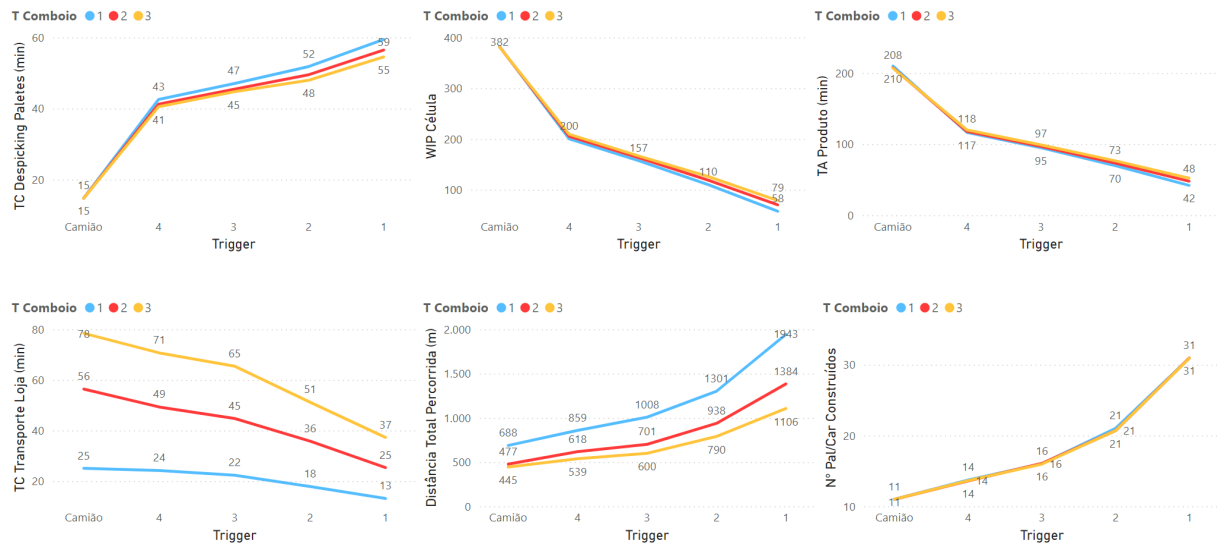


Figura 123 - Gráficos da experiência operacional III com 3 colaboradores em Dashboard Power BI

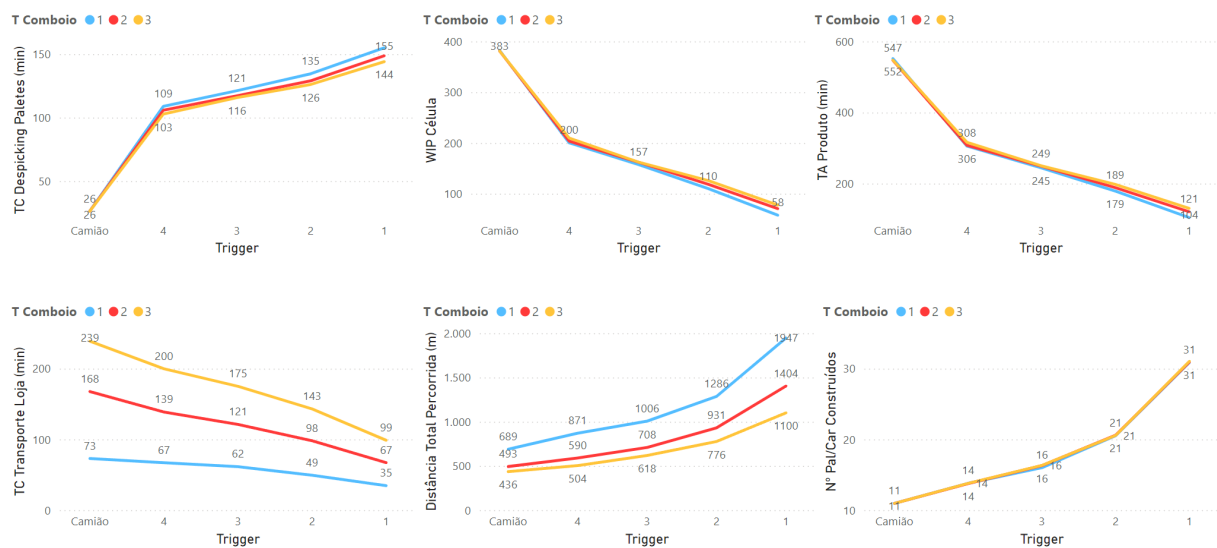


Figura 124 - Gráficos da experiência operacional III com introdução de um SIP em Dashboard Power BI

