



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mariana Mendes Pereira

**Centralização de múltiplos armazéns num
armazém central e proposta e implementação de
sistema de organização e gestão operacional com
recurso à simulação discreta**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Luís Miguel Silva Dias

Mestre Bruno Samuel Ferreira Gonçalves

Outubro de 2017

DECLARAÇÃO

Nome: Mariana Mendes Pereira

Endereço eletrónico: marianamp16@gmail.com Telefone: 967335267

Cartão do Cidadão: 14554157

Título da dissertação: Centralização de múltiplos armazéns num armazém central e proposta e implementação de sistema de organização e gestão operacional com recurso à simulação discreta.

Orientadores:

Professor Doutor Luís Miguel Silva Dias

Mestre Bruno Samuel Ferreira Gonçalves

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia Industrial

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, ____/____/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, em especial ao Professor Bruno Gonçalves, pelo interesse no projeto, pela disponibilidade, pela partilha de conhecimentos e pela sua orientação que foi fundamental.

Ao Engenheiro Pedro Cruz, pela oportunidade proporcionada, pelas suas sugestões e pelo seu entusiasmo neste projeto e no meu trabalho, o que muito me motivou.

Aos colaboradores da CIN com quem contactei, em especial aos participantes do *workshop kaizen*, porque senti que as minhas ideias eram valorizadas.

À minha família e aos meus amigos, por sempre me apoiarem.

RESUMO

A grande competitividade dos mercados implica um alto desempenho dos armazéns, que pressupõe uma rápida resposta aos clientes. O desempenho depende da configuração do armazém, sendo que não existe um modelo ótimo para a sua seleção.

Este projeto, realizado em colaboração com a CIN - Corporação Industrial do Norte S.A., pretende definir uma configuração e operacionalização para o armazém de matérias-primas, tendo em conta os objetivos da empresa.

Para alcançar este objetivo, foi realizada uma caracterização do sistema atual, determinados os pontos a melhorar e idealizada uma configuração alternativa para o armazém. Nesta configuração idealizou-se uma alteração da dimensão, dos equipamentos, das políticas operacionais e do *layout* do armazém. O novo sistema foi modelado e simulado no software ARENA. Com os resultados obtidos, onde se incluem os indicadores de desempenho selecionados, foram testados vários cenários alternativos, no que respeita à configuração e operacionalização.

Analisados os vários cenários, que fazem variar vários parâmetros do sistema desde a forma de funcionamento das atividades à quantidade de recursos disponíveis, propôs-se o cenário que melhor equilibra os indicadores de desempenho selecionados.

Palavras-Chave: Armazém, Configuração, Políticas Operacionais, Desempenho, Simulação Discreta

ABSTRACT

The highly competitiveness of markets implies a greater performance from the warehouses, which assumes a quick response to the costumers. The performance depends on the design of the warehouse, but there isn't an optimal model for that selection.

The main purpose of this project, that has been done with the collaboration of CIN - Corporação Industrial do Norte S.A, is to define a design and operationalization for the raw materials' warehouse, with the company's goals in mind.

To achieve this purpose, it has been done a full characterization of the current system, a definition of which points to improve and conceive an alternative design for the warehouse. This alternative design would alter the dimension, the equipments, the operational policies and the warehouse's layout. The improved system was shaped and simulated with the ARENA's software. With the obtained results, which includes the selected performance indicators, a set of alternative scenarios has been tested, in the field of design and operationalization.

With the analysis of the several scenarios that affect different parameters of the system, from the activities functioning to the available resources quantities, it has been proposed a scenario that better balances the selected performance indicators.

Keywords: Warehouse, Design, Operational Policies, Performance, Discrete Simulation

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	XVII
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 A CIN.....	2
1.3 Objetivos de investigação.....	4
1.4 Metodologia de investigação.....	4
1.5 Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão da Literatura.....	7
2.1 O armazém.....	7
2.1.1 A armazenagem lean.....	8
2.2 Configuração do armazém.....	9
2.2.1 Políticas operacionais.....	10
a) Receção.....	10
b) Arrumação.....	11
c) Picking.....	12
d) Expedição.....	14
2.2.2 Dimensionamento.....	15
2.2.3 Layout.....	15
2.2.4 Equipamentos.....	16
2.3 Desempenho.....	17
2.4 Simulação.....	18
3. Caracterização do sistema atual.....	21
3.1 Receção.....	22
3.2 Arrumação.....	23

3.3	Picking.....	24
3.4	Expedição e entrega	25
3.5	Pesagens	26
4.	Caracterização e modelação do armazém futuro	29
4.1	Receção.....	31
4.1.1	Modelação da receção.....	32
4.2	Arrumação	35
4.2.1	Modelação da arrumação	36
4.3	Picking.....	38
4.3.1	Modelação do picking	41
a)	Parte 1 - Picking de paletes inteiras.....	44
b)	Parte 2 - Recolha de paletes enxertadas de matérias-primas B e C	46
c)	Parte 3 - Picking de unidades inteiras e realização de maquinas de matéria-prima A.....	50
d)	Parte 4 - Realização de maquinas de matérias-primas B e C.....	52
e)	Parte 5 - Picking de sacos de matéria-prima B e C	53
f)	Parte 6 - Finalização da encomenda.....	55
4.4	Expedição e entrega	57
4.4.1	Modelação da expedição para CIN Indústria e Exportação	58
4.4.2	Modelação da entrega às naves industriais.....	60
5.	Identificação e modelação dos indicadores de desempenho e validação do modelo.....	65
6.	Resultados e cenários alternativos.....	71
6.1	Construção do cenário 1	71
6.2	Análise do cenário 1	71
6.3	Construção do cenário 2	73
6.4	Análise do cenário 2.....	74
6.5	Construção do cenário 3	76
6.6	Análise do cenário 3.....	77
6.7	Construção do cenário 4	78
6.8	Análise do cenário 4.....	79
6.9	Construção do cenário 5	80

6.10	Análise do cenário 5.....	80
6.11	Construção do cenário 6	81
6.12	Análise do cenário 6.....	82
6.13	Construção do cenário 7	83
6.14	Análise do cenário 7	84
6.15	Construção do cenário 8	85
6.16	Análise do cenário 8.....	86
6.17	Construção do cenário 9	87
6.18	Análise do cenário 9.....	87
6.19	Construção do cenário 10	89
6.20	Análise do cenário 10.....	89
6.21	Construção do cenário 11	90
6.22	Análise do cenário 11.....	90
7.	Discussão dos resultados.....	93
8.	Conclusões e trabalho futuro.....	97
	Referências Bibliográficas	99
	Anexo I – Distribuições estatísticas.....	103
	Anexo II – Módulos utilizados.....	107
	Anexo III – Modelo e submodelos resultantes do cenário 1	109
	Anexo IV – Sobrecarga do sistema	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da unidade produtiva da Maia	3
Figura 2 - Layout atual do armazém de matérias-primas sólidas	21
Figura 3 - Zona de receção do armazém	22
Figura 4 - Armazenagem em estantes convencionais.....	23
Figura 5 - Armazenagem em bloco.....	23
Figura 6 - Picking de paletes inteiras	25
Figura 7 - Picking de unidades inteiras	25
Figura 8 - Carga de camião.....	26
Figura 9 - Zona de expedição do armazém	26
Figura 10 - Análise ABC por sacos separados.....	29
Figura 11 - Layout proposto para o armazém futuro	30
Figura 12 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de um camião	32
Figura 13 - Geração do número de encomendas	32
Figura 14 - Atributos associados a cada encomenda	33
Figura 15 - Conversão da entidade encomenda em várias entidades paletes.....	33
Figura 16 - Atualização do atributo "pal_transp_total"	34
Figura 17 - Decide que define o caminho seguido pelo camião conforme o atributo "fase_rec"	34
Figura 18 - Libertação do recurso empilhador	35
Figura 19 - Delay do processo de retirar amostra	35
Figura 20 - Decide que define se a paleta é arrumada	36
Figura 21 - Fluxo seguido quando a paleta fica classificada como "overflow"	37
Figura 22 - Ciclo que verifica a capacidade de armazenagem	37
Figura 23 - Zona de manipulação.....	39
Figura 24 - Manipulação das matérias-primas A1 e A2 na zona de manipulação	40
Figura 25 - Manipulação das matérias-primas B e C na zona de manipulação.....	40
Figura 26 - Fluxo de matérias-primas B e C na zona de JJ e retorno	40
Figura 27 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de uma encomenda.....	41
Figura 28 - Atributos alocados a cada encomenda.....	41
Figura 29 - Atributos auxiliares alocados a cada encomenda	42

Figura 30 - Atribuição do número de matérias-primas de cada tipo a cada encomenda	42
Figura 31 - Decide que verifica se existe matéria-prima suficiente para satisfazer a encomenda	43
Figura 32 - Fluxo da encomenda no picking	44
Figura 33 - Fluxo da encomenda no picking de paletes inteiras.....	44
Figura 34 - Três zonas de expedição do armazém	45
Figura 35 - Fluxo seguido para atribuir à palete o destino e o número de encomenda	45
Figura 36 - Transformação de uma palete em sacos da matéria-prima C	46
Figura 37 - Fluxo da encomenda para a recolha de sacos de matéria-prima B/C	47
Figura 38 - Fluxo seguido pela encomenda para colocar paletes de matéria-prima B/C na zona JJ.....	48
Figura 39 - Atualização do atributo "sacos_B"	48
Figura 40 - Request do empilhador com prioridade média	49
Figura 41 - Atribuição do atributo "tipo" à encomenda.....	49
Figura 42 - Decide utilizado para diminuir o número de estações auxiliares	50
Figura 43 - Lógica usada para determinar se existem sacos suficientes da matéria-prima A1	50
Figura 44 - Lógica seguida na realização de maquinas da matéria-prima A1	51
Figura 45 - Modelação da recolha dos sacos de matéria-prima A1 da palete enxertada	51
Figura 46 - Lógica seguida após a recolha dos sacos da palete em uso	51
Figura 47 - Lógica seguida pela entidade que representa a ordem de reposição.....	52
Figura 48 - Pickup dos sacos de matéria-prima B da zona de manipulação.....	52
Figura 49 - Decide que determina se o saco é recolhido da palete enxertada ou da palete fictícia.....	53
Figura 50 - Exemplos de caminhos possíveis e atualização das variáveis	53
Figura 51 - Representação das ordens de arrumação da zona de retorno	54
Figura 52 - Dropoff da entidade palete para a "area_JJ"	55
Figura 53 - Confirmação de que o picking está completo	55
Figura 54 - Delays que representam as deslocações do operador na zona de manipulação	55
Figura 55 - Alocação das unidades inteiras à encomenda e cintagem da palete final	56
Figura 56 - Contabilização de peso à palete final	56
Figura 57 - Procura das paletes inteiras com o mesmo número de encomenda	57
Figura 58 - Pickup das paletes inteiras procuradas.....	57
Figura 59 - Características das queues que armazenam as paletes a expedir.....	57
Figura 60 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de um camião CIN.....	58
Figura 61 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada da hora de entrega	58

Figura 62 - Geração de camiões e encomendas CIN Indústria e Exportação.....	59
Figura 63 - Seize do recurso fictício.....	59
Figura 64 - Atribuição do peso da primeira palete ao atributo “peso_possivel_ind”	59
Figura 65 - Decide que verifica se é possível introduzir a palete no camião	60
Figura 66 - Procura por uma palete com peso inferior à capacidade disponível	60
Figura 67 - Atualizações e reiniciações de algumas variáveis	61
Figura 68 - Lógica seguida para selecionar as paletes a entregar	61
Figura 69 - Decide que verifica a capacidade disponível do comboio	62
Figura 70 - Viagem do armazém de matérias-primas à nave C4.....	62
Figura 71 - Verificação se o grupo de entidades tem membros	62
Figura 72 - Verificação se o comboio tem paletes para a nave C1	62
Figura 73 - Capacidade dos recursos	63
Figura 74 - Capacidade e velocidade dos transportadores.....	63
Figura 75 - Distâncias entre estações.....	63
Figura 76 - Atributo que regista o tempo de chegada.....	66
Figura 77 - Procura por uma palete com o mesmo número de encomenda	66
Figura 78 - Decide que verifica paletes no comboio com o mesmo número de encomenda	67
Figura 79 - Cálculo do tempo de entrega.....	67
Figura 80 - Decide que define se a encomenda foi entregue dentro do prazo limite.....	67
Figura 81 - Exemplos de fórmulas utilizadas para calcular alguns indicadores de desempenho	68
Figura 82 - Exemplo de utilização dos módulos variable para a validação do modelo.....	69
Figura 83 - Exemplo da utilização do entity picture para validação do modelo	69
Figura 84 - Tempos de espera médios pelos recursos	73
Figura 85 - Número médio de entidades à espera dos recursos.....	73
Figura 86 - Variáveis atribuídas à entidade auxiliar.....	74
Figura 87 - Fluxo da entidade auxiliar	74
Figura 88 - Create que gera as encomendas da nave C1	74
Figura 89 - Decide que determina se existem mais encomendas para aquele dia.....	74
Figura 90 - Média e limites do intervalo de confiança a 95% do indicador da ocupação do armazém ..	76
Figura 91 - Create que gera a “ordem de entrega” no cenário 8	85
Figura 92 - Create que gera a “ordem de entrega” no cenário 9	87
Figura 93 - Percurso percorrido para a construção dos cenários.....	93

Figura 94 - Variação das taxas de chegada de encomendas e produção	95
Figura 95 - Modelo resultante do cenário 1	109
Figura 96 - Submodelo referente à atividade de receção e arrumação	109
Figura 97 - Submodelo referente à parte 1 do picking.....	109
Figura 98 - Submodelo referente à parte 2 do picking.....	110
Figura 99 - Submodelo referente à parte 3 do picking.....	110
Figura 100 - Submodelo referente à parte 4 do picking	110
Figura 101 - Submodelo referente à parte 5 do picking	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Soluções para as situações possíveis de melhorar na receção	31
Tabela 2 - Distribuição da nova capacidade de armazenagem pelos tipos de matérias-primas	35
Tabela 3 - Soluções para as situações possíveis de melhorar na arrumação	36
Tabela 4 - Soluções para as situações possíveis de melhorar no picking	38
Tabela 5 - Situações possíveis de melhorar na expedição e entrega	58
Tabela 6 - Exemplos de valores médios reais e resultante da simulação	70
Tabela 7 - Tipos e quantidades de recursos disponíveis no cenário 1	71
Tabela 8 - Indicadores de desempenho atuais e resultantes do primeiro cenário	72
Tabela 9 - Indicadores de desempenho do cenário 1 e 2	75
Tabela 10 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 1 e 2	75
Tabela 11 - Number busy dos recursos no cenário 2	77
Tabela 12 - Indicadores de desempenho do cenário 2 e 3	77
Tabela 13 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 2 e 3	78
Tabela 14 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 3 e 4	79
Tabela 15 - Indicadores de desempenho do cenário 3 e 4	79
Tabela 16 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 4 e 5	81
Tabela 17 - Indicadores de desempenho do cenário 4 e 5	81
Tabela 18 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 4 e 6	82
Tabela 19 - Indicadores de desempenho do cenário 4 e 6	83
Tabela 20 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 6 e 7	84
Tabela 21 - Indicadores de desempenho do cenário 6 e 7	84
Tabela 22 - Indicadores de desempenho do cenário 6 e 8	86
Tabela 23 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 6 e 8	87
Tabela 24 - Indicadores de desempenho do cenário 8 e 9	88
Tabela 25 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 8 e 9	88
Tabela 26 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 8 e 10	89
Tabela 27 - Indicadores de desempenho do cenário 8 e 10	90
Tabela 28 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 10 e 11	91
Tabela 29 - Indicadores de desempenho do cenário 10 e 11	91

Tabela 30 - Melhores (a verde) e piores (a vermelho) resultados para cada indicador.....	94
Tabela 31 - Efeitos de aumentos de 10%, 50%, 60% e 100% no número de encomendas	96
Tabela 32 - Distribuições estatísticas resultantes do Input Analyzer.....	103
Tabela 33 - Módulos do ARENA utilizados no projeto	107
Tabela 34 - Indicadores para aumentos de 10%, 50%, 60% e 100% no número de encomendas.....	112

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo pretende contextualizar o tema desta dissertação. Inicia-se com uma introdução ao tema, demonstrando a sua pertinência e a motivação para o seu estudo. Segue-se uma apresentação da empresa onde a investigação foi realizada, os objetivos de investigação e a metodologia seguida. No fim, é exposta a organização desta dissertação.

1.1 Enquadramento

A armazenagem tem como principais atividades a receção e arrumação de mercadoria oriunda dos fornecedores e a recolha e expedição da mesma para os clientes (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007). É uma área logística que integra outras como a gestão de inventários e dos transportes (Bowersox, Closs, & Cooper, 2010) e que representa cerca de 25% dos custos logísticos de uma empresa (Baker & Canessa, 2009). Logo, o armazém é essencial para a oferta de um bom serviço ao cliente e fulcral na cadeia de abastecimento (Baker & Canessa, 2009).

Devido à competitividade dos mercados, é essencial responder rapidamente às mudanças das necessidades dos consumidores, produzindo exatamente no tempo certo, na quantidade e qualidade desejada e ao mais baixo custo (Rewers, Trojanowska, & Chabowski, 2016). A adoção desta filosofia *just-in-time* acarreta novos desafios ao armazém, como um alto controlo do inventário e um baixo tempo de resposta (Gu et al., 2007). Por isso, o desempenho dos armazéns deve ser melhorado, diminuindo as ineficiências das suas atividades e tornando-as rentáveis em termos de custos (Dotoli, Epicoco, Falagario, Costantino, & Turchiano, 2015).

O desempenho de um armazém depende da sua configuração, o que é um processo complexo, já que muitas decisões estão interrelacionadas (Thomas & Meller, 2014). Envolve várias decisões como determinar a estrutura do armazém, dimensioná-lo, determinar o *layout* de cada departamento, selecionar os equipamentos a utilizar e definir as estratégias operacionais de funcionamento (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2010). Isto conduz a várias alternativas para a sua configuração, sendo que não existe um modelo ótimo (Thomas & Meller, 2014). Um bom modelo de desempenho ajuda a selecionar a melhor alternativa, pelo que deve-se selecionar cuidadosamente as medidas de desempenho operacionais a analisar (Gu et al., 2010).

De entre os métodos existentes para avaliar o desempenho, a simulação é a técnica mais utilizada (Gu et al., 2010). Dentro dos vários simuladores existentes, o ARENA é o mais usado para simular processos de negócio (Liong & Loo, 2009).

A literatura relacionada com simulação de armazéns apenas cobre partes do problema da configuração do mesmo. Por exemplo, muitos autores estudam os sistemas automáticos de armazenamento, outros determinam qual a melhor estratégia de *picking* e outros relacionam a estratégia de arrumação com a estratégia de *picking* para selecionar uma alternativa para o *layout* do armazém. Assim, esta dissertação pretende modelar um sistema que integre todas as decisões relacionadas com a configuração de um armazém.

A presente dissertação foi desenvolvida na empresa CIN - Corporação Industrial do Norte S.A., uma empresa que ambiciona crescer cada vez mais a nível internacional, apostando na melhoria e eficiência dos seus processos de negócio. Neste sentido, a unidade industrial da Maia iniciou um projeto de melhoria contínua visando aumentar a sua produtividade. Como consequência, tornou-se necessário libertar espaço nas naves industriais, para implementar outras atividades que acrescentem valor.

Atualmente, no momento da chegada de matérias-primas ao recinto da Maia, as mesmas são rececionadas e arrumadas num armazém central que expede a mercadoria conforme o necessário para as naves industriais. Nas naves industriais, é efetuada a pesagem da quantidade necessária de cada matéria-prima para aquela produção, sendo o restante armazenado num pequeno armazém nessa nave industrial. Devido ao projeto de melhoria contínua implementado, decidiu-se eliminar estes pequenos armazéns em todas as naves industriais.

Surge assim a necessidade de centralizar todos os armazéns de matérias-primas num único, bem como integrar a fase da pesagem das mesmas nesse armazém.

1.2 A CIN

A marca CIN foi criada após a fundação da Companhia Industrial do Norte, SARL, em 1917. Passados nove anos foi constituída a CIN - Corporação Industrial do Norte, Lda., designação que se mantém até hoje, sendo a sua atividade a produção e comercialização de tintas, vernizes e produtos afins. Esta empresa tem como missão a satisfação do cliente, oferecendo produtos com qualidade e apostando na sustentabilidade das suas operações e na inovação, para melhorar os seus processos e antecipar necessidades do mercado.

Atua em três áreas de negócio:

- Decorativos – onde se inserem tintas e vernizes de base aquosa e solvente, para a decoração de paredes exteriores e interiores, portas, janelas, etc.. É o segmento mais representativo da CIN;
- Protective coatings – destina-se à proteção anticorrosiva de estruturas de equipamentos de aço e betão quando expostas a ambientes agressivos, à proteção passiva ao fogo e ao revestimento de pavimentos industriais e comerciais;
- Indústria – os produtos deste segmento destinam-se às indústrias do metal, madeira, plásticos, vidros, repintura de veículos industriais e de transporte. Enquadra-se aqui as tintas em pó para os mercados da arquitetura, aplicações industriais, mobiliário metálico, utilidades domésticas e componentes automóveis.

Ao longo dos anos foi expandindo-se e adquirindo outras empresas, mantendo-se líder ibérica do setor desde 1995 e líder em Portugal desde 1992. Atualmente o grupo CIN é constituído por nove empresas que estão distribuídas por Portugal, Espanha, França, Angola e Moçambique. A atividade da CIN é assegurada por dez unidades fabris, três centros de Investigação & Desenvolvimento (I&D) e 14 centros de armazenamento e distribuição, chegando os seus produtos a 40 países da Europa, América, Ásia e África. Em Portugal, existe um centro de distribuição, uma unidade produtiva, que se dedica ao fabrico de tintas em pó (CIN Indústria) e uma outra unidade produtiva, que fabrica para todas as suas áreas de negócio. Esta última, onde se desenvolveu a presente dissertação, é constituída por um centro de I&D, um armazém central de matérias-primas (C0) e cinco naves industriais (C1, C2, C3, C4 e C5), que produzem diferentes tipos de produtos (Figura 1).

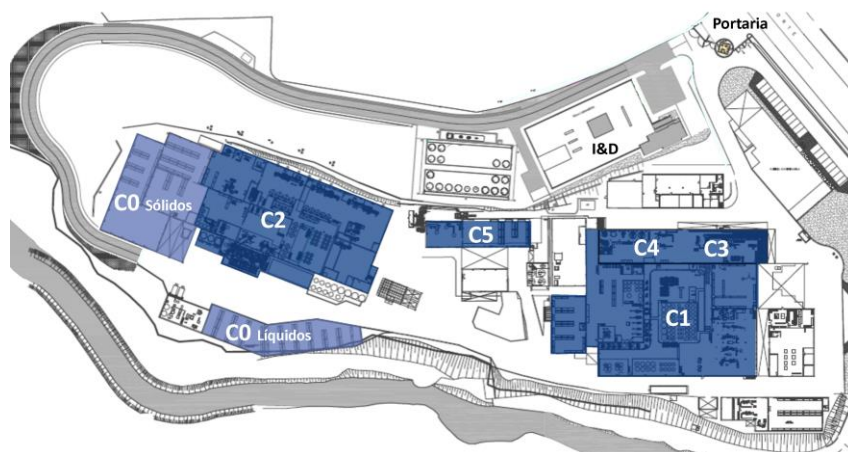


Figura 1 - Mapa da unidade produtiva da Maia

Como se verifica na figura anterior, o armazém de matérias-primas central está fisicamente dividido em dois. A zona exterior destina-se à armazenagem de matérias-primas líquidas e a zona interior destina-se

à armazenagem de matérias-primas sólidas. Diariamente, este armazém tem a função de rececionar as matérias-primas vindas dos fornecedores, de acordo com as encomendas realizadas pelo departamento de compras, e abastecer as naves industriais com a matéria-prima solicitada pelas mesmas, conforme as ordens de fabrico planeadas.

Este projeto está dividido em duas fases, sendo a primeira correspondente à integração dos pequenos armazéns das naves industriais e da atividade de pesagem no armazém de matérias-primas sólidas, e a segunda à integração do armazém de matérias-primas líquidas no armazém de matérias-primas sólidas. Dada a duração do estágio curricular, esta dissertação abordará apenas a primeira fase do projeto.

1.3 Objetivos de investigação

O principal objetivo deste trabalho consiste em reconfigurar o armazém de matérias-primas sólidas, centralizando aí todos os armazéns de matérias-primas sólidas atualmente existentes e integrando a fase de pesagem das mesmas, melhorando o seu desempenho. Assim, pretende-se responder à seguinte questão de pesquisa: “Recorrendo à simulação discreta, como configurar, organizar e operacionalizar um armazém de matérias-primas melhorando o seu desempenho?”

Para alcançar tal objetivo foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o sistema atual de armazenagem, desde a chegada de matérias-primas aos armazéns até à sua entrada na produção;
- Selecionar indicadores de desempenho adequados do funcionamento do armazém;
- Caracterizar a configuração e o funcionamento do armazém futuro;
- Modelação e simulação do armazém futuro;
- Criação e simulação de cenários operacionais alternativos para o armazém futuro;
- Comparação do desempenho do funcionamento dos vários cenários e identificação do cenário mais eficiente tendo em consideração as medidas de desempenho adotadas.

1.4 Metodologia de investigação

Esta investigação inicia-se com uma caracterização da situação atual do armazém de matérias-primas sólidas, recorrendo à observação e à recolha de dados, como os indicadores de desempenho atuais ou a procura de matérias-primas pela produção. Para além de compreender todas as atividades desde a

chegada da mercadoria até a sua saída, pretende-se detetar possíveis melhorias orientando a construção da configuração do armazém futuro.

A configuração proposta para o novo armazém é posteriormente modelada no ARENA, utilizando dados reais fornecidos pela empresa. Após a sua validação e simulação são obtidos os indicadores de desempenho, previamente selecionados, para esta solução. Verificadas as suas vantagens e desvantagens são construídos, simulados e discutidos cenários alternativos para determinar a solução mais vantajosa para este caso.

1.5 Estrutura da dissertação

Para além deste capítulo introdutório, a dissertação apresenta mais sete capítulos. No capítulo 2 é realizada uma revisão crítica da literatura sobre o tema para criar as bases em que se fundamenta esta investigação. No capítulo seguinte é apresentada a situação atual do armazém de matérias-primas sólidas, descrevendo todas as suas atividades principais. Posteriormente é caracterizada a solução proposta bem como detalhada a sua modelação. No capítulo 5 são definidos os indicadores de desempenho selecionados, para ajudar a determinar a solução mais vantajosa para o novo armazém, e é validado o modelo no ARENA. Seguidamente são apresentados os resultados deste cenário e discutidos possíveis melhorias com a apresentação de cenários alternativos e dos seus resultados. Por fim, são expostas as conclusões desta dissertação e as propostas de desenvolvimentos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Aqui, é exposta uma análise crítica da literatura relacionada com o tema. Para além dos conceitos-chave, são apresentadas e comparadas investigações de alguns autores, demonstrando o “estado de arte” na área em estudo.

2.1 O armazém

Face à crescente competição dos mercados, dispor dos materiais certos no momento certo é crítico para o sucesso de uma empresa. Logo, há um incentivo para as organizações deterem inventários, apesar dos seus altos custos (Roodbergen, Vis, & Taylor, 2015). No entanto, a armazenagem de produtos deve ser a mínima possível (Bowersox et al., 2010).

A necessidade de constituição de inventários advém do desfasamento temporal entre a procura e a produção, bem como, do comportamento distinto entre a procura e o abastecimento. Portanto, a existência de *stocks* permite absorver as oscilações da procura, dado que a mesma raramente é conhecida, assim como, atenuar os efeitos de situações de incerteza no abastecimento por parte dos fornecedores (J. C. Carvalho, 2012). Além disso, permitem diminuir os custos, obtendo descontos com encomendas de grande dimensão, ou encontrando um equilíbrio entre a quantidade a encomendar e os custos de manutenção de inventário (J. C. Carvalho, 2012).

Tradicionalmente, o armazém é visto como um local para guardar o inventário, mas a sua existência possibilita outros serviços como (Bowersox et al., 2010):

- Consolidação: recebendo materiais de diversas fontes, combinando-os nas quantidades exatas para a realização de uma única entrega a um determinado destinatário;
- Separação: recebendo um único carregamento e separando-o para a entrega a vários destinatários;
- Acomodar a produção ou procura sazonal: quando existem produtos que são produzidos o ano todo, mas vendidos apenas num pequeno período do ano, ou produtos que são produzidos apenas num período do ano, mas consumidos o ano inteiro;
- Serviços de valor acrescentado: como rotulagem, embalagem e personalização do produto;

- Logística inversa: atuando como centros de reparação ou de devolução de produtos defeituosos e embalagens (Baker & Canessa, 2009).

Muitos armazéns dependem de um sistema de gestão de armazém, WMS (*Warehouse Management System*) (Bowersox et al., 2010), para ajudar nas operações diárias, como na gestão de inventário, alocação dos produtos e força de trabalho. Este sistema monitoriza a movimentação e armazenagem dos materiais e permite otimizar a arrumação dos mesmos (Dotoli et al., 2015). Porém os WMS não rastreiam a informação relativa às operações do armazém em tempo real e necessitam de um recurso humano para introduzir essa informação manualmente ou através de um código de barras. Logo, a informação não é instantaneamente introduzida e o erro humano conduz à apresentação errada de dados por parte do WMS (Poon et al., 2009).

Com os sistemas de rádio frequência a informação relativa a uma referência, como o seu local ou o seu estado, está constantemente atualizada (Chen et al., 2013). Estes sistemas direcionam o operador nas suas tarefas, fornecem informação aos sistemas centrais de dados em tempo real (Bowersox et al., 2010). Chen et al. (2013) atestou as vantagens da integração do sistema de RFID (*Radio-Frequency Identification*) num centro de distribuição com melhorias no seu desempenho.

2.1.1 A armazenagem *lean*

A armazenagem implica altos custos já que incorpora muitas atividades que não acrescentam valor (Dharmapriya & Kulatunga, 2011). Porém, desempenha um papel crítico na cadeia de abastecimento razão pela qual, qualquer melhoria no armazém contribui para a redução dos custos da empresa e a oferta de um melhor serviço ao cliente (Roodbergen et al., 2015). É necessário, assim, otimizar as operações do armazém, eliminando as suas ineficiências (Dotoli et al., 2015).

A produção *lean* objetiva a eliminação de todas as fontes de desperdício que ocorrem na produção, reduzindo os custos de produção, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo entre a ordem de compra e a entrega do produto final ao consumidor (Rewers et al., 2016). Para tal, segue cinco princípios (Hines, Found, Griffiths, & Harrison, 2011):

- Definir o que cria valor da perspetiva do cliente;
- Identificar todas as fases da cadeia de valor para realçar as atividades que não acrescentam valor;
- Tornar o fluxo das atividades que acrescentam valor contínuo;

- Fazer apenas o que é “puxado” pelo cliente;
- Ambicionar a perfeição, removendo continuamente desperdício à medida que é descoberto.

O desperdício que não acrescenta valor ao cliente resulta de sete fontes: produção excessiva, inventário, erros e defeitos, tempos de espera, processamento excessivo, transporte e movimentos desnecessários (Rewers et al., 2016).

O conceito *lean* está relacionado com o princípio *just-in-time*, o que implica produzir apenas os produtos necessários, no tempo e na quantidade desejada. Por isso, segue o sistema *pull*, no qual a produção prossegue à medida que cada processo puxa os materiais necessários do processo anterior (Hassan & Kajiwara, 2013). Para coordenar este processo, recorre ao *Kanban*, um sistema de informação usado para controlar o número e as características dos produtos a serem produzidos em cada etapa (Hassan & Kajiwara, 2013).

A diminuição do desperdício é um processo iterativo, pelo que a abordagem da melhoria contínua (*Kaizen*) é a base da produção *lean* (Dotoli et al., 2015). O *Kaizen* implica uma procura constante por ideias que melhorem todas as áreas da organização, com o objetivo de substituir desperdício por atividades que acrescentem valor (Rewers et al., 2016).

Apenas recentemente se começou a aplicar o conceito *lean* aos armazéns. Dotoli et al. (2015) defende que apenas integrando as ferramentas *lean*, se aborda o problema da gestão do armazém de forma mais lógica. Dharmapriya and Kulatunga (2011) propôs um *layout* de um armazém construído com o auxílio das técnicas *lean*, reduzindo os custos de movimentação inerentes.

2.2 Configuração do armazém

A configuração do armazém é fundamental para atingir os objetivos do armazém (Dharmapriya & Kulatunga, 2011). Por isso, é necessário ter em consideração aspetos como a minimização do tempo de ciclo de uma encomenda, a maximização da ocupação do espaço, a maximização da utilização dos recursos e a diminuição dos custos (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Porém, não existe uma abordagem sistemática para a configuração de um armazém (Dotoli et al., 2015), porque é um processo complexo que envolve muitas decisões interligadas, levando a imensas alternativas (Thomas & Meller, 2014).

Segundo Baker and Canessa (2009), a configuração de um armazém começa com a definição dos requisitos do sistema dentro do qual o armazém opera, como a estratégia de negócio e as suas restrições.

Após, é necessário recolher e analisar dados para definir, por exemplo, o perfil das encomendas dos clientes, dos produtos e do inventário. A terceira fase da configuração de um armazém, a mais problemática para os *designers*, consiste na determinação dos processos operacionais de cada atividade. Posteriormente, identifica-se os tipos de equipamentos a serem utilizados e calculam-se as suas capacidades e quantidades. Por fim, é possível preparar os possíveis *layouts* para identificar a melhor alternativa.

Gu et al. (2010) resumiram o problema da configuração do armazém em cinco decisões. A primeira implica a determinação do padrão de fluxo de materiais e a especificação dos departamentos funcionais e como estes se relacionam. A segunda envolve a determinação da capacidade de armazenagem e da área total do armazém, assim como, o dimensionamento de cada departamento. Para cada departamento define-se ainda o seu *layout*, com a especificação, por exemplo, da configuração dos corredores. A quarta decisão define os equipamentos a utilizar, e a última as estratégias operacionais. Dotoli et al. (2015) define genericamente o problema em três aspetos: políticas operacionais, *layout* e tipo de equipamentos utilizados, que serão definidos conforme as características dos produtos e os padrões da procura.

2.2.1 Políticas operacionais

Pode-se resumir as atividades do armazém em quatro: receção, arrumação, *picking* e expedição. As duas primeiras desencadeadas pela chegada de mercadoria dos fornecedores, e as duas últimas desencadeadas pela chegada de encomendas dos clientes (J. C. Carvalho, 2012).

a) Receção

A receção de mercadoria oriunda dos fornecedores pode englobar os seguintes processos (J. C. Carvalho, 2012):

- Programação das chegadas, facilitando a gestão dos cais de carga e dos operadores de armazém;
- Alocação dos veículos aos cais de descarga;
- Descarga da mercadoria, recorrendo a um equipamento de manuseamento;
- Conferência da mercadoria efetivamente rececionada. Se existirem erros a mercadoria deverá ser devolvida devendo a mesma ser colocada numa zona própria;
- Paletização/repaletização da mercadoria;

- Definição da localização da mercadoria na zona de armazenagem;
- Atualização do stock informático.

Gopakumar, Sundaram, Wang, Koli, and Srihari (2008) simularam esta atividade com o objetivo de atribuírem os camiões aos cais de descarga de uma forma eficiente. Já Boysen, Fliedner, and Scholl (2010) estudaram esta atividade no contexto do *cross-docking*.

Segundo Gu et al. (2007), os investigadores têm-se focado no problema da atribuição dos camiões aos cais de descarga nos armazéns *cross-docking*. Neste tipo de armazéns, a mercadoria é descarregada do camião do fornecedor e separada conforme os seus destinos. Seguidamente a mesma é colocada nos camiões para a entrega aos clientes. O objetivo principal é eliminar a armazenagem e reduzir o manuseamento e os prazos de entrega, diminuindo os custos e mantendo o nível de serviço (Liu & Takakuwa, 2009). Porém, isto implica uma coordenação do fluxo de chegada de mercadoria com o fluxo de saída de mercadoria crítica para o sucesso desta operação (Boysen et al., 2010).

b) Arrumação

A arrumação consiste em determinar onde colocar os diversos produtos no armazém diminuindo os custos de manuseamento e maximizando a utilização do espaço. Os produtos podem ser armazenados em diferentes departamentos e cada departamento pode estar dividido em zonas. Por exemplo, pode existir um departamento dedicado a um cliente específico, o que significa que a mesma referência pode estar em várias localizações (Gu et al., 2007).

