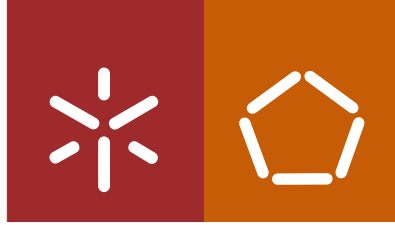




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Robson Teles Peixoto

**Validação de Design de Armazém Automatizado
com Uso de Simulação Discreta**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Robson Teles Peixoto

Validação de Design de Armazém Automatizado com Uso de Simulação Discreta

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias
e da
**Professora Doutora Maria Sameiro Faria Brandão
Soares Carvalho**

DECLARAÇÃO

Nome: Robson Teles Peixoto

Endereço eletrónico: robsonrtp@gmail.com Telefone:926234526

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: SB016800

Título da dissertação:Validação de Design de Armazém Automatizado com Uso de Simulação Discreta.

Orientadores:

Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

Professora Doutora Maria Sameiro Faria Brandão Soares Carvalho

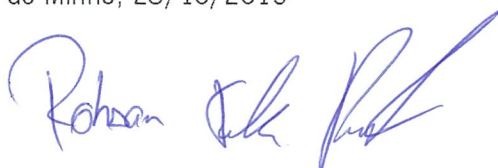
Ano de conclusão: 2015

Mestrado em Engenharia de Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 28/10/2015

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e pela graça de concluir esta jornada.

Aos meus pais, pela dedicação e esforço incondicional na minha educação.

À minha esposa Daiane pela paciência, compreensão e parceria.

Ao meu filho Guilherme que me traz inspiração e motivação para vencer desafios.

Ao professor Luís Dias pelo tempo disponibilizado para a discussão de ideias e direcionamento dos procedimentos de investigação.

À professora Maria Sameiro de Carvalho pela disponibilidade e pelos valiosos contributos na construção do trabalho.

À Força Aérea Brasileira, pela indicação e confiança.

Ao efetivo da Subdiretoria de Abastecimento, pelo fornecimento de informações que permitiram a realização da pesquisa.

Aos novos amigos portugueses que gentilmente me acolheram como um compatriota.

Aos meus colegas do MES pelas conversas construtivas que beneficiaram este trabalho.

Ao Departamento de Produção e Sistemas pelo apoio e disponibilização dos meios necessários para a investigação.

RESUMO

O objetivo da investigação é realizar a validação do processo de concepção de um armazém automatizado por meio da construção de modelos de simulação, nos *softwares* ARENA e SIMIO, que representem as alternativas planeadas. A investigação foi baseada no método de estudo de caso e foi realizada conforme informações fornecidas pela Subdiretoria de Abastecimento, órgão responsável pela rede de distribuição de fardamento aos militares e material de apoio às organizações do Comando da Aeronáutica do Brasil. As perguntas de investigação visam identificar se a inclusão de um subsistema de separação automatizado para composição dos *kits* individuais de fardamento no armazém central atende aos novos requisitos da cadeia de abastecimento e se a inclusão do novo processo viabiliza a movimentação dos demais produtos durante o horário preestabelecido. A investigação concluiu que é possível realizar a separação dos *kits* em simultâneo com a separação dos produtos de apoio, em conformidade com os requisitos apresentados. No entanto, torna-se necessário a implantação de regras de sequenciamento das retiradas, a implantação do método de armazenamento por classes, a adição de dois novos postos de *picking* e o aumento da quantidade de caixas de transporte. A investigação demonstrou os benefícios da utilização da simulação discreta na avaliação do *design* e também na análise de diferentes alternativas para controlo, operação e *layout*.

Palavras-Chave: Simulação discreta, concepção de armazéns, armazéns automatizados, sistemas de separação automatizada.

ABSTRACT

The purpose of this study is to validate the design process of an automated warehouse by constructing simulation models that represent alternatives within the process. The research was based on the case study method and was performed according to information provided by the Sub-directorate of Supply, organization responsible for managing the distribution network of support material and uniform to the military and organizations of the Brazilian Air Force. The goal of the research questions is to identify if deploying an automated *sorting* system to set up uniforms individual kits in central warehouse meets the new supply chain requirements and if the establishment of new process enables movement of other products during the predefined timeframe. The investigation concluded that it is possible to perform the separation of uniform individual kits simultaneously with the *picking* of support material in accordance with the requirements presented. Nevertheless, it's necessary to use *picking* sequencing rules, to implement a storage method by classes, to add two new *picking* stations, and to increase the amount of transportation boxes. Research has shown the benefits of using discrete simulation in evaluating the design and in analyzing different alternatives for control, operation, and layout.