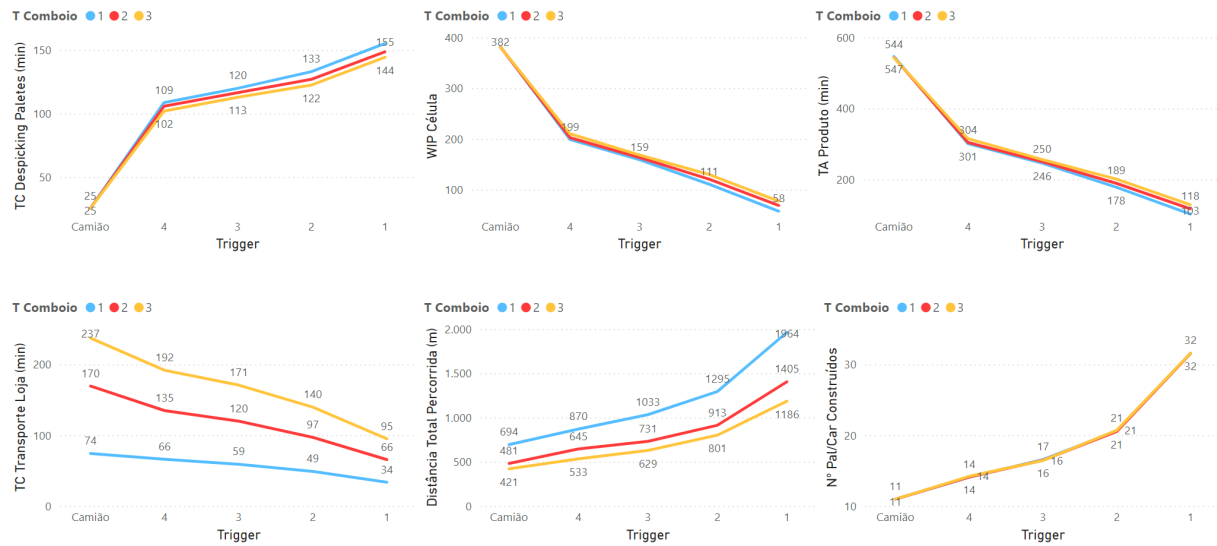


Figura 125 - Gráficos da experiência operacional III com paletes do tipo 1 em Dashboard Power BI

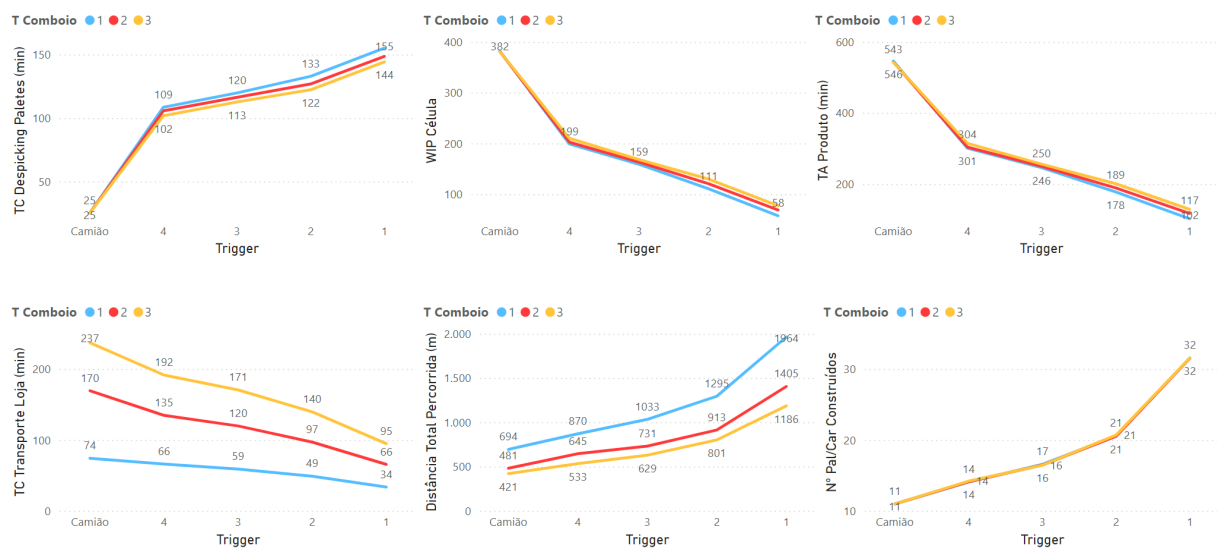


Figura 126 - Gráficos da experiência operacional III com paletes do tipo 2 em Dashboard Power BI

APÊNDICE 31 – RESULTADOS GRÁFICOS DA VARIAÇÃO DOS DIFERENTES PARÂMETROS DA EXPERIÊNCIA VI

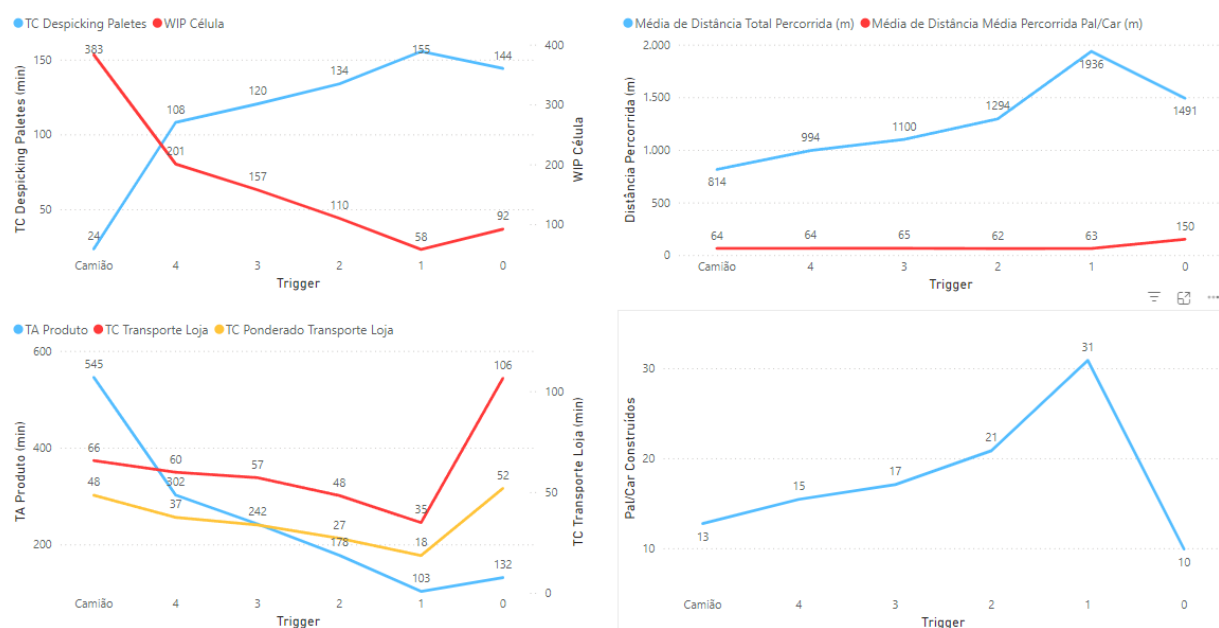


Figura 127 - Gráficos da experiência operacional VI com utilização de carrinhos em Dashboard Power BI