Existem três métodos para a arrumação da mercadoria (J. C. Carvalho, 2012):

- Localização fixa, na qual uma determinada posição está reservada para um determinado produto. Esta localização pode ser definida, por exemplo, com base na rotação dos produtos, e não exige um código de localização. Por outro lado, e dado que o espaço para cada referência é dimensionado para o stock máximo, na maioria do tempo haverá subutilização de espaço. Além disso, será difícil lidar com aumentos de stock;
- Localização aleatória, onde a mercadoria é alocada aleatoriamente dentro dos espaços vazios existentes nesse momento. Por isso, é necessário a existência de um registo detalhado das localizações e quantidades de cada referência, atualizando-o sempre que haja uma movimentação em armazém. Este método permite uma elevada utilização do espaço e uma fácil adaptação às variações nos níveis de stock. Por outro lado, pode aumentar a distância percorrida

no *picking*, já que para completar o *picking* de uma referência poderá ser necessário deslocar-se a várias posições;

- Localização mista, que é uma combinação dos dois métodos anteriores. Aqui, a área de armazenagem está dividida em zonas nas quais as referências são alocadas de acordo com um critério pré-definido, como tamanho, características do produto (Dharmapriya & Kulatunga, 2011) ou rotação (Roodbergen et al., 2015). No entanto, dentro de cada zona as referências são alocadas aleatoriamente.

O estudo desta atividade tem aumentando nos últimos anos. No entanto, os autores focam-se no estudo da localização aleatória com o intuito de investigar os métodos de *picking* (de Koster et al., 2007).

c) *Picking*

O *picking* consiste na recolha dos produtos do seu local de armazenagem para satisfazer as encomendas dos clientes (Roodbergen et al., 2015). Tal atividade tem impacto no tempo de entrega, no custo e na qualidade da encomenda, sendo por isso bastante importante para a satisfação das necessidades dos clientes (J. C. Carvalho, 2012).

O seu principal objetivo é maximizar o nível de serviço, pelo que minimizar o tempo de execução desta atividade é fundamental. Dado que as viagens são o elemento que mais contribui para o aumento desse tempo, e são um desperdício, é necessário minimizar a distância percorrida (de Koster et al., 2007).

Assim, o *picking* é considerada a atividade crítica do armazém e a mais dispendiosa em capital e trabalho (Roodbergen et al., 2015). Logo, é necessário definir cuidadosamente como será realizada.

Esta atividade pode ser efetuada apenas numa pequena área do armazém, onde são colocados os produtos com maior rotação, diminuindo as deslocações dos operadores. Isto implica um reabastecimento constante desta área, pelo que é necessário balancear a poupança conseguida com o custo adicional resultante dos reabastecimentos (de Koster et al., 2007). Outro facto a considerar é a maior acessibilidade aos produtos. Além disso, não havendo uma área destinada ao *picking*, é possível que o número de paletes enxertadas seja maior, o que diminui a capacidade de armazenagem (Bahrami, Aghezzaf, & Limere, 2016).

Um conceito semelhante é o armazenamento dinâmico, onde os produtos são colocados nas localizações de *picking* dinamicamente, no momento exato do *picking*, através, por exemplo, de carrosséis (de Koster et al., 2007). Yu and de Koster (2010) estudou este último conceito, organizando as encomendas em grupos.

Assim, existem dois tipos de *picking* (J. C. Carvalho, 2012):

- *Man-to-part*, onde o operador se desloca até à localização do produto;
- *Part-to-man*, onde o produto chega ao operador, através, por exemplo, de carrosséis.

Existem várias estratégias para realizar o *picking*. As quatro estratégias base, de onde derivam todos os outros, são (J. C. Carvalho, 2012; de Koster et al., 2007; Gagliardi, Renaud, & Ruiz, 2007):

- *Pick by order*: aqui, o operador recolhe todos os itens de uma encomenda e apenas quando essa encomenda está satisfeita passa à seguinte. Este método é muito demorado e pouco produtivo já que implica várias deslocações. Por outro lado, diminui a possibilidade de erros;
- *Batch picking*: o operador recolhe em cada localização a quantidade de materiais necessária para satisfazer um conjunto de encomendas. A produtividade é elevada, mas há uma maior propensão para erros já que é necessário separar as encomendas durante (*sort-while-pick*) ou após (*pick-and-sort*) o *picking*;
- *Zone picking*: neste método, a área de *picking* ou o armazém são divididos em várias zonas. Em cada zona existe um operador que recolhe os produtos de uma encomenda dessa zona. É aconselhável para armazéns com vários sistemas de armazenagem em que os operadores de cada zona trabalham sempre com o mesmo equipamento. Além disso, reduz o congestionamento. Este método pode ser classificado em *progressive zoning*, se cada encomenda passa de zona para zona sequencialmente, ou *synchronised zoning*, se cada encomenda é recolhida simultaneamente nas várias zonas e consolidada apenas no final;
- *Wave picking*: as encomendas são recolhidas de forma a cumprir um escalonamento de entrega. Normalmente são agrupadas em *batch*, cujo seu tamanho depende do tempo disponível para realizar um *batch*.

O equipamento que recolhe as paletes armazenadas e as coloca no ponto de depósito, para, por exemplo, o operador recolher as unidades encomendadas de cada referência, pode fazê-lo de três modos (de Koster et al., 2007):

- Único: apenas uma unidade é transferida da sua localização para o ponto de depósito ou o contrário. Neste modo operativo o equipamento realiza a viagem de regresso em vazio;
- Duplo: primeiro é arrumada uma unidade transferindo-a do ponto de depósito para a sua localização e posteriormente outra unidade é retirada da sua localização e colocada no ponto de depósito;

- Múltiplo: possibilita retirar e arrumar varias unidades num único ciclo.

Para os armazéns cuja configuração permite realizar várias rotas para satisfazer uma encomenda, existem várias heurísticas e algoritmos ótimos para determinar as melhores rotas de *picking* (Roodbergen, Sharp, & Vis, 2008). Exemplos de algumas rotas são (Thomas & Meller, 2014):

- *S-shape*: na qual o operador atravessa todo o corredor que tenha pelo menos uma localização para realizar o *picking*;
- Retorno: onde o operador atravessa o corredor até à última localização de *picking* e retorna para o início do corredor;
- Ponto médio: onde o operador percorre o corredor até ao seu ponto médio e caso uma localização do produto seja após esse ponto, esse *picking* é realizado pelo corredor oposto;
- Maior lacuna: em que o operador evita o trajeto em vazio maior onde não há *picking*, retornando ao início do corredor quando o encontra, e recolhe os produtos restantes através do corredor oposto (Roodbergen et al., 2015);
- Combinada, resulta da política *S-shape* combinada com a política da maior lacuna (Roodbergen et al., 2015).

Os investigadores, no que concerne ao *picking*, têm-se focado mais nos sistemas *part-to-man* do que nos sistemas *man-to-part*. Possivelmente, porque os primeiros são parcial ou totalmente automatizados, o que desperta o interesse dos investigadores (de Koster et al., 2007). Já Roodbergen et al. (2008), estuda os sistemas tradicionais de armazenagem. Propõe um método para otimizar o *layout* de uma área de *picking* de acordo com as políticas de arrumação e *picking* pressupostas. Chan and Chan (2011) simulou vários cenários com diferentes combinações de políticas de arrumação e *picking* e mediu o seu desempenho em termos de tempo de recolha e distância percorrida.

d) Expedição

Após o *picking*, a palete é preparada para a expedição ao cliente, realizando-se por exemplo a cintagem da mesma. Posteriormente as paletes são consolidadas junto ao cais e carregadas no veículo de acordo com o LIFO (*last in, first out*), isto é, a primeira paleta a entrar no veículo detém os produtos encomendados pelo último cliente a ser visitado na distribuição (J. C. Carvalho, 2012).

Tal como a atividade de receção, a investigação desta atividade tem-se focado nas operações de *cross-docking* (Gu et al., 2007).

2.2.2 Dimensionamento

O dimensionamento de um armazém é um processo complexo que tem implicações nos custos, na capacidade de armazenamento, no reabastecimento do mesmo e na manipulação de materiais (Gu et al., 2010).

O armazém tem vários departamentos, como uma área dedicada ao *picking* ou uma área dedicada a um tipo de produtos, que competem entre eles por espaço (Gu et al., 2010). Para além da área de armazenagem, é necessário espaço para a movimentação, para a receção e expedição de mercadoria e ainda um local para as tarefas administrativas (J. C. Carvalho, 2012).

O dimensionamento de um armazém começa com uma projecção do volume total de stock armazenado durante um determinado período (Bowersox et al., 2010). Porém as previsões para longos períodos não são fiáveis e é difícil definir para que nível de atividade deve ser realizado o dimensionamento (J. C. Carvalho, 2012).

Se se considerar que o dimensionamento será feito com base nas previsões de um determinado ano e nesse ano espera-se que as vendas tenham um comportamento uniforme ao longo do ano, a complexidade deste processo é diminuída. Começa-se por dimensionar o espaço de armazenagem, tendo em conta as previsões de venda, a política de gestão de inventários, a dimensão da palete e como será feito o aproveitamento em altura (J. C. Carvalho, 2012). Gu et al. (2010) refere que é necessário ter em conta a sazonalidade, a política de armazenagem e as características das encomendas, pois só assim se consegue definir qual o espaço do armazém que estará efetivamente ocupado.

2.2.3 Layout

Para além das estratégias de armazenamento e de *picking*, a forma do armazém afeta diretamente a distância percorrida. Afeta também o número e o comprimento dos corredores, pelo que a forma é um aspeto importante na configuração de um armazém (Thomas & Meller, 2014).

No desenho do *layout*, é fundamental ter em atenção a atribuição das posições de armazenagem aos vários tipos de produtos. Os produtos com alta rotação devem ser colocados nos níveis mais baixos e próximos das portas, minimizando a distância percorrida. Por outro lado, deve-se ter em conta outras características dos produtos. Por exemplo, produtos pesados devem ser colocados nos níveis mais baixos minimizando a sua elevação (Bowersox et al., 2010). Chan and Chan (2011) concluiu que a utilização de uma classificação ABC vertical (onde o A representa os produtos com maior rotação e C os produtos

com menor rotação) apresenta melhores valores para os tempos de recolha dos produtos, mas piores valores para a distância percorrida, quando comparada com a classificação ABC horizontal.

O *layout* deve facilitar o fluxo de materiais (Bowersox et al., 2010), podendo o mesmo ser desenhado seguindo um fluxo direcionado ou quebrado. A distância percorrida num armazém de fluxo quebrado é menor do que num fluxo direcionado, mas o congestionamento é maior (J. C. Carvalho, 2012).

Um armazém é constituído por, pelo menos, um ponto de recolha e depósito (P&D), onde se iniciam e terminam as rotas de *picking*; vários corredores com posições para recolha de produtos, e, pelo menos, um corredor dedicado à troca destes (Roodbergen et al., 2008). Estes últimos corredores não têm posições para recolha de produtos mas permitem reduzir a distância percorrida entre posições sucessivas na mesma rota (Gue & Meller, 2009). No entanto, requerem espaço adicional do armazém (Thomas & Meller, 2014). Se o *picking* e a arrumação é realizada exclusivamente em ciclos únicos, a existência destes últimos corredores não acarreta nenhuma vantagem (Gue & Meller, 2009).

Gue and Meller (2009), Cardona, Rivera, and Martínez (2012) e Öztürkoğlu, Gue, and Meller (2012) estudaram *layouts* alternativos ao tradicional com corredores oblíquos. *Layouts* como o “*fishbone*” ou o “*flying V*”, podem reduzir a distância percorrida em 12% e 20% respetivamente, em ciclos únicos para a arrumação e o *picking* (Gue & Meller, 2009). Já Glock and Grosse (2012) propuseram um armazém dividido em zonas nas quais as estantes estão colocadas em forma de U.

2.2.4 Equipamentos

O problema da seleção do equipamento implica definir os tipos de sistemas de armazenagem e de movimentação de materiais a utilizar, determinando o nível de automação do armazém. Usualmente esta decisão é tomada com base na experiência dos *designers* (Gu et al., 2010).

Existem imensas soluções para a armazenagem de materiais como empilhamento em bloco, estantes convencionais e de dupla profundidade, *drive-in e drive-through*, estantes gravitacionais, estantes móveis e sistema *push-back* (Frazelle, 2002).

À semelhança das soluções para a armazenagem de materiais, as soluções para a movimentação de materiais são também bastantes. Existem empilhadores, “*towlines*”, comboios logísticos, transportadores, carrosséis e outros (Bowersox et al., 2010).

Todos estes equipamentos têm as suas vantagens e desvantagens que se refletem no espaço ocupado, necessidade de recursos humanos e investimento necessário, o que se reflete na produtividade do armazém (Bowersox et al., 2010). O empilhamento em bloco permite uma boa utilização do espaço na

horizontal, mas em certos momentos pode deter muitos espaços vazios, já que um corredor apenas comporta uma referência. As estantes convencionais podem armazenar uma maior diversidade de referências, mas implicam a existência de mais corredores. O *drive-in e drive-through*, são sistemas semelhantes ao empilhamento em bloco que possibilitam uma melhor utilização do espaço em altura. O sistema *push-back*, semelhante ao drive in, possui uma ligeira inclinação na superfície que apoia as paletes. Consequentemente, quando se arruma uma palete ocorre o recuo das paletes existentes, e a recolha de uma palete provoca o efeito contrário. Desta forma, aproveita melhor o espaço do que os sistemas anteriores já que cada nível pode comportar uma referência, mas acarreta mais custos, assim como as estantes móveis ou outros sistemas mais automatizados. Os comboios logísticos, que permitem transportar várias unidades para vários destinos na mesma rota, diminuem os custos do transporte, mas requerem um investimento mais elevado do que os empilhadores. Os empilhadores têm como vantagem, a possibilidade da movimentação em altura.

Segundo Roodbergen et al. (2015), a escolha de equipamentos depende das características do produto e da frequência da procura.

2.3 Desempenho

A avaliação de desempenho é necessária para identificar as opções para a configuração e operacionalização do armazém que trazem mais vantagens (Johnson & McGinnis, 2010).

Staudt, Alpan, Di Mascolo, and Rodriguez (2015), depois de uma revisão bibliográfica agrupou os indicadores operacionais em quatro grupos: tempo, qualidade, custo e produtividade e de acordo com as atividades do armazém. Destaca que os seguintes indicadores são os mais utilizados:

- Produtividade do trabalho – Rácio do número total de itens manipulados pelo número de horas totais destinadas à manipulação de itens;
- Taxa de produção – Número de itens produzidos por cada hora de trabalho;
- Entregas a tempo – Número de encomendas rececionadas pelos clientes até à data prometida;
- Prazo de entrega – Tempo decorrido desde a encomenda do cliente até à receção da mesma pelo cliente;
- Custos de inventário – Custos totais de armazenagem por unidade armazenada.

J. Carvalho et al. (2001) faz uma classificação semelhante dos indicadores de desempenho logístico. Nível de ocupação média dos veículos, percentagem de ocupação do espaço em armazém, percentagem

de utilização de equipamento, custo total de distribuição médio mensal e número médio de movimentações foram alguns dos indicadores que deu como outros exemplos.

2.4 Simulação

Usualmente, os gestores estudam um sistema para medir o seu desempenho, melhorar as suas operações, ou desenhá-las caso não existam. Podem recorrer a vários métodos para estudar um sistema, sendo a simulação um deles (Kelton, 2004).

A simulação é o processo de criar um modelo computacional de um sistema real ou proposto para compreendermos o seu comportamento sob determinadas condições. É o método mais utilizado, porque consegue construir um modelo bastante complexo, enquanto que outros métodos podem exigir simplificações de alguns pressupostos para permitir a sua análise. No entanto, os sistemas reais lidam com dados aleatórios, o que implica que os seus resultados sejam também aleatórios. Por exemplo, num centro de distribuição, as chegadas dos camiões seguem uma determinada distribuição probabilística, pelo que em diferentes simulações os resultados, como o tempo de ciclo, serão diferentes. Porém, com simulações mais longas a média tenderá a estabilizar, mas é difícil determinar o momento em que isto acontece. Logo é necessário analisar cuidadosamente os resultados das simulações (Kelton, 2004).

Esta ferramenta é muito usada na engenharia industrial para aumentar a capacidade produtiva e os lucros de uma empresa (Liong & Loo, 2009). Tem sido a abordagem mais popular para estudar as operações de um armazém, mais concretamente para validar o desempenho de determinada configuração ou dos equipamentos de manuseamento de materiais a utilizar (Gagliardi et al., 2007). No entanto, o tempo de desenvolvimento de um modelo e as qualificações necessárias para o seu desenvolvimento reduzem o número de utilizadores (Kelton, 2004).

O ARENA é um simulador muito usado na simulação de processos de negócios e operações de eventos discretos. Utiliza módulos predefinidos, que representam processos e lógica, e linhas conetoras que ligam os vários módulos, indicando o fluxo das entidades. Após a simulação, os dados estatísticos, como tempos de espera, são apresentados automaticamente nos seus relatórios (Liong & Loo, 2009).

A construção de um modelo implica a criação de entidades que desencadeiam o seu funcionamento. A estas entidades são atribuídos atributos, que permitem diferenciar os vários tipos de entidades. Ao longo da simulação os eventos podem alterar esses atributos e ainda as variáveis, que são características do sistema, ou os acumuladores estatísticos, de onde se obtêm os resultados das medidas de desempenho. Antes da simulação é imperativo definir as condições iniciais e o tempo de simulação (Kelton, 2004).

Há muitos estudos que simulam sistemas AR/RS (*automated storage and retrieval system*), como em Ekren and Heragu (2010) e em Kumar, Roy, and Tiwari (2014). Já Liong and Loo (2009) usaram a simulação, mais concretamente o ARENA, para avaliar as alternativas estratégicas que diminuem o tempo de permanência de um camião no armazém, bem como minimizar os custos operacionais envolvidos. Gagliardi et al. (2007) utilizaram a simulação para verificar o impacto das estratégias de armazenagem e *picking* no desempenho do armazém, enquanto que Roodbergen et al. (2008) apenas usaram a simulação para validar o seu modelo analítico. Bahrami et al. (2016) simularam um sistema com o objetivo de diminuir a rotura de stock e a distância percorrida na área de *picking*. Gopakumar et al. (2008) aliou a simulação à filosofia *lean* para melhorar o processo de receção e arrumação modificando o processo de alocação dos camiões aos cais. E Liu and Takakuwa (2009) modelaram um sistema de *cross-docking* para melhorarem o planeamento dos seus recursos humanos.

Face ao exposto, existem vários autores que estudam como definir a configuração de um armazém, recorrendo muitos deles à simulação, o que torna este tema bastante complexo e atual.

3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ATUAL

Diariamente o armazém realiza várias atividades auxiliares, como o inventário de graneis, sendo a recepção, a arrumação, o *picking* e a expedição e entrega de matérias-primas as suas atividades principais. Para a realização das suas tarefas, o armazém conta com cinco operadores aptos a realizar qualquer tarefa, exceto as tarefas administrativas realizáveis apenas pelo encarregado do armazém e pelo seu substituto. O armazém está capacitado com uma bandeadora de filme estirável e três empilhadores, sendo um deles elétrico e o único que deve movimentar-se dentro do CO sólidos.

Atualmente é possível armazenar a mercadoria em estantes convencionais ou em empilhamento em bloco. Neste *layout*, existe uma zona para a colocação de filme estirável nas paletes (processo aqui designado por cintagem), um gabinete (onde são realizadas as tarefas administrativas) e uma zona de recepção e expedição (Figura 2).

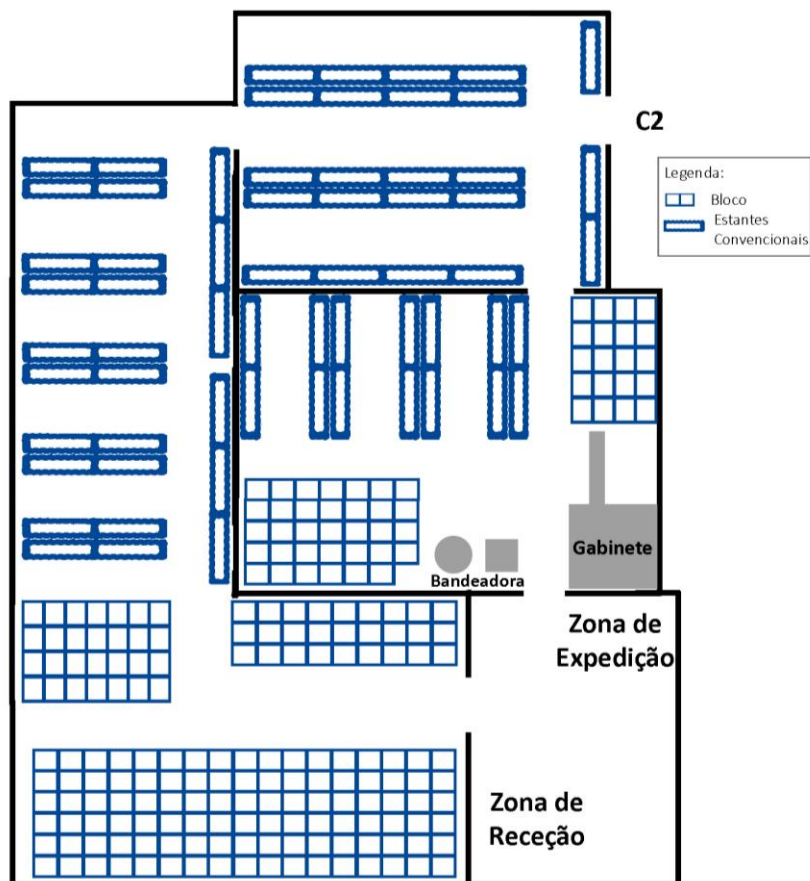


Figura 2 - *Layout* atual do armazém de matérias-primas sólidas

Neste capítulo será descrito o funcionamento atual das principais atividades do armazém e identificadas oportunidades de melhoria das mesmas.

3.1 Receção

No momento de chegada de um camião à portaria da CIN, o encarregado do armazém é avisado via telefone que, dependendo de vários fatores (ex: data marcada para a entrega da encomenda), autoriza ou não a descarga.

A mercadoria é rececionada em paletes, a mesma forma que é armazenada, compostas por várias unidades inteiras, que podem corresponder a sacos, *big bags* ou caixas de cartão. O camião é descarregado utilizando um empilhador, que empilha as paletes na zona de receção (Figura 3).



Figura 3 - Zona de receção do armazém

Posteriormente, procede-se à confirmação física da mercadoria rececionada com a nota de receção, validando o nome comercial e a quantidade. Se existir alguma diferença, a mercadoria é rececionada e registada uma “não conformidade” ao fornecedor.

De seguida, o encarregado do armazém regista informaticamente a mercadoria efetivamente rececionada no ERP (*Enterprise Resource Planning*) da CIN e o WMS atribui a cada palete a posição onde será arrumada. Imprime as etiquetas de identificação da matéria-prima e da posição atribuída pelo WMS. As etiquetas são colocadas nas paletes rececionadas e, caso seja necessário recolher uma amostra da matéria-prima para o centro de I&D analisar, é colocada uma etiqueta cor de laranja.

Durante a observação, foram detetadas as seguintes oportunidades de melhoria:

- O encarregado necessita de verificar informaticamente se o camião preenche os requisitos para ser descarregado e de imprimir a nota de receção;
- Caso exista um corredor livre na área destinada ao armazenamento em bloco e o número de paletes a descarregar de uma matéria-prima seja elevado, essas paletes podem ser descarregadas diretamente para a área destinada à armazenagem em bloco. Consequentemente, muitas dessas paletes não estarão identificadas com etiquetas;

- Dificuldade na descarga de camiões, utilizando ganchos extensores ou porta-paletes para auxiliar a descarga;
- O registo informático da mercadoria rececionada para a impressão de etiquetas e, conseqüentemente, a colocação das etiquetas e arrumação da matéria-prima, é uma tarefa da exclusiva responsabilidade do encarregado do armazém;
- Congestionamento na zona de receção, já que se encontra junto à zona de expedição.

3.2 Arrumação

A arrumação da matéria-prima pode ser precedida de uma tarefa adicional de recolha de amostra. A CIN tem com a maioria dos seus fornecedores acordos de qualidade concertada em que não exige a recolha de amostras na sua receção. No entanto permanecem casos onde antes da atividade de arrumação é necessário recolher uma amostra. Estes casos são parametrizados no ERP e são identificados com a impressão do boletim de inspeção.

As paletes são depois arrumadas nas posições identificadas pelas etiquetas, em estantes convencionais (Figura 4) ou em bloco (Figura 5), utilizando um empilhador.



Figura 4 - Armazenagem em estantes convencionais



Figura 5 - Armazenagem em bloco

A gestão das posições é efetuada pelo WMS, conforme as características da paleta (ex: dimensão e peso), não existindo uma localização fixa para a matéria-prima. Quando não existe espaço livre em armazém, o WMS atribui a posição “*overflow*” e a paleta permanece na zona de receção. Se a atribuição de produtos é feita para a área destinada ao armazenamento em bloco, o WMS não distingue os vários corredores, pelo que é o operador que tem de determinar em que corredor arrumar.

Como situações possíveis de melhorar foram detetadas:

- A recolha de amostra é feita em momento diferente do momento de receção da mercadoria;
- Se for necessário recolher amostra, a palete pode não estar acessível;
- Recorrendo ao empilhamento em bloco, os garfos do empilhador podem danificar a mercadoria;
- Dada a falta de posições livres, são realizados ajuste manuais, desajustando paletes de uma posição para colocar noutra devido à diferença de alturas nas estruturas ou para o cumprimento do FEFO (first expire first out) na área destinada ao armazenamento em bloco;
- Quando a palete fica localizada em “*overflow*”, é o encarregado que tem de a ajustar manualmente quando deteta que tem posição para ela.

3.3 *Picking*

O armazém de matérias-primas envia matéria-prima sólida para as naves industriais C1, C2, C3 e C4, mas também para outras empresas do grupo, tanto portuguesas (CIN Indústria) como internacionais (Exportação).

É utilizado o *picking man-to-part* e o método *picking by order*. Assim, o WMS gera uma *pick list*, garantindo o FEFO, que indica a quantidade e a ordem pela qual recolher cada matéria-prima em cada localização. Esta ordenação pretende que as matérias-primas sejam recolhidas inversamente à sua entrada na produção, para que não seja necessário ordená-las após o *picking*.

Quando é rececionada uma encomenda, o encarregado tem a função de gerar a *pick list* através do WMS, e imprimir as etiquetas para identificar as unidades inteiras e o destino (C1, C2, C3, C4, CIN Indústria ou Exportação) de cada paleta. Durante o *picking*, estas etiquetas são colocadas nas unidades inteiras.

A quantidade encomendada de uma matéria-prima pode dar origem ao *picking* de paletes inteiras e/ou ao *picking* de unidades inteiras. Neste último caso, o WMS dá prioridade às paletes já manipuladas. Por exemplo, se uma encomenda solicitar 1025 kg da matéria prima X, é recolhida uma paleta inteira com 40 sacos de 25 kg, que pesa 1000 kg, e um saco de uma paleta já enxertada.

Se a *pick list* indicar a recolha de paletes inteiras (Figura 6), é necessário um empilhador e um operador para a recolha da paleta da posição indicada e a sua colocação na zona de expedição. Se a *pick list* indicar a recolha de unidades inteiras (Figura 7), é necessário um empilhador e dois operadores, diminuindo o esforço realizado pelos operadores na transferência das unidades inteiras. As paletes resultantes do *picking* de unidades inteiras são cintadas, para um melhor transporte, e colocadas na zona de expedição.



Figura 6 - *Picking* de paletes inteiras



Figura 7 - *Picking* de unidades inteiras

Por fim, o encarregado efetua a transição informática de todos os consumos, e imprime as guias de remessa que são entregues juntamente com a encomenda.

Assim, pode-se melhorar as seguintes situações:

- O *picking* envolve demasiado trabalho administrativo para a impressão das *pick list* e etiquetas;
- São necessários dois operadores para efetuar o *picking* de uma encomenda, se esta requerer o *picking* de unidades inteiras;
- É necessário um empilhador para a recolha de paletes, no entanto o mesmo está em repouso durante a transferência dos sacos, assim como um dos operadores está em repouso durante o tempo de arrumação/desarrumação da paleta da posição;
- O WMS não distingue corredores na área destinada à armazenagem em bloco, pelo que a *pick list* não identifica a localização exata dos produtos arrumados nessa área, sendo necessário procurá-los no momento do *picking*.

3.4 Expedição e entrega

A expedição de matéria-prima para a CIN Indústria ou Exportação é feita com a carga do camião respetivo e a entrega das guias de remessa e de transporte.

Dada as restrições de espaço nas naves industriais, a entrega para estes locais acontece de forma normalizada seguindo os horários definidos: C1 (13h às 14h), C3 (das 8h às 11h), C4 (das 8h às 10h).

A zona de receção da nave C2 situa-se junto ao armazém pelo que, após o *picking*, as paletes são colocadas diretamente na zona de receção do C2.



Figura 8 - Carga de camião



Figura 9 - Zona de expedição do armazém

A expedição e entrega da mercadoria é feita com o recurso a um empilhador a *diesel*, transportando uma única paleta de cada vez. É possível que todas as paletes referentes a uma encomenda não sejam entregues sequencialmente, uma vez que estas podem não estar juntas na zona de expedição devido à falta de espaço nesta zona.

Nesta atividade, é possível melhorar as situações seguintes:

- Dificuldade na carga dos camiões;
- A entrega da mercadoria às naves implica várias viagens;
- Na zona de expedição, as encomendas encontram-se misturadas, pelo que as paletes de uma encomenda não são entregues sequencialmente.

3.5 Pesagens

Uma ordem de fabrico necessita de várias matérias-primas com quantidades diferentes, pelo que, na maioria dos casos, é necessário pesar algumas matérias-primas. Isto porque a quantidade requerida na ordem de fabrico não é múltipla do peso da unidade inteira. Por exemplo, se a ordem de fabrico necessita de 315 kg de uma matéria-prima, cujos sacos de unidades inteira pesam 20 kg, será necessário fazer o *picking* de 15 sacos e pesar mais 15 kg. Esta quantidade parcelar é identificada vulgarmente como maquia na CIN. Os restantes 5kg ficam armazenados até que seja necessário realizar novamente uma maquia.

A operação de pesagem é a primeira etapa no processo de fabrico e é realizada atualmente por um operador com o apoio de um empilhador, nas naves industriais.

Nesta atividade, foram identificadas as seguintes oportunidades de melhoria:

- Podem existir vários sacos abertos da mesma matéria-prima, um em cada nave industrial;
- Os sacos abertos ficam armazenados em cada nave até que apenas aquela nave necessite de realizar outra maquia.

4. CARACTERIZAÇÃO E MODELAÇÃO DO ARMAZÉM FUTURO

A modelação de um sistema implica a definição das entidades, recursos, transportadores e atividades realizadas, bem como, a associação de tempos de realização dos vários processos, distâncias entre todas as estações e a definição da cadência de chegada de entidades.

Assim, para os processos que existem no armazém atual, como a recolha de amostra, realizaram-se 20 observações de cada um dos processos. Os resultados foram introduzidos na ferramenta do ARENA, *Input Analyser*, o que permitiu obter uma distribuição estatística que modela a ocorrência desses tempos. Para os processos que não existem no sistema atual, foi indicada uma distribuição estatística pelo responsável do projeto da CIN, o qual auxiliou também na estimativa das distâncias entre as várias localizações físicas.

A cadência de chegadas das entidades, bem como a sua composição (ex: número de paletes transportadas num camião), foram tratadas no *Input Analyser* usando os dados relativos ao último ano. Todas as distribuições estatísticas, resultantes do tratamento dos dados no *Input Analyser*, são apresentadas no Anexo I.

Além disso, como é impraticável representar todas as matérias-primas num modelo, uniram-se em três grupos de acordo com uma determinada característica (análise ABC). Para este cenário foi conveniente realizar uma análise ABC com base no número de sacos separados (Figura 10), sendo a categoria A correspondente a 20% das matérias-primas com maior número de sacos separados no último ano. Dentro da categoria A, metade das matérias-primas são classificadas como A1 ou A2, conforme detenham mais ou menos maquinas realizadas, respetivamente.

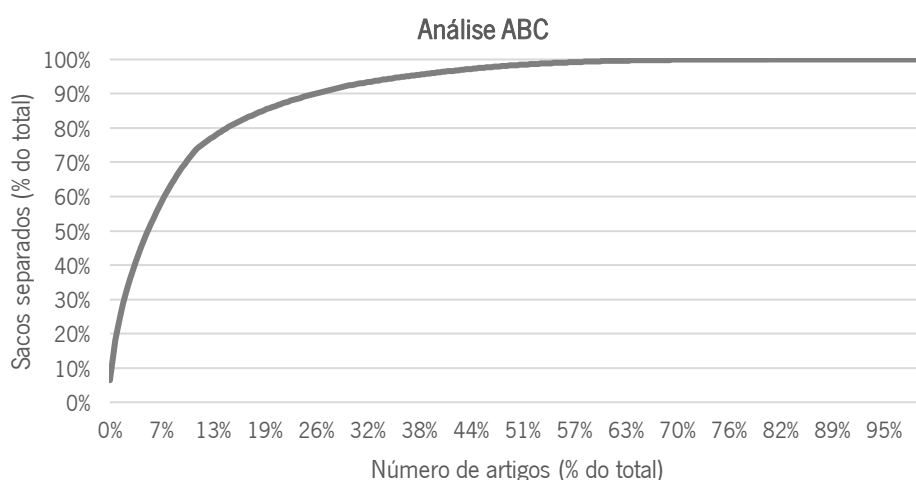


Figura 10 - Análise ABC por sacos separados

Isto implica que cada uma das matérias-primas apresentadas no modelo (A1, A2, B e C) representam um conjunto de matérias-primas. Significa isto que, a recolha de, por exemplo, 10 sacos da matéria-prima X e 10 sacos da matéria-prima Y envolve o *picking* em duas paletes diferentes. No entanto, como ambas as matérias-primas pertencem à categoria A1, a recolha destes 20 sacos na modelação é representada apenas por uma paleta – a paleta da matéria-prima A1. Porém, como o número de sacos a recolher corresponde à soma do número de sacos de todas as matérias-primas da categoria correspondente, uma paleta não é suficiente para cobrir a necessidade total, pelo que terá de se realizar o *picking* em várias paletes. Assim, a média dos indicadores ao longo do tempo tenderá a convergir para a média real.

O armazém futuro inclui uma reestruturação do armazém, ampliando o mesmo 80% em área, e alterando o *layout* de acordo com a figura seguinte:

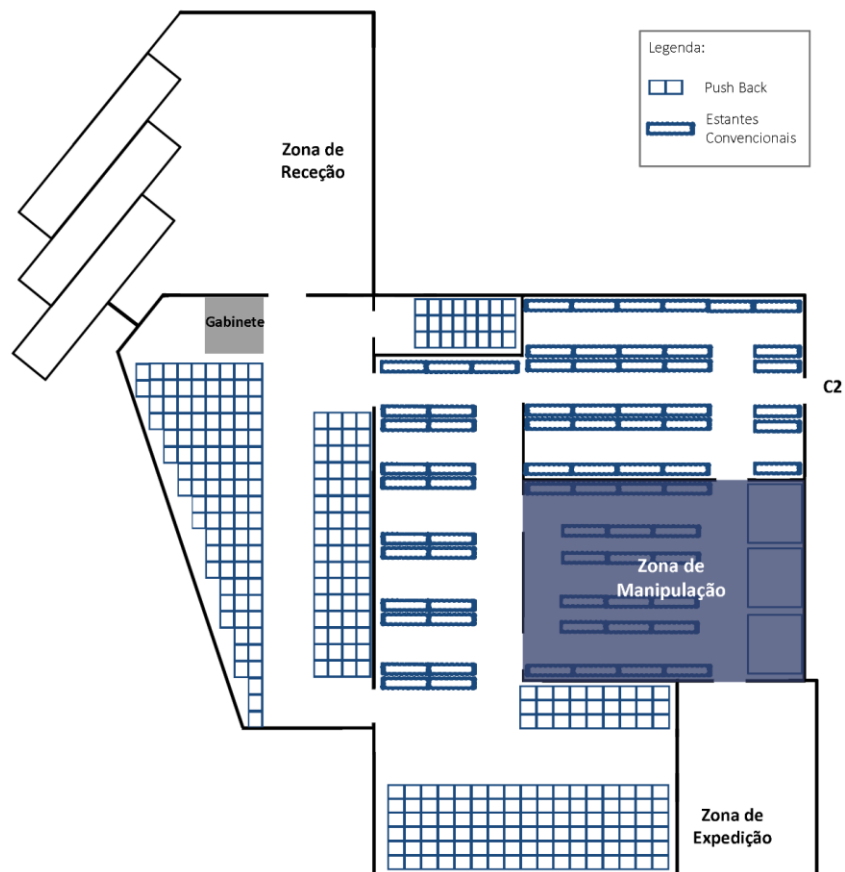


Figura 11 - *Layout* proposto para o armazém futuro

São contruídos três cais de descarga, facilitando a carga e a descarga de mercadorias e a matéria-prima será armazenada, sob a forma de paletes, em estantes convencionais ou em sistemas *push back*.