KEYWORDS: Discrete simulation, warehouse design, automated warehouses, automated sorting system.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Lista de Figuras..... | xiii |
| Lista de Tabelas..... | xv |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xvii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Objetivo..... | 4 |
| 1.2 Metodologia de Investigação..... | 5 |
| 1.3 Estrutura da Dissertação..... | 6 |
| 2. Revisão da Literatura..... | 7 |
| 2.1 As Operações nos Armazéns..... | 7 |
| 2.2 Preparação de Pedidos..... | 10 |
| 2.3 Armazéns Automatizados..... | 15 |
| 2.4 Sistemas Automatizados de Separação de Pedidos..... | 18 |
| 2.5 <i>Design</i> de Armazéns Automatizados..... | 20 |
| 3. Estudo de Caso..... | 25 |
| 3.1 Sistema de Provisões do Comando da Aeronáutica..... | 25 |
| 3.2 Características do Projeto de Construção do Armazém Automatizado..... | 27 |
| 3.3 Modo de Funcionamento do Sistema de Armazenamento e Retirada..... | 29 |
| 3.4 Características do Subsistema de Separação Automatizada..... | 30 |
| 3.5 Requisitos da Cadeia de Abastecimento..... | 33 |
| 4. Construção dos Modelos de Simulação..... | 35 |
| 4.1 Recolha de dados..... | 35 |
| 4.2 Construção e Análise de Modelos de Simulação..... | 36 |
| 5. Apresentação e Análise dos Dados..... | 43 |
| 5.1 Resultados dos Modelos de Simulação sem o <i>Sorting</i> Automatizado..... | 43 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.2 | Comparação dos Modelos de Simulação da Opção 1 com os Requisitos da Cadeia de Abastecimento..... | 46 |
| 5.3 | Apresentação dos Parâmetros de Funcionamento do Sistema com a Adição do <i>Sorting</i> Automatizado..... | 48 |
| 5.4 | Resultados dos Modelos de Simulação com a adição do <i>Sorting</i> Automatizado..... | 49 |
| 5.5 | Comparação dos Modelos de Simulação da Opção 2 com os Requisitos da Cadeia de Abastecimento..... | 53 |
| 5.6 | Resposta às Questões de Investigação..... | 54 |
| 5.7 | Análise da Utilização da Simulação Discreta | 54 |
| 6. | Conclusão..... | 57 |
| 6.1 | Objetivos..... | 57 |
| 6.2 | Modelos Desenvolvidos | 57 |
| 6.3 | Resultados Obtidos | 58 |
| 6.4 | Principais Contribuições do Trabalho..... | 58 |
| 6.5 | Trabalhos Futuros..... | 59 |
| | Bibliografia | 61 |
| | Anexo I – Detalhes dos Modelos de simulação | 65 |
| | 1 - Processo de Recebimento de Paletes..... | 65 |
| | 2 – Entrada de Paletes no Armazém..... | 67 |
| | 3 – Retirada de Paletes | 69 |
| | 4 – Saída do Setor de Armazenamento..... | 71 |
| | 5 – <i>Picking</i> Manual..... | 73 |
| | 6 – Saída de Paletes do Sistema | 75 |
| | 7 – Colocação de Material nas Caixas de Transporte..... | 77 |
| | 8 – Movimentação de Caixas no Transportador..... | 79 |
| | 9 – Processo de Admissão | 81 |
| | 10 – Movimentação do Equipamento de <i>Sorting</i> | 83 |
| | 11 – Controlo da Solicitação de <i>Picking</i> | 85 |
| | 12 – Controlo da Escolha do Local de <i>Picking</i> | 87 |
| | 13 – Controlo da Escolha do <i>Stock</i> de Destino..... | 89 |
| | 14 – Controlo da Requisição do AGV..... | 89 |
| | 15 – Controlo da Criação das Localizações | 91 |