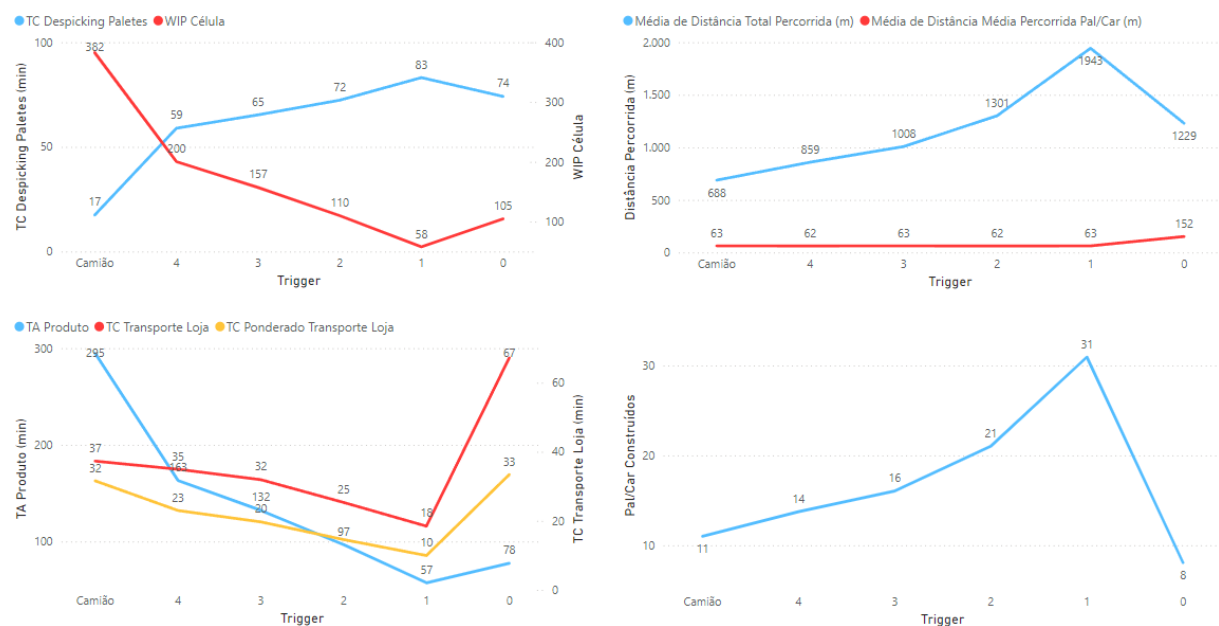


Figura 128 - Gráficos da experiência operacional VI com 2 colaboradores em Dashboard Power BI

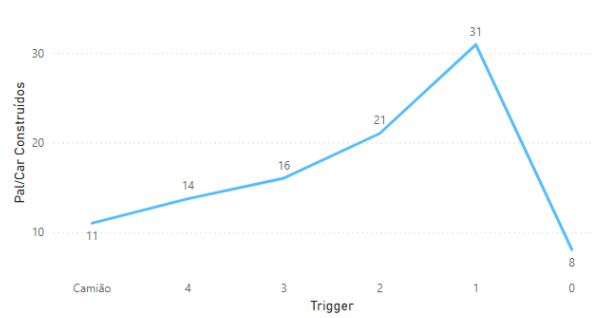
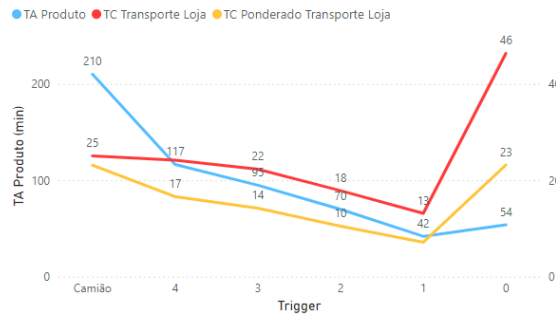
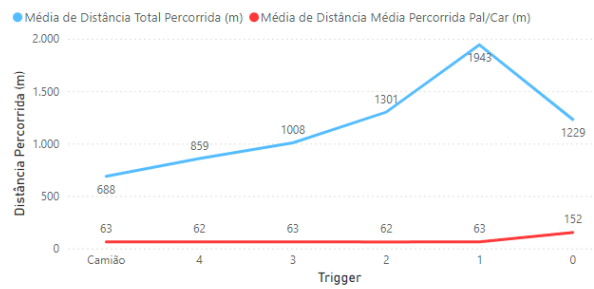
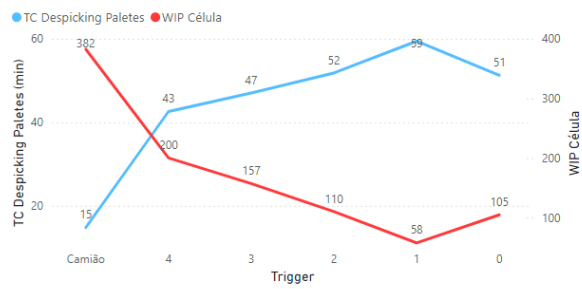


Figura 129 - Gráficos da experiência operacional VI com 3 colaboradores em Dashboard Power BI