Apenas numa zona é realizado o *picking* de unidades inteiras e maquiãs (zona de manipulação), sendo as restantes zonas frequentadas exclusivamente pelo operador com empilhador. Será implementado ainda o sistema de radiofrequência, diminuindo as tarefas administrativas.

Nos próximos capítulos serão utilizados termos específicos da modelação do ARENA, os quais serão formatados em itálico. No Anexo II encontra-se a definição dos elementos do ARENA utilizados neste projeto e no Anexo III o modelo e os submodelos resultantes.

4.1 Receção

Perante as situações possíveis de melhoria detetadas na caracterização do sistema atual, idealizaram-se as seguintes soluções:

Tabela 1 - Soluções para as situações possíveis de melhorar na receção

Situações possíveis de melhorar	Soluções
O encarregado necessita de verificar informaticamente se o camião preenche os requisitos para ser descarregado e de imprimir a nota de receção.	Existência de um ficheiro que indique se a encomenda é rececionada ou não. O porteiro possibilita a entrada do camião quando existir um cais disponível.
Caso exista um corredor livre na área destinada ao armazenamento em bloco e o número de paletes a descarregar de uma matéria-prima seja elevado, essas paletes podem ser descarregadas diretamente para a área destinada à armazenagem em bloco. Consequentemente muitas dessas paletes não estarão identificadas com etiquetas.	Todas as paletes são colocadas na zona de receção e só depois arrumadas.
Dificuldade na descarga de camiões, utilizando ganchos extensores ou porta-paletes para auxiliar a descarga.	Construção de um cais de descarga.
O registo informático da mercadoria rececionada para a impressão de etiquetas e, consequentemente, a colocação das etiquetas e arrumação da matéria-prima, é uma tarefa da exclusiva responsabilidade do encarregado do armazém.	Com a utilização de radiofrequência, os terminais que os operadores utilizam registam automaticamente a mercadoria rececionada e atribuem posições às paletes. Os operadores têm autonomia para depois imprimir as etiquetas necessárias e colocá-las nas paletes.
Congestionamento na zona de receção, já que se encontra junto à zona de expedição.	Zona de expedição é afastada da zona de receção.
A recolha de amostra é feita em momento diferente do momento de receção da mercadoria.	A recolha de amostra é feita após a conferência e identificação da mercadoria.
Se for necessário recolher amostra, a paleta pode não estar acessível.	A arrumação da mercadoria é feita após a receção, o que diminui a necessidade de se recorrer ao empilhamento na zona de receção. Assim, todas as paletes estão acessíveis para a recolha de amostra.

Neste cenário, pressupõe-se que quando um camião chega à CIN, o porteiro permite a descarga do mesmo se houver um cais disponível. Informa o encarregado e este atribui a tarefa de descarga a um operador (tratamento da atividade). Utilizando um empilhador, o operador efetua a descarga das paletes para a zona de receção. No fim, o operador confere a mercadoria rececionada com o indicado no seu terminal de radiofrequência, sendo o registo informático da mercadoria feito automaticamente, assim como a atribuição de posições às paletes rececionadas. Posteriormente, o operador imprime e coloca em todas as paletes as etiquetas de identificação da mercadoria e de posição e recolhe amostra, caso seja necessário. Em suma, a chegada de um camião do fornecedor, origina a realização das seguintes tarefas:

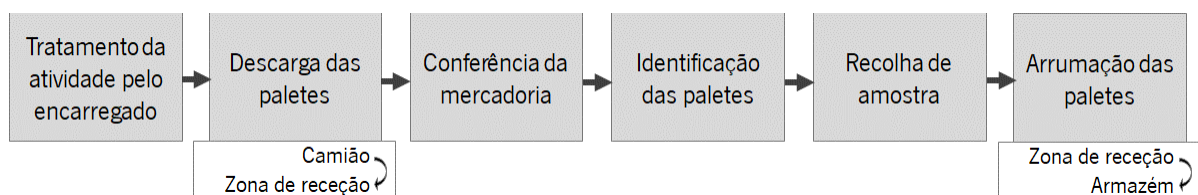


Figura 12 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de um camião

4.1.1 Modelação da receção

A modelação desta atividade inicia-se com a geração da entidade camião com a utilização de um *create*. A distribuição estatística que representa o número de encomendas que chegam diariamente ao armazém, obtida com *Input Analyser*, foi introduzida neste módulo, com o prefixo ANINT, para a criação de números inteiros, e a função matemática $MX(\text{distribuição}, 0)$ para a criação de números positivos (Figura 13).

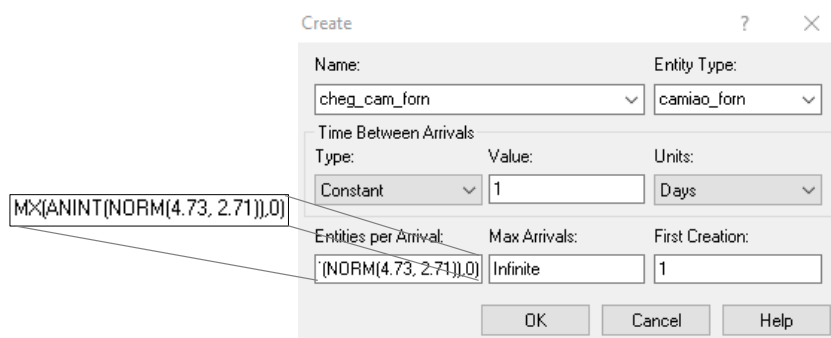


Figura 13 - Geração do número de encomendas

A cada encomenda gerada são atribuídos vários atributos (*attribute*), que representam o número de paletes transportadas de cada matéria-prima (A1, A2, B e C), o número de amostras que terão de ser recolhidas de cada encomenda e outros atributos auxiliares (ex: "pal_transp_total", que representa o número total de paletes que o camião transporta) para utilizar posteriormente (Figura 14).

Assignments

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	n_amostra	$MX(ANINT(POIS(0.326)),0)$
2	Attribute	pal_transp_MPA1	$MX(ANINT(-0.5 + LOGN(2.28, 4.93)),0)$
3	Attribute	pal_transp_MPA2	$MX(ANINT(-0.5 + 23 * BETA(0.194, 2.95)),0)$
4	Attribute	pal_transp_MPB	$MX(ANINT(-0.5 + 25 * BETA(0.453, 8.33)),0)$
5	Attribute	pal_transp_MPC	$MX(ANINT(-0.5 + LOGN(1.71, 2.34)),0)$
6	Attribute	pal_transp_total	pal_transp_MPA1 + pal_transp_MPA2 + pal_transp_MPB + pal_transp_MPC
7	Attribute	pal_arrumar_total	pal_transp_total
8	Attribute	pal_arrumar_total2	pal_arrumar_total

Figura 14 - Atributos associados a cada encomenda

Os camiões dos fornecedores chegam de forma variada ao longo do dia, pelo que se adicionou um *delay* cujo tempo de espera é modelado por uma distribuição estatística. Os dados utilizados para a obter variam entre 0 (o que significa que o camião chega às 8h) e 7, logo se o tempo de espera deste *delay* for 3, o camião chega à CIN às 11h (8h+3h).

Utilizou-se o módulo *seize* para a ocupação do recurso cais (que representa os diversos cais de descarga). Com o recurso ocupado, recorre-se ao *separate* para duplicar a entidade. Desta forma, a entidade original representa o camião e a duplicada a “ordem de descarga”. A primeira entidade, a entidade camião, por sua vez, duplica-se várias vezes de forma a converter a encomenda em paletes para que estas possam ser descarregadas (Figura 15).

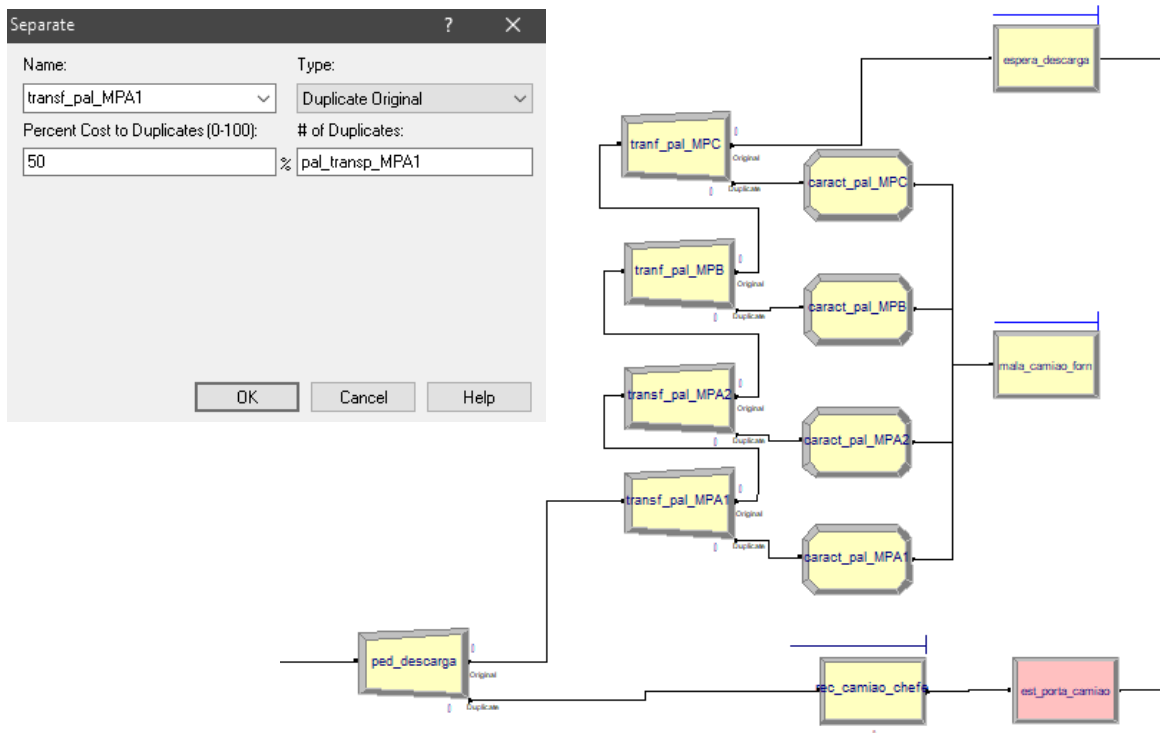


Figura 15 - Conversão da entidade encomenda em várias entidades paletes

A entidade original camião espera num *hold* por um sinal, que é emitido quando a descarga estiver concluída, para libertar o recurso cais e sair da CIN. Às entidades duplicadas pelo atributo, que representa o número de paletes transportadas de cada matéria-prima, é-lhes atribuída um novo *entity type*, e os atributos que caracterizam a matéria-prima, como, por exemplo, o peso da paleta. A entidade que representa a ordem de descarga passa por um processo (*process*) que ocupa o encarregado do armazém de matérias-primas, aqui representado pelo recurso “chefe”.

Para a descarga do camião, a entidade “ordem de descarga” utiliza os módulos *request* e *seize* para ocupar um empilhador e um operador, respetivamente. Como o encarregado também realiza as mesmas funções dos operadores foi criado um *set* com os recursos operador e chefe. Este *set* segue a regra *preferred order*, logo, apenas quando não existem operadores disponíveis, é ocupado o chefe. Assim, sempre que é necessário um operador, é realizado o *seize* de um recurso deste *set*.

De seguida, recorre-se ao módulo *pickup* para recolher uma paleta do camião e transportá-la para a zona de receção, através de um *transport*. Com o módulo *dropoff* a paleta é colocada na zona de receção, ficando esta num *hold* à espera de ser arrumada. Ainda nesta estação é atualizado o atributo “*pal_transp_total*” sendo decrementada uma unidade ao valor atual do atributo (Figura 16).

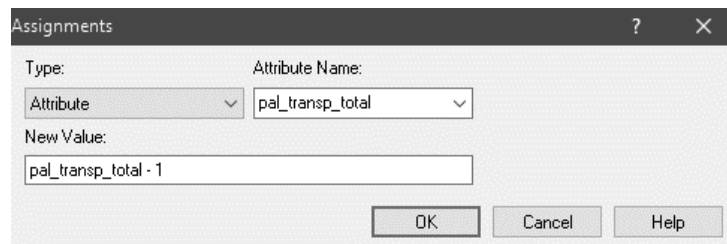


Figura 16 - Atualização do atributo "pal_transp_total"

Após, o transportador regressa à estação inicial “*porta_camiao*” e realiza-se novamente o processo de descarga de uma paleta. Por isso, a primeira vez que a entidade atravessa esta estação é marcada com um atributo “*fase_rec*”, com o valor de 1, para não requisitar novamente um empilhador e um operador quando voltar à estação “*porta_camiao*” (Figura 17).

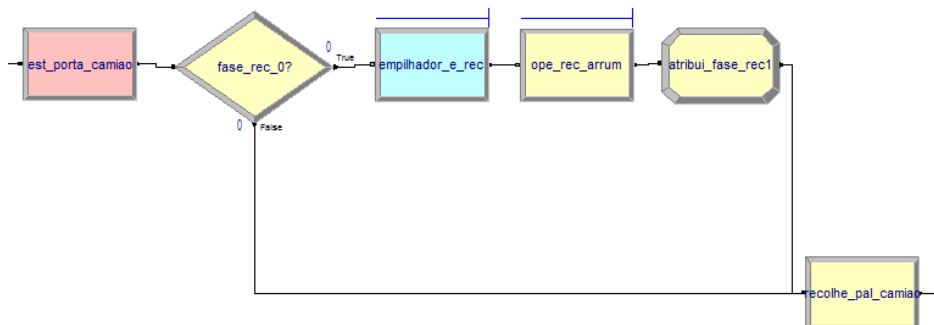


Figura 17 - *Decide* que define o caminho seguido pelo camião conforme o atributo "fase_rec"

Quando o atributo “pal_transp_total” (que indica o número de paletes que faltam descarregar) chegar a 0, o empilhador é libertado com um *free* (Figura 18), é conferida a mercadoria com um *delay* dado o sinal de descarga concluída, com um *signal*, para que a entidade camião liberte o recurso cais.

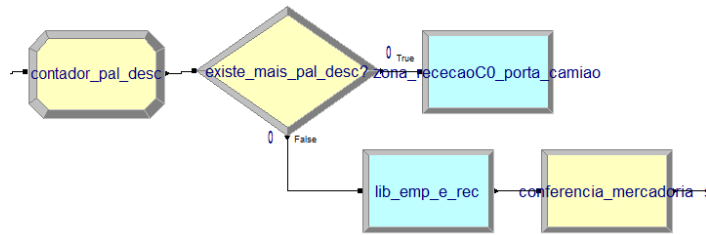


Figura 18 - Libertação do recurso empilhador

É registada informaticamente a mercadoria rececionada e são colocadas as etiquetas que identificam a mercadoria e a localização de destino da paleta, com um *delay*. O tempo deste processo depende do número de paletes descarregadas, assim como o tempo da recolha de amostras depende do número de amostras necessárias (Figura 19).

Figura 19 - *Delay* do processo de retirar amostra

Aqui termina o processo de receção de mercadoria, no entanto o operador não é libertado, dado que a arrumação desta encomenda é feita imediatamente após a sua receção.

4.2 Arrumação

Neste modelo presume-se que, caso não haja posições livres para arrumar uma paleta, o WMS sinalize quando existir espaço para essa paleta, para a mesma ser arrumada. Para o primeiro cenário, a capacidade máxima do armazém (1186) foi distribuída da seguinte forma:

Tabela 2 - Distribuição da nova capacidade de armazenagem pelos tipos de matérias-primas

Tipo	Nº Posições
A1	223
A2	223
B	440
C	300

A Tabela 3 demonstra as soluções apresentadas para as oportunidades de melhoria detetadas.

Tabela 3 - Soluções para as situações possíveis de melhorar na arrumação

Situações possíveis de melhorar	Soluções
Recorrendo ao empilhamento em bloco, os garfos do empilhador podem danificar a mercadoria.	As estruturas do sistema <i>push back</i> impedem o contacto de duas paletes e consequentemente o contacto dos garfos do empilhador com a mercadoria.
Dada a falta de posições livres, são realizados ajustes manuais, desajustando paletes de uma posição para colocar noutra devido à diferença de alturas nas estruturas ou para o cumprimento do FEFO na área destinada ao armazenamento em bloco.	Aumento da capacidade de armazenagem com a ampliação do armazém, novo <i>layout</i> e utilização do sistema <i>push back</i> .
Quando a paleta fica localizada em “ <i>overflow</i> ”, é o encarregado que tem de a ajustar manualmente quando deteta que tem posição para ela.	Modificação do WMS para que o mesmo sinalize quando houver posições livres.

4.2.1 Modelação da arrumação

A modelação da arrumação da mercadoria segue a mesma lógica da receção. É feita a requisição de um empilhador e o transporte das paletes da zona de receção para as respetivas posições de armazenamento, caso haja espaço para as arrumar. Por isso, antes do transporte, é verificado se o armazém tem capacidade para armazenar aquela matéria-prima (Figura 20).

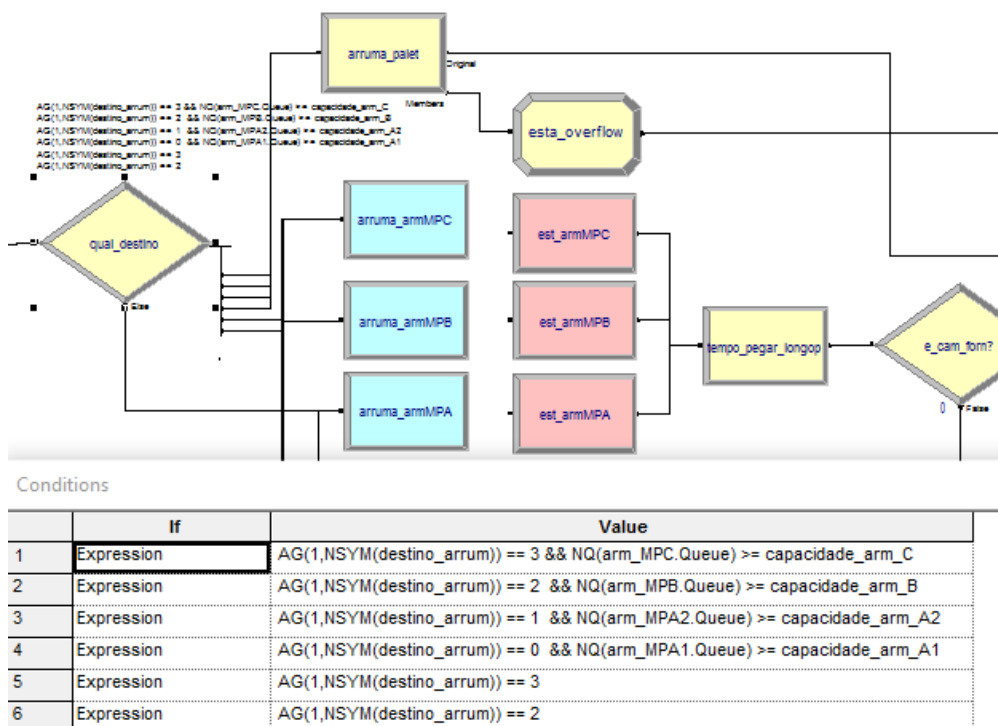


Figura 20 - Decide que define se a paleta é arrumada

Se sim, a matéria-prima é arrumada. Se não, a paleta é classificada com “*overflow*” através de um atributo e aguarda na zona de receção até que haja capacidade. Para isso, conforme o tipo de matéria-prima, a paleta aguarda num *hold* por um sinal. Quando o recebe, requisita um empilhador e um operador e verifica novamente se há espaço (Figura 21). Isto porque, enquanto aguarda pelos recursos a posição pode ser ocupada.

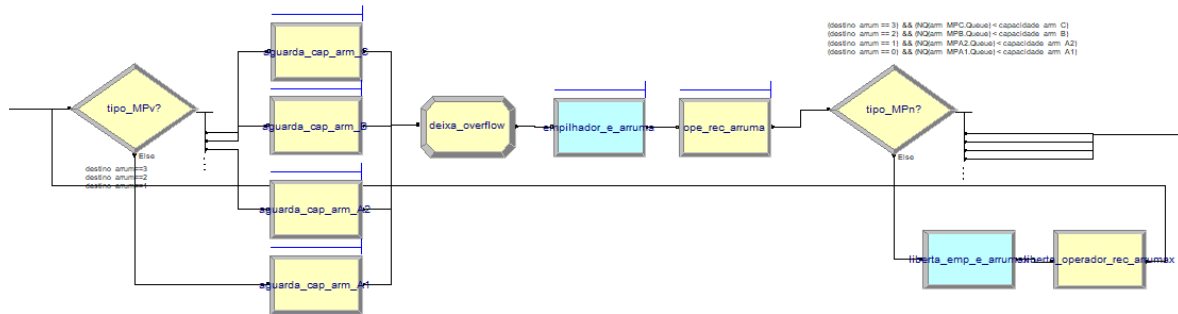


Figura 21 - Fluxo seguido quando a paleta fica classificada como "overflow"

Num ciclo contínuo verifica-se, a cada minuto, se a capacidade de armazenagem para cada tipo de matéria-prima é inferior à capacidade máxima (Figura 22). E caso seja, é dado o respetivo sinal, para os *holds* correspondentes libertarem uma paleta. A capacidade máxima é definida por quatro variáveis globais.

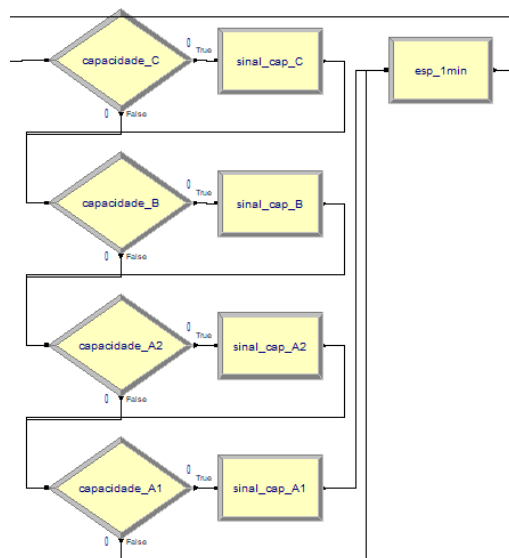


Figura 22 - Ciclo que verifica a capacidade de armazenagem

Havendo espaço, a paleta é arrumada no respetivo local, representado por *holds* e são-lhes atribuídas as características dessa paleta, como o peso.

4.3 *Picking*

Com as oportunidades de melhoria encontradas, propõem-se as soluções da Tabela 4.

Tabela 4 - Soluções para as situações possíveis de melhorar no *picking*

Situações possíveis de melhorar	Soluções
O <i>picking</i> envolve demasiado trabalho administrativo para a impressão das <i>pick list</i> e etiquetas.	Utilização de radiofrequência e impressão de etiquetas pelos operadores, diminuindo o trabalho administrativo e aumentando a autonomia dos operadores na execução das suas tarefas.
São necessários dois operadores para efetuar o <i>picking</i> de uma encomenda, se esta requerer a recolha de unidades inteiras.	O <i>picking</i> de unidades inteiras passa a ser realizado com um operador e um manipulador de sacos.
É necessário um empilhador para a recolha de paletes, no entanto o mesmo está em repouso durante a transferência dos sacos, assim como um dos operadores está em repouso durante o tempo de arrumação/desarrumação da paleta da posição.	Reformulação da atividade do <i>picking</i> , sendo o <i>picking</i> de unidades inteiras sequencial e independente do <i>picking</i> de paletes inteiras.
O WMS não distingue corredores na área destinada à armazenagem em bloco, pelo que a <i>pick list</i> não identifica a localização exata dos produtos arrumados nessa área, sendo necessário procurá-los no momento do <i>picking</i> .	O WMS indica o corredor e o nível em que se encontra o produto na zona de <i>push back</i> .

Com a utilização da radiofrequência, passa a não ser necessário a impressão das *pick list* a impressão de etiquetas passa a ser realizada pelos operadores aquando da realização das encomendas, excetuando-se as etiquetas para as paletes inteiras. Estas continuam a ser impressas pelo encarregado de armazém quando este trata a encomenda recebida. O encarregado tem ainda a tarefa de efetuar as guias de remessa, quando a encomenda estiver concluída.

Pressupõe-se que o WMS consegue diferenciar os corredores e níveis do *push back* existentes, para que o operador consiga identificar a posição exata onde arrumar ou recolher as paletes, deslocando-se objetivamente a essa posição.

O novo modelo envolve o recurso a um manipulador de sacos, para que o operador consiga realizar de forma autónoma a recolha de unidades inteiras, ocorrendo o *picking* de unidades inteiras e a realização de maquinas apenas numa zona do armazém (Figura 23). Desta forma, a necessidade de um empilhador para a realização de uma encomenda diminui, mas continua a ser necessário na recolha de paletes de matéria-prima B e C para a separação de unidades inteiras e na recolha de paletes inteiras.

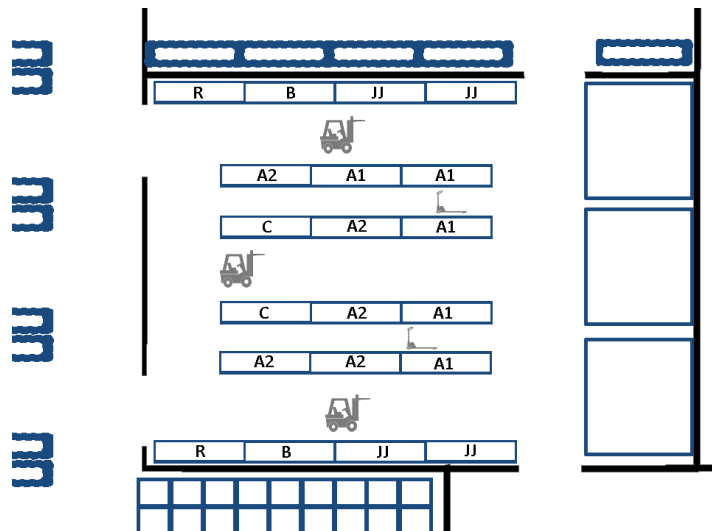


Figura 23 - Zona de manipulação

Na zona de manipulação existem:

- Duas paletes de cada matéria-prima A1 e A2, uma no primeiro nível das estantes e outra no segundo, acessíveis com um porta-paletes elevatório. Para o *picking* de sacos e/ou a realização de maquias, o operador com o porta-paletes recolhe a paleta enxertada, para uma das mesas de manipulação onde existe o manipulador de sacos e uma balança (Figura 24). Após o *picking*, o operador arruma a paleta na mesma posição e, caso a paleta do primeiro nível acabe, sinaliza a reposição dessa matéria-prima. A reposição requer um empilhador e um operador para colocar uma paleta inteira no segundo nível;
- Dois sacos de cada matéria-prima B e C, na mesma posição. Estas posições existem apenas para a realização de maquias. O operador com o porta-paletes recolhe a paleta para a mesa de manipulação onde realiza a maquia e volta a arrumar a paleta na mesma posição (Figura 25). Caso um dos sacos acabe, o operador sinaliza a reposição desse saco. Para tal, é necessário um empilhador e um operador para recolher um saco da paleta enxertada dessa matéria-prima e colocá-lo na posição correspondente;
- A zona JJ destina-se a colocar temporariamente as paletes enxertadas de matéria-prima B e C, para o *picking* de sacos. Previamente, um operador com o empilhador coloca as paletes necessárias na zona JJ. Posteriormente, o operador recolhe essa paleta e separa os sacos solicitados. Se restarem sacos na paleta, a mesma é colocada na zona de retorno para depois o empilhador voltar a arrumá-la (Figura 26).

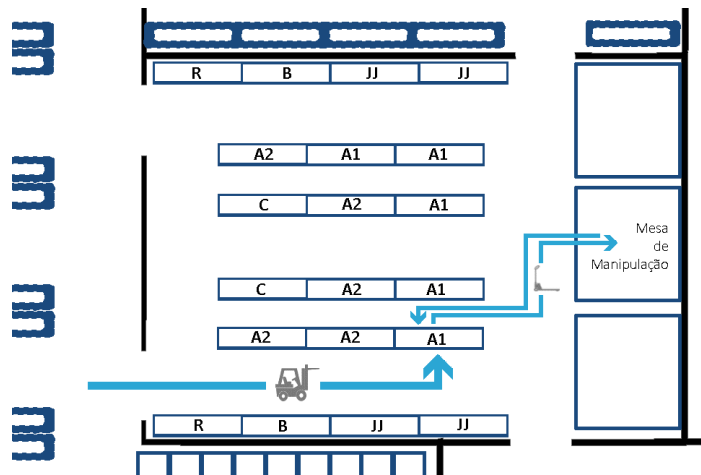


Figura 24 - Manipulação das matérias-primas A1 e A2 na zona de manipulação

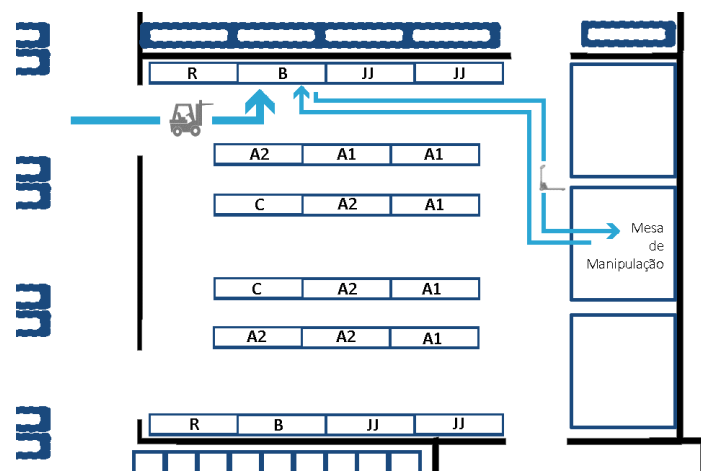


Figura 25 - Manipulação das matérias-primas B e C na zona de manipulação

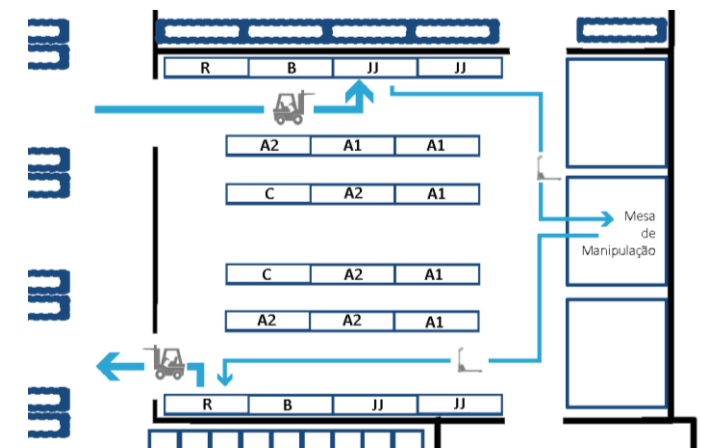


Figura 26 - Fluxo de matérias-primas B e C na zona de JJ e retorno

Quando a encomenda estiver completa, a paleta formada pelas unidades inteiras é cintada e colocada na zona de expedição respetiva. De notar que, o *picking* de unidades inteiras pode originar a construção de mais do que uma paleta. Neste modelo assumiu-se a construção de apenas uma já que é o mais provável.

Uma encomenda acarreta o *picking* de paletes inteiras, unidades inteiras e realização de maquias. Assim, quando se recebe uma encomenda em primeiro lugar são realizadas as tarefas que necessitam do empilhador, *picking* de paletes inteiras e recolha de paletes enxertadas para a zona de JJ, e só depois se realiza o *picking* de unidades inteiras e as maquias (Figura 27). Para melhor organização da informação, dividiu-se o *picking* em seis partes conforme o diagrama seguinte:

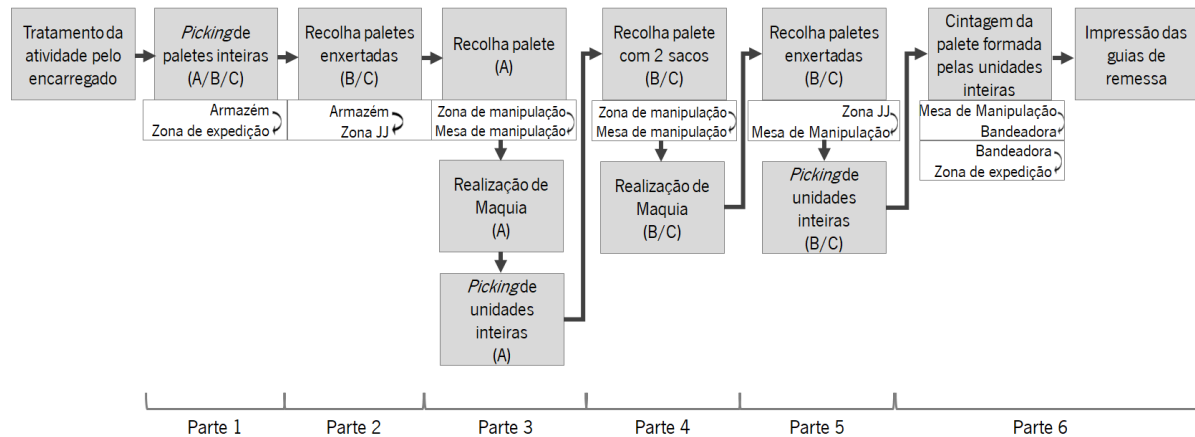


Figura 27 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de uma encomenda

4.3.1 Modelação do *picking*

A chegada das entidades encomendas ao armazém de matérias-primas é feita por vários *creates*, um para cada destino. Pressupõe-se que as encomendas de cada nave chegam todas ao mesmo tempo ao armazém, todos os dias às 8h, sendo o número de chegadas por dia representado por uma distribuição estatística. A cada encomenda é atribuído o número de paletes inteiras, o número de sacos e o número de maquias solicitadas para cada tipo de matéria-prima (Figura 28).

Assignments			
	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	paletes_sep_MPA1	$MX(ANINT(POIS(0.0777)),0)$
2	Attribute	paletes_sep_MPA2	$MX(ANINT(NORM(0.0339, 0.229)),0)$
3	Attribute	paletes_sep_MPB	$MX(ANINT(NORM(0.023, 0.204)),0)$
4	Attribute	paletes_sep_MPC	$MX(ANINT(POIS(0.00328)),0)$
5	Attribute	sacos_sep_MPA1	$MX(ANINT(-0.001 + 103 * BETA(0.401, 2.8)),0)$
6	Attribute	sacos_sep_MPA2	$MX(ANINT(-0.5 + 67 * BETA(0.163, 1.97)),0)$
7	Attribute	sacos_sep_MPB	$MX(ANINT(-0.5 + 78 * BETA(0.273, 6.17)),0)$
8	Attribute	sacos_sep_MPC	$MX(ANINT(-0.5 + LOGN(0.691, 0.401)),0)$
9	Attribute	maquia_MPA1	$MX(ANINT(-0.5 + 7 * BETA(1.1, 4)),0)$
10	Attribute	maquia_MPA2	$MX(ANINT(POIS(0.231)),0)$
11	Attribute	maquia_MPB	$MX(ANINT(-0.5 + GAMM(0.584, 2.38)),0)$
12	Attribute	maquia_MPC	$MX(ANINT(POIS(0.364)),0)$
13	Attribute	destino_enc	1

Figura 28 - Atributos alocados a cada encomenda

É atribuído ainda um número sequencial a cada encomenda utilizando uma variável incremental, e vários atributos auxiliares para utilizar posteriormente (Figura 29).

Assignments				
	Type	Variable Name	Attribute Name	New Value
1	Variable	cont_enc	Attribute 1	cont_enc+1
2	Attribute	Variable 2	num_enc	cont_enc
3	Attribute	Variable 3	sacos_A1	sacos_sep_MPA1
4	Attribute	Variable 4	sacos_A2	sacos_sep_MPA2
5	Attribute	Variable 5	sacos_B	sacos_sep_MPB
6	Attribute	Variable 6	sacos_B_man	sacos_sep_MPB
7	Attribute	Variable 7	sacos_C	sacos_sep_MPC
8	Attribute	Variable 8	sacos_C_man	sacos_sep_MPC

Figura 29 - Atributos auxiliares alocados a cada encomenda

Como no modelo uma paleta de uma matéria-prima representa várias, construiu-se um atributo que representa o número de matérias-primas que a encomenda tem de cada tipo, para que se pudesse simular todas as deslocações necessárias para recolher todas as paletes de cada tipo de matéria-prima, e não apenas uma deslocação. Assim, utilizaram-se quatro *decides* para verificar se a encomenda requer um tipo de matéria-prima e, em caso positivo, esse atributo é atualizado através de uma distribuição estatística, sendo o seu mínimo 1 (Figura 30).