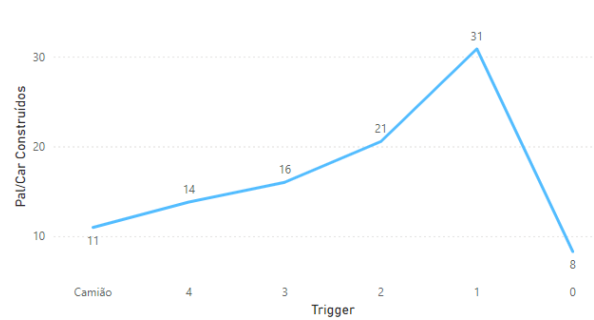
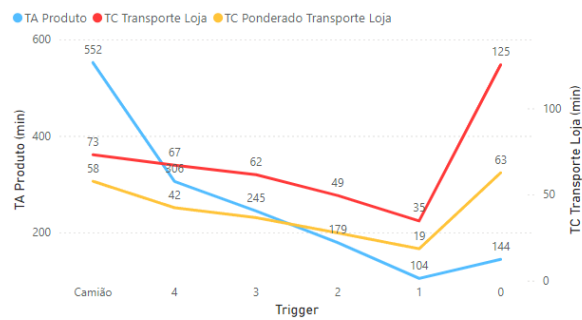
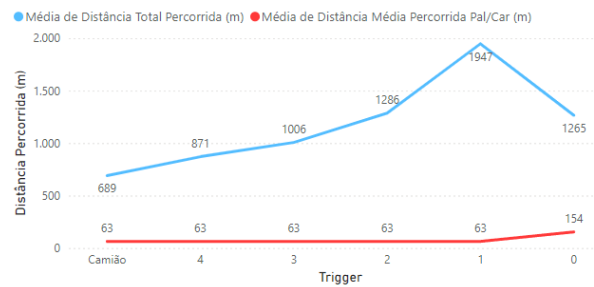
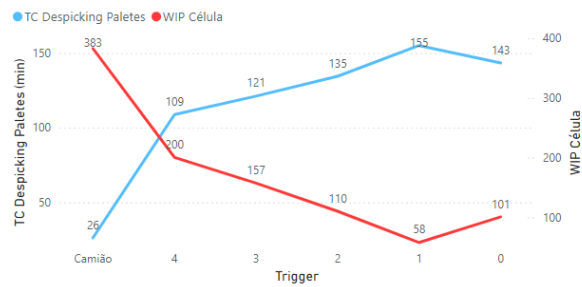


Figura 130 - Gráficos da experiência operacional VI com introdução de um SIP em Dashboard Power BI

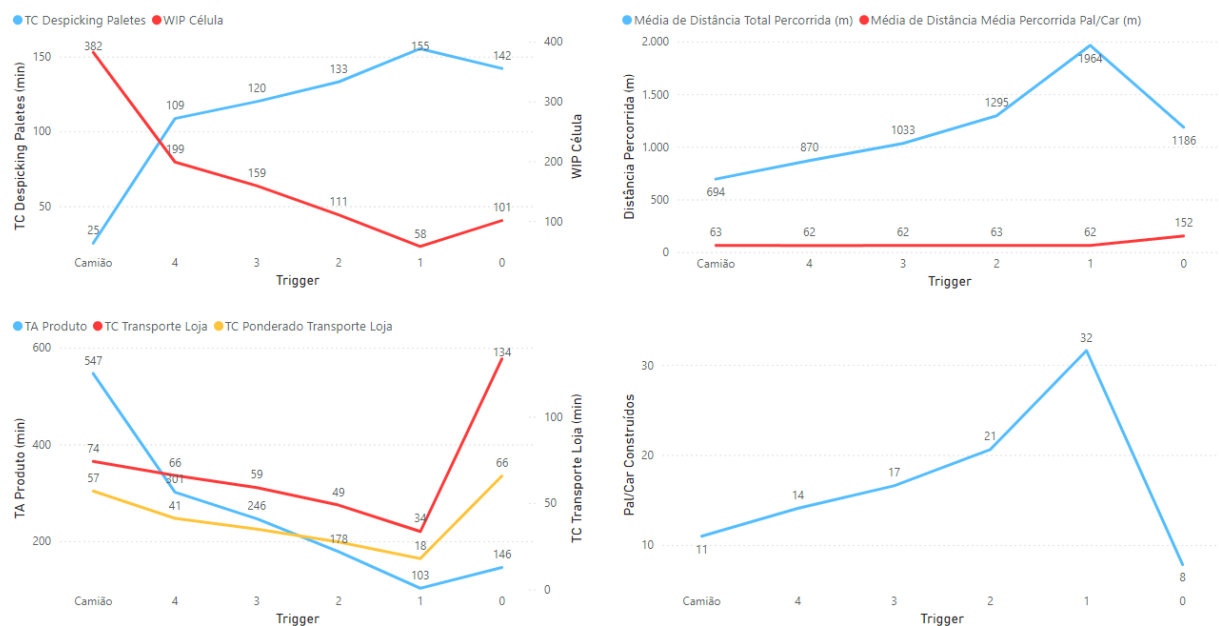


Figura 131 - Gráficos da experiência operacional VI com paletes do tipo 1 em Dashboard Power BI

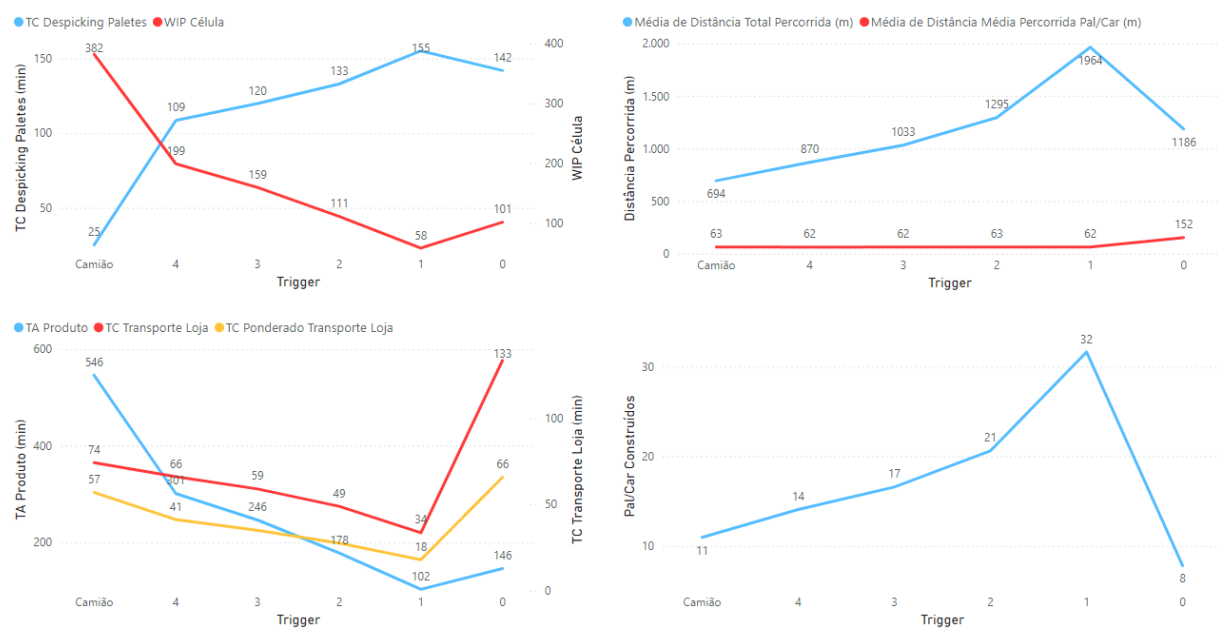


Figura 132 - Gráficos da experiência operacional VI com paletes do tipo 2 em Dashboard Power BI

ANEXOS

ANEXO 1 – TABELA MITAL DE FORÇA INICIAL PARA ATIVIDADES DE EMPURRAR COM 2 MÃOS

Chapter 5

Pushing

Unlike lifting, where the load is completely supported by the worker, pushing is a material handling activity that requires objects to be pushed on floors. In this case, the load is supported by the floor and force is exerted to move the object. Thus, pushing activities are not as

Table 5.1 Recommended initial forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pushing

		Frequency of pushing ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
2.1 m pushing distance									
144 (135)	90	20 (14)	22 (15)			25 (17)		26 (20)	31 (22)
	75	26 (17)	29 (18)			32 (21)		34 (24)	41 (27)
	50	32 (20)	36 (22)			40 (25)		42 (29)	51 (32)
	25	38 (24)	43 (25)			47 (29)		50 (33)	61 (37)
	10	44 (26)	49 (28)			55 (33)		58 (38)	70 (41)
95 (89)	90	21 (14)	24 (15)			26 (17)		28 (20)	34 (22)
	75	28 (17)	31 (18)			34 (21)		36 (24)	44 (27)
	50	34 (20)	38 (22)			43 (25)		45 (29)	54 (32)
	25	41 (24)	46 (25)			51 (29)		54 (33)	65 (37)
	10	47 (26)	53 (28)			59 (33)		62 (38)	75 (41)
64 (57)	90	19 (11)	22 (12)			24 (14)		25 (16)	31 (18)
	75	25 (14)	28 (15)			31 (17)		33 (19)	40 (21)
	50	31 (16)	35 (17)			39 (20)		41 (23)	50 (25)
	25	38 (19)	42 (20)			46 (23)		49 (27)	59 (30)
	10	43 (21)	48 (23)			53 (26)		57 (30)	68 (33)
7.6 m pushing distance									
144 (135)	90		14 (15)			21 (16)		22 (18)	26 (20)
	75		18 (18)			27 (19)		28 (22)	34 (24)
	50		23 (21)			33 (23)		35 (26)	42 (29)
	25		27 (25)			40 (27)		42 (31)	51 (34)
	10		31 (28)			46 (30)		48 (34)	58 (38)
95 (89)	90		16 (14)			23 (16)		25 (19)	30 (21)
	75		21 (17)			30 (20)		32 (22)	39 (25)
	50		26 (20)			38 (23)		40 (27)	48 (30)
	25		31 (23)			45 (27)		48 (31)	58 (34)
	10		35 (26)			52 (31)		55 (35)	66 (39)
64 (57)	90		13 (11)			20 (14)		21 (16)	26 (17)
	75		16 (14)			26 (17)		27 (19)	33 (21)
	50		20 (16)			32 (20)		34 (23)	41 (25)
	25		25 (19)			39 (23)		41 (27)	50 (29)
	10		28 (22)			45 (26)		47 (30)	57 (33)
15.2 m pushing distance									
144 (135)	90				16 (12)	19 (14)		20 (15)	25 (17)
	75				21 (15)	25 (17)		26 (19)	32 (21)
	50				26 (18)	31 (20)		33 (22)	40 (25)
	25				31 (20)	37 (23)		40 (26)	48 (29)
	10				36 (23)	43 (26)		45 (29)	55 (32)
95 (89)	90				18 (11)	22 (14)		23 (16)	28 (17)
	75				24 (14)	28 (17)		30 (19)	36 (21)
	50				29 (16)	35 (20)		37 (23)	45 (25)
	25				35 (19)	42 (23)		45 (27)	54 (29)
	10				40 (22)	49 (26)		52 (30)	62 (33)
64 (57)	90				15 (9)	19 (12)		20 (13)	24 (15)
	75				19 (11)	24 (14)		26 (16)	31 (18)
	50				23 (14)	30 (17)		32 (19)	39 (21)
	25				28 (16)	36 (20)		39 (23)	47 (25)
	10				32 (18)	42 (22)		44 (25)	54 (28)

72

Figura 133 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 1)

Table 5.1 Recommended initial forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pushing (Continued)