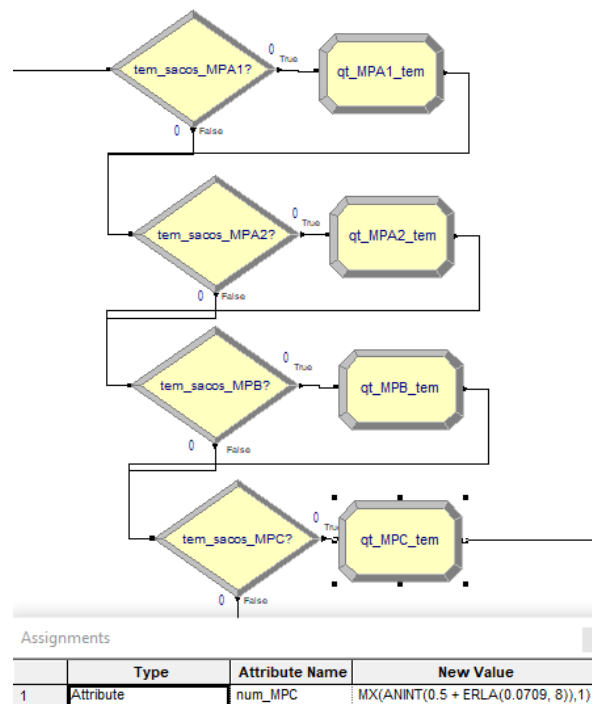


Figura 30 - Atribuição do número de matérias-primas de cada tipo a cada encomenda

Posteriormente, verifica-se se existe *stock* suficiente para satisfazer essa encomenda. Para tal, quando uma paleta de determinada matéria-prima, por exemplo matéria-prima A1, ocupa uma posição no

armazém, é incrementada em 1 o valor da variável “res_exist_MPA1” (que representa o número de paletes existentes de matérias-primas A1 no armazém). Quando uma encomenda de um cliente é rececionada, e existe matéria-prima para satisfazer a necessidade desta encomenda, a variável “res_sob_MPA1” (que representa o número de sacos de matéria-prima A1 reservados para a realização das encomendas) é atualizada somando o número de sacos que a encomenda requer.

Se não existir matéria-prima suficiente de alguma matéria-prima que a encomenda necessite, a encomenda aguarda num dos *holds*, representados na figura seguinte, até que haja *stock* suficiente daquela matéria-prima para satisfazer a necessidade da encomenda. Quando existir, a condição é novamente verificada, já que nesse momento pode estar em falta outra matéria-prima (Figura 31).

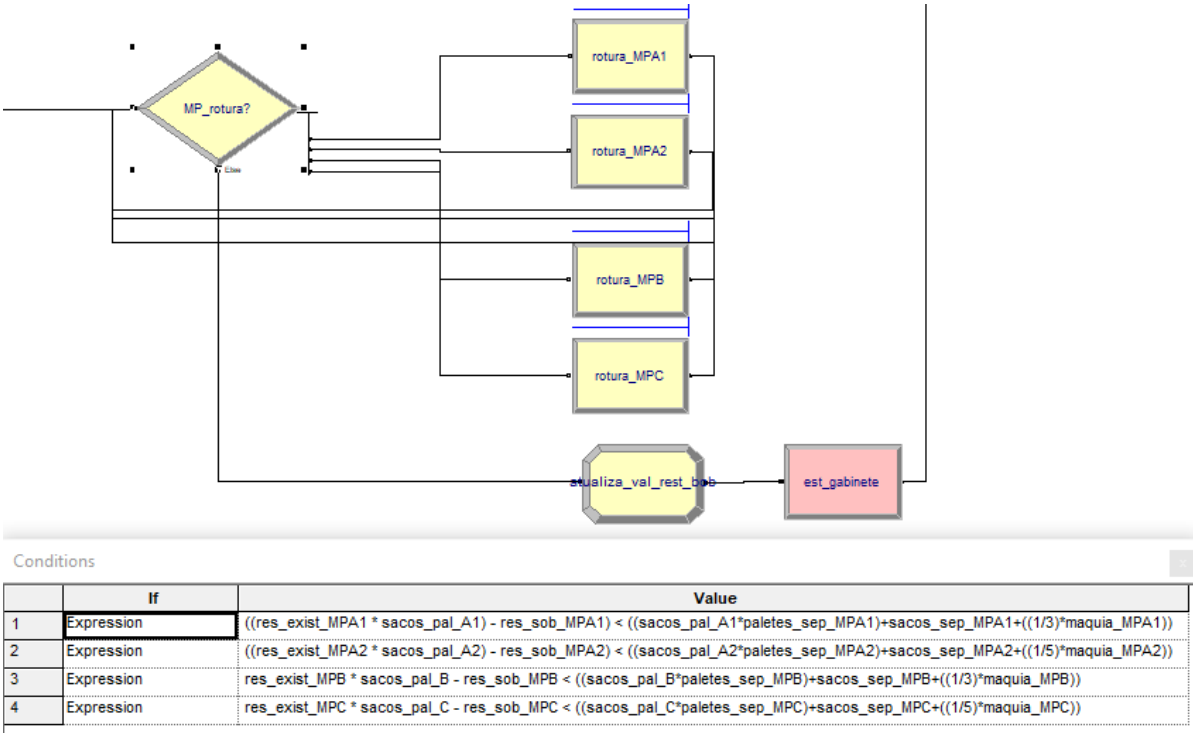


Figura 31 - *Decide* que verifica se existe matéria-prima suficiente para satisfazer a encomenda

Depois do tratamento da encomenda pelo encarregado, a primeira parte do *picking* requer a ocupação de um empilhador e um operador para a recolha de paletes inteiras para a zona de expedição e paletes com matéria-prima B e C para a zona JJ. A segunda parte requer a ocupação de um porta-paletes, de um operador e de uma balança para juntar as unidades inteiras requeridas de cada matéria-prima numa paleta e para a realização de maquias na estação “manipulação” (Figura 32).

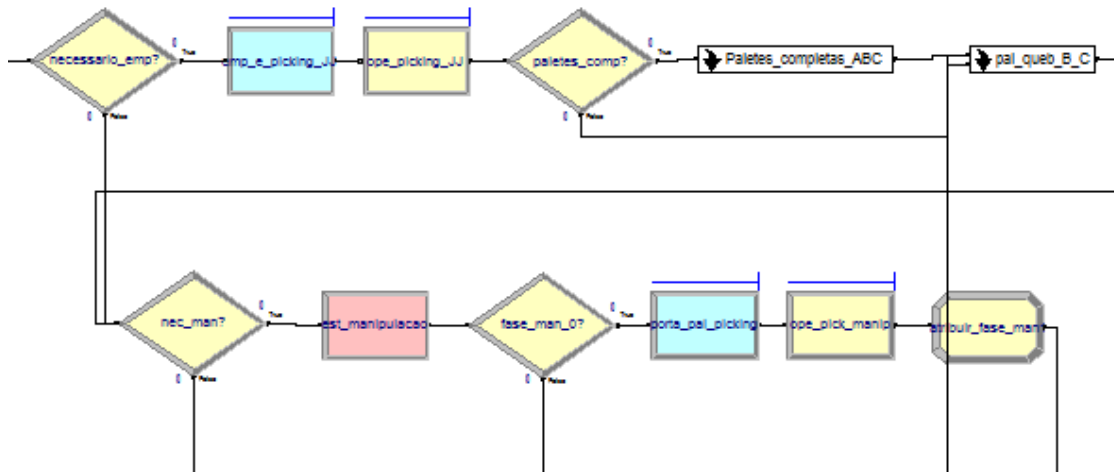


Figura 32 - Fluxo da encomenda no *picking*

a) Parte 1 - *Picking* de paletes inteiras

O *picking* de paletes inteiras de matéria-prima A, B e C inicia-se com a verificação do valor do atributo “paletes_sep_MPA1” (que representa o número de paletes de matéria-prima A1 requeridas na encomenda). Se este for positivo o operador desloca-se ao armazém correspondente com o empilhador e recolhe o número de paletes requeridas por esse atributo, uma a uma, através de um *pickup*. Quando é recolhida uma paleta o atributo respetivo é atualizado, decrementando uma unidade (Figura 33). Quando não existirem mais paletes inteiras a recolher de nenhuma matéria-prima, a entidade encomenda segue pelo *else* do *decide*.

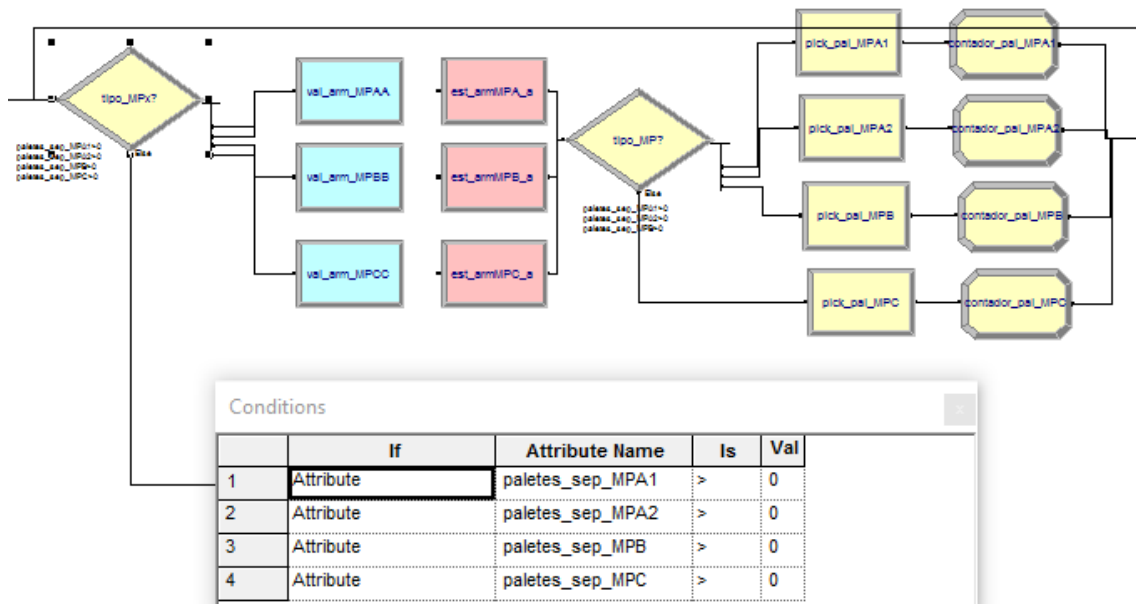


Figura 33 - Fluxo da encomenda no *picking* de paletes inteiras

As paletes são colocadas na zona de destino (Figura 34) indicada pelo atributo “dest_enc” da entidade, utilizando o *dropoff*. Se o destino da paleta for a CIN Indústria ou Exportação, a zona de expedição é igual à zona de receção, já que será necessário o cais para carregar os camiões. Se o destino da encomenda for a nave C2, as paletes são colocadas diretamente na zona de receção desta nave já que a mesma é muito próxima do armazém. Se o destino for qualquer uma das restantes naves industriais, as paletes são colocadas na zona de expedição.

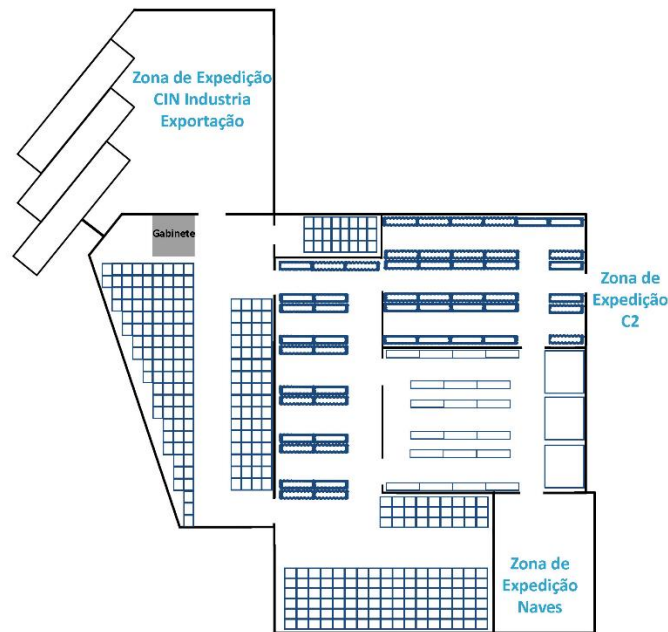
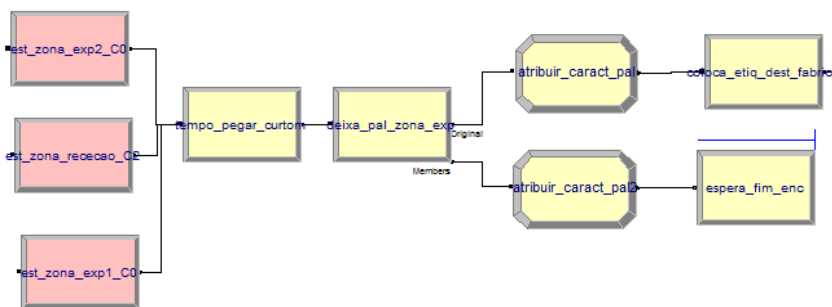


Figura 34 - Três zonas de expedição do armazém

A paleta tem de ser identificada com o número de encomenda para posteriormente se realizar a expedição correta. Assim, utilizaram-se duas variáveis que registam os atributos da entidade encomenda, “dest_enc” (que indica o destino da encomenda) e “num_enc” (que indica o número da encomenda). À entidade paleta são atribuídas essas variáveis (Figura 35).



Assignments				Assignments				
	Type	Variable Name	Attribute Name	New Value		Type	Attribute Name	New Value
1	Variable	var_dest_pal	Attribute 1	destino_enc	1	Attribute	dest_pal	var_dest_pal
2	Variable	var_num_enc_pal	Attribute 2	num_enc	2	Attribute	num_enc_pal	var_num_enc_pal

Figura 35 - Fluxo seguido para atribuir à paleta o destino e o número de encomenda

As paletes aguardam num *hold* pelo fim do *picking* das unidades inteiras e da realização de maquias requeridas por essa encomenda.

b) Parte 2 - Recolha de paletes enxertadas de matérias-primas B e C

Por conveniência de modelação, após os armazéns de matéria-prima B e C (“arm_MPB” e “arm_MPC”), que guardam as paletes rececionadas destas matérias-primas, utilizou-se um *separate*, no qual o número de cópias é igual ao valor da variável que representa o número de sacos que uma paleta inteira possui (Figura 36). Como é visível na figura seguinte, as entidades duplicadas seguem para um *hold* “arm_MPC_queb”. Este *hold* representa, assim, a paleta em uso (enxertada) para o *picking* de sacos da matéria-prima C. Quando esta acabar é dado um sinal ao “arm_MPC” que liberta uma paleta e transforma-a em sacos.

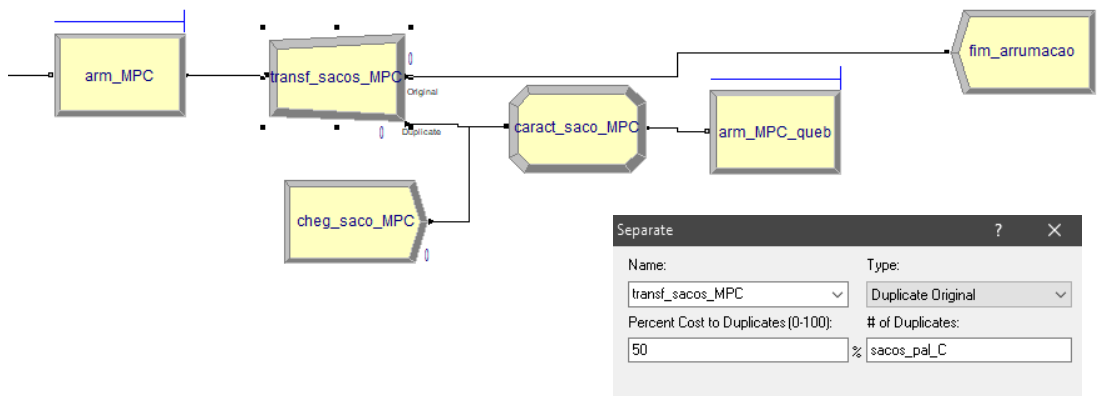


Figura 36 - Transformação de uma paleta em sacos da matéria-prima C

Após a recolha das paletes inteiras, verifica-se se a encomenda necessita de sacos de matéria-prima tipo B ou C. Se sim, é atribuído à encomenda o atributo “tipo_MP” com o valor de 1 ou 2, respetivamente. Para cada uma delas é seguida a mesma lógica.

São utilizadas dez variáveis, cinco para cada tipo de matéria-prima, atualizadas de diferentes formas conforme o caminho que a entidade encomenda toma:

- “B_zona_man” é uma variável binária que, quando igual a 1, indica que a paleta enxertada da matéria-prima B se encontra na zona de manipulação;
- “B_retorno” é uma variável binária que, quando igual a 1, indica que a paleta enxertada da matéria-prima B se encontra na zona de retorno;
- “B_pal_enc” indica o número de sacos que a paleta enxertada da matéria-prima B tem;
- “B_sacos_uso” contabiliza os sacos da matéria-prima B reservados para as encomendas;

- “B_sacos_existentes” contabiliza os sacos totais da matéria-prima B que se encontram na zona de manipulação.

Estas variáveis são atualizadas nesta parte do *picking* (parte 2), e na parte 5.

Nesta fase do modelo a encomenda pode seguir três caminhos diferentes:

- Se a matéria-prima não está na zona de manipulação: é necessário colocar a matéria-prima na zona de manipulação, atualizando as variáveis necessárias e utilizando um *transport* para a deslocação ao armazém correspondente.
- Se a matéria-prima está na zona de manipulação e na zona de retorno: a entidade encomenda espera que a matéria-prima seja arrumada pelo empilhador. Só depois é possível voltar a recolhê-la do armazém para a zona de manipulação para a realização desta encomenda.
- Se a matéria-prima está na zona de manipulação e não está no retorno: verifica-se se os sacos que estão nessa paleta são suficientes para satisfazer esta encomenda. Se forem, simula-se o transporte da matéria-prima com um *delay*. Isto porque no modelo uma paleta de matéria-prima representa várias matérias-primas e, portanto, na realidade, a paleta que se encontra na zona de manipulação não é a matéria-prima que será necessário para outra encomenda. Se não forem suficientes, é necessário ainda colocar uma paleta na zona de manipulação. Nesse caso, é utilizado um *transport* para representar a deslocação ao armazém correspondente e dado o *signal* para repor o “arm_MPB_queb” (Figura 37).

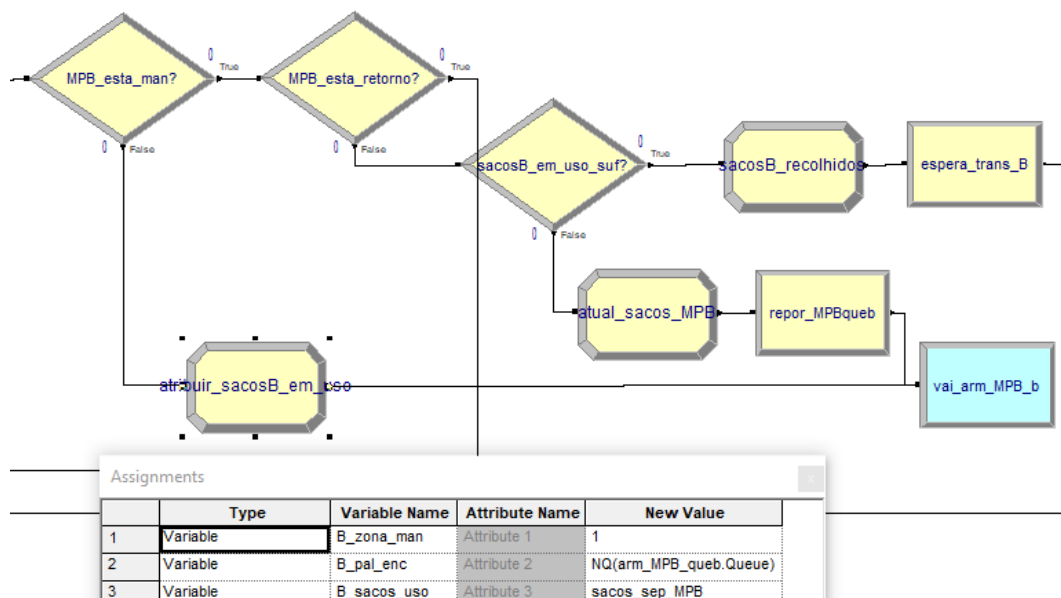


Figura 37 - Fluxo da encomenda para a recolha de sacos de matéria-prima B/C

No armazém, são recolhidos todos os sacos do *hold* “arm_MPB_queb”, representando isto a recolha da paleta enxertada da matéria-prima B. Também nesta fase as variáveis referidas anteriormente são atualizadas. De seguida, a entidade encomenda desloca-se para a estação “área_JJ” para aí colocar a paleta. Nessa estação, toma caminhos diferentes dependendo do *entity type* dos sacos recolhidos, conforme sejam sacos de matéria-prima B ou C (Figura 38). Para isso, e já que a entidade que aqui passa é um grupo de entidades, utilizou-se o módulo *decide* e o atributo “tipo_MP”. Como o número de sacos a colocar nesta área varia ao longo da simulação, no *dropoff* no campo quantidade colocou-se “NG”. Desta forma a entidade larga todas as entidades anteriormente a ela alocadas.

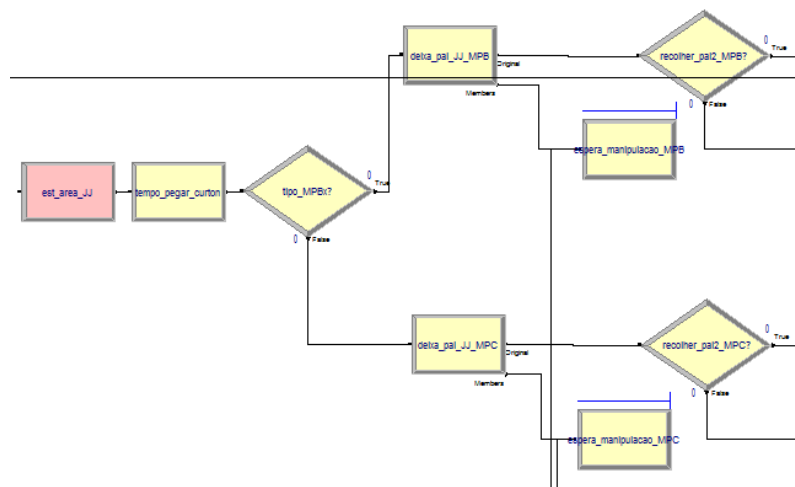


Figura 38 - Fluxo seguido pela encomenda para colocar paletes de matéria-prima B/C na zona JJ

De seguida, verifica-se se os sacos que se encontram na “área_JJ” são suficientes para cobrir as necessidades das encomendas já tratadas (“B_sacos_uso > B_sacos_existentes”). Se não forem, os sacos necessários (“sacos_B”) são atualizados (Figura 39) e é dado o sinal para repor o “arm_MPB_queb”. Ocorre novamente uma deslocação ao armazém para recolher outra paleta e segue-se o mesmo procedimento. Se forem, a entidade encomenda passa para o próximo passo, atualizando o valor do atributo “sacos_B” para 0.

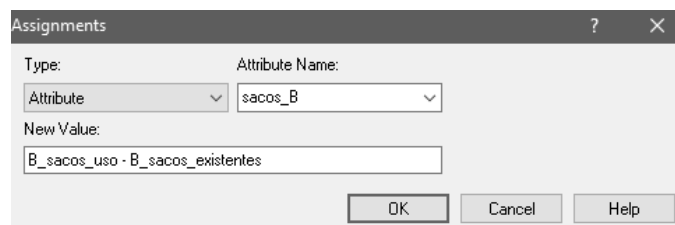


Figura 39 - Atualização do atributo "sacos_B"

Antes de libertar o empilhador, verifica-se se algum dos atributos “sacos_B” e “sacos_C” é positivo. Se sim, significa que alguma matéria-prima não foi tratada por estar na zona de retorno. Por isso, ocorre um *free* do empilhador para ser possível o mesmo fazer o retorno das paletes, já que o *request* do

retorno tem a prioridade mais elevada. O *request* da figura seguinte tem a prioridade *medium*, para que o tratamento da encomenda que ficou a aguardar pelo retorno, fosse tratada imediatamente. Todos os outros *request* têm prioridade *low*.

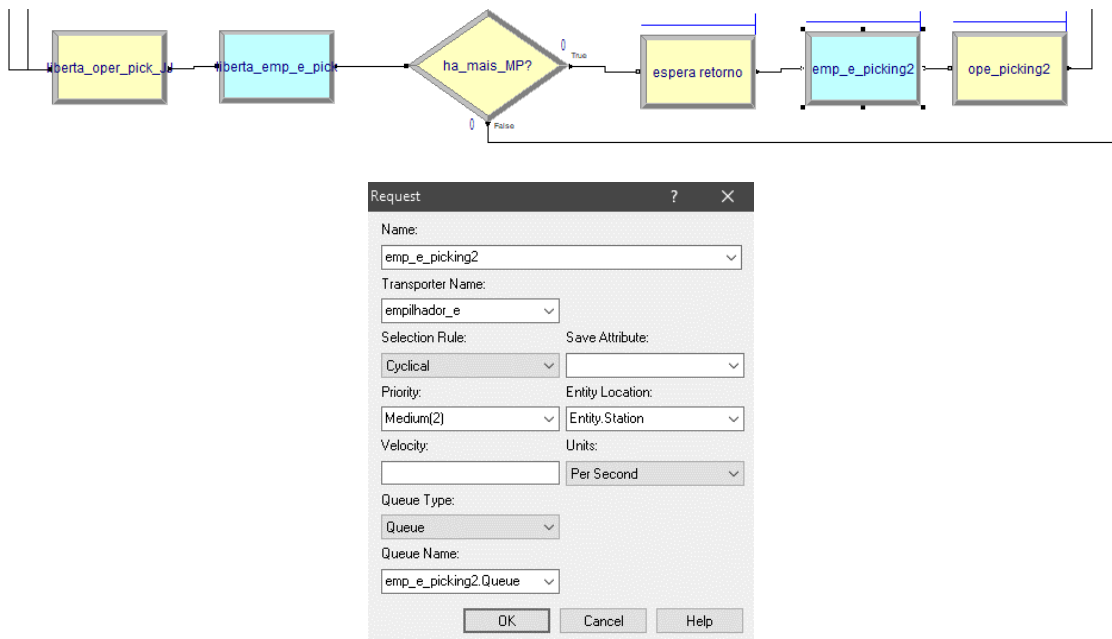


Figura 40 - Request do empilhador com prioridade média

Finda esta etapa a encomenda segue para a estação “manipulação”.

A segunda parte do *picking* envolve a recolha das unidades inteiras e a realização de maquias. Como existem várias deslocações à estação manipulação, para diminuir as estações auxiliares (na modelação), quando se verifica que é necessária uma matéria-prima é atribuído um número ao atributo “tipo”, conforme seja matéria-prima A1, A2, B ou C (Figura 41). Quando a entidade encomenda voltar à estação manipulação, é possível determinar que caminho toma conforme este atributo (Figura 42).

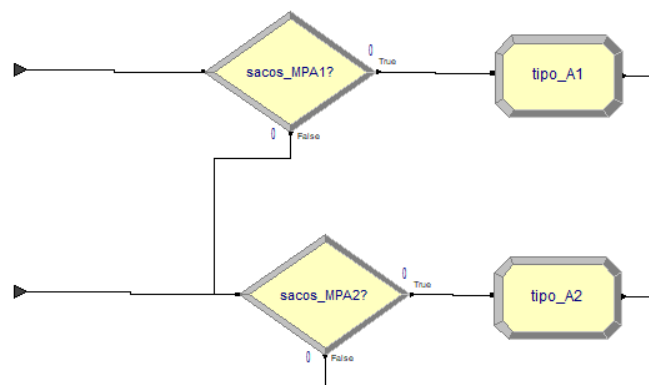


Figura 41 - Atribuição do atributo "tipo" à encomenda

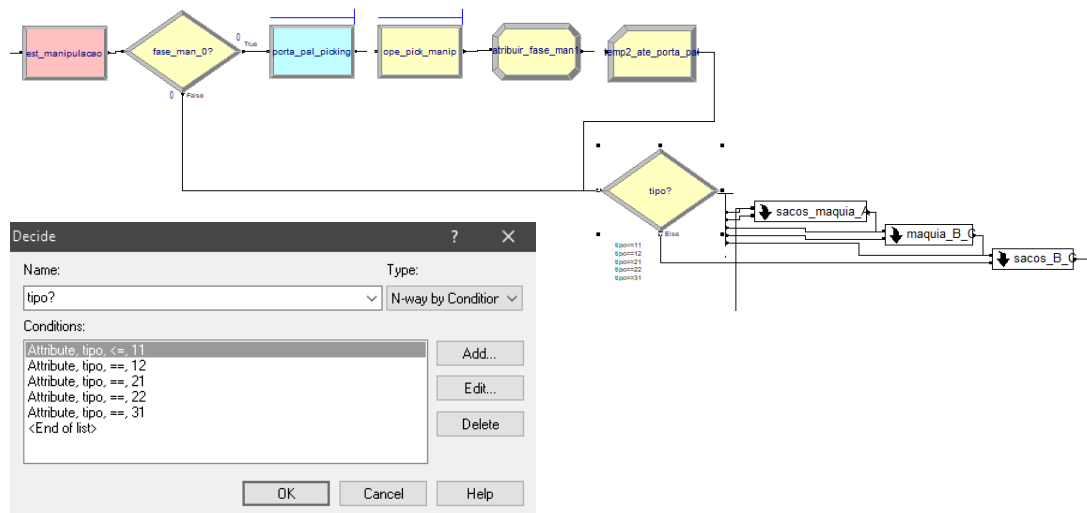


Figura 42 - *Decide* utilizado para diminuir o número de estações auxiliares

c) Parte 3 - *Picking* de unidades inteiras e realização de maquinas de matéria-prima A

Nesta parte do modelo, em primeiro lugar, verifica-se se a matéria-prima está a ser utilizada por outro operador. Se sim, a entidade encomenda segue para a matéria-prima seguinte. Isto porque a probabilidade de uma matéria-prima ser necessária ao mesmo tempo em dois fabricos é muito baixa já que a diversidade de matérias-primas é grande e cada *pick list* tem uma ordem específica. A lógica seguida para modelação da matéria-prima A1 é a mesma da matéria-prima A2.

As duas paletes de cada matéria-prima A1 existentes na zona de manipulação, estão armazenadas, num *hold*. Quando são necessários sacos ou maquinas da matéria-prima A1, e existem duas paletes ou uma, com sacos suficientes para satisfazer a encomenda (mais um saco para a possibilidade da necessidade de maquia) (Figura 43), é recolhida a paleta enxertada do *hold*.

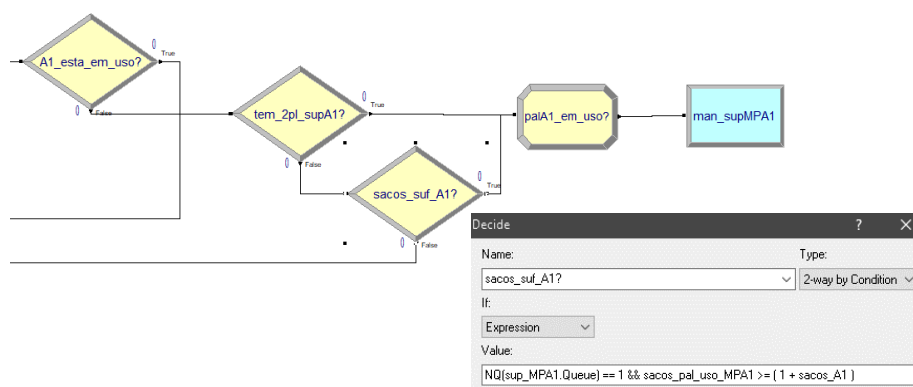


Figura 43 - Lógica usada para determinar se existem sacos suficientes da matéria-prima A1

Em primeiro lugar são realizadas as maquinas. Com a realização da maquia a “cont_maquia_MPA1” (que contabiliza o número de maquinas realizadas da matéria-prima A1) é incrementada 1 valor e quando este contador atinge o valor 3 (valor correspondente ao número de maquinas médio satisfeitas por um

saco) o contador toma o valor de 0 (Figura 44). Com o valor de 0, é necessário abrir um novo saco, decrementando a variável “sacos_pal_uso_MPA1” (que corresponde ao número de sacos que a paleta enxertada da matéria-prima A tem), em 1 unidade.

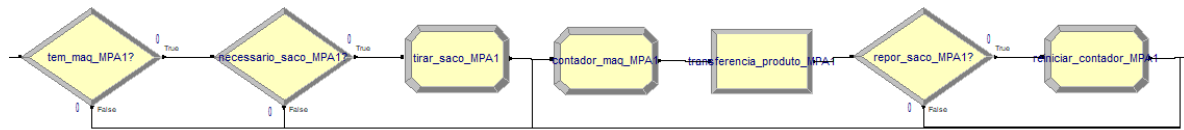


Figura 44 - Lógica seguida na realização de maquinas da matéria-prima A1

Em segundo lugar é realizada o *picking* das unidades inteiras. Utilizando um *separate* duplica-se a entidade encomenda para o mínimo entre os sacos pedidos e os sacos que a paleta enxertada tem (Figura 45). As cópias da entidade representam os sacos recolhidos da paleta e aguardam num *hold*, até que a encomenda esteja finalizada.

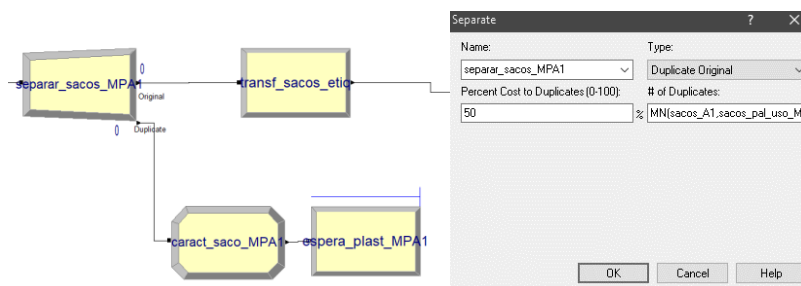


Figura 45 - Modelação da recolha dos sacos de matéria-prima A1 da paleta enxertada

Caso os sacos da paleta enxertada não sejam suficientes para satisfazer a encomenda, os sacos solicitados e todas as variáveis necessárias são atualizadas, recolhe-se a segunda paleta, é dada a ordem de reposição da mesma e segue-se o procedimento anterior. Caso os sacos da paleta enxertada sejam suficientes para satisfazer a encomenda ($sacos_A1 - MN(sacos_A1, sacos_pal_uso_MPA1) = 0$), é feito um *transport* para arrumar a paleta no mesmo local (se existirem sacos na paleta enxertada), ou é solicitada a reposição da paleta, se não existirem sacos (Figura 46).

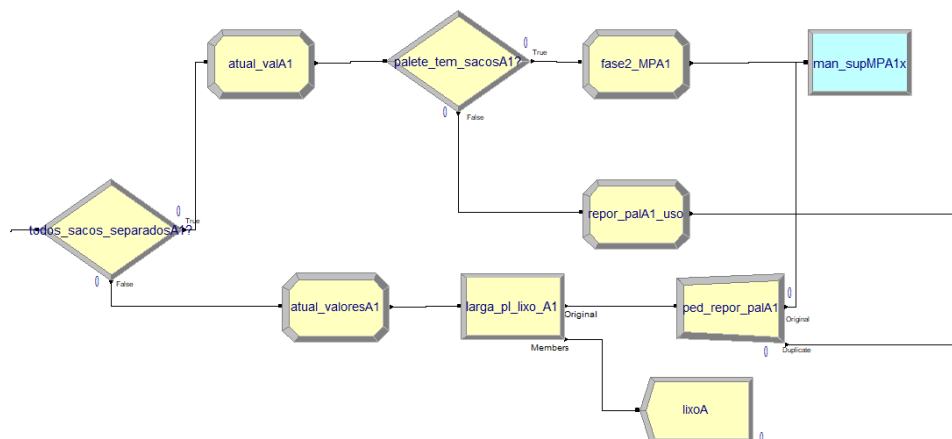


Figura 46 - Lógica seguida após a recolha dos sacos da paleta em uso

Quando uma paleta termina, a entidade encomenda tem alocada a ela uma entidade paleta, pelo que essa tem de ser libertada, com um *dropoff*, e sair do sistema. A encomenda segue para um *separate*, onde é duplicada. A entidade original segue o seu caminho, continuando o operador a processar a encomenda. A entidade duplicada representa a ordem de reposição da paleta que ficou sem sacos. Esta entidade faz um *request* do empilhador e um *seize* do operador no armazém de onde será retirada, com um *pickup* (Figura 47). Ocorre um *transport* para a zona de manipulação onde a mesma é colocada.