		Frequency of pushing ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
30.5 m pushing distance									
144 (135)	90					15 (12)		19 (14)	24 (17)
	75					19 (15)		25 (17)	31 (21)
	50					24 (18)		31 (21)	38 (25)
	25					28 (20)		37 (24)	46 (29)
	10					32 (23)		42 (27)	53 (33)
95 (89)	90					17 (12)		22 (15)	27 (18)
	75					21 (15)		28 (18)	35 (21)
	50					27 (18)		35 (21)	44 (26)
	25					32 (21)		42 (24)	52 (30)
	10					37 (24)		48 (28)	60 (33)
64 (57)	90					14 (11)		19 (12)	23 (15)
	75					18 (13)		24 (15)	30 (18)
	50					23 (15)		30 (18)	37 (22)
	25					28 (18)		36 (21)	45 (25)
	10					32 (20)		41 (23)	52 (28)
45.7 m pushing distance									
144 (135)	90					13 (12)		16 (14)	20 (17)
	75					16 (15)		21 (17)	26 (21)
	50					20 (18)		26 (21)	33 (25)
	25					24 (20)		32 (24)	39 (29)
	10					28 (23)		36 (27)	45 (33)
95 (89)	90					14 (12)		19 (15)	23 (18)
	75					18 (15)		24 (18)	30 (21)
	50					23 (18)		30 (21)	37 (26)
	25					27 (21)		36 (24)	45 (30)
	10					32 (24)		41 (28)	52 (33)
64 (57)	90					12 (11)		16 (12)	20 (15)
	75					16 (13)		21 (15)	26 (18)
	50					20 (15)		26 (18)	32 (22)
	25					24 (18)		31 (21)	39 (25)
	10					27 (20)		36 (23)	44 (28)
61 m pushing distance									
144 (135)	90						12 (12)	14 (13)	18 (15)
	75						16 (14)	18 (15)	23 (19)
	50						20 (17)	22 (18)	28 (22)
	25						23 (20)	27 (21)	34 (26)
	10						27 (22)	31 (24)	39 (29)
95 (89)	90						14 (12)	16 (13)	20 (16)
	75						18 (15)	21 (16)	26 (19)
	50						22 (18)	26 (19)	32 (23)
	25						27 (20)	31 (22)	38 (27)
	10						31 (23)	35 (25)	44 (30)
64 (57)	90						12 (10)	14 (11)	17 (13)
	75						15 (12)	18 (13)	22 (16)
	50						19 (15)	22 (16)	28 (19)
	25						23 (17)	26 (19)	33 (23)
	10						26 (19)	30 (21)	38 (25)

^aInterpolate for intermediate frequencies. Values in parentheses are for females.

Figura 134 - Tabela Mital de força inicial para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 2)

ANEXO 2 – TABELA MITAL DE FORÇA DE MANUTENÇÃO PARA ATIVIDADES DE EMPURRAR COM 2 MÃOS

Pushing

75

Table 5.2 Recommended sustained forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pushing

		Frequency of pushing ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
2.1 m pushing distance									
144 (135)	90	10 (5)	13 (8)			15 (10)		18 (11)	22 (14)
	75	10 (8)	17 (10)			21 (14)		24 (16)	30 (21)
	50	13 (10)	21 (14)			27 (19)		31 (21)	38 (28)
	25	17 (14)	21 (17)			33 (24)		38 (27)	47 (36)
	10	20 (15)	25 (20)			38 (28)		45 (32)	54 (42)
95 (89)	90	10 (5)	13 (7)			16 (9)		19 (10)	23 (13)
	75	11 (7)	18 (9)			22 (13)		25 (15)	31 (19)
	50	14 (9)	18 (13)			28 (18)		33 (20)	40 (26)
	25	17 (12)	22 (15)			34 (22)		40 (25)	49 (33)
	10	21 (14)	26 (19)			40 (26)		46 (30)	57 (39)
65 (57)	90	10 (4)	13 (6)			16 (8)		18 (9)	23 (12)
	75	11 (6)	18 (8)			21 (11)		25 (13)	31 (17)
	50	14 (8)	18 (11)			28 (15)		32 (17)	39 (23)
	25	17 (10)	22 (14)			34 (19)		39 (22)	48 (29)
	10	21 (13)	26 (16)			39 (23)		46 (26)	56 (34)
7.6 m pushing distance									
144 (135)	90		6 (5)			13 (7)		15 (8)	18 (11)
	75		8 (7)			17 (11)		20 (12)	25 (16)
	50		10 (10)			22 (10)		26 (16)	32 (21)
	25		13 (12)			28 (15)		32 (20)	39 (27)
	10		15 (15)			26 (18)		38 (24)	46 (32)
95 (89)	90		6 (5)			13 (8)		15 (9)	18 (11)
	75		9 (7)			17 (11)		20 (13)	25 (17)
	50		11 (10)			22 (13)		26 (17)	32 (22)
	25		14 (12)			27 (16)		32 (21)	39 (28)
	10		16 (14)			26 (19)		37 (25)	45 (33)
65 (57)	90		6 (5)			12 (7)		14 (8)	18 (11)
	75		9 (7)			17 (10)		19 (12)	24 (15)
	50		11 (9)			21 (12)		25 (16)	31 (21)
	25		14 (12)			26 (15)		31 (20)	37 (26)
	10		16 (14)			24 (18)		36 (23)	44 (31)
15.2 m pushing distance									
144 (135)	90				6 (4)	11 (4)		13 (7)	16 (9)
	75				9 (6)	15 (8)		18 (10)	22 (13)
	50				11 (9)	16 (10)		23 (14)	28 (18)
	25				13 (10)	19 (13)		28 (17)	34 (22)
	10				16 (12)	22 (15)		33 (20)	40 (27)
95 (89)	90				6 (4)	11 (4)		13 (7)	16 (10)
	75				9 (6)	15 (8)		18 (11)	21 (14)
	50				11 (8)	15 (11)		23 (14)	28 (19)
	25				14 (10)	19 (14)		28 (18)	34 (24)
	10				16 (12)	22 (16)		32 (21)	40 (28)
64 (57)	90				6 (4)	11 (4)		12 (7)	15 (9)
	75				9 (6)	14 (8)		17 (10)	21 (13)
	50				11 (8)	15 (10)		22 (13)	27 (17)
	25				14 (10)	18 (13)		27 (17)	33 (22)
	10				17 (12)	21 (15)		31 (20)	38 (26)