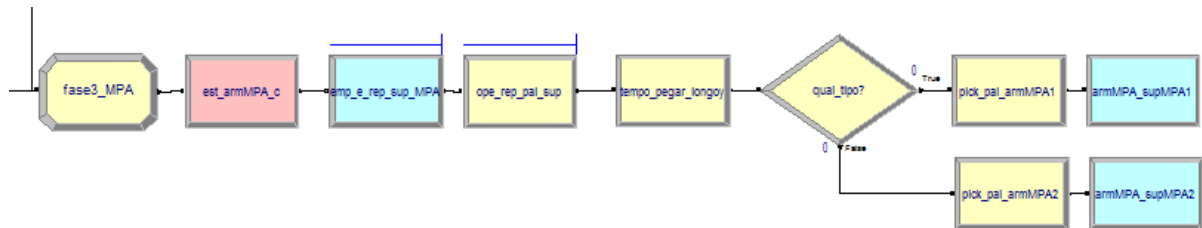


Figura 47 - Lógica seguida pela entidade que representa a ordem de reposição

Dado que o número de sacos solicitados resulta de uma distribuição estatística, este número pode ser superior ao número de sacos existente nas duas paletes. Assim, a paleta requer a reposição das duas paletes. Nesta situação a entidade encomenda aguarda até que pelo menos uma paleta seja repostada, para conseguir realizar o *picking* dos sacos de matéria-prima A.

d) Parte 4 - Realização de máquinas de matérias-primas B e C

A parte do modelo relativa à realização de máquinas de matéria-prima B e C é semelhante à realização de máquinas de matéria-prima A. Assim, se a matéria-prima não estiver a ser utilizada por outro operador, recolhe-se a paleta correspondente, da zona de manipulação, se existir pelo menos um saco. Caso contrário passa-se para a próxima matéria-prima enquanto esta é repostada. Também aqui se utiliza um *hold* com duas entidades que representam os dois sacos que estão na zona de manipulação. Neste *holds*, onde estão depositadas um ou dois sacos, é feito o *pickup* de todo o seu conteúdo (Figura 48).

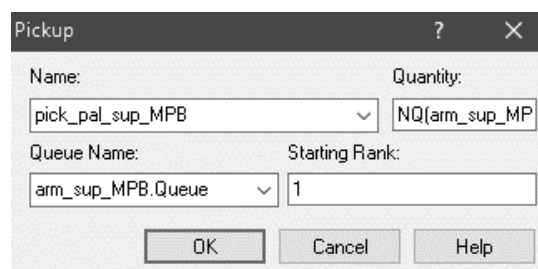


Figura 48 - *Pickup* dos sacos de matéria-prima B da zona de manipulação

Na estação “manipulação”, tal como explicado para a matéria-prima A, é realizada a transferência da maquia e contabilizada num contador incremental. Quando este atinge o seu valor limite é reiniciado e solicitada a reposição de um saco. Aqui, o saco é retirado da paleta enxertada, representada por várias entidades num *hold*. Porém, essa paleta pode estar na zona de manipulação, na área_JJ, no retorno ou a ser transportada, pelo que a fila de espera do *hold* nessas situações é 0. Por isso, por conveniência da modelação, criou-se uma paleta fictícia, “arm_B_aux”, de onde se retira um saco apenas nestas situações (Figura 49).

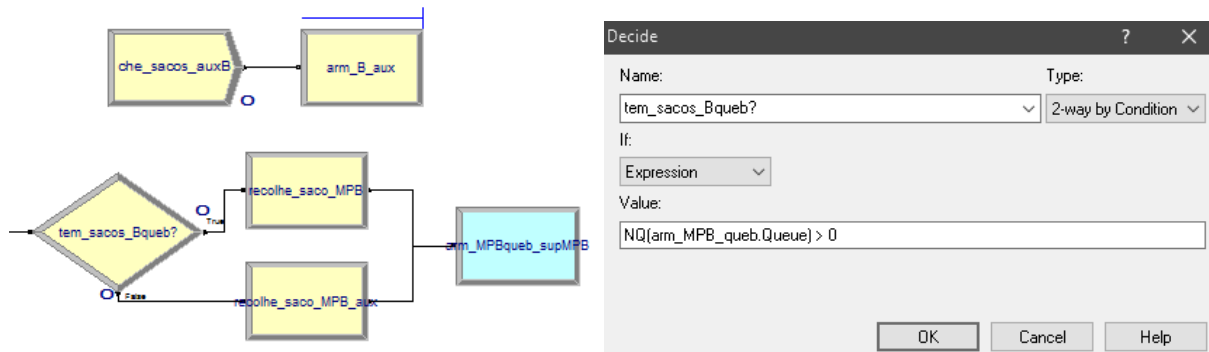


Figura 49 - *Decide* que determina se o saco é recolhido da paleta enxertada ou da paleta fictícia

e) Parte 5 - *Picking* de sacos de matéria-prima B e C

Para a separação dos sacos de matéria-prima B e C, as paletes com os mesmos já se encontram na zona JJ. O operador desloca-se a esse local para mover a paleta enxertada para a mesa de manipulação. É seguido o mesmo raciocínio utilizado para o *picking* de sacos da matéria-prima A. No entanto esta parte do modelo envolve a atualização de mais variáveis e de formas diferentes consoante o caminho seguido pela entidade encomenda (Figura 50).

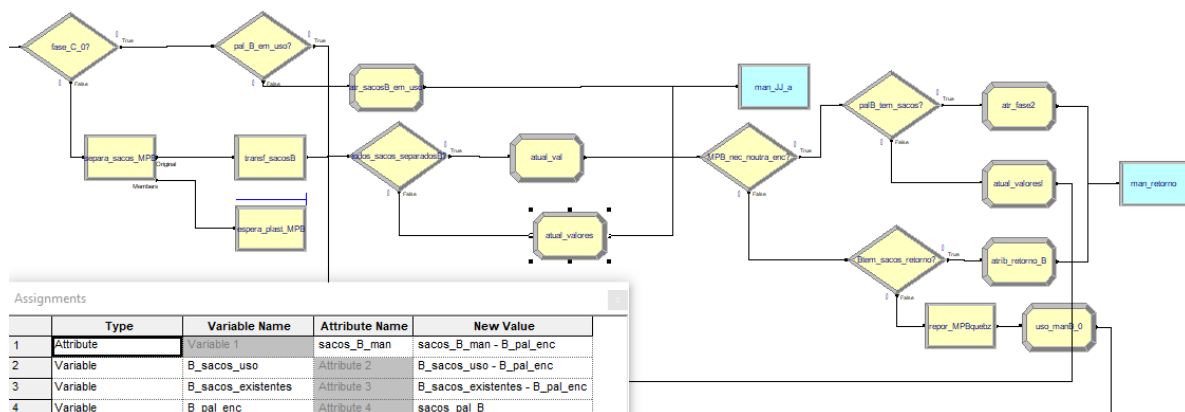


Figura 50 - Exemplos de caminhos possíveis e atualização das variáveis

Caso a primeira paleta não seja suficiente para satisfazer a encomenda o operador desloca-se novamente à área JJ e recolhe uma paleta completa.

Após a transferência dos sacos, verifica-se se esta matéria-prima será necessária para uma encomenda seguinte, isto é, se a variável “C_sacos_uso” é positiva:

- Se não, e caso a paleta ainda tenha sacos, a mesma é colocada, com um *dropoff*, na estação “retorno”, momento em que a variável “C_retorno” toma o valor de 1. Ai aguarda num *hold* por um empilhador e um operador para ser arrumada no armazém. A entidade encomenda volta à estação manipulação para dar continuidade ao *picking*. Apenas quando a paleta é arrumada são atualizadas as variáveis necessárias, indicando que a matéria-prima já não está na zona de retorno. À semelhança da ordem de reposição da paleta de matéria-prima A, a ordem de arrumação da paleta enxertada C é realizada com um *separate*. Porém a paleta de matéria-prima C representa várias paletes, e não apenas uma. Por isso, é necessário representar as várias deslocações para arrumar as várias paletes, o que é solucionado com várias cópias (Figura 51). O atributo “num_MPC”, definido imediatamente após a criação das entidades encomendas, representa o número de matérias-primas do tipo C que esta encomenda necessita, o que equivale ao número de paletes que terão de ser arrumadas.

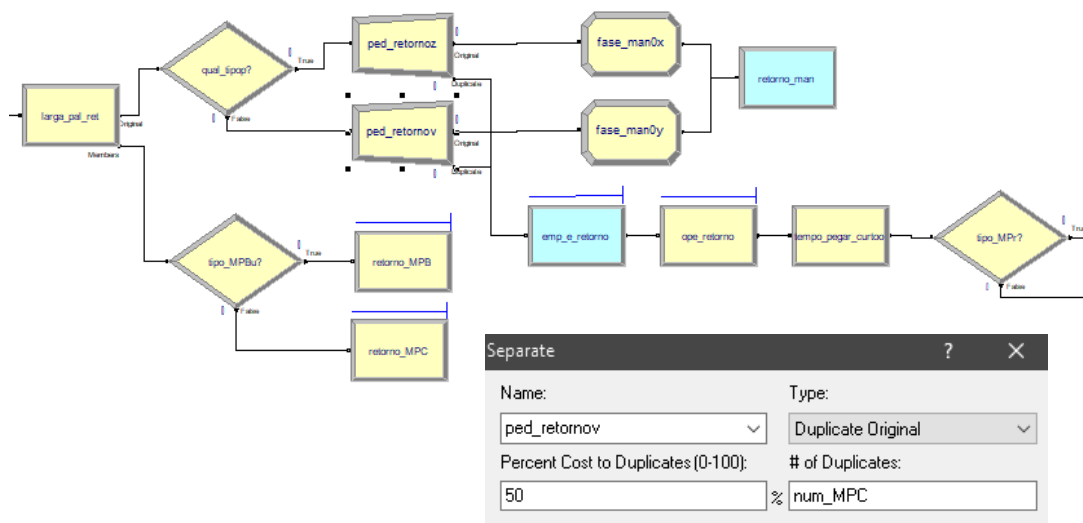


Figura 51 - Representação das ordens de arrumação da zona de retorno

- Se sim, e caso a paleta ainda tenha sacos, a mesma é colocada na zona de retorno. No entanto a variável “C_retorno” não toma o valor de 1 e as entidades sacos passam imediatamente para o hold da estação “area_JJ” (Figura 52). Seguidamente, à semelhança do ponto anterior, são criadas várias ordens de arrumação pelo *separate* e realiza-se um transporte da zona de retorno para o armazém.

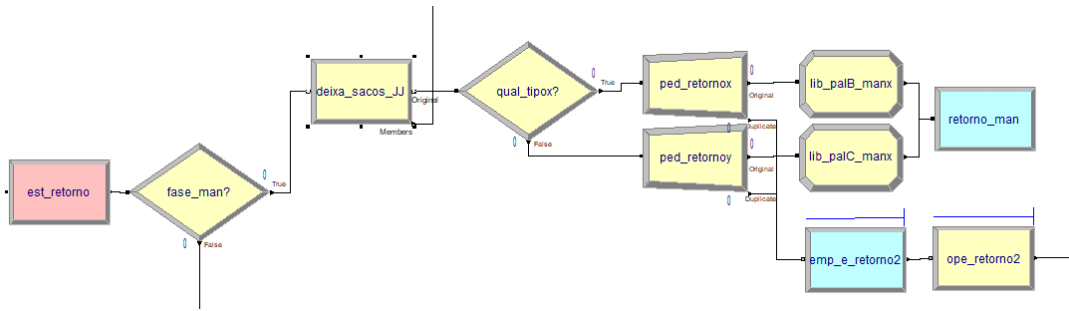


Figura 52 - Dropoff da entidade palette para a “area_JJ”

f) Parte 6 - Finalização da encomenda

Depois de percorridas todas as matérias-primas verifica-se se a encomenda está completa (Figura 53). Caso não esteja volta-se ao processo de *picking* na zona de manipulação para recolher as matérias-primas em falta. Por conveniência da modelação, estas não foram recolhidas porque estavam a ser manipuladas na execução de outra encomenda.

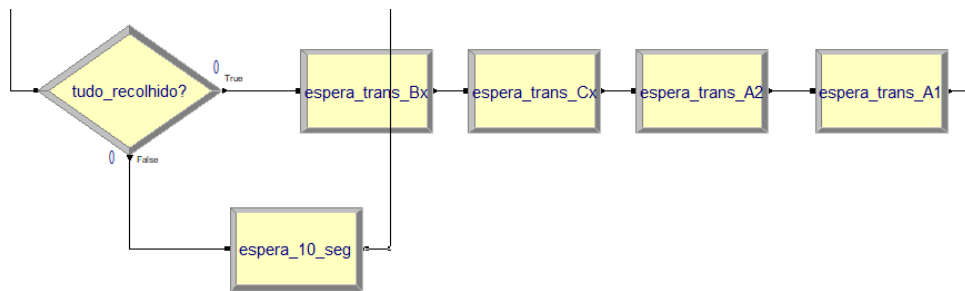


Figura 53 - Confirmação de que o *picking* está completo

De modo a tornar o sistema mais real, e como uma palette representa várias, foram adicionados quatro *delays*. Estes representam a deslocação do operador para a recolha e arrumação das paletes na zona de manipulação. O tempo de arrumação/desarrumação de uma palette somado com o tempo de deslocação, é multiplicado pelo número de matérias-primas que uma encomenda tem, menos uma, já que uma delas já foi contabilizada anteriormente (Figura 54).

Delay - Advanced Process				
	Name	Allocation	Delay Time	Units
20	espera_seg4	Other	0.00000001	Seconds
21	espera_trans_A1	Other	$(((1.5 + WEIB(3.2, 1.79))^2) + (10.8^2)) * MX((num_MPA1-1), 0)$	Seconds
22	espera_trans_A2	Other	$(((1.5 + WEIB(3.2, 1.79))^2) + (14.4^2)) * MX((num_MPA2-1), 0)$	Seconds
23	espera_trans_Bx	Other	$(((1.5 + WEIB(3.2, 1.79))^2) + (7.2^2) + (18^2)) * MX((num_MPB-1), 0)$	Seconds
24	espera_trans_Cx	Other	$(((1.5 + WEIB(3.2, 1.79))^2) + (7.2^2) + (18^2)) * MX((num_MPC-1), 0)$	Seconds

Figura 54 - Delays que representam as deslocações do operador na zona de manipulação

Segue-se a alocação de todos os sacos à encomenda e a colocação dessa palette na bandeadora para ser cintada (Figura 55).

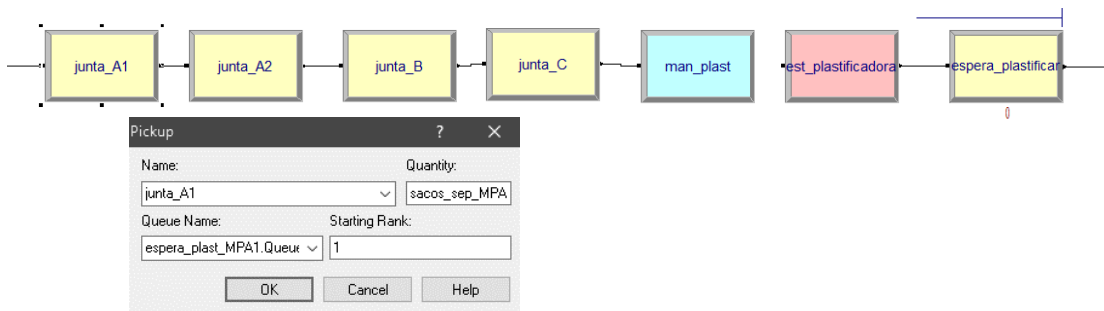


Figura 55 - Alocação das unidades inteiras à encomenda e cintagem da paleta final

De seguida, a paleta é colocada na zona de expedição correspondente e o operador e o porta-paletes são libertados.

De forma a atribuir o peso à entidade paleta criou-se uma variável “peso_pal_montada” (que representa o peso da paleta formada pelas unidades inteiras) que inicialmente é igual a 0. Quando ocorre o *dropoff* das entidades sacos, que têm associadas a elas o atributo “peso_saco” (que representa o peso de cada saco), esse valor é incrementado à variável (Figura 56).

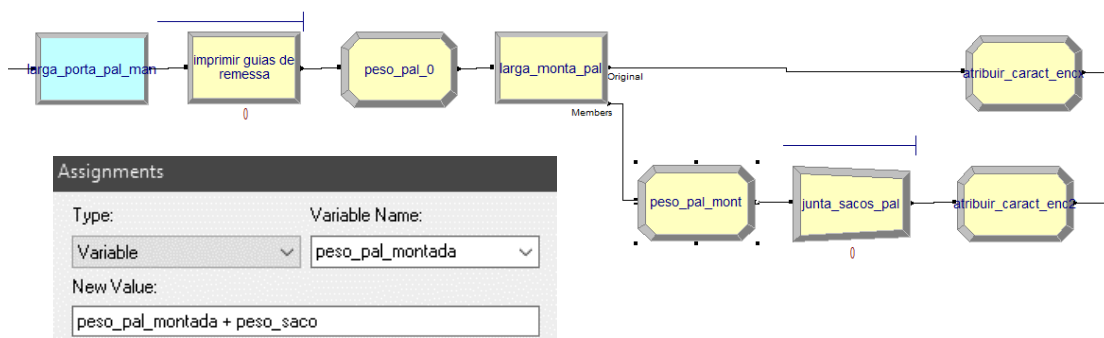


Figura 56 - Contabilização de peso à paleta final

Depois desses sacos são agrupados permanentemente num *batch* de dimensão igual à soma dos atributos que representam o número de sacos requeridos de cada matéria-prima. Seguidamente, são atribuídos a variável peso, número de encomenda e destino seguindo a mesma lógica utilizada no *picking* das paletes inteiras.

Por fim, utiliza-se um *search*, para procurar as paletes inteiras pertencentes a esta encomenda, que aguardam num *hold* (Figura 57). As mesmas são alocadas à entidade encomenda (Figura 58) e colocadas nos *hold* da figura seguinte. Estes *hold* armazenam a paleta final, resultante do *picking* das unidades inteiras, e todas as paletes inteiras das encomendas concluídas, ficando estas a aguardar pela sua expedição.

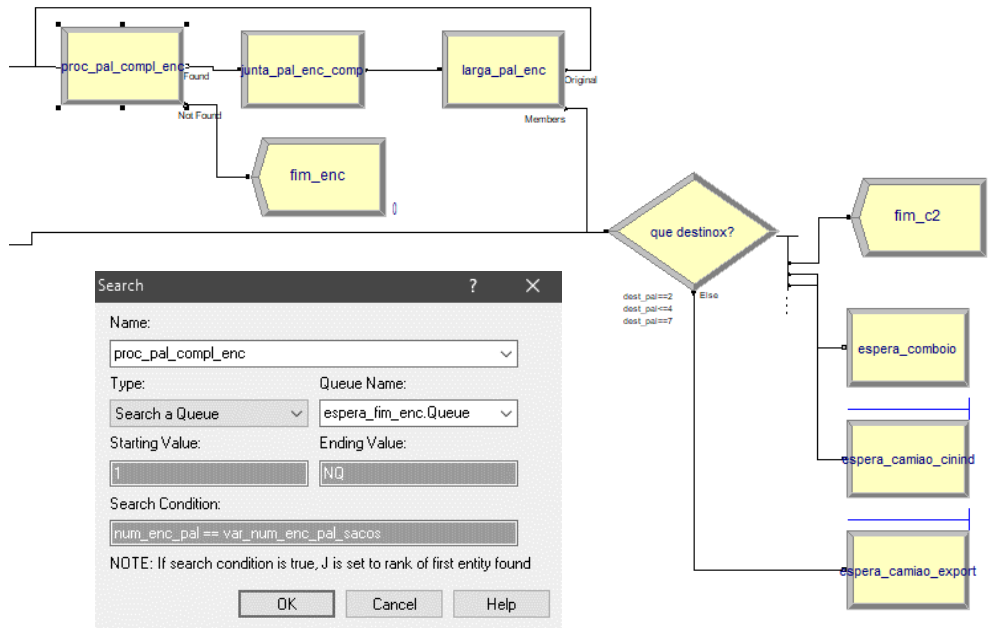


Figura 57 - Procura das paletes inteiras com o mesmo número de encomenda

Figura 58 - Pickup das paletes inteiras procuradas

As *queues* correspondentes estão ordenadas, pelo atributo “num_enc”, por ordem crescente (Figura 59). Significa isto que as primeiras encomendas a expedir têm menor número de encomenda e, conseqüentemente, chegaram primeiro ao armazém de matérias-primas.

Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
40	espera_comboio.Queue	Lowest Attribute Value	num_enc_pal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	espera_camiao_cinind.Queue	Lowest Attribute Value	num_enc_pal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
42	ocupa_caisx.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 59 - Características das *queues* que armazenam as paletes a expedir

4.4 Expedição e entrega

A expedição para a nave C2 acontece no momento do *picking* dada a proximidade que a sua zona de receção tem com o armazém.

Quando a CIN Indústria ou a Exportação faz uma encomenda, o camião para a carga da mesma chega ao armazém 24h depois. Nesse momento, carrega-se toda a mercadoria possível que está pronta a

expedir, tendo prioridade as encomendas mais antigas. A expedição para a CIN Indústria requer ainda a impressão e entrega das guias de transporte ao motorista.

Para a entrega da mercadoria às naves industriais, propõe-se a utilização de um comboio logístico, com capacidade máxima de 8.000 kg. Neste cenário, o comboio opera de hora em hora, quando tem matéria-prima para entregar, dando prioridade às encomendas mais antigas. O comboio apenas dirige-se às naves para as quais tem paletes a entregar, retornando ao armazém quando toda a carga for entregue.

São, assim, solucionadas as oportunidades de melhoria identificadas:

Tabela 5 - Situações possíveis de melhorar na expedição e entrega

Situações possíveis de melhorar	Soluções
Dificuldade na carga dos camiões.	Construção de um cais de carga.
A entrega da mercadoria às naves implica várias viagens.	Utilização de um comboio logístico.
Na zona de expedição, as encomendas encontram-se misturadas, pelo que as paletes de uma encomenda não são entregues sequencialmente.	As paletes, na zona de expedição, terão de ser colocadas por corredores, conforme o seu número de encomenda, facilitando a carga do comboio logístico e não necessitando de um equipamento de manuseamento de paletes.

A chegada de um camião da CIN ao armazém e a chegada da hora de entrega despoletam, assim, as seguintes tarefas:

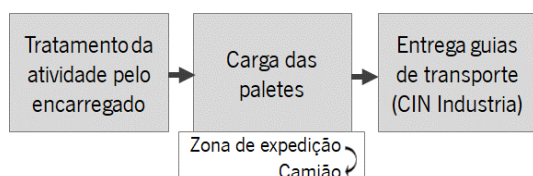


Figura 60 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada de um camião CIN

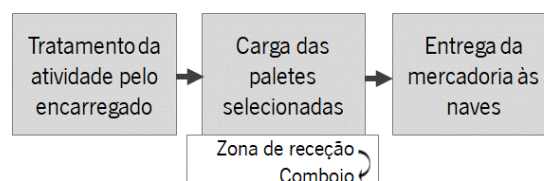


Figura 61 - Principais tarefas e movimentos originados pela chegada da hora de entrega

4.4.1 Modelação da expedição para CIN Indústria e Exportação

A modelação deste processo começa com o recurso a um *create* que gera um camião por dia. Esse camião, conforme a probabilidade de chegada de um camião por dia obtida dos dados analisados, segue para um *separate* que duplica essa entidade ou sai do sistema. Este *separate* utiliza uma distribuição estatística para gerar o número de encomendas que chegam ao armazém de matérias primas por dia (Figura 62). Assim, a entidade original segue o caminho da entidade camião e as entidades duplicadas tornam-se nas entidades encomendas.

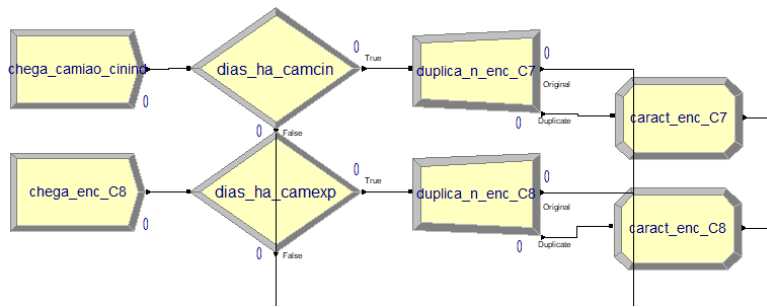


Figura 62 - Geração de camiões e encomendas CIN Indústria e Exportação

A entidade camião atravessa um *delay* com um dia de duração, representando assim que o camião apenas chega ao armazém 24h após a chegada das encomendas.

Como só pode estar um camião de cada tipo a fazer a carga de mercadoria ao mesmo tempo, ocupa-se um recurso fictício de capacidade 1 (Figura 63).

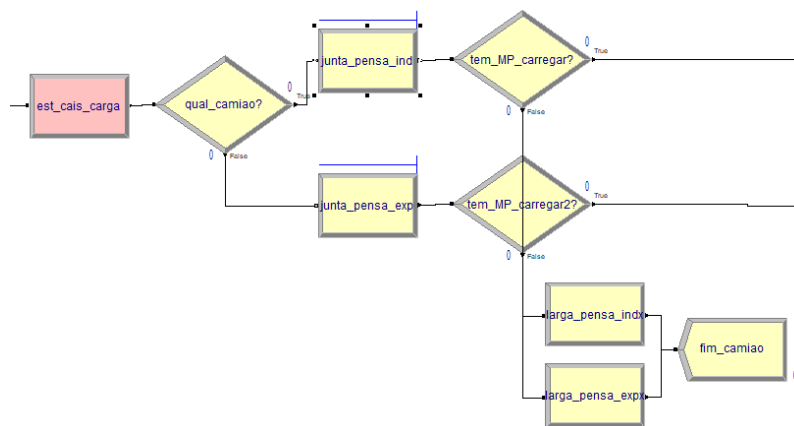


Figura 63 - *Seize* do recurso fictício

De seguida, verifica-se se existe mercadoria para carregar, e caso não haja, a entidade sai do sistema. Se houver, ocupa um cais, sendo aqui o *seize* do recurso cais prioritário sobre o *seize* do cais para as entidades que representam os camiões dos fornecedores.

Depois do encarregado atribuir a tarefa da carga a um operador, através de um *process*, é feito o *seize* de um operador e o *request* do empilhador. A entidade procura no *hold* “espera_camiao_cinind”(que representam as paletes prontas a expedir), o peso da paleta que está em primeiro lugar nessa fila de espera e atribui esse peso ao atributo da entidade camião “peso_possivel_ind”(Figura 64).

Figura 64 - Atribuição do peso da primeira paleta ao atributo “peso_possivel_ind”

Verifica-se se é possível de introduzir esse peso tendo em conta a capacidade máxima do camião (24.000 kg) e a carga já introduzida nele (Figura 65).

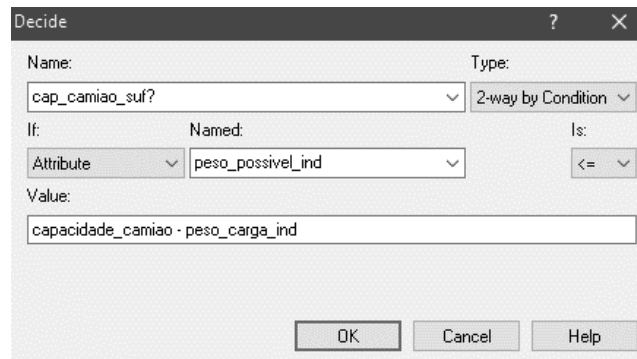


Figura 65 - *Decide* que verifica se é possível introduzir a palete no camião

Se sim, faz-se o *pickup* dessa paleta e atualiza-se o valor do “*peso_carga_ind*” (que apresenta o peso da carga já introduzida no camião), incrementando-o no valor do peso dessa paleta. Ocorre o *transport* da paleta para o camião.

Se não tem capacidade, com um *search*, procura-se uma paleta com um peso inferior à capacidade disponível no camião (Figura 66). Caso haja, carrega-se. Se não exista, é dado o sinal que liberta o camião e, conseqüentemente, o cais de descarga.

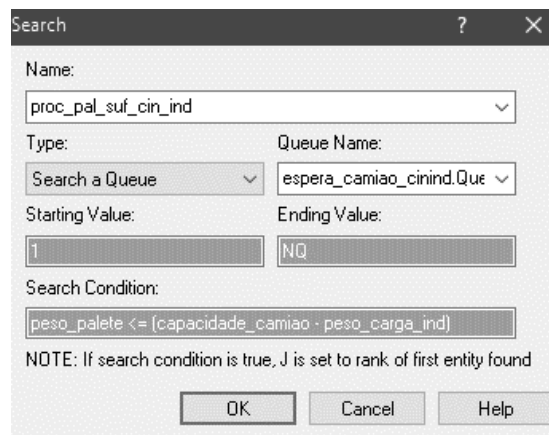


Figura 66 - Procura por uma paleta com peso inferior à capacidade disponível

4.4.2 Modelação da entrega às naves industriais

Para as naves industriais, inicia-se este processo com um *create* que gera uma entidade a cada hora. Esta entidade, “ordem de entrega”, depois do *process* que utiliza o chefe, ocupa o transportador “comboio logístico” e um operador. Caso haja mercadoria, recorre-se ao *pickup* para alocar a primeira paleta à espera de ser entregue. Com o *assign* algumas variáveis são atualizadas ou reiniciadas (Figura 67).

Assignments				Assignments			
	Type	Variable Name	New Value		Type	Variable Name	New Value
1	Variable	dest_1	dest_1 + 1	1	Variable	var_enc_comboio	AG(1,NSYM(num_enc_pal))
2	Variable	var_dest_comboio	dest_1	2	Variable	var_dest_comboio	AG(1,NSYM(dest_pal))
				3	Variable	var_peso_comboio	var_peso_comboio + AG(1,NSYM(peso_paleta))

Figura 67 - Atualizações e reinicições de algumas variáveis

A paleta é libertada (*dropoff*) num *hold* auxiliar que guarda as paletes selecionadas a transportar no comboio.

De seguida, são verificadas quatro condições para a seleção das restantes paletes a transportar, comparando as variáveis que caracterizam a última paleta carregada com os atributos que caracterizam as paletes da zona de expedição (Figura 68):

- Em primeiro, procura-se se existe mais uma paleta com o mesmo número de encomenda que a anterior;
- Caso não exista, procura-se uma paleta cujo destino seja o mesmo que a paleta anteriormente carregada;
- Se não existir, procura-se uma paleta cujo destino seja anterior ao da paleta anteriormente carregada;
- Por fim, verifica-se se existem paletes com o destino imediatamente posterior. Neste ponto não é utilizado um *search*, mas sim um *decide*. Este verifica se a variável “dest_1” é 4, o que significa que já analisou todas as paletes da zona de expedição. Se esta condição não for verdadeira o valor do “dest_1” é incrementado em 1 unidade e inicia-se o processo de procura.

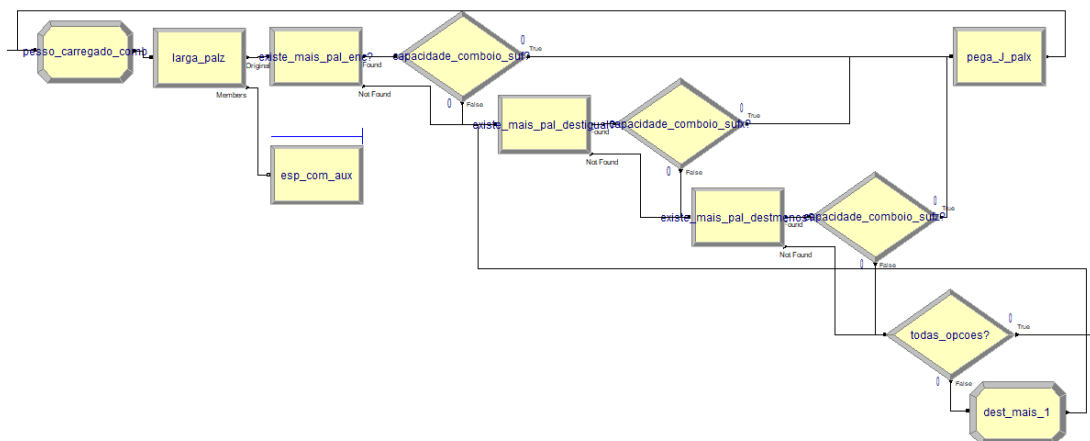


Figura 68 - Lógica seguida para selecionar as paletes a entregar

Para cada uma destas condições, a paleta é carregada (*pickup*) se o comboio ainda possui capacidade em termos de peso (Figura 69). Quando uma paleta é carregada inicia-se novamente este processo de decisão.

Decide - Basic Process			
	Name	Type	Value
17▶	capacidade_comboio_suf?	2-way by Condition	AQUE(espera_comboio.Queue,J,NSYM(peso_paleta)) <= (capacidade_comboio - var_peso_comboio)
18	capacidade_comboio_sufx	2-way by	AQUE(espera_comboio.Queue,J,NSYM(peso_paleta)) <= (capacidade_comboio - var_peso_comboio)

Figura 69 - *Decide* que verifica a capacidade disponível do comboio

Criou-se um *delay* de um segundo para a entidade depositar as paletes recolhidas no *hold* auxiliar, que é ordenado pelo menor número do atributo “dest_pal”(que representa o destino da paleta). Seguidamente, faz-se o *pickup* de todas as paletes que se encontram neste *hold* e o transporte para a primeira estação, a nave C1. Isto porque o caminho realizado para qualquer nave implica sempre a passagem pela nave C1 (Figura 70).

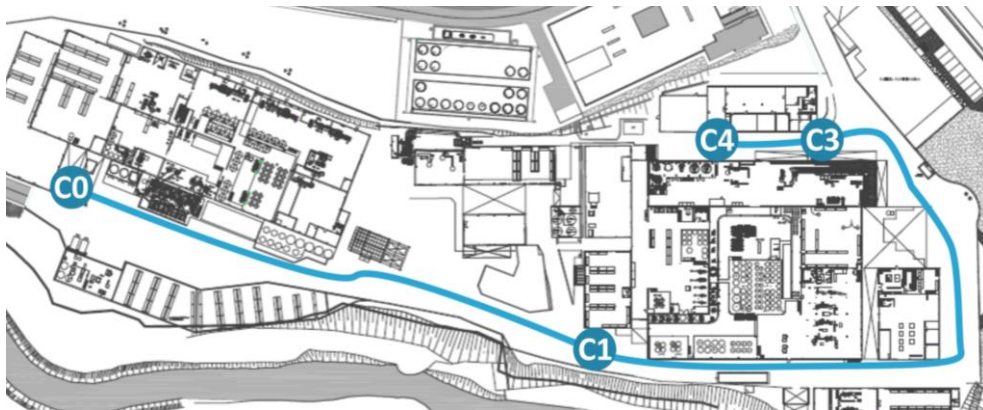


Figura 70 - Viagem do armazém de matérias-primas à nave C4

Nessa estação, verifica-se se existe alguma paleta com este destino. Como aqui se trata de procurar uma entidade num grupo de entidades, e caso o grupo ainda detenha membros (Figura 71), utiliza-se um *decide* para verificar se a primeira paleta do grupo tem o atributo “dest_pal” igual a 1 (Figura 72). Se sim, o comboio para e descarrega a paleta.

Figura 71 - Verificação se o grupo de entidades tem membros

Figura 72 - Verificação se o comboio tem paletes para a nave C1

Este processo repete-se até que não haja mais paletes com este destino. Caso o comboio ainda possua paletes, ocorre o transporte para a nave C3 e procede-se da mesma forma como para a nave C1. E o

mesmo acontece para a nave C4. Quando o comboio estiver vazio, o comboio e o operador terminam a rota voltando ao armazém, sendo aí libertados.

Para finalizar a construção de todo o modelo, foram definidas as velocidades dos transportadores, bem como as suas capacidades (Figura 74), as capacidades dos recursos (Figura 73) e as distâncias entre estações (Figura 75).

Resource - Basic Process			
	Name	T	Capacity
1 ▶	cais_desc	F	3
2	operador	F	4
3	chefe	F	1
4	balanca	F	2
5	bandeadora	F	1
6	pensa_cinind	F	1
7	pensa_cinexp	F	1

Figura 73 - Capacidade dos recursos

Transporter - Advanced Transfer					
	Name	Number of Units	T	Distance Set	Velocity
1 ▶	empilhador_e	1	F	empilhador_e.Distan	5000
2	porta_paletes	2	F	porta_paletes.Distan	4000
3	comboio	1	F	comboio.Distance	5000

Figura 74 - Capacidade e velocidade dos transportadores

Distance - Advanced Transfer		
	Name	Stations
1 ▶	porta_paletes.Distance	27 rows
2	comboio.Distance	10 rows
3	empilhador_e.Distance	270 rows

Figura 75 - Distâncias entre estações

5. IDENTIFICAÇÃO E MODELAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Tendo em conta o tema do projeto e as atividades desempenhadas pelo armazém central da CIN, definiram-se os seguintes indicadores para avaliar o desempenho da configuração futura do armazém:

- Prazo de entrega
 - Definição: Tempo decorrido desde a chegada da encomenda ao armazém até à entrega da encomenda completa ao cliente.
 - Objetivo: Identificar o tempo médio de entrega de uma encomenda ao cliente. Quanto menor o prazo de entrega, melhor.
- Encomendas a tempo
 - Definição: Proporção entre o número de encomendas entregues dentro da janela horária definida e o número total de encomendas entregues.
 - Objetivo: Detetar o nível de cumprimento médio dos prazos de entrega prometidos. Quanto maior a percentagem de encomendas a tempo, melhor.
- Ocupação do armazém
 - Definição: Rácio entre o número de posições ocupadas e o número de posições que o armazém dispõe.
 - Objetivo: Determinar a ocupação média do armazém.
- Utilização dos recursos
 - Definição: Rácio entre o tempo de utilização do recurso e o tempo total de funcionamento do armazém
 - Objetivo: Determinar a taxa de utilização média dos recursos. Quanto maior a utilização dos recursos, melhor.
- Ocupação dos transportes
 - Definição: Proporção entre a capacidade ocupada e a capacidade máxima dos transportes, em termos de peso.
 - Objetivo: Identificar o nível de carga dos transportes. Quanto maior a ocupação dos transportes, melhor.

- Produtividade
 - Definição: Rácio entre o número de itens manipulados (paletes ou sacos) e o tempo total de manipulação.
 - Objetivo: Identificar o número médio de itens manipulados por unidade de tempo (minutos). Quanto maior a produtividade, melhor.
- Taxa de produção
 - Definição: Número de encomendas produzidas por unidade de tempo.
 - Objetivo: Definir o número médio de encomendas produzidas por unidade de tempo (minutos). Quanto maior a taxa de produção, melhor.

Para a modelação dos indicadores “prazo de entrega” e “encomendas a tempo” foi necessário adicionar um atributo à entidade encomenda quando a mesma chega ao armazém. Este atributo regista o seu momento de chegada (Figura 76).

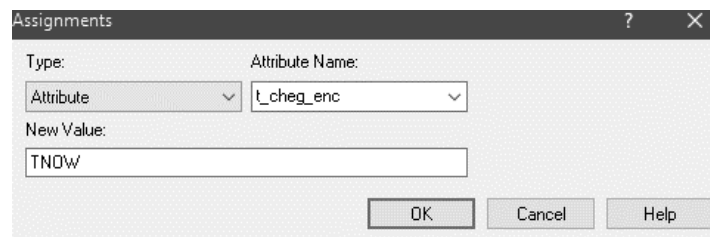


Figura 76 - Atributo que regista o tempo de chegada

O “prazo de entrega” é calculado quando a última paleta de uma encomenda é colocada no camião ou colocada na zona de receção da nave. Para verificar se uma paleta entregue é a última daquela encomenda procede-se da seguinte forma:

- Na expedição para os camiões, verifica-se apenas se existe alguma paleta na zona de expedição com o mesmo número de encomenda (Figura 77);

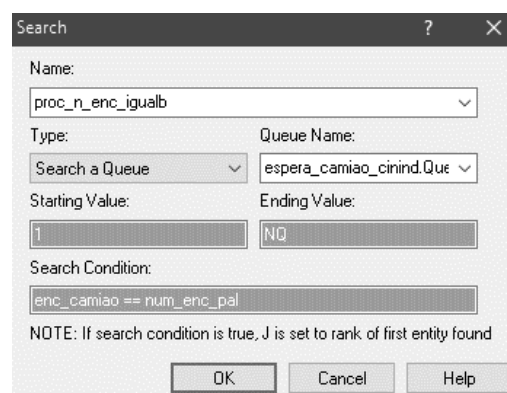


Figura 77 - Procura por uma paleta com o mesmo número de encomenda

- Na entrega das encomendas às naves, verifica-se se existe alguma paleta na zona de expedição com o mesmo número de encomenda e se existe alguma paleta no comboio logístico com o mesmo número de encomenda (Figura 78).

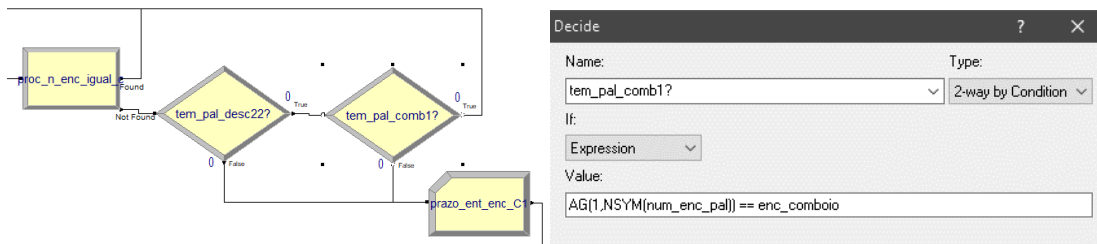


Figura 78 - *Decide* que verifica paletes no comboio com o mesmo número de encomenda

Na entrega das encomendas à nave C2, que é realizada imediatamente após o *picking*, esta contabilização é realizada imediatamente no momento da entrega.

Nestes momentos, é calculado o intervalo de tempo desde a chegada da encomenda, recorrendo ao atributo "t_cheg_enc" (que representa a hora de chegada da encomenda ao armazém) (Figura 79).

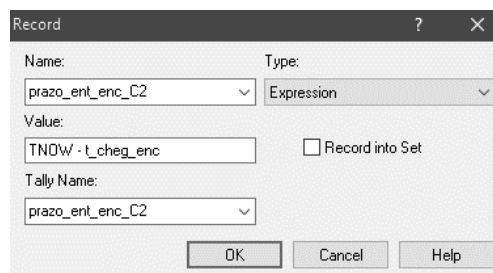


Figura 79 - Cálculo do tempo de entrega

Com um *decide* verifica-se se o prazo de entrega marcado neste *record* é inferior ao prazo limite de entrega (que é definido por uma variável global) para aquela nave (Figura 80). Se for, a variável que contabiliza o número de encomendas a tempo aumenta um valor. Caso contrário a variável que contabiliza o número de encomendas atrasadas aumenta um valor. Desta forma, é possível calcular matematicamente a percentagem de encomendas a tempo.

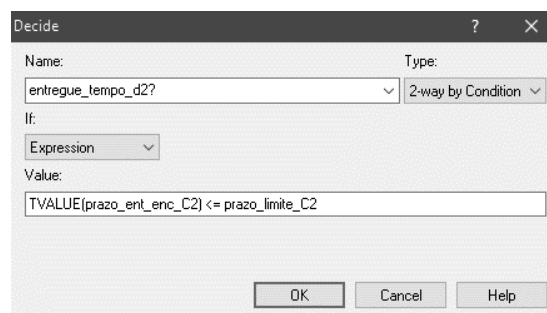


Figura 80 - *Decide* que define se a encomenda foi entregue dentro do prazo limite

Para as naves foi estipulado um prazo limite de quatro horas, enquanto que para os camiões foi estipulado um prazo limite de 15 minutos após a chegada do camião ao armazém.

Para medir o indicador “ocupação do armazém”, calcula-se (num ciclo, a cada minuto), com um *record*, a ocupação do armazém para cada matéria-prima. Também é utilizado um *record* para o registo da “ocupação dos transportes”, após a carga dos mesmos, e para o registo da “produtividade” (Figura 81).

Record - Basic Process		
	Name	Value
1	prod_exp_camioes	pal_carreg_exped / (TNOW - t_cheg_camiaocin)
3	capacidade_ocupada_comb	var_peso_comboio / capacidade_comboio
13	ocupacao_arm_A2	NQ(arm_MPA2.Queue) / capacidade_arm_A2

Figura 81 - Exemplos de fórmulas utilizadas para calcular alguns indicadores de desempenho

A “taxa de produção” é calculada com base no tempo de ciclo de uma encomenda. Para tal, quando uma encomenda é concluída utiliza-se o *record* para calcular o *time between*. O inverso deste valor representa a taxa de produção. Já o indicador “utilização dos recursos” é o único que é apresentado automaticamente pelo relatório do ARENA.

Concluída a modelação, é imperativo validar o mesmo. Para tal, utilizaram-se 100 replicações contendo cada uma delas 20 dias e um *warm up period* de 4 dias.

Pode-se dividir a validação em duas fases. A primeira ocorreu durante a construção do modelo e a segunda após a construção, com a análise dos relatórios gerados pelo ARENA.

Ao longo da construção do modelo utilizou-se diversas vezes o módulo *variable*, para verificar se os valores de atributos, variáveis ou qualquer outra expressão representavam os valores supostos nesse momento (Figura 82). Além disso, executou-se o modelo sempre que uma parte do mesmo era adicionada, para verificar se as entidades tomavam os caminhos corretos de acordo com as condições subjacentes. Para melhor visualizar essas transições entre os vários módulos recorreu-se a várias *entity picture* (Figura 83). Por diversas vezes, alteravam-se os valores originais, para prever todas as situações possíveis. Por exemplo, alterou-se o atributo “sacos_sep_MPA1” para 50, 1 e 40 para verificar se a entidade percorre os caminhos corretos quando a encomenda necessita de mais, menos ou igual número de sacos que aqueles que uma palete completa tem (40), bem como se a informação é atualizada corretamente nos atributos e variáveis correspondentes.

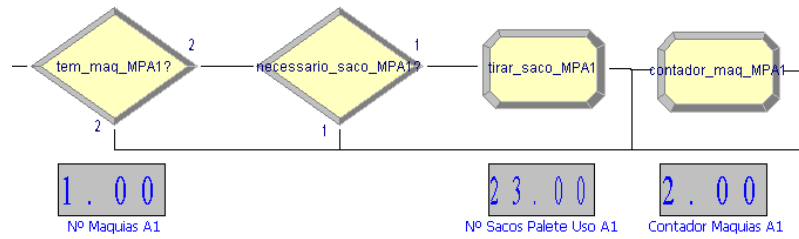


Figura 82 - Exemplo de utilização dos módulos *variable* para a validação do modelo

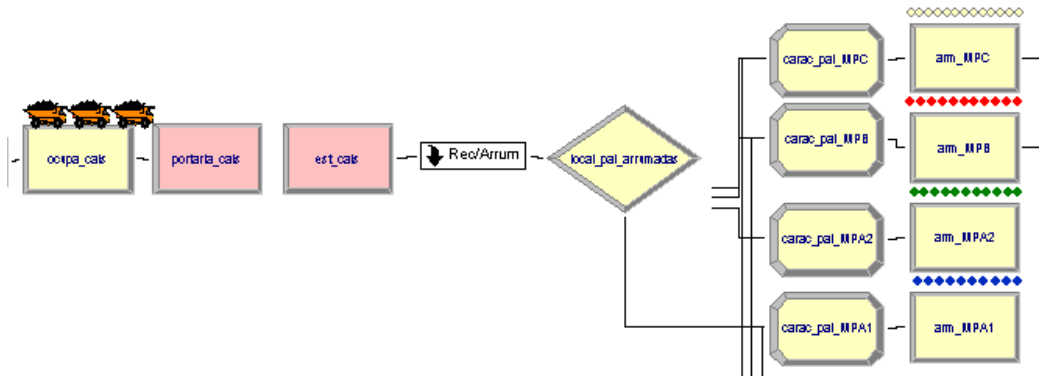


Figura 83 - Exemplo da utilização do *entity picture* para validação do modelo

Depois de todo o modelo construído, foi-lhe acrescentado vários *records* do tipo *count*, *time interval*, *time between* e *expression* para definir alguns valores que o relatório não reporta automaticamente, como por exemplo, o intervalo de tempo entre o início e o fim da manipulação com o porta-paletes. Por fim, foi gerado o relatório para 100 replicações e detetou-se imediatamente que o *half width* apresentava valores, o que significa que os relatórios apresentam resultados com significado estatístico com, no mínimo, 95% de confiança.

Analisando o relatório, em primeiro lugar, detetou-se que as encomendas geradas aleatoriamente representam as encomendas reais, já que os valores médios são muito próximos dos valores reais (Tabela 6). Em segundo lugar detetou-se que os tempos de execução das tarefas se enquadram nos valores previsíveis. Por exemplo, o tempo médio de recolha de sacos e realização de maquinas é de aproximadamente 10 minutos. E, por último, que todos os valores apresentados pelo relatório fazem sentido quando analisados interligados e tendo em conta o funcionamento do modelo. Por exemplo, faz sentido que a produtividade da receção (0,8 paletes/min) seja superior à produtividade do *picking* de paletes inteiras (0,5 paletes/min) já que a distância entre o camião e a zona de receção é inferior à distância entre qualquer uma das posições do armazém e a zona de expedição. Faz sentido também que o tempo médio de espera pela empilhador para a reposição de paletes na zona de manipulação (2,7 minutos) seja inferior ao tempo de espera pelo empilhador para a descarga de mercadoria (13,8 minutos), porque a reposição de paletes na zona de manipulação tem prioridade sobre a descarga.

Tabela 6 - Exemplos de valores médios reais e resultante da simulação

Necessidades da encomenda	Média real	Média Simulação
Paletes Inteiras B	0,0512	0,0505
Unidades Inteiras B	2,5943	2,7818
Maquias B	0,8369	1,2205
Paletes Inteiras C	0,2371	0,2664
Unidades Inteiras C	0,3449	0,3000
Maquias C	0,4802	0,3822

Assim, foi considerado válido o modelo.

6. RESULTADOS E CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Construído e validado o modelo, segue-se a fase de simulação do mesmo. Para tal, definiu-se que a simulação se iniciava com 80% da capacidade do armazém ocupada e 100% da capacidade da área de *picking* ocupada. Para que estes pressupostos não interferissem nas estatísticas a analisar, os primeiros 4 dias de simulação não são contabilizados (*warm up period* = 4 dias).

Uma vez que, uma hora diária é dedicada à realização de tarefas secundárias e aos intervalos dos recursos humanos, foram simuladas sete horas por dia. Cada cenário realiza 100 replicações, contendo cada uma delas 20 dias. Simulado o modelo, foram obtidos os indicadores de desempenho selecionados.

6.1 Construção do cenário 1

O funcionamento e os parâmetros utilizados na simulação do primeiro cenário são os descritos no capítulo 4, com as seguintes quantidades de recursos:

Tabela 7 - Tipos e quantidades de recursos disponíveis no cenário 1

Recursos		
	Cais de descarga	3
	Operador	4
	Chefe	1
	Balança	2
	Bandeadora	1
	Empilhador	1
	Porta-paletes	2
	Comboio	1

6.2 Análise do cenário 1

De uma forma geral, todos os indicadores de desempenho possíveis de comparar melhoraram, face à configuração atual do armazém (Tabela 8). A nova configuração idealizada para o armazém aumenta a produtividade, reduz significativamente os prazos de entrega e aumenta a percentagem de encomendas a tempo. As melhorias nos prazos de entrega atingem os 86% e a percentagem de encomendas a tempo pode melhorar cerca de 23%. Para além da nova configuração do armazém, a

melhoria nestes dois indicadores deveu-se à integração da atividade de pesagem no *picking*, eliminando o tempo de espera, por esta atividade, das encomendas prontas na zona de receção das naves. Com a reformulação do *picking*, a utilização do empilhador diminuiu de 55,00% para 45,34%, já que não é empregue no *picking* de unidades inteiras, e a ocupação do operador aumentou de 19,30% para 37,11%, com a adição da tarefa de pesagem das maquinas.

Tabela 8 - Indicadores de desempenho atuais e resultantes do primeiro cenário

	Situação atual	Cenário 1	
Prazo de entrega (min)	540,00	110,56	C1
		71,21	C2
		143,16	C3
		109,93	C4
		398,79	Camiões
Encomendas a tempo (%)	80,00%	99,15%	C1
		99,91%	C2
		94,82%	C3
		99,12%	C4
		29,79%	Camiões
Ocupação do armazém (%)	Estantes	48,02%	A1
	85,84%	88,47%	A2
	Bloco	83,76%	B
	70,96%	79,09%	C
Utilização dos recursos (%)	55,00%	45,34%	Empilhador
	6,00%	5,71%	Bandeadora
	17,50%	18,78%	Chefe
	19,30%	37,11%	Operador
Produtividade (pal/min)	0,32	0,80	Receção
	0,22	0,83	Arrumação
	0,18 enc/min	0,55	Picking Pal Int
		0,15	Picking Sacos
	0,24	0,58	Entrega Naves

Assim, atesta-se que o objetivo de centralizar todos os armazéns é vantajoso para o desempenho do armazém. Importa agora determinar a melhor parametrização para a operação do mesmo.

Observando as filas de espera pelos recursos, verifica-se que no *picking*, o tempo de espera e o número de entidades à espera pelos recursos chefe, empilhador e porta-paletes são elevados. A espera de 3,6 + 34,3 + 30,8 minutos pelos recursos implica que o tempo de execução de uma encomenda seja de 72,4 minutos (Figura 84). Consequentemente, os prazos de entrega são superiores a este valor.

Estes altos valores das filas de espera podem ser explicados pelo grande número de encomendas que chegam em determinado instante ao sistema. Como todas as encomendas diárias chegam ao armazém no início do dia, o tamanho das filas de espera é elevado (Figura 85).

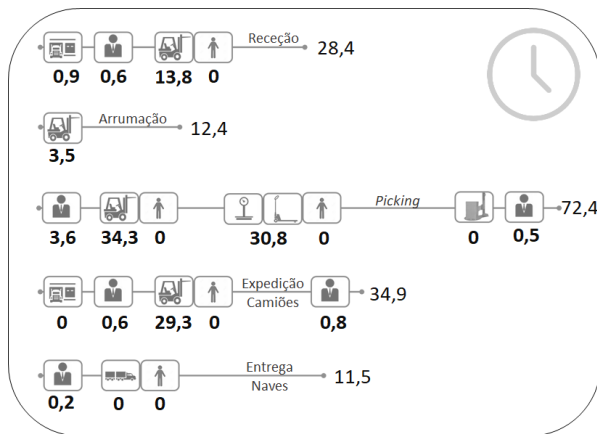


Figura 84 - Tempos de espera médios pelos recursos

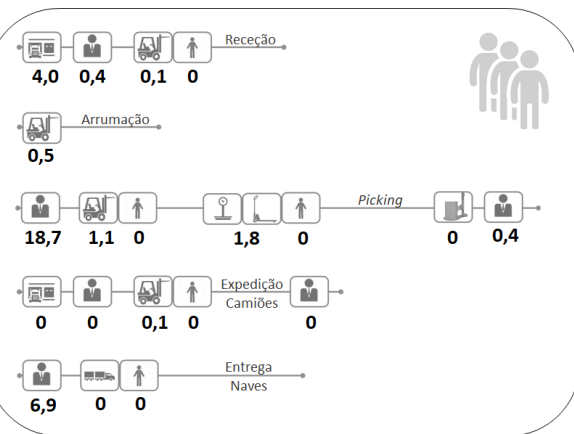


Figura 85 - Número médio de entidades à espera dos recursos

Esta entropia criada na atividade do *picking* repercute-se nas restantes atividades que necessitam dos mesmos recursos. Por exemplo, na atividade de carga e descarga dos camiões, o tempo de espera pelo empilhador é de 13,8 e 29,3 minutos, respetivamente. Isto porque, no momento em que é feita a requisição do empilhador, nestas atividades, ainda existem encomendas à espera do empilhador na atividade de *picking*. Logo, a carga e a descarga de mercadorias terão de aguardar.

Por conseguinte, outras filas de espera serão afetadas. O tempo de descarga de mercadorias é de 28,4 minutos, porque a espera pelo empilhador é de 13,8 minutos. Como a carga e a descarga da mercadoria são demoradas, e os camiões da CIN têm prioridade na ocupação dos cais de descarga, existem, em média, quatro camiões dos fornecedores à espera de um cais.

6.3 Construção do cenário 2

Considerando a entropia causada pela chegada de todas as encomendas no mesmo instante, considera-se a possibilidade da chegada de encomendas periodicamente. Para determinar o período entre a chegada de encomendas, colocou-se um *record* do tipo *time between*, depois do *create* que gera as encomendas. Esta estatística determina o tempo médio entre a chegada de uma encomenda tendo em conta o número total de encomendas que chegam em cada replicação. Apenas as naves C1 e C2 fazem em média mais do que uma encomenda por dia, por isso, apenas para estas naves será vantajoso aplicar este conceito.

Criou-se uma entidade auxiliar à qual é atribuída quatro variáveis, duas correspondentes ao número de encomendas que chegam por dia para a nave C1 e C2 e duas correspondentes ao número de encomendas que chegam em cada instante conforme o número de encomendas que chegam por dia

(Figura 86). Posteriormente, utilizou-se o *record* do tipo *count* para contabilizar as encomendas que chegam (Figura 87).

Assignments

	Type	Variable Name	New Value
1	Variable	n_enc_C1	MX(ANINT(NORM(11,2)),0)
2	Variable	n_enc_C2	MX(ANINT(NORM(6,1)),0)
3	Variable	n_enc_cheg_C1	ANINT(n_enc_C1/11)
4	Variable	n_enc_cheg_C2	ANINT(n_enc_C2/6)

Figura 86 - Variáveis atribuídas à entidade auxiliar

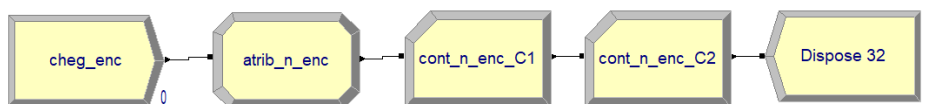


Figura 87 - Fluxo da entidade auxiliar

Os *creates* que geram as encomendas (Figura 88), criam-nas agora de acordo com o período determinado anteriormente, e apenas se o número de encomendas que chegaram até esse momento for inferior ao valor do *record* que contabiliza as encomendas (Figura 89).

Figura 88 - *Create* que gera as encomendas da nave C1

Figura 89 - *Decide* que determina se existem mais encomendas para aquele dia

6.4 Análise do cenário 2

Analisando os indicadores de desempenho (Tabela 9), verifica-se uma melhoria significativa dos prazos de entrega. Por exemplo, o prazo de entrega à nave C2 passou de 71,21 minutos para 22,25, devido à diminuição das filas de espera.

A diminuição das filas de espera derivou da alteração efetuada neste cenário. Com a chegada de um menor número de encomendas em determinado instante, o tempo de espera e o número de encomendas à espera diminuíram (Tabela 10). Consequentemente, é possível produzir uma encomenda em 21,2 minutos, valor este muito inferior aos 72,4 minutos do primeiro cenário.

Pela (Tabela 9) constata-se que o indicador relativo à utilização dos recursos sofreu uma variação negativa. A utilização do recurso “cais” é menor, no cenário 2, devido à redução do tempo de descarga de um camião, que resulta da diminuição do tempo de espera do empilhador de 13,8 para 6,8 minutos. Relativamente ao empilhador, porta-paletes, balança, operador e chefe, a chegada de encomendas periodicamente, implica a desocupação destes recursos até à chegada da próxima encomenda, o que explica a diminuição deste indicador.

Já a utilização do comboio aumentou de 7,60% para 12,02% porque a chegada de encomendas periodicamente implica que a conclusão de encomendas seja também periódica. Desta forma, são realizadas mais viagens com menos carga, como se verifica com a diminuição do indicador relativo à ocupação dos transportes, de 47,21% para 23,26%. Como são realizadas mais viagens para entregar a mesma mercadoria, o indicador da produtividade de entrega às naves (número de paletes entregues/tempo total utilizado na entrega) diminuiu de 0,58 para 0,37 paletes por minuto.

Relativamente à ocupação do armazém e à taxa de produção, não se pode concluir que estes indicadores variaram. Isto porque os respetivos intervalos de confiança a 95% (*average ± half width*), do primeiro cenário, interseam-se com os do segundo cenário, como exemplificado na figura seguinte, para o indicador da ocupação do armazém.

Indicador da ocupação do armazém A1

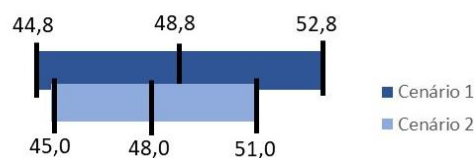


Figura 90 - Média e limites do intervalo de confiança a 95% do indicador da ocupação do armazém

6.5 Construção do cenário 3

A melhoria referente aos prazos de entrega tem um impacto superior à diminuição da ocupação dos recursos. Importa, portanto, aumentar as ocupações dos recursos, já que estas são inferiores a 50%. Pela informação obtida no *number busy* (número médio de recursos ocupados) dos recursos (Tabela 11) é possível diminuir a capacidade de todos os recursos para 1, excetuando os operadores. O *number busy* médio para o operador é de 1,058, pelo que apenas este recurso necessita de 2.

Tabela 11 - *Number busy* dos recursos no cenário 2

Recursos	Capacidade disponível	Number busy
Cais de descarga	3	0,25
Operador	4	1,06
Chefe	1	0,05
Balança	2	0,55
Bandeadora	1	0,06
Empilhador	1	0,12
Porta-paletes	2	0,57
Comboio	1	0,12

6.6 Análise do cenário 3

Tabela 12 - Indicadores de desempenho do cenário 2 e 3

		Cenário 2	Cenário 3	Varição	
Cenário 3	Prazo de entrega (min)	C1	54,05	53,33	●
		C2	22,25	26,10	●
		C3	89,45	87,77	●
		C4	59,01	67,36	●
		Camiões	372,69	368,55	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,96%	99,94%	●
		C2	99,97%	99,99%	●
		C3	99,87%	99,40%	●
		C4	100,00%	99,75%	●
		Camiões	49,96%	42,08%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	48,80%	49,99%	●
		A2	89,79%	88,99%	●
		B	84,62%	83,62%	●
		C	80,93%	80,23%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	12,02%	10,15%	●
		Empilhador	38,60%	49,23%	●
		Porta-paletes	28,64%	51,94%	●
		Balança	27,60%	50,12%	●
		Bandeadora	6,36%	5,41%	●
		Cais	8,23%	34,00%	●
Chefe		4,78%	25,70%	●	
Operador		26,45%	47,90%	●	
Ocupação dos transportes (%)	Comboio	23,26%	21,88%	●	
	Camião ind	19,32%	18,56%	●	
	Camião exp	42,27%	36,97%	●	
Produtividade (pal/min)	Receção	0,83	0,77	●	
	Arrumação	0,93	0,81	●	
	Picking Pal Int	0,57	0,54	●	
	Picking Sacos	0,37	0,30	●	
	Exped Camiões	2,06	1,89	●	
	Entrega Naves	0,37	0,35	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,049	0,053	●	

Comparando os indicadores de desempenho com o cenário anterior (Tabela 12), relativamente aos prazos de entrega, houve uma variação negativa, o que é compreensível pela disponibilidade de menos recursos. Porém, para C1 e camiões, não se constatou essa variação negativa, mas os intervalos de confiança neste cenário são maiores, e interseccionam-se com os intervalos de confiança do cenário anterior.

Devido ao aumento dos prazos de entrega, o número de encomendas a tempo sofreu também uma pequena variação negativa, com maior impacto para a CIN Indústria e Exportação, com uma queda de cerca de sete pontos percentuais.

Porém, a diminuição do investimento em seis recursos justifica estas pequenas variações negativas. Além disso, houve uma melhoria significativa na ocupação dos recursos. Há variações positivas na ordem dos 10 pontos percentuais, como o caso do empilhador, e 25 pontos percentuais, como é o caso do recurso cais.

Como suposto, com a redução do número de porta-paletes disponíveis, o tempo de espera por este recurso passou de 0,6 para 6,3 minutos (Tabela 13). Da mesma forma, os tempos de espera pelo recurso chefe também aumentaram, devido à diminuição dos operadores disponíveis, sendo o chefe requerido mais frequentemente para realizar tarefas destinadas aos operadores. Este facto justifica a transição de 0,5 para 20,2 encomendas à espera do chefe e é comprovado com o aumento do *number busy* do chefe de 0,05 para 0,26.

O aumento destas filas de espera implica também o aumento da fila de espera pelo cais, passando a 5, o número de camiões dos fornecedores à espera do cais, e 0,1, o número de camiões da CIN à espera do cais. Consequentemente, muitos camiões ficam aqui retidos, o que diminuiu os tempos de espera de outros recursos, como por exemplo, o empilhador.

Tabela 13 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 2 e 3

	Recepção					Arrumação		Picking						Expedição camiões					Entrega naves								
					Total		Total							Total					Total				Total				
Tempo de espera (min)	C2	0,4	0,2	6,8	0	21,2	2,3	12	0,4	9,0	0	0,6	0	0	0	22,4	0	0,6	20	0	0	0	25,8	0,1	0	0	8,0
	C3	6,1	0,6	4	0	23,7	1,0	10,1	0,6	8,4	0	6,3	0	0	0,5	26,5	4,9	0,5	14,3	0	0,5	0	23,8	0,1	0	0	7,6
Nº de entidades à espera	C2	0,1	0	0,1	0	-	0,1	-	0,5	0,3	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0,2	0	0	-
	C3	5	0	0	0	-	0,1	-	20,2	0,4	0	0,3	0	0	0,3	-	0,1	0	0	0	0	0,1	-	7,7	0	0	-

6.7 Construção do cenário 4

Face ao exposto no cenário anterior, este cenário compreende o aumento de um cais de descarga.

6.8 Análise do cenário 4

Com a utilização de dois cais de descarga, o tempo de espera por este recurso diminuiu (Tabela 14), ficando menos camiões retidos no cais. Logo, existem menos intervalos de tempo com recursos desocupados, o que explica o aumento da utilização da maioria dos recursos (Tabela 15).

Tabela 14 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 3 e 4

		Receção				Arrumação		Picking						Expedição camiões					Entrega naves							
						Total		Total								Total					Total				Total	
Tempo de espera (min)	C3	6,1	0,6	4	0	23,7	1	10,1	0,6	8,4	0	6,3	0	0	0,5	26,5	4,9	0,5	14,3	0	0,5	23,8	0,1	0	0	7,6
	C4	1,3	1,7	4,7	0	19,1	2,9	11,6	1,0	8,6	0,1	5,9	0	0	1,4	25,8	0,2	0,5	15,8	0	0,7	20,3	0,7	0	0,1	7,5
Nº de entidades à espera	C3	5	0	0	0	-	0,1	-	20,2	0,4	0	0,3	0	0	0,3	-	0,1	0	0	0	0,1	-	7,7	0	0	-
	C4	11,4	0,5	0,1	0	-	0,6	-	51,4	0,6	0	0,5	0	0	0,5	-	0,2	0	0,0	0	0,1	-	19,5	0	0	-

Tabela 15 - Indicadores de desempenho do cenário 3 e 4

		Cenário 3	Cenário 4	Variação	
Cenário 4	Prazo de entrega (min)	C1	53,33	48,55	
		C2	26,10	26,20	
		C3	87,77	81,85	
		C4	67,36	57,61	
		Camiões	368,55	335,12	
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,94%	99,92%	
		C2	99,99%	99,98%	
		C3	99,40%	99,80%	
		C4	99,75%	100,00%	
		Camiões	42,08%	47,60%	
	Ocupação do armazém (%)	A1	49,99%	55,43%	
		A2	88,99%	87,58%	
		B	83,62%	83,58%	
		C	80,23%	79,10%	
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	10,15%	8,46%	
		Empilhador	49,23%	63,26%	
		Porta-paletes	51,94%	61,30%	
		Balança	50,12%	58,92%	
		Bandeadora	5,41%	3,96%	
		Cais	34,00%	45,89%	
Chefe		25,70%	46,78%		
Operador		47,90%	59,65%		
Ocupação dos transportes (%)	Comboio	21,88%	20,35%		
	Camião ind	18,56%	16,36%		
	Camião exp	36,97%	32,30%		
Produtividade (pal/min)	Receção	0,77	0,70		
	Arrumação	0,81	0,65		
	Picking Pal Int	0,54	0,48		
	Picking Sacos	0,30	0,28		
	Exped Camiões	1,89	1,64		
	Entrega Naves	0,35	0,31		
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,053	0,060		

Apesar do tempo de espera pelo cais ter diminuído, o número de caminhões dos fornecedores à espera aumentou (Tabela 14). Isto porque, a menor retenção de caminhões no cais implica que as restantes filas aumentem, como se verifica com a transição de 20,2 para 51,4 encomendas à espera do chefe. Como os caminhões da CIN têm prioridade sobre os restantes, a fila de espera pelo cais, dos caminhões dos fornecedores, aumenta.

Outro aspeto positivo verificado foi o aumento da taxa de produção, de 0,053 para 0,060, devido à diminuição dos tempos de processamento das atividades, embora estas variações sejam inferiores a 5 minutos. A atividade da arrumação foi a única que sofreu uma variação negativa, passando de 10,1 para 11,6 minutos, resultado do aumento do tempo de espera pelo empilhador.

6.9 Construção do cenário 5

A existência de 11,4 caminhões dos fornecedores à espera de um cais, é um valor significativo. Por isso, este cenário implica a construção de mais um cais de descarga, dispondo assim o sistema de 3 cais, como inicialmente previsto.

6.10 Análise do cenário 5

Neste cenário, os tempos de processamento de cada atividade aumentaram, com o aumento das filas de espera (Tabela 16). Logo a vantagem conseguida no cenário 4, relativamente à taxa de produção e à utilização dos recursos, é perdida neste cenário (Tabela 17).

Aqui, os tempos de espera pelo cais passaram de 1,3 para 0,5, para os caminhões dos fornecedores, e de 0,2 para 0, para os caminhões da CIN. Porém, o número de caminhões à espera não melhorou (Tabela 16). Logo, no geral, o investimento neste cais adicional não melhora o funcionamento do armazém.

Pela observação das filas de espera, constata-se que a fila de espera pelo chefe é a maior. Por exemplo, o número de encomendas à espera na atividade de *picking* é superior a 51. Dado que o chefe executa também as tarefas dos operadores, tarefas essas com uma duração muito superior às atividades executadas apenas pelo chefe, as filas de espera dos processos que requerem exclusivamente o chefe aumentam.

Tabela 16 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 4 e 5

		Receção				Arrumação		Picking							Expedição camiões					Entrega naves						
						Total		Total							Total						Total				Total	
Tempo de espera (min)	C4	1,3	1,7	4,7	0	19,1	2,9	11,6	1,0	8,6	0,1	5,9	0	0	1,4	25,8	0,2	0,5	15,8	0	0,7	20,3	0,7	0	0,1	7,5
	C5	0,5	1,4	5,7	0,2	19,6	3,1	12	1,0	8,6	0,1	5,8	0,1	0	1,2	25,8	0	0,5	16,6	0	0,5	21,3	0,6	0	0,1	7,6
Nº de entidades à espera	C4	11,4	0,5	0,1	0	-	0,6	-	51,4	0,6	0	0,5	0	0	0,5	-	0,2	0	0	0	0,1	-	19,5	0	0	-
	C5	12,8	1	0,1	0	-	0,9	-	59,7	0,7	0	0,5	0,1	0	0,5	-	0,2	0,1	0,1	0	0,1	-	22,3	0	0	-

Tabela 17 - Indicadores de desempenho do cenário 4 e 5

		Cenário 4	Cenário 5	Varição	
Cenário 5	Prazo de entrega (min)	C1	48,55	53,33	●
		C2	26,20	26,10	●
		C3	81,85	87,77	●
		C4	57,61	67,36	●
		Camiões	335,12	368,55	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,92%	99,94%	●
		C2	99,98%	99,99%	●
		C3	99,80%	99,40%	●
		C4	100,00%	99,75%	●
		Camiões	47,60%	42,08%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	55,43%	49,99%	●
		A2	87,58%	88,99%	●
		B	83,58%	83,62%	●
		C	79,10%	80,23%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	8,46%	10,15%	●
		Empilhador	63,26%	49,23%	●
		Porta-paletes	61,30%	51,94%	●
		Balança	58,92%	50,12%	●
		Bandeadora	3,96%	5,41%	●
		Cais	45,89%	34,00%	●
Chefe		46,78%	25,70%	●	
Ocupação dos transportes (%)	Comboio	20,35%	21,88%	●	
	Camião ind	16,36%	18,56%	●	
	Camião exp	32,30%	36,97%	●	
Produtividade (pal/min)	Receção	0,70	0,77	●	
	Arrumação	0,65	0,81	●	
	Picking Pal Int	0,48	0,54	●	
	Picking Sacos	0,28	0,30	●	
	Exped Camiões	1,64	1,89	●	
	Entrega Naves	0,31	0,35	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,060	0,053	●	

6.11 Construção do cenário 6

A atividade de arrumação é sequencial à atividade de receção, ficando o operador à espera de um empilhador, depois da colocação de etiquetas, para proceder à arrumação das mesmas.