Figura 135 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 1)

Table 5.2 Recommended sustained forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pushing (Continued)

		Frequency of pushing ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
30.5 m pushing distance									
144 (135)	90					6 (4)		12 (6)	16 (8)
	75					9 (6)		16 (9)	21 (12)
	50					12 (9)		20 (12)	28 (16)
	25					14 (11)		25 (13)	34 (21)
	10					17 (13)		29 (14)	39 (25)
95 (89)	90					6 (4)		12 (6)	16 (9)
	75					9 (7)		16 (9)	21 (13)
	50					12 (9)		20 (12)	27 (17)
	25					14 (11)		25 (13)	33 (22)
	10					17 (14)		29 (15)	39 (26)
64 (57)	90					6 (4)		11 (6)	15 (8)
	75					9 (6)		15 (8)	20 (12)
	50					11 (9)		19 (11)	26 (16)
	25					14 (10)		24 (14)	32 (20)
	10					16 (13)		28 (14)	37 (24)
45.7 m pushing distance									
144 (135)	90					5 (4)		10 (5)	13 (8)
	75					8 (6)		13 (8)	18 (11)
	50					9 (8)		17 (9)	23 (15)
	25					12 (9)		21 (11)	28 (19)
	10					15 (12)		24 (14)	33 (22)
95 (89)	90					5 (4)		9 (6)	13 (8)
	75					7 (6)		13 (8)	18 (12)
	50					9 (8)		17 (9)	23 (16)
	25					12 (10)		21 (12)	28 (20)
	10					14 (12)		24 (15)	32 (24)
64 (57)	90					5 (4)		9 (5)	13 (7)
	75					7 (6)		12 (8)	17 (11)
	50					9 (8)		16 (9)	22 (15)
	25					11 (9)		20 (11)	27 (19)
	10					14 (11)		23 (14)	31 (22)
61 m pushing distance									
144 (135)	90						7 (3)	8 (4)	11 (6)
	75						7 (4)	11 (6)	15 (9)
	50						9 (7)	14 (7)	19 (12)
	25						12 (9)	16 (9)	24 (15)
	10						14 (10)	16 (10)	28 (17)
95 (89)	90						7 (3)	8 (4)	11 (6)
	75						7 (4)	11 (6)	15 (9)
	50						9 (7)	14 (8)	19 (12)
	25						12 (9)	16 (9)	23 (15)
	10						14 (11)	16 (11)	27 (18)
64 (57)	90						7 (3)	8 (4)	10 (6)
	75						7 (4)	10 (6)	14 (8)
	50						9 (7)	14 (7)	18 (11)
	25						11 (9)	17 (9)	22 (14)
	10						13 (10)	19 (10)	26 (17)

^aInterpolate for intermediate frequencies. Values in the parentheses are for females. Numbers in bold italics, weight limited by the physiological design criterion (4 kcal/min for males; 3 kcal/min for females).

Figura 136 - Tabela Mital de força de manutenção para atividades de empurrar com 2 mãos (Parte 2)

ANEXO 3 – TABELA MITAL DE FORÇA INICIAL PARA ATIVIDADES DE PUXAR COM 2 MÃOS

Chapter 6

Pulling

Pulling activity is similar to pushing activity in that the object weight is supported by the floor and force is applied to the object being pulled. As compared to manual lifting, pulling activities are not very strenuous. In this chapter, we provide data for designing two-handed and one-handed pulling activities.

Table 6.1 Recommended initial forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pulling.

Handle height (cm)	Population percentile	Frequency of pull ^a							
		10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
2.1 m pulling distance									
144 (135)	90	14 (13)	16 (16)			18 (17)		19 (19)	23 (22)
	75	17 (16)	19 (19)			22 (20)		23 (23)	28 (26)
	50	20 (19)	23 (22)			26 (24)		28 (28)	33 (31)
	25	24 (21)	27 (25)			31 (28)		32 (32)	39 (35)
	10	26 (24)	30 (28)			34 (31)		36 (36)	44 (39)
95 (89)	90	19 (14)	22 (16)			25 (18)		27 (21)	32 (23)
	75	23 (16)	27 (19)			31 (21)		32 (25)	39 (27)
	50	28 (19)	32 (23)			36 (25)		39 (29)	47 (32)
	25	33 (22)	37 (26)			42 (29)		45 (33)	54 (37)
	10	37 (25)	42 (29)			48 (32)		51 (37)	61 (41)
64 (57)	90	22 (15)	25 (17)			28 (19)		30 (22)	36 (24)
	75	27 (17)	30 (20)			34 (22)		37 (26)	44 (28)
	50	32 (20)	36 (24)			41 (26)		44 (30)	53 (33)
	25	37 (23)	42 (27)			48 (30)		51 (35)	61 (38)
	10	42 (26)	48 (31)			54 (34)		57 (39)	69 (43)
7.6 m pulling distance									
144 (135)	90			11 (11)		16 (16)		17 (17)	21 (20)
	75			14 (14)		20 (19)		21 (21)	26 (24)
	50			16 (16)		24 (22)		25 (25)	31 (28)
	25			19 (19)		28 (25)		29 (29)	36 (32)
	10			21 (21)		31 (28)		33 (32)	40 (36)
95 (89)	90			15 (14)		23 (16)		24 (19)	29 (21)
	75			19 (17)		28 (19)		29 (22)	36 (25)
	50			23 (19)		33 (23)		35 (26)	42 (29)
	25			26 (22)		39 (26)		41 (30)	49 (33)
	10			30 (25)		43 (29)		46 (33)	56 (37)
64 (57)	90			18 (15)		26 (17)		27 (20)	33 (22)
	75			21 (17)		31 (20)		33 (23)	40 (26)
	50			25 (20)		37 (24)		40 (28)	48 (30)
	25			30 (23)		44 (27)		46 (32)	56 (35)
	10			33 (26)		49 (31)		52 (35)	63 (39)
15.2 m pulling distance									
144 (135)	90				13 (10)	15 (13)		16 (15)	20 (17)
	75				16 (12)	19 (16)		20 (18)	24 (20)
	50				19 (14)	22 (19)		24 (21)	29 (24)
	25				22 (16)	26 (21)		28 (25)	33 (27)
	10				24 (18)	29 (24)		31 (27)	38 (30)
95 (89)	90				18 (10)	21 (14)		23 (16)	28 (18)
	75				22 (12)	26 (17)		28 (19)	33 (21)
	50				26 (14)	31 (19)		33 (22)	40 (25)
	25				30 (16)	36 (22)		38 (26)	46 (28)
	10				33 (18)	41 (25)		43 (29)	52 (32)
64 (57)	90				20 (11)	24 (15)		26 (17)	31 (19)
	75				24 (13)	29 (17)		31 (20)	38 (22)
	50				29 (15)	35 (20)		37 (23)	45 (26)
	25				34 (17)	41 (23)		43 (27)	52 (30)
	10				38 (19)	46 (26)		49 (30)	59 (33)