Neste cenário pretende-se testar a separação do processo de receção e arrumação, para que o operador fique livre após a receção da mercadoria. Desta forma, se o chefe necessitar de executar esta atividade, a sua ocupação com esta atividade é menor, possibilitando uma maior ocupação para atividades exclusivamente suas.

Para isso, partindo do cenário 4, colocou-se um *release* do *set* depois do processo de recolha de amostra e um *seize* depois do *request* do empilhador para a arrumação.

6.12 Análise do cenário 6

Este cenário permite que, após a receção de um camião, se existir outro camião à espera, o mesmo é descarregado antes de se proceder à arrumação do primeiro. Por isso, o número de camiões de fornecedores à espera passou de 11,4 para 3,2.

Tabela 18 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 4 e 6

	Receção					Arrumação		Picking							Expedição camiões					Entrega naves					
					Total		Total								Total						Total				Total
Tempo de espera (min)																									
C4	1,3	1,7	4,7	0	19,1	2,9	11,6	1,0	8,6	0,1	5,9	0	0	1,4	25,8	0,2	0,5	15,8	0	0,7	20,3	0,7	0	0,1	7,5
C6	1,2	0,4	5,5	0	20,1	2,0	11,3	0,5	8,6	0	6,3	0	0	0,4	26,9	0,1	0,6	16,3	0	0,6	21,9	0,1	0	0	7,6
Nº de entidades à espera																									
C4	11,4	0,5	0,1	0	-	0,6	-	51,4	0,6	0	0,5	0	0	0,5	-	0,2	0	0	0	0,1	-	19,5	0	0	-
C6	3,2	0,1	0,1	0	-	0,1	-	14,8	0,6	0	0,3	0	0	0,2	-	0	0	0,0	0	0,1	-	5,6	0	0	-

Como presumível, as filas de espera pelo chefe diminuíram (Tabela 18). O maior impacto verifica-se no número de entidades à espera na atividade de entrega para as naves, que passou de 19,5 para 5,6, e no número de encomendas à espera na atividade de *picking*, que passou de 51,4 para 14,8.

Com a diminuição das filas de espera, existem mais períodos de desocupação dos recursos, motivo pelo qual o indicador da utilização dos recursos diminuiu (Tabela 19).

O tempo de espera que as paletes aguardam por ser arrumadas situa-se nos mesmos valores do cenário 4 (Tabela 18), assim como a ocupação do armazém (Tabela 19). Por isso, a alteração realizada neste cenário não prejudica a arrumação da mercadoria.

Por outro lado, os prazos de entrega aumentaram, devido ao incremento do tempo de espera de outros recursos, como o empilhador. Apesar disso, os valores da percentagem de encomendas a tempo elevaram-se (Tabela 19), pelo que os pequenos aumentos nos prazos de entrega médios não são prejudiciais.

Tabela 19 - Indicadores de desempenho do cenário 4 e 6

		Cenário 4	Cenário 6	Variação	
Cenário 6	Prazo de entrega (min)	C1	48,55	54,63	●
		C2	26,20	26,79	●
		C3	81,85	93,49	●
		C4	57,61	66,51	●
		Camiões	335,12	375,08	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,92%	99,99%	●
		C2	99,98%	100,00%	●
		C3	99,80%	99,93%	●
		C4	100,00%	100,00%	●
		Camiões	47,60%	49,71%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	55,43%	49,33%	●
		A2	87,58%	88,37%	●
		B	83,58%	84,07%	●
		C	79,10%	79,29%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	8,46%	10,74%	●
		Empilhador	63,26%	46,35%	●
		Porta-paletes	61,30%	52,11%	●
		Balança	58,92%	50,20%	●
		Bandeadora	3,96%	5,73%	●
		Cais	45,89%	22,09%	●
Chefe		46,78%	20,91%	●	
Ocupação dos transportes (%)	Operador	59,65%	43,56%	●	
	Comboio	20,35%	22,51%	●	
	Camião ind	16,36%	17,62%	●	
Produtividade (pal/min)	Camião exp	32,30%	38,18%	●	
	Receção	0,70	0,78	●	
	Arrumação	0,65	0,82	●	
	Picking Pal Int	0,48	0,54	●	
	Picking Sacos	0,28	0,29	●	
	Exped Camiões	1,64	1,90	●	
	Entrega Naves	0,31	0,35	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,060	0,053	●	

6.13 Construção do cenário 7

Analisando as filas de espera verifica-se que grande parte da execução de cada atividade é dedicada à espera do empilhador, apesar da sua ocupação ser inferior a 50%. O empilhador é necessário em várias atividades do armazém e, ainda, na reposição e arrumação da zona de *picking*, onde os tempos médios de espera deste recurso vão de 1 a 4 minutos. Por isso, é necessário reduzir o tempo de espera por este recurso.

Neste cenário, testa-se a possibilidade de utilizar o porta-paletes na expedição da mercadoria para a CIN Indústria e Exportação. Para isso, todos os módulos do *advanced transfer*, nesta parte do modelo,

foram alterados de empilhador para porta-paletes e as respetivas distâncias foram adicionadas ao módulo *distance*.

6.14 Análise do cenário 7

Tabela 20 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 6 e 7

	Receção					Arrumação		Picking						Expedição camiões					Entrega naves						
					Total		Total							Total					Total				Total		
Tempo de espera (min)																									
C6	1,2	0,4	5,5	0	20,1	2	11,3	0,5	8,6	0	6,3	0	0	0,4	26,9	0,1	0,6	16,3	0	0,6	21,9	0,1	0	0	7,6
C7	1,7	0,3	5,1	0	20,7	1,7	11,4	0,4	7,6	0	7,4	0	0	0,4	27,6	0,1	0,6	28,2	0	0,2	34,7	0	0	0	7,8
Nº de entidades à espera																									
C6	3,2	0,1	0,1	0	-	0,1	-	14,8	0,6	0	0,3	0	0	0,2	-	0	0	0	0	0,1	-	5,6	0	0	-
C7	1,7	0,1	0,1	0	-	0,0	-	7,9	0,3	0	0,5	0	0	0	-	0	0	0,1	0	0,1	-	2,9	0	0	-

Tabela 21 - Indicadores de desempenho do cenário 6 e 7

		Cenário 6	Cenário 7	Varição	
Cenário 7	Prazo de entrega (min)	C1	54,63	56,17	●
		C2	26,79	27,49	●
		C3	93,49	95,38	●
		C4	66,51	69,39	●
		Camiões	375,08	394,32	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,99%	99,94%	●
		C2	100,00%	99,95%	●
		C3	99,93%	99,87%	●
		C4	100,00%	99,89%	●
		Camiões	49,71%	67,67%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	49,33%	49,60%	●
		A2	88,37%	89,70%	●
		B	84,07%	84,53%	●
		C	79,29%	80,17%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	10,74%	11,37%	●
		Empilhador	46,35%	35,44%	●
		Porta-paletes	52,11%	59,88%	●
		Balança	50,20%	50,17%	●
		Bandeadora	5,73%	6,04%	●
		Cais	22,09%	17,77%	●
Chefe		20,91%	15,74%	●	
Ocupação dos transportes (%)	Operador	43,56%	44,81%	●	
	Comboio	22,51%	23,03%	●	
	Camião ind	17,62%	19,80%	●	
Produtividade (pal/min)	Camião exp	38,18%	39,22%	●	
	Receção	0,78	0,80	●	
	Arrumação	0,82	0,88	●	
	Picking Pal Int	0,54	0,55	●	
	Picking Sacos	0,29	0,29	●	
	Exped Camiões	1,90	1,77	●	
	Entrega Naves	0,35	0,36	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,053	0,051	●	

Conforme suposto as filas de espera pelo empilhador diminuíram (Tabela 20). No entanto, as variações não foram muito significativas, já que, no máximo, o tempo de espera médio diminuiu 1 minuto, na atividade do *picking*.

A utilização do porta-paletes na atividade de expedição tem consequências negativas para o *picking* e para a expedição já que, o tempo de espera pelo porta-paletes nessas atividades aumenta mais de 1 e 12 minutos, respetivamente. Por essa razão, a ocupação do empilhador diminui, de 46,35% para 35,44%, mas a utilização do porta-paletes aumenta de 52,11% para 59,88%.

Consequentemente os tempos de execução destas atividades aumentam e a taxa de produção diminuiu, sendo os prazos de entrega maiores e a percentagem de encomendas a tempo menores (Tabela 21). Assim, este cenário não é vantajoso.

6.15 Construção do cenário 8

Outro aspeto a melhorar é a entrega da mercadoria para as naves industriais.

A ocupação do comboio logístico, em todos os cenários apresentados até aqui, situa-se na ordem dos 10%. Isto porque, este só opera de hora em hora, e durante um curto espaço de tempo. Além disso, podem existir horários que o comboio não é utilizado pela inexistência de encomendas prontas, o que acentua a sua baixa utilização.

Comparando os prazos de entrega com o tempo médio de processamento de uma encomenda, constata-se que os primeiros são superiores ao dobro dos segundos, com a exceção do prazo de entrega para a nave C2. Significa isto que, em média, o tempo de permanência das encomendas na zona de expedição e a sua entrega é equivalente ou superior ao tempo de preparação de uma encomenda.

De modo a diminuir este tempo, este cenário testa a entrega de encomendas imediatamente após a sua conclusão, quando dispuserem do comboio e de um operador para o efeito.

No modelo, esta alteração envolve a alteração do módulo *create* (Figura 91) para que, a cada minuto verifique se existe pelo menos uma encomenda na zona de expedição. Caso exista, e ainda não esteja em ação esta atividade, é lançada a ordem de entrega.

Create - Basic Process							
	Name	Type	Value	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
12	cheg_hora_comboio	Constant	1	Minutes	NQ(espera_comboio.Queue) > 0 && NQ(rec_comboio_chefe.Queue) == 0 && NQ(junta_comboio.Queue) == 0 && rec_comboio_chefe.WIP == 0 && IT(comboio,1) == 0	Infinite	450

Figura 91 - *Create* que gera a “ordem de entrega” no cenário 8

6.16 Análise do cenário 8

Neste cenário, os prazos de entrega diminuíram substancialmente. A nave C1 registou uma quebra de 30 min, a nave C3 de 42 minutos e a nave C4 de 27 minutos, sendo a percentagem de encomendas a tempo de todas as naves de 100%. Consequentemente, a utilização do comboio aumentou (Tabela 22), já que efetua mais viagens com menos carga. Tal facto é comprovado com a diminuição da sua produtividade de 0,35 para 0,21 pal/min.

Tabela 22 - Indicadores de desempenho do cenário 6 e 8

		Cenário 6	Cenário 8	Varição	
Cenário 8 Entrega às naves quando conclui encomenda	Prazo de entrega (min)	C1	54,63	24,07	●
		C2	26,79	24,89	●
		C3	93,49	51,32	●
		C4	66,51	39,48	●
		Camiónes	375,08	354,11	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,99%	100,00%	●
		C2	100,00%	100,00%	●
		C3	99,93%	100,00%	●
		C4	100,00%	100,00%	●
		Camiónes	49,71%	44,24%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	49,33%	54,99%	●
		A2	88,37%	87,67%	●
		B	84,07%	83,72%	●
		C	79,29%	80,30%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	10,74%	12,07%	●
		Empilhador	46,35%	59,50%	●
		Porta-paletes	52,11%	40,39%	●
		Balança	50,20%	38,95%	●
		Bandeadora	5,73%	4,31%	●
		Cais	22,09%	41,18%	●
		Chefe	20,91%	41,38%	●
		Operador	43,56%	34,95%	●
	Ocupação dos transportes (%)	Comboio	22,51%	11,66%	●
		Camião ind	17,62%	16,10%	●
		Camião exp	38,18%	35,41%	●
Produtividade (pal/min)	Receção	0,78	0,75	●	
	Arrumação	0,82	0,74	●	
	Picking Pal Int	0,54	0,51	●	
	Picking Sacos	0,29	0,29	●	
	Exped Camiónes	1,90	1,72	●	
	Entrega Naves	0,35	0,21	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,053	0,055	●	

Com a realização de mais viagens, a ocupação do operador na entrega da mercadoria é maior, o que diminui a sua disponibilidade para a realização de outras atividades. Consequentemente, existem filas de espera que aumentam (Tabela 23). Exemplos disso são a espera pelo chefe no *picking*, que passa de 14,8 para 42,9 encomendas à espera, e a espera pelo cais de descarga, que passa de 3,2 para 9,7

camiónes dos fornecedores à espera. Com o aumento das filas de espera, no geral, a utilização dos recursos subiu (Tabela 22), exceto nos recursos utilizados no *picking*, já que muitas das encomendas ficam retidas no processo onde é necessário o chefe.

Tabela 23 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 6 e 8

	Receção					Arrumação		Picking							Expedição camiões					Entrega naves						
					Total		Total								Total					Total				Total		
Tempo de espera (min)	C6	1,2	0,4	5,5	0	20,1	2	11,3	0,5	8,6	0	6,3	0	0	0,4	26,9	0,1	0,6	16,3	0	0,6	21,9	0,1	0	0	7,6
	C8	1,4	0,5	5	0	19,3	1,7	10,8	0,5	8,1	0	6	0	0	0,4	25,3	0,1	0,5	18,0	0	1,6	24,5	0,1	0	0	6,0
Nº de entidades à espera	C6	3,2	0,1	0,1	0	-	0,1	-	14,8	0,6	0	0,3	0	0	0,2	-	0	0	0	0	0,1	-	5,6	0	0	-
	C8	9,7	0,2	0,1	0	-	0,1	-	42,9	1,0	0	0,2	0	0	0,6	-	0	0	0,1	0	0,3	-	0	0	0	-

6.17 Construção do cenário 9

Outra forma de melhorar o comboio logístico seria maximizar a sua capacidade ocupada. Isto significa que, a atividade de entrega às naves industriais apenas se inicia quando a quantidade de mercadoria pronta a expedir é capaz de ocupar totalmente a capacidade máxima do comboio (8 toneladas). Para isso, basta modificar a expressão do *create* que gera a entidade “ordem de entrega” (Figura 92).

Create - Basic Process							
	Name	Entity Type	Type	Value	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
12	cheg_hora_comboio	hora_comboio	Constant	1	SAQUE(espera_comboio.Queue,NSYM(peso_palete)) > capacidade_comboio && NQ(rec_comboio_chefe.Queue) == 0 && NQ(junta_comboio.Queue) == 0 && rec_comboio_chefe.WIP == 0 && IT(comboio,1) == 0	Infinite	450

Figura 92 - Create que gera a “ordem de entrega” no cenário 9

6.18 Análise do cenário 9

Aqui, os prazos de entrega para as naves C1, C3 e C4 são superiores a 500% dos prazos de entrega do cenário anterior (Tabela 24). Logo, também as percentagens de encomendas a tempo são muito inferiores, sendo a mais crítica para a nave C3 com valores na ordem dos 39%.

A utilização do comboio ronda os 5,9% e a sua capacidade ocupada ronda os 90%. Consequentemente a produtividade da entrega da mercadoria passou de 0,21 para 0,79 pal/min.

Como são realizadas menos viagens, o operador está disponível para realizar outras tarefas, motivo pelo qual, existem filas de espera que diminuem (Tabela 25). Exemplo disso é a fila de espera pelo chefe no *picking*, que passa de 42,9 para 16,7 encomendas à espera. Porém, há filas de espera cujos tempos médios aumentaram, dada a menor retenção de entidades na fila de espera anterior.

Na globalidade, o tempo de execução das atividades aumenta (Tabela 25), motivo pelo qual a taxa de produção diminui para 0,051 enc/min.

Tabela 24 - Indicadores de desempenho do cenário 8 e 9

			Cenário 8	Cenário 9	Varição
Cenário 9 Entrega às naves quando preenche todo o comboio	Prazo de entrega (min)	C1	24,07	218,84	●
		C2	24,89	27,35	●
		C3	51,32	300,00	●
		C4	39,48	223,66	●
		Camiões	354,11	385,88	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	100,00%	59,55%	●
		C2	100,00%	100,00%	●
		C3	100,00%	38,75%	●
		C4	100,00%	61,50%	●
		Camiões	44,24%	44,82%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	54,99%	48,18%	●
		A2	87,67%	88,76%	●
		B	83,72%	83,68%	●
		C	80,30%	79,70%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	12,07%	5,90%	●
		Empilhador	59,50%	48,31%	●
		Porta-paletes	40,39%	48,71%	●
		Balança	38,95%	46,87%	●
		Bandeadora	4,31%	5,49%	●
		Cais	41,18%	50,11%	●
		Chefe	41,38%	21,99%	●
	Ocupação dos transportes (%)	Operador	34,95%	79,53%	●
		Comboio	11,66%	89,90%	●
		Camião ind	16,10%	18,13%	●
	Produtividade (pal/min)	Camião exp	35,41%	40,77%	●
Receção		0,75	0,78	●	
Arrumação		0,74	0,83	●	
Picking Pal Int		0,51	0,55	●	
Picking Sacos		0,29	0,30	●	
Exped Camiões		1,72	1,97	●	
Taxa de produção (enc/min)	Entrega Naves	0,21	0,79	●	
	Encomendas	0,055	0,051	●	

Tabela 25 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 8 e 9

	Receção					Arrumação		Picking						Expedição camiões					Entrega naves						
					Total		Total							Total					Total					Total	
Tempo de espera (min)																									
C8	1,4	0,5	5	0	19,3	1,7	10,8	0,5	8,1	0	6	0	0	0,4	25,3	0,1	0,5	18	0	1,6	24,5	0,1	0	0	6,0
C9	1,3	0,4	5,4	0	20,2	1,9	11	0,5	9,6	0	6,9	0	0	0,4	28,3	0	0,6	19,2	0	1	24,9	0,1	0	0	16,9
Nº de entidades à espera																									
C8	9,7	0,2	0,1	0	-	0,1	-	42,9	1,0	0	0,2	0	0	0,6	-	0	0	0,1	0	0,3	-	0	0	0	-
C9	3,8	0,1	0,1	0	-	0,0	-	16,7	0,6	0	0,3	0	0	0,3	-	0	0	0,1	0	0,2	-	0	0	0	-

6.19 Construção do cenário 10

Como referido anteriormente as filas de espera pelo chefe são elevadas, principalmente no *picking*. Por isso, este cenário testa a possibilidade de todos os operadores terem capacidade para realizarem as tarefas do encarregado quando este está ocupado a concluir outra atividade.

Para representar este cenário no modelo, em todos os *process* que utilizam o recurso chefe, o recurso utilizado passa a ser um *set*. Este *set* lista em primeiro lugar o chefe e depois os operadores.

6.20 Análise do cenário 10

As filas de espera pelo chefe diminuíram, sendo agora o tempo de espera bem como o número de entidades à espera deste recurso bastante próximo de 0 (Tabela 26). Consequentemente, outras filas de espera também diminuíram, como se verifica no número de camiões dos fornecedores à espera do cais que passou de 9,7 para 0.

Tabela 26 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 8 e 10

	Receção					Arrumação		Picking							Expedição camiões					Entrega naves					
					Total		Total								Total					Total				Total	
Tempo de espera (min)																									
C8	1,4	0,5	5	0	19,3	1,7	10,8	0,5	8,1	0	6	0	0	0,4	25,3	0,1	0,5	18	0	1,6	24,5	0,1	0	0	6,0
C10	1,4	0,1	5,9	0	21,1	2,0	11,7	0,1	9,0	0	6,6	0	0	0	27,7	0,1	0,2	17,8	0	0,9	23,5	0	0	0	6,7
Nº de entidades à espera																									
C8	9,7	0,2	0,1	0	-	0,1	-	42,9	1,0	0	0,2	0	0	0,6	-	0	0	0,1	0	0,3	-	0	0	0	-
C10	0	0	0	0	-	0,0	-	0,0	0,3	0	0,3	0	0	0	-	0	0	0,0	0	0	-	0	0	0	-

Como menos encomendas ficam retidas nos processos do chefe, as filas de espera pelo empilhador e pelo porta-paletes aumentaram ligeiramente, o que tem impacto nos tempos totais de processamento de cada atividade (Tabela 26). Por isso, a taxa de produção diminuiu (Tabela 27).

Como previsível a utilização dos operadores aumentou para 50,58%, enquanto que a do chefe diminuiu para 11,29%. Com o aumento das filas de espera respetivas, a utilização da balança e do porta-paletes aumentaram, ficando acima dos 50%. Já o número de entidades à espera do empilhador nas diversas atividades diminuiu, o que implicou também a diminuição da sua utilização de 59,50% para 38,75%.

Neste cenário, os prazos de entrega aumentaram ligeiramente. Consequentemente, a percentagem de encomendas a tempo decresceu, mas ainda se encontra com valores superiores a 99% para as naves.

Tabela 27 - Indicadores de desempenho do cenário 8 e 10

		Cenário 8	Cenário 10	Variação	
Cenário 10	Prazo de entrega (min)	C1	24,07	27,03	●
		C2	24,89	26,99	●
		C3	51,32	57,43	●
		C4	39,48	41,78	●
		Camiões	354,11	392,83	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	100,00%	99,99%	●
		C2	100,00%	99,99%	●
		C3	100,00%	99,94%	●
		C4	100,00%	100,00%	●
		Camiões	44,24%	49,50%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	54,99%	49,66%	●
		A2	87,67%	88,79%	●
		B	83,72%	84,64%	●
		C	80,30%	79,12%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	12,07%	18,34%	●
		Empilhador	59,50%	38,75%	●
		Porta-paletes	40,39%	56,43%	●
		Balança	38,95%	54,26%	●
		Bandeadora	4,31%	6,48%	●
		Cais	41,18%	11,18%	●
		Chefe	41,38%	11,29%	●
		Operador	34,95%	50,58%	●
	Ocupação dos transportes (%)	Comboio	11,66%	13,20%	●
		Camião ind	16,10%	19,28%	●
		Camião exp	35,41%	38,35%	●
	Produtividade (pal/min)	Receção	0,75	0,83	●
		Arrumação	0,74	0,80	●
Picking Pal Int		0,51	0,57	●	
Picking Sacos		0,29	0,31	●	
Exped Camiões		1,72	1,98	●	
Entrega Naves		0,21	0,24	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,055	0,050	●	

6.21 Construção do cenário 11

No cenário anterior, o *number busy* dos operadores é de 1.01 e o do chefe é de 0.11. Se os somarmos, o *number busy* dos recursos humanos é inferior a dois. Por isso, o próximo cenário testa a possibilidade da existência de apenas um operador.

6.22 Análise do cenário 11

Como seria de esperar, as filas de espera pelos recursos humanos aumentaram (Tabela 28), com grande impacto no número de encomendas à espera pelo chefe que passou de 0 a 21,2. Isto porque,

a existência apenas de um operador vai sobrecarregar ambos os recursos humanos que agora estão aptos a realizar qualquer tarefa.

Tabela 28 - Tempos de espera e número de entidades à espera nos cenários 10 e 11

		Receção				Arrumação		Picking						Expedição camiões					Entrega naves							
						Total		Total									Total				Total					
Tempo de espera (min)	C10	1,4	0,1	5,9	0	21,1	2	11,7	0,1	9,0	0	6,6	0	0	0	27,7	0,1	0,2	17,8	0	0,9	23,5	0	0	0	6,7
	C11	3,1	1,3	9,6	0,5	27,4	3,5	13,4	0,8	11,3	0,3	6,6	0,2	0	0,2	29,6	0,2	0,5	20,0	0,7	4,3	28,4	0,5	0	0,2	6,9
Nº de entidades à espera	C10	0	0	0	0	-	0	-	0,0	0,3	0	0,3	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-
	C11	5	0,1	0,1	0	-	0,0	-	21,2	0,4	0	0,5	0	0	0	-	0	0	0,1	0	0,2	-	0	0	0	-

O aumento destas filas de espera repercute-se em todas as outras filas, o que aumenta o tempo total de processamento de cada atividade e a ocupação dos recursos (Tabela 29).

Tabela 29 - Indicadores de desempenho do cenário 10 e 11

		Cenário 10	Cenário 11	Varição	
Cenário 11 Diminuição de um operador	Prazo de entrega (min)	C1	27,03	28,56	●
		C2	26,99	29,07	●
		C3	57,43	58,50	●
		C4	41,78	44,56	●
		Camiões	392,83	371,31	●
	Encomendas a tempo (%)	C1	99,99%	99,99%	●
		C2	99,99%	100,00%	●
		C3	99,94%	100,00%	●
		C4	100,00%	100,00%	●
		Camiões	49,50%	48,24%	●
	Ocupação do armazém (%)	A1	49,66%	53,25%	●
		A2	88,79%	89,17%	●
		B	84,64%	84,24%	●
		C	79,12%	80,06%	●
	Utilização dos recursos (%)	Comboio	18,34%	16,93%	●
		Empilhador	38,75%	55,25%	●
		Porta-paletes	56,43%	64,95%	●
		Balança	54,26%	62,43%	●
		Bandeadora	6,48%	5,42%	●
		Cais	11,18%	29,67%	●
		Chefe	11,29%	51,95%	●
		Operador	50,58%	76,46%	●
	Ocupação dos transportes (%)	Comboio	13,20%	12,18%	●
		Camião ind	19,28%	18,41%	●
		Camião exp	38,35%	36,51%	●
	Produtividade (pal/min)	Receção	0,83	0,78	●
		Arrumação	0,80	0,83	●
Picking Pal Int		0,57	0,54	●	
Picking Sacos		0,31	0,28	●	
Exped Camiões		1,98	1,57	●	
Entrega Naves		0,24	0,22	●	
Taxa de produção (enc/min)	Encomendas	0,050	0,053	●	

Logo, os prazos de entrega aumentaram (Tabela 29).

O aumento da utilização dos recursos, bem como a variação positiva na percentagem de encomendas a tempo e na taxa de produção torna este cenário melhor que o anterior. As pequenas variações negativas em alguns indicadores, não justificam o investimento num operador adicional que o cenário 10 requer.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os cenários testados foram contruídos de uma forma sequencial, com o objetivo de melhorar o cenário anterior (Figura 93).

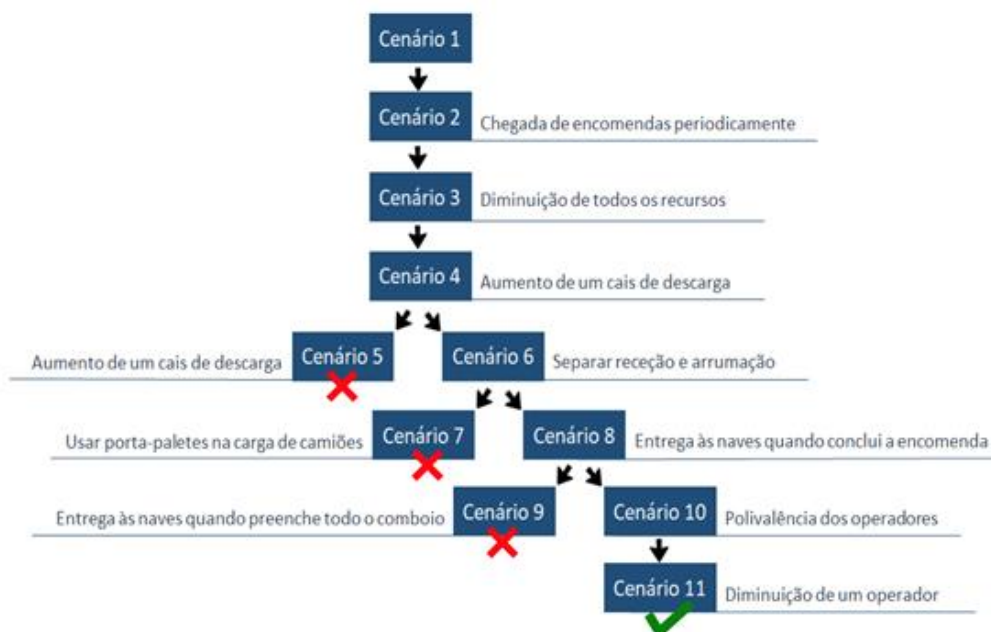


Figura 93 - Percurso percorrido para a construção dos cenários

A Tabela 30 compara todos os cenários testados, indicando a verde o melhor valor de todos os cenários para determinados indicadores de desempenho, e a vermelho o pior.

Examinando os prazos de entrega e as encomendas a tempo, verifica-se que os cenários 8, 10 e 11 são os que apresentam os melhores valores para estes indicadores. Nestes cenários, para as naves industriais, os prazos de entrega não variam muito entre si (no máximo 7 minutos, para a nave C3, entre o cenário 8 e 11) e as encomendas a tempo nos cenários 8 e 11 são praticamente 100%. Para a CIN Indústria e Exportação, os prazos de entrega são de cerca de um dia. Isto porque a expedição da mercadoria só acontece um dia após a encomenda. As encomendas a tempo são inferiores a 50%, porque o prazo limite é um dia e 15 minutos. Ou seja, o armazém apenas dispõe de 15 min para dispor dos recursos necessários e carregar um camião. Se considerarmos que o armazém dispõe uma hora para a expedição da mercadoria após a chegada do camião ao armazém, as encomendas a tempo passam a ser 92,7%, no cenário 11.

Tabela 30 - Melhores (a verde) e piores (a vermelho) resultados para cada indicador

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10	Cenário 11
Prazo de entrega (min)	C1	110,56	54,05	53,33	48,55	53,33	54,63	56,17	24,07	218,84	27,03	28,56
	C2	71,21	22,25	26,10	26,20	26,10	26,79	27,49	24,89	27,35	26,99	29,07
	C3	143,16	89,45	87,77	81,85	87,77	93,49	95,38	51,32	300,00	57,43	58,50
	C4	109,93	59,01	67,36	57,61	67,36	66,51	69,39	39,48	223,66	41,78	44,56
	Camiões	398,79	372,69	368,55	335,12	368,55	375,08	394,32	354,11	385,88	392,83	371,31
Encomendas a tempo (%)	C1	99,15%	99,96%	99,94%	99,92%	99,94%	99,99%	99,94%	100,00%	59,55%	99,99%	99,99%
	C2	99,91%	99,97%	99,99%	99,98%	99,99%	100,00%	99,95%	100,00%	100,00%	99,99%	100,00%
	C3	94,82%	99,87%	99,40%	99,80%	99,40%	99,93%	99,87%	100,00%	38,75%	99,94%	100,00%
	C4	99,12%	100,00%	99,75%	100,00%	99,75%	100,00%	99,89%	100,00%	61,50%	100,00%	100,00%
	Camiões	29,79%	49,96%	42,08%	47,60%	42,08%	49,71%	67,67%	44,24%	44,82%	49,50%	48,24%
Ocupação do armazém (%)	A1	48,02%	48,80%	49,99%	55,43%	49,99%	49,33%	49,60%	54,99%	48,18%	49,66%	53,25%
	A2	88,47%	89,79%	88,99%	87,58%	88,99%	88,37%	89,70%	87,67%	88,76%	88,79%	89,17%
	B	83,76%	84,62%	83,62%	83,58%	83,62%	84,07%	84,53%	83,72%	83,68%	84,64%	84,24%
	C	79,09%	80,93%	80,23%	79,10%	80,23%	79,29%	80,17%	80,30%	79,70%	79,12%	80,06%
Utilização dos recursos (%)	Comboio	7,60%	12,02%	10,15%	8,46%	10,15%	10,74%	11,37%	12,07%	5,90%	18,34%	16,93%
	Empilhador	45,34%	38,60%	49,23%	63,26%	49,23%	46,35%	35,44%	59,50%	48,31%	38,75%	55,25%
	Porta-paletes	41,49%	28,64%	51,94%	61,30%	51,94%	52,11%	59,88%	40,39%	48,71%	56,43%	64,95%
	Balança	40,54%	27,60%	50,12%	58,92%	50,12%	50,20%	50,17%	38,95%	46,87%	54,26%	62,43%
	Bandeadora	5,71%	6,36%	5,41%	3,96%	5,41%	5,73%	6,04%	4,31%	5,49%	6,48%	5,42%
	Cais	23,61%	8,23%	34,00%	45,89%	34,00%	22,09%	17,77%	41,18%	50,11%	11,18%	29,67%
	Chefe	18,78%	4,78%	25,70%	46,78%	25,70%	20,91%	15,74%	41,38%	21,99%	11,29%	51,95%
	Operador	37,11%	26,45%	47,90%	59,65%	47,90%	43,56%	44,81%	34,95%	79,53%	50,58%	76,46%
Ocupação dos transportes (%)	Comboio	47,21%	23,26%	21,88%	20,35%	21,88%	22,51%	23,03%	11,66%	89,90%	13,20%	12,18%
	Camião ind	15,07%	19,32%	18,56%	16,36%	18,56%	17,62%	19,80%	16,10%	18,13%	19,28%	18,41%
	Camião exp	36,25%	42,27%	36,97%	32,30%	36,97%	38,18%	39,22%	35,41%	40,77%	38,35%	36,51%
Produtividade (pal/min)	Receção	0,80	0,83	0,77	0,70	0,77	0,78	0,80	0,75	0,78	0,83	0,78
	Arrumação	0,83	0,93	0,81	0,65	0,81	0,82	0,88	0,74	0,83	0,80	0,83
	Picking Pal Int	0,55	0,57	0,54	0,48	0,54	0,54	0,55	0,51	0,55	0,57	0,54
	Picking Sacos	0,15	0,37	0,30	0,28	0,30	0,29	0,29	0,29	0,30	0,31	0,28
	Exped Camiões	1,80	2,06	1,89	1,64	1,89	1,90	1,77	1,72	1,97	1,98	1,57
	Entrega Naves	0,58	0,37	0,35	0,31	0,35	0,35	0,36	0,21	0,79	0,24	0,22
Taxa produção	Encomendas	0,052	0,049	0,053	0,060	0,053	0,053	0,051	0,055	0,051	0,050	0,053

O indicador da capacidade do armazém varia ligeiramente de cenário para cenário pelo que as alterações efetuadas nos cenários não tiveram grande impacto na capacidade de armazenagem. Para o cenário 11, em média estão classificadas 4,7 paletes em “*overflow*”, o que é um valor aceitável.

Quanto ao indicador utilização dos recursos, o cenário 11 é o único que apresenta 3 indicadores a verde, para os recursos porta-paletes, balança e chefe. Além disso, para os recursos comboio e operador, este

cenário apresenta os segundos melhores valores. A utilização da bandeadora não variou muito ao longo dos cenários e é inferior a 10% uma vez que apenas é ocupada durante curto intervalo de tempo. Para os recursos empilhador e cais, este indicador, no cenário 11, não apresentam os melhores valores, mas também não apresenta os piores.

Se analisarmos o indicador da ocupação dos transportes, o cenário 9 é o que apresenta o melhor valor. No entanto, para o atingir apresenta os piores valores para os prazos de entrega e encomendas a tempo, o que não é aceitável.

Os indicadores relativos à produtividade não variam muito ao longo dos cenários assim como o indicador taxa de produção que apresenta o melhor valor para o cenário 4, o segundo melhor para o cenário 8 e o terceiro melhor para o cenário 11.

Assim, corroborando a conclusão do subcapítulo anterior, o cenário 11 encontra um equilíbrio entre todos os indicadores, apresentando os melhores valores para os prazos de entrega, encomendas a tempo e utilização dos recursos. Portanto, é o cenário proposto para um bom funcionamento do armazém em estudo.

Escolhido o sistema é importante compreender o seu limite. Em teoria, o sistema é capaz de responder à procura até um máximo em que a taxa de produção iguala a procura (Figura 94). Realizando um teste de sobrecarga ao sistema, com apenas o aumento do número de encomendas médias realizadas ao armazém pelas naves industriais, deteta-se que antes de atingir esse momento, o sistema torna-se ineficiente (Tabela 31).