Table 6.1 Recommended initial forces (kg) for male (female) industrial workers for two-handed pulling.
(Continued)

		Frequency of pull ^a							
Handle height (cm)	Population percentile	10/min	5/min	4/min	2.4/min	1/min	1/2 min	1/5 min	1/8 h
30.5 m pulling distance									
144 (135)	90					12 (12)		15 (14)	19 (17)
	75					14 (14)		19 (17)	23 (20)
	50					17 (17)		22 (20)	27 (24)
	25					20 (19)		26 (23)	32 (27)
	10					22 (22)		29 (25)	37 (31)
95 (89)	90					16 (13)		21 (15)	26 (18)
	75					20 (15)		26 (18)	32 (21)
	50					24 (18)		31 (21)	38 (25)
	25					27 (20)		36 (24)	45 (29)
	10					31 (23)		40 (26)	50 (32)
64 (57)	90					18 (13)		24 (15)	30 (19)
	75					22 (16)		29 (18)	36 (22)
	50					27 (18)		35 (22)	43 (26)
	25					31 (21)		41 (25)	50 (30)
	10					35 (24)		46 (28)	57 (34)
45.7 m pulling distance									
144 (135)	90					10 (10)		13 (14)	16 (16)
	75					12 (12)		16 (17)	20 (20)
	50					15 (15)		19 (20)	24 (24)
	25					17 (17)		22 (23)	28 (27)
	10					20 (20)		25 (25)	31 (31)
95 (89)	90					14 (13)		18 (15)	23 (18)
	75					17 (15)		22 (18)	28 (21)
	50					20 (18)		27 (21)	33 (25)
	25					24 (20)		31 (24)	38 (29)
	10					27 (23)		35 (26)	43 (32)
64 (57)	90					16 (13)		21 (15)	26 (19)
	75					19 (16)		25 (18)	31 (22)
	50					23 (18)		30 (22)	37 (26)
	25					27 (21)		35 (25)	43 (30)
	10					30 (24)		39 (28)	49 (34)
61 m pulling distance									
144 (135)	90						10 (10)	11 (11)	14 (14)
	75						12 (12)	14 (14)	17 (17)
	50						14 (14)	16 (16)	20 (20)
	25						16 (16)	19 (19)	24 (24)
	10						18 (18)	21 (21)	27 (27)
95 (89)	90						13 (12)	16 (13)	19 (16)
	75						16 (15)	19 (16)	24 (19)
	50						20 (17)	23 (18)	28 (22)
	25						23 (20)	26 (21)	33 (26)
	10						26 (22)	30 (24)	37 (29)
64 (57)	90						15 (13)	18 (14)	22 (17)
	75						19 (15)	21 (16)	27 (20)
	50						22 (18)	26 (19)	32 (23)
	25						26 (21)	30 (22)	37 (27)
	10						29 (23)	34 (25)	42 (30)

^aInterpolate for intermediate frequencies. Values in parentheses are for females.

Figura 138 - Tabela Mital de força inicial para atividades de puxar com 2 mãos (Parte 2)

ANEXO 4 – COEFICIENTE MÁXIMO MITAL DE FORÇA INICIAL E DE MANUTENÇÃO PARA ATIVIDADES DE PUXAR COM 1 MÃO

Pulling

83

One-handed pulling The maximum horizontal pull force that can be exerted by males with one hand (stronger hand), infrequently, is approximately 15 kg on average. Females, on average, are expected to exert approximately 10 kg force with their stronger hand. For frequent exertions, the maximum one-handed pull force should not exceed 10 kg for males and 7 kg for females.

Figura 139 - Coeficiente máximo mital de força inicial e de manutenção para atividades de puxar com 1 mão

ANEXO 5 – TABELA NIOSH 91 – MULTIPLICADOR DE FREQUÊNCIA E DE PEGA

Tabela 44 - Tabela NIOSH 91 - multiplicador de frequência

Frequency Lifts/min (F)*	Work Duration					
	≤1 Hour		>1 but ≤2 Hours		>2 but ≤8 Hours	
	V<30†	V≥30	V<30	V≥30	V<30	V≥30
≤0.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
0.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
>15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

†Values of V are in inches.

*For lifting less frequently than once per 5 minutes, set F=.2 lifts/minute.

Tabela 45 - Tabela NIOSH 91 - multiplicador de pega

Coupling Type	Coupling Multiplier	
	V<30 inches (75 cm)	V≥30 inches (75 cm)
Good	1.00	1.00
Fair	0.95	1.00
Poor	0.90	0.90

* 30 polegadas equivalem a aproximadamente 75cm.