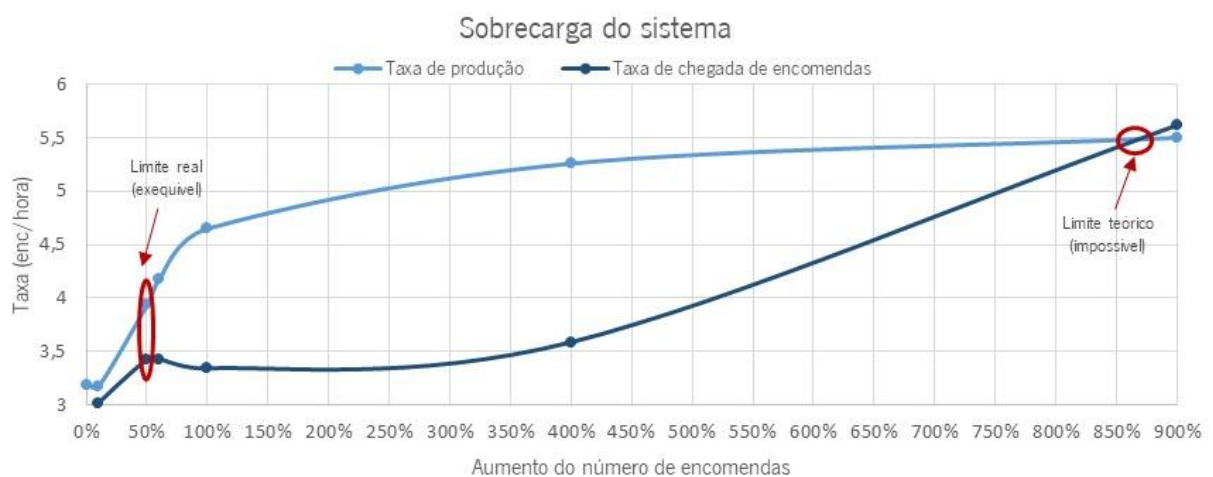


Figura 94 - Variação das taxas de chegada de encomendas e produção

Tabela 31 - Efeitos de aumentos de 10%, 50%, 60% e 100% no número de encomendas

		Cenário 11	+10%	+50%	+60%	+100%	900%
Taxa de produção (enc/hora)		3,186	3,178	3,945	4,183	4,655	5,507
Taxa de chegada (enc/hora)		2,864	3,019	3,429	3,428	3,340	5,623
Encomendas a tempo (%)	C1	99,99%	99,88%	97,47%	91,52%	35,34%	0,05%
	C2	100,00%	99,82%	97,47%	91,59%	33,48%	0,30%
	C3	100,00%	99,72%	96,54%	89,54%	30,76%	0,18%
	C4	100,00%	100,00%	98,36%	92,71%	43,27%	1,63%
Utilização dos recursos (%)	Comboio	16,93%	17,44%	24,08%	26,05%	23,80%	36,43%
	Empilhador	55,25%	52,64%	63,11%	66,82%	70,90%	75,07%
	Porta-paletes	64,95%	64,38%	79,20%	83,02%	87,39%	100,00%
	Balança	62,43%	61,57%	75,28%	79,02%	83,38%	92,81%
	Bandeadora	5,42%	6,00%	7,17%	7,07%	6,81%	10,99%
	Cais	29,67%	24,38%	30,84%	35,58%	42,14%	40,01%
	Chefe	51,95%	49,86%	65,26%	69,92%	75,22%	83,02%
Operador	76,46%	76,06%	82,68%	84,77%	87,17%	96,05%	

O aumento do número médio de encomendas que chegam ao armazém tem consequências em todos os indicadores (Anexo IV). Por exemplo, para o dobro do número de encomendas atual, o sistema não responde à procura real, porque a percentagem de encomendas a tempo é inferior a 40%, o que é inadmissível num armazém que abastece a produção (Tabela 31).

Se considerarmos que as encomendas a tempo podem diminuir, no limite, até 95%, as encomendas podem crescer até 50% (Tabela 31). Neste momento todos os indicadores de desempenho são piores, mas a utilização dos recursos ainda é inferior a 90%, e por isso, admissível. A partir deste momento, é necessário alterar a configuração do armazém.

8. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O presente projeto focou-se na melhoria do desempenho de um armazém de matérias-primas, através da sua configuração e operacionalização. Foi caracterizado o sistema atual de funcionamento do mesmo, o que permitiu detetar aspetos a melhorar. Seguidamente, com base nos objetivos da empresa, bem como nos aspetos a melhorar detetados, construiu-se um modelo representativo do funcionamento do armazém futuro. Por fim, com base nos indicadores de desempenho selecionados, foram avaliados vários cenários alternativos. A parametrização de cada cenário foi idealizada com o objetivo de melhorar iterativamente o cenário antecessor.

Dada a necessidade de aumentar a eficiência do armazém, incluir os pequenos armazéns e integrar a fase de pesagem das matérias-primas no armazém central, o primeiro cenário incluiu um aumento da capacidade de armazenagem com a ampliação do armazém central, uma mudança no tipo e nas quantidades dos recursos disponíveis, alteração das políticas operacionais e alteração do *layout*. Neste cenário foi notória a melhoria conseguida face ao sistema atual, com a diminuição substancial dos prazos de entrega, aumento das encomendas a tempo e o aumento da produtividade.

Após a construção e análise dos vários cenários, propôs-se a adoção do último apresentado (cenário 11), que utiliza menos recursos que o primeiro e detém ligeiras alterações no funcionamento de algumas atividades. Isto porque, de entre os vários cenários testados, este apresenta um melhor equilíbrio entre os indicadores de desempenho selecionados (prazo de entrega, encomendas a tempo, ocupação do armazém, utilização dos recursos, ocupação dos transportes, produtividade e taxa de produção).

Dada a complexidade do modelo estudado, não foi possível construir e analisar cenários que envolvessem a alteração de *layout* ou alterações na política de *picking*. Por isso, se propõe como trabalho futuro a elaboração e análise destes cenários. Pelo mesmo motivo, a junção das matérias-primas em três grupos e a modelação da zona de JJ e retorno com capacidade infinita foram outras limitações ao estudo. A junção das matérias-primas num maior número de grupos e a limitação das zonas de JJ e retorno trarão resultados mais realistas, bem como permitirão perceber qual a capacidade necessária para estas zonas. Em termos teóricos, atestou-se que o ARENA é uma boa ferramenta para analisar o processamento de cada atividade do armazém, analisar como cada atividade afeta as demais e avaliar o desempenho da sua configuração. Para determinar a configuração de um armazém, devem-se analisar todas as atividades que o mesmo realiza, já que umas atividades afetam outras, quando dependem dos mesmos recursos ou da produção de outra. Da mesma forma, a configuração do armazém é influenciada pela

chegada de encomendas, chegada de mercadoria e padrões de expedição. Logo, é importante ter em atenção os acordos realizados com os fornecedores e clientes na configuração de um armazém.

O sistema analisado é muito complexo, pelo que a modelação do mesmo em ARENA também o foi. Por isso, este projeto foi um grande desafio, mas que muito contribuiu para o meu desenvolvimento. No fim, todos os objetivos foram concluídos com sucesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahrami, B., Aghezzaf, E.-H., & Limere, V. (2016). Using Simulation to Improve Performance of a Real World Distribution Center. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1874-1879. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.856>
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425-436. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045>
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2010). *Supply chain logistics management* (3rd ed.): McGraw-Hill New York, NY.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR Spectrum*, 32(1), 135-161. doi: 10.1007/s00291-008-0139-2
- Cardona, L. F., Rivera, L., & Martínez, H. J. (2012). Analytical study of the Fishbone Warehouse layout. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(6), 365-388. doi: 10.1080/13675567.2012.743981
- Carvalho, J., Carvalho, V., Ferreira, L., Garcia, N., Pedro, S., & Pereira, A. (2001). Auditoria logística: medir para gerir. *Edições Sílabo, Lisboa*.
- Carvalho, J. C. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (1ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2686-2700. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.058>
- Chen, J. C., Cheng, C.-H., Huang, P. B., Wang, K.-J., Huang, C.-J., & Ting, T.-C. (2013). Warehouse management with lean and RFID application: a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(1-4), 531-542.
- de Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Dharmapriya, U., & Kulatunga, A. (2011). *New strategy for warehouse optimization—lean warehousing*. Paper presented at the Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.
- Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Costantino, N., & Turchiano, B. (2015). An integrated approach for warehouse analysis and optimization: A case study. *Computers in Industry*, 70, 56-69.
- Ekren, B. Y., & Heragu, S. S. (2010). Simulation-based regression analysis for the rack configuration of an autonomous vehicle storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 48(21), 6257-6274. doi: 10.1080/00207540903321665
- Frazelle, E. (2002). *World-Class Warehousing and Material Handling*, ed McGraw-Hill. *New York*.
- Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2007). *A simulation model to improve warehouse operations*. Paper presented at the Proceedings of the 39th conference on Winter simulation: 40 years! The best is yet to come.
- Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2012). Storage policies and order picking strategies in U-shaped order-picking systems with a movable base. *International Journal of Production Research*, 50(16), 4344-4357. doi: 10.1080/00207543.2011.588621
- Gopakumar, B., Sundaram, S., Wang, S., Koli, S., & Srihari, K. (2008). *A simulation based approach for dock allocation in a food distribution center*. Paper presented at the Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation.

- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539-549. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>
- Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171-182. doi: 10.1080/07408170802112726
- Hassan, K., & Kajiwara, H. (2013). Application of Pull Concept-based Lean Production System in the Ship Building Industry. 29(3), 105.
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2011). *Staying Lean: thriving, not just surviving*. CRC Press.
- Johnson, A., & McGinnis, L. (2010). Performance measurement in the warehousing industry. *IIE Transactions*, 43(3), 220-230. doi: 10.1080/0740817X.2010.491497
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. (2004). *Simulation with arena* (McGraw-Hill Ed. 3rd ed.).
- Kumar, A., Roy, D., & Tiwari, M. K. (2014). Optimal partitioning of vertical zones in vehicle-based warehouse systems. *International Journal of Production Research*, 52(5), 1285-1305. doi: 10.1080/00207543.2013.828167
- Liong, C.-Y., & Loo, C. S. (2009). A simulation study of warehouse loading and unloading systems using Arena. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 5(2), 45-56.
- Liu, Y., & Takakuwa, S. (2009). *Simulation-based personnel planning for materials handling at a cross-docking center under retail distribution environment*. Paper presented at the Winter simulation conference.
- Öztürkoğlu, Ö., Gue, K. R., & Meller, R. D. (2012). Optimal unit-load warehouse designs for single-command operations. *IIE Transactions*, 44(6), 459-475. doi: 10.1080/0740817X.2011.636793
- Poon, T. C., Choy, K. L., Chow, H. K. H., Lau, H. C. W., Chan, F. T. S., & Ho, K. C. (2009). A RFID case-based logistics resource management system for managing order-picking operations in warehouses. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8277-8301. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.011>
- Rewers, P., Trojanowska, J., & Chabowski, P. (2016). *Tools and methods of Lean Manufacturing-a literature review*. Paper presented at the 7th International Technical Conference TECHNOLOGICAL FORUM 2016, Czech Republic.
- Roodbergen, K. J., Sharp, G. P., & Vis, I. F. A. (2008). Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions*, 40(11), 1032-1045. doi: 10.1080/07408170802167639
- Roodbergen, K. J., Vis, I. F. A., & Taylor, G. D. (2015). Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. *International Journal of Production Research*, 53(11), 3306-3326. doi: 10.1080/00207543.2014.978029
- Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5524-5544. doi: 10.1080/00207543.2015.1030466
- Thomas, L. M., & Meller, R. D. (2014). Analytical models for warehouse configuration. *IIE Transactions*, 46(9), 928-947. doi: 10.1080/0740817X.2013.855847

Yu, M., & de Koster, R. (2010). Enhancing performance in order picking processes by dynamic storage systems. *International Journal of Production Research*, 48(16), 4785-4806. doi: 10.1080/00207540903055693

ANEXO I – DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

Tabela 32 - Distribuições estatísticas resultantes do *Input Analyzer*




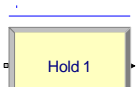
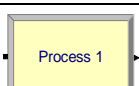
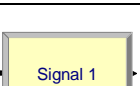
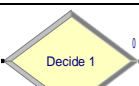
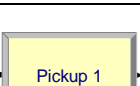
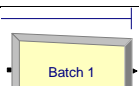
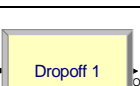
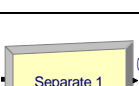
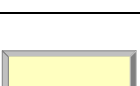

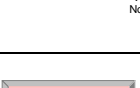

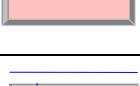

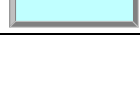
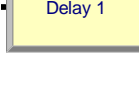

Descrição	Distribuição estatística
Número de caminhões dos fornecedores que chegam por dia	NORM(4.73, 2.71)
Número de amostras por caminhão	POIS(0.326)
Número de paletes rececionadas de matéria-prima A1	-0.5 + LOGN(2.28, 4.93)
Número de paletes rececionadas de matéria-prima A2	-0.5 + 23 * BETA(0.194, 2.95)
Número de paletes rececionadas de matéria-prima B	-0.5 + 25 * BETA(0.453, 8.33)
Número de paletes rececionadas de matéria-prima C	-0.5 + LOGN(1.71, 2.34)
Cadência de chegada de caminhões dos fornecedores (em minutos)	-0.001 + 481 * BETA(0.966, 1.62)
Tempo de conferência da mercadoria (em segundos)	30 + 210 * BETA(0.84, 1.37)
Tempo de recolha de amostra (em segundos)	NORM(67.3, 20.1)
Tempo de colocar etiqueta em palete (em segundos)	0.5 + LOGN(3.73, 3.39)
Tempo de recolha/arrumação da palete (em segundos)	1.5 + WEIB(3.2, 1.79)
Tempo de recolha/arrumação da palete em estante (em segundos)	12.5 + LOGN(9.97, 10.5)
Tempo de realização de maquia (em segundos)	NORM(48.9, 22)
Tempo de transferência de cada saco com o manipulador (em segundos)	2.5 + GAMM(2.02, 1.68)
Tempo de cintagem da palete (em segundos)	24.5 + 96 * BETA(0.675, 0.504)
Número de encomendas da nave C1 por dia	NORM(11,2)
Número de paletes A1 por encomenda C1	POIS(0.0777)
Número de paletes A2 por encomenda C1	NORM(0.0339, 0.229)
Número de paletes B por encomenda C1	NORM(0.023, 0.204)
Número de paletes C por encomenda C1	POIS(0.00328)
Número de sacos A1 por encomenda C1	-0.001 + 103 * BETA(0.401, 2.8)
Número de sacos A2 por encomenda C1	(-0.5 + 67 * BETA(0.163, 1.97)
Número de sacos B por encomenda C1	-0.5 + 78 * BETA(0.273, 6.17)
Número de sacos C por encomenda C1	-0.5 + LOGN(0.691, 0.401))
Número de maquias A1 por encomenda C1	-0.5 + 7 * BETA(1.1, 4)
Número de maquias A2 por encomenda C1	POIS(0.231)
Número de maquias B por encomenda C1	-0.5 + GAMM(0.584, 2.38)
Número de maquias C por encomenda C1	POIS(0.364)
Número de encomendas da nave C2 por dia	NORM(6,1)
Número de paletes A1 por encomenda C2	-0.5 + LOGN(0.881, 0.63)
Número de paletes A2 por encomenda C2	POIS(0.0635)
Número de paletes B por encomenda C2	POIS(0.011)
Número de paletes C por encomenda C2	-0.5 + LOGN(0.67, 0.375)
Número de sacos A1 por encomenda C2	-0.001 + 137 * BETA(0.225, 1.09)
Número de sacos A2 por encomenda C2	-0.5 + LOGN(1.75, 3.18)
Número de sacos B por encomenda C2	-0.5 + LOGN(1.33, 1.61)
Número de sacos C por encomenda C2	-0.5 + LOGN(0.586, 0.216)
Número de maquias A1 por encomenda C2	-0.5 + GAMM(0.835, 2.58)
Número de maquias A2 por encomenda C2	-0.5 + 2 * BETA(2.88, 5.83)

Número de maquinas B por encomenda C2	POIS(0.507)
Número de maquinas C por encomenda C2	-0.5 + LOGN(0.883, 0.573)
Número de encomendas da nave C3 por dia	NORM(1,0.2)
Número de paletes A1 por encomenda C3	-0.5 + ERLA(0.289, 3)
Número de paletes A2 por encomenda C3	-0.5 + EXPO(1.07)
Número de paletes B por encomenda C3	-0.5 + LOGN(0.659, 0.378)
Número de paletes C por encomenda C3	-0.5 + 13 * BETA(0.736, 1.61)
Número de sacos A1 por encomenda C3	-0.5 + 85 * BETA(0.567, 2.07)
Número de sacos A2 por encomenda C3	-0.5 + 78 * BETA(0.224, 0.996)
Número de sacos B por encomenda C3	-0.5 + 78 * BETA(0.116, 0.97)
Número de sacos C por encomenda C3	-0.5 + LOGN(0.939, 0.741)
Número de maquinas A1 por encomenda C3	-0.5 + LOGN(0.646, 0.302)
Número de maquinas A2 por encomenda C3	NORM(0.0412, 0.226)
Número de maquinas B por encomenda C3	-0.5 + LOGN(0.609, 0.241)
Número de maquinas C por encomenda C3	NORM(1.02, 0.46)
Número de encomendas da nave C4 por dia	NORM(1,0.2)
Número de paletes A1 por encomenda C4	0
Número de paletes A2 por encomenda C4	0
Número de paletes B por encomenda C4	POIS(0.0798)
Número de paletes C por encomenda C4	POIS(0.016)
Número de sacos A1 por encomenda C4	-0.5 + LOGN(0.612, 0.291)
Número de sacos A2 por encomenda C4	-0.5 + LOGN(0.605, 0.297)
Número de sacos B por encomenda C4	POIS(0.0798)
Número de sacos C por encomenda C4	-0.5 + 10 * BETA(0.241, 1.55)
Número de maquinas A1 por encomenda C4	-0.5 + LOGN(0.586, 0.221)
Número de maquinas A2 por encomenda C4	POIS(0.0122)
Número de maquinas B por encomenda C4	-0.5 + GAMM(0.341, 2.85)
Número de maquinas C por encomenda C4	-0.5 + ERLA(0.301, 5)
Número de encomendas da CIN Indústria por dia	0.5 + 19 * BETA(0.493, 2.47)
Número de paletes A1 por encomenda CIN Indústria	-0.5 + 11 * BETA(0.39, 3.19)
Número de paletes A2 por encomenda CIN Indústria	POIS(0.0357)
Número de paletes B por encomenda CIN Indústria	-0.5 + ERLA(0.0816, 7)
Número de paletes C por encomenda CIN Indústria	-0.5 + LOGN(0.588, 0.23)
Número de sacos A1 por encomenda CIN Indústria	-0.5 + LOGN(0.896, 0.886)
Número de sacos A2 por encomenda CIN Indústria	-0.5 + LOGN(1.42, 2.22)
Número de sacos B por encomenda CIN Indústria	-0.5 + 47 * BETA(0.182, 2.97)
Número de sacos C por encomenda CIN Indústria	-0.5 + LOGN(0.825, 0.688)
Número de encomendas da Exportação por dia	0.5 + 5 * BETA(0.989, 2.48)
Número de paletes A1 por encomenda Exportação	-0.5 + 17 * BETA(0.211, 1.22)
Número de paletes A2 por encomenda Exportação	-0.5 + GAMM(0.117, 5.26)
Número de paletes B por encomenda Exportação	-0.5 + EXPO(1.14)
Número de paletes C por encomenda Exportação	-0.5 + 16 * BETA(0.409, 4.18)
Número de sacos A1 por encomenda Exportação	-0.5 + LOGN(0.683, 0.48)
Número de sacos A2 por encomenda Exportação	-0.5 + LOGN(0.659, 0.431)

Número de sacos B por encomenda Exportação	$-0.5 + 81 * \text{BETA}(0.249, 2.01)$
Número de sacos C por encomenda Exportação	$-0.5 + 29 * \text{BETA}(0.183, 1.66)$
Número de matérias-primas do tipo A1 em cada encomenda	$0.5 + \text{LOGN}(1.34, 1.14)$
Número de matérias-primas do tipo A2 em cada encomenda	$0.5 + \text{GAMM}(0.148, 4.39)$
Número de matérias-primas do tipo B em cada encomenda	$0.5 + \text{LOGN}(0.744, 0.418)$
Número de matérias-primas do tipo C em cada encomenda	$0.5 + \text{ERLA}(0.0709, 8)$

ANEXO II – MÓDULOS UTILIZADOS

Tabela 33 - Módulos do ARENA utilizados no projeto

Módulo	Função	Módulo	Função
	Gera as entidades do sistema.		Liberta recursos que anteriormente foram alocados a uma entidade.
	É através deste bloco que as entidades saem do sistema.		Mantém uma entidade numa fila de espera até receber um sinal específico, uma determinada condição aconteça, ou até que a simulação termine.
	Simula ações que envolvem tempo e/ou a ocupação de recursos.		Envia um sinal a um determinado <i>hold</i> , para que este liberte um determinado número de entidades.
	Modela processos de tomada de decisão.		Retira um determinado número de entidades a uma fila de espera e agrupa-as à entidade que atravessou este bloco.
	Agrupa temporariamente ou permanentemente um grupo de entidades.		Remove um determinado número de entidades do grupo de entidades que atravessa este módulo.
	Duplica entidades ou separa um grupo de entidades anteriormente formado.		Procura numa fila de espera, num grupo, ou numa expressão, o índice de uma entidade ou o valor da variável que satisfaz uma determinada condição.
	Este módulo serve para atribuir novos valores a variáveis, atributos, tipos de entidades ou outros.		Simula um local físico onde as ações ocorrem.
	Recolhe estatísticas da simulação.		Aloca um transportador a uma entidade para que a mesma possa ser movida.
	Simula ações que envolvem apenas intervalos de tempo.		Move uma entidade de uma estação para outra, utilizando o transportador alocado anteriormente e durante o tempo necessário para percorrer uma determinada distância, a uma determinada velocidade.
	Aloca recursos a uma entidade.		Liberta o transportador anteriormente alocado à entidade.

ANEXO III – MODELO E SUBMODELOS RESULTANTES DO CENÁRIO 1

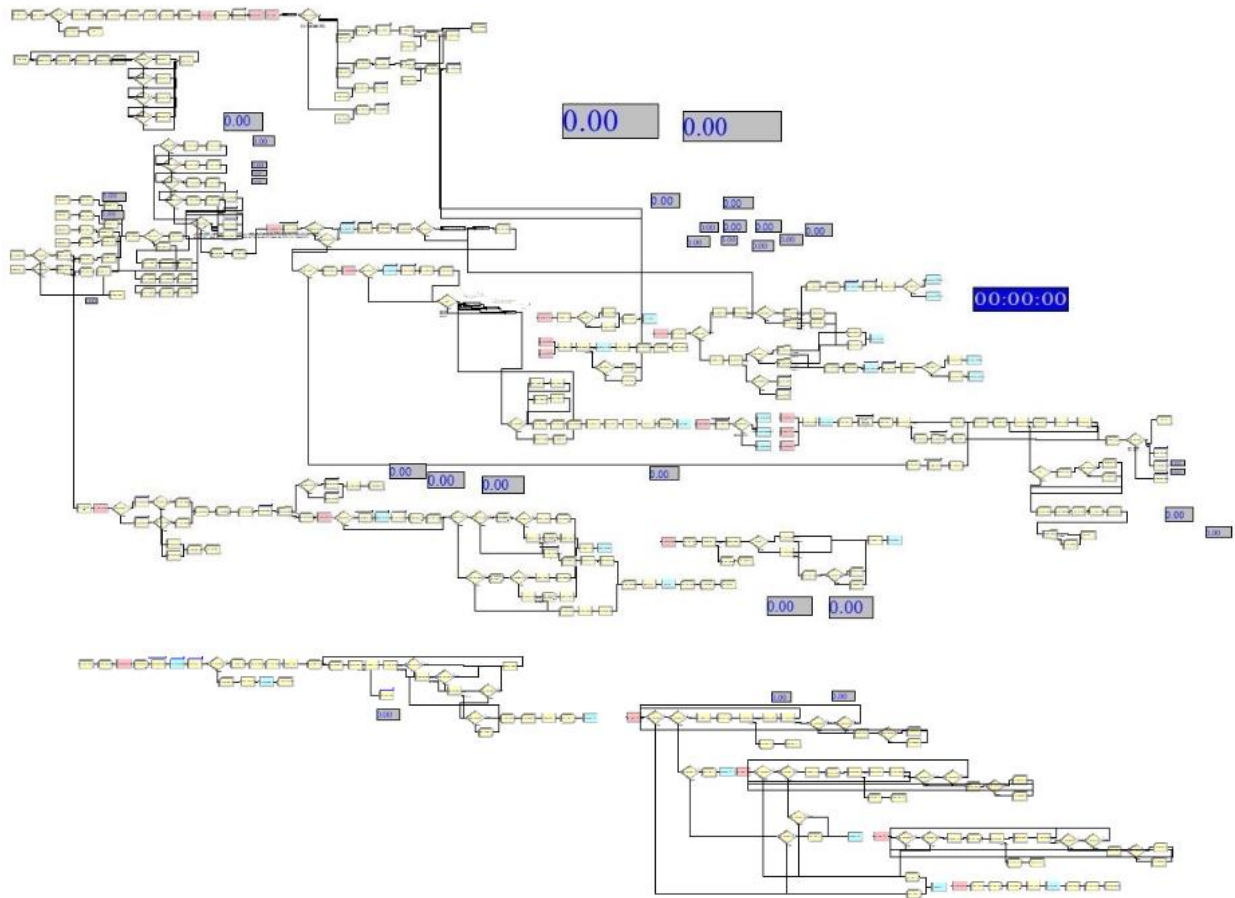


Figura 95 - Modelo resultante do cenário 1

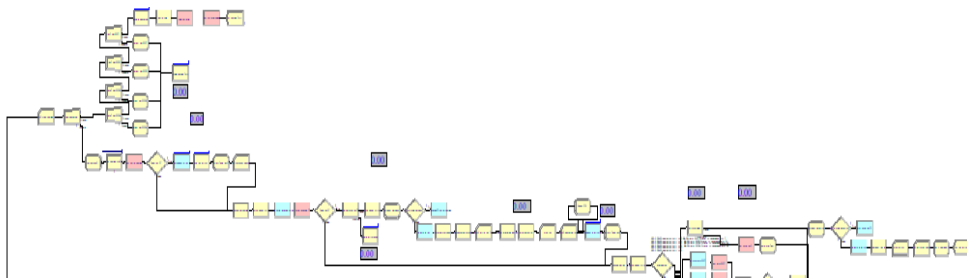


Figura 96 - Submodelo referente à atividade de recepção e arrumação

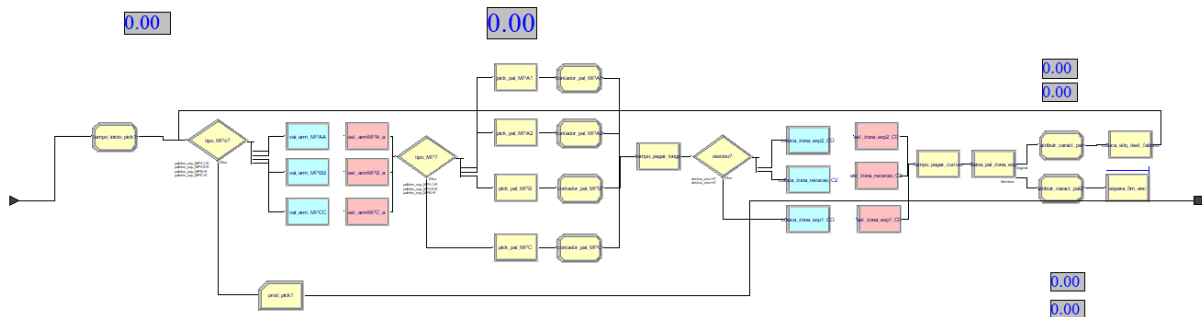


Figura 97 - Submodelo referente à parte 1 do picking

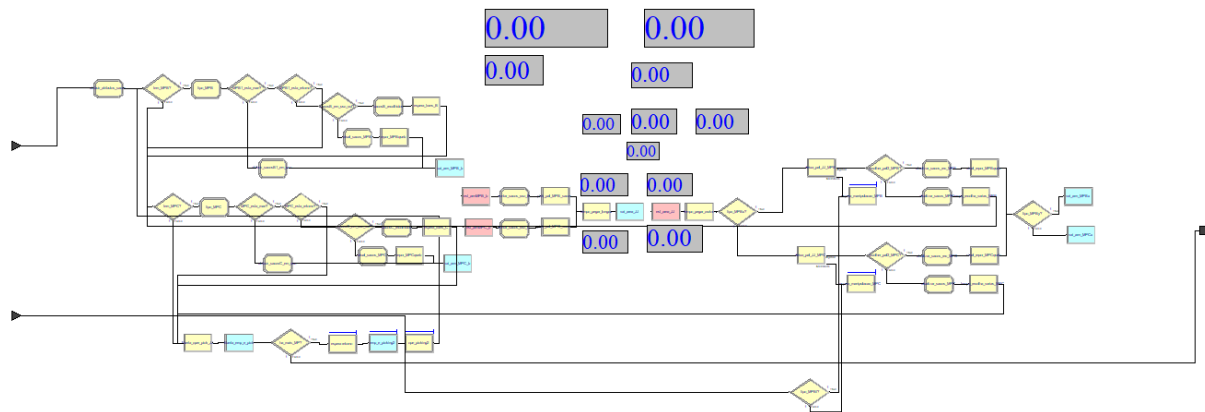


Figura 98 - Submodelo referente à parte 2 do *picking*

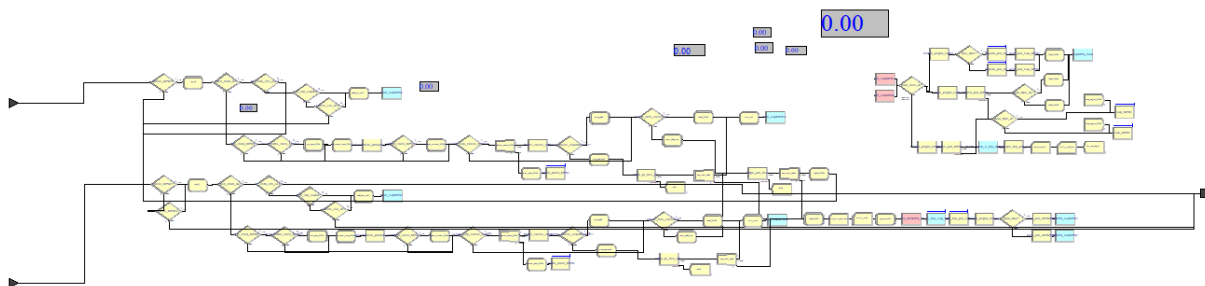


Figura 99 - Submodelo referente à parte 3 do *picking*

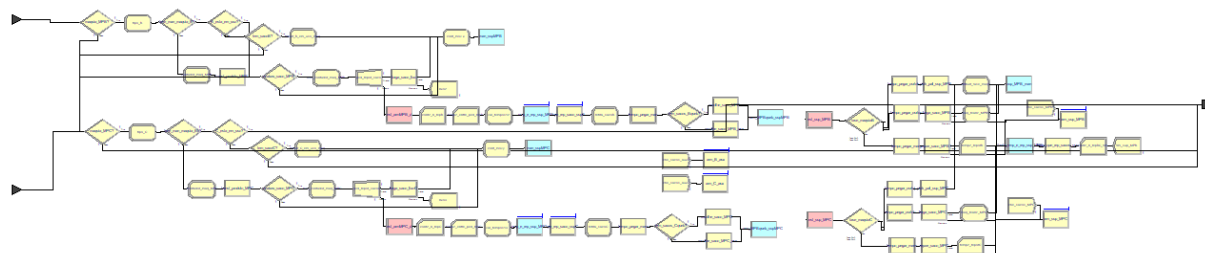


Figura 100 - Submodelo referente à parte 4 do *picking*

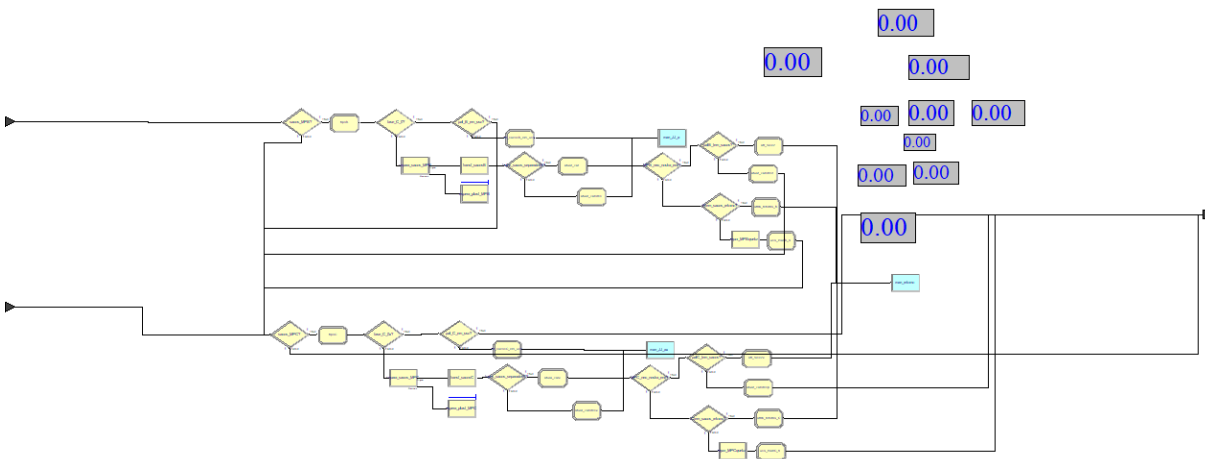


Figura 101 - Submodelo referente à parte 5 do *picking*

ANEXO IV – SOBRECARGA DO SISTEMA

Tabela 34 - Indicadores para aumentos de 10%, 50%, 60% e 100% no número de encomendas

		Cenário 11	+10%	+50%	+60%	+100%	900%
Taxa de produção (enc/min)		0,053	0,053	0,066	0,070	0,078	0,092
Taxa de chegada (enc/min)		0,048	0,050	0,057	0,057	0,056	0,094
Prazo de entrega (min)	C1	28,56	31,41	78,55	106,17	322,11	2542,29
	C2	29,07	31,83	73,98	105,27	324,23	2467,72
	C3	58,50	60,96	95,01	119,41	337,77	2716,84
	C4	44,56	46,89	71,34	91,66	285,35	2734,40
	Camiões	371,31	389,76	409,21	410,55	623,86	3026,78
Encomendas a tempo (%)	C1	99,99%	99,88%	97,47%	91,52%	35,34%	0,05%
	C2	100,00%	99,82%	97,47%	91,59%	33,48%	0,30%
	C3	100,00%	99,72%	96,54%	89,54%	30,76%	0,18%
	C4	100,00%	100,00%	98,36%	92,71%	43,27%	1,63%
	Camiões	48,24%	44,17%	43,56%	40,57%	31,46%	2,52%
Ocupação do armazém (%)	A1	53,25%	46,87%	29,98%	30,23%	27,24%	27,77%
	A2	89,17%	88,25%	82,67%	80,96%	79,35%	72,07%
	B	84,24%	83,95%	82,25%	81,98%	81,31%	76,73%
	C	80,06%	78,88%	72,92%	70,81%	69,20%	49,32%
Utilização dos recursos (%)	Comboio	16,93%	17,44%	24,08%	26,05%	23,80%	36,43%
	Empilhador	55,25%	52,64%	63,11%	66,82%	70,90%	75,07%
	Porta-paletes	64,95%	64,38%	79,20%	83,02%	87,39%	100,00%
	Balança	62,43%	61,57%	75,28%	79,02%	83,38%	92,81%
	Bandeadora	5,42%	6,00%	7,17%	7,07%	6,81%	10,99%
	Cais	29,67%	24,38%	30,84%	35,58%	42,14%	40,01%
	Chefe	51,95%	49,86%	65,26%	69,92%	75,22%	83,02%
Operador	76,46%	76,06%	82,68%	84,77%	87,17%	96,05%	
Ocupação dos transportes (%)	Comboio	12,18%	12,72%	12,90%	13,04%	11,84%	10,99%
	Camião ind	18,41%	17,91%	16,11%	14,94%	12,64%	5,30%
	Camião exp	36,51%	38,57%	34,45%	31,39%	29,37%	19,25%
Produtividade (pal/min)	Receção	0,78	0,79	0,80	0,79	0,72	0,81
	Arrumação	0,83	0,81	0,67	0,61	0,59	0,65
	Picking Pal Int	0,54	0,56	0,56	0,54	0,52	0,56
	Picking Sacos	0,28	0,29	0,18	0,15	0,05	0,01
	Exped Camiões	1,57	1,59	1,53	1,45	1,35	1,15
	Entrega Naves	0,22	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24