| | |
|--|-----|
| 16 – Controlo para Movimentação dos Transelevadores..... | 93 |
| 17 – Controlo do Inventário | 95 |
| 18 – Controlo da Quantidade de Caixas por Palete..... | 95 |
| 19 – Processo de Colocação de Produtos nas Caixas de Transporte (<i>Software</i> SIMIO) | 97 |
| 20 – Setor de Recebimento e <i>Picking</i> (<i>Software</i> SIMIO)..... | 99 |
| 21 – Setor de Armazenamento (<i>Software</i> SIMIO)..... | 99 |
| 22 – Processo de Admissão (<i>Software</i> SIMIO)..... | 101 |
| 23 – Equipamento de <i>Sorting</i> Automatizado (<i>Software</i> SIMIO) | 103 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Exemplos de implementação de armazenamento baseado em classes (de Koster et al., 2007; Roodbergen & Vis, 2009). | 9 |
| Figura 2. Transelevador e sistema de automatizado de armazenamento e retirada (J. P. Gagliardi et al., 2010; Meller & Mungwattana, 1997)..... | 16 |
| Figura 3. Sistema de separação automatizado (Marchet et al., 2011)..... | 18 |
| Figura 4. Visão de corte frontal e lateral do armazém autoportante. | 27 |
| Figura 5. Visão superior do setor de entrada e <i>picking</i> | 28 |
| Figura 6. Visão setor de armazenamento e <i>picking</i> | 29 |
| Figura 7. Visão do conjunto de transportadores. | 31 |
| Figura 8. Caixa plástica para transporte. | 32 |
| Figura 9. Sistema de separação automatizada do tipo <i>Bomb-bay</i> | 32 |
| Figura 10. Estratégias de picking para inclusão do <i>sorting</i> automatizado..... | 38 |
| Figura 11. Blocos de programação do Modelo 6 no <i>software</i> ARENA..... | 41 |
| Figura 12. Animação em duas dimensões no <i>software</i> ARENA..... | 41 |
| Figura 13. Animação em três dimensões no <i>software</i> SIMIO..... | 42 |
| Figura 14. Comparação da produtividade entre os modelos da opção 1..... | 45 |
| Figura 15. Comparação do desempenho entre os modelos da opção 1..... | 46 |
| Figura 16. Avaliação do desempenho em relação a quantidade de caixas de transporte. | 52 |
| Figura 17. Identificação do intervalo de tempo reservado às movimentações sem <i>sorting</i> | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Valores de configuração dos veículos S/R..... | 27 |
| Tabela 2: Valores de configuração do AGV | 28 |
| Tabela 3: Valores de configuração dos transportadores. | 29 |
| Tabela 4: Valores de configuração do transportador circular..... | 31 |
| Tabela 5: Valores de configuração do <i>sorting</i> | 32 |
| Tabela 6: Configuração dos procedimentos manuais..... | 39 |
| Tabela 7: Processo dos modelos de simulação. | 40 |
| Tabela 8: Controlos dos modelos de simulação..... | 40 |
| Tabela 9: Resultado de simulação do Modelo 1..... | 43 |
| Tabela 10: Resultado de simulação do Modelo 2. | 44 |
| Tabela 11: Resultado de simulação do Modelo 3. | 45 |
| Tabela 12: Requisitos para funcionamento do novo armazém..... | 46 |
| Tabela 13: Resultado de simulação do Modelo 3 com três operadores..... | 47 |
| Tabela 14: Valores estimados para <i>wavepicking</i> | 48 |
| Tabela 15: Requisitos para o funcionamento do novo armazém..... | 48 |
| Tabela 16: Resultado de simulação do Modelo 4 | 49 |
| Tabela 17: Resultado de simulação do Modelo 5 | 50 |
| Tabela 18: Resultado de simulação do Modelo 6 | 51 |
| Tabela 19: Resultado de simulação do Modelo 6 com 90 min..... | 53 |
| Tabela 20: Resultado de simulação do Modelo 6 com 30 min..... | 53 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AGV - *Automated Guided Vehicle*

AS/RS - *Automated Storage and Retrieval System*

CD - Centro de Distribuição

EDI - *Electronic Data Interchange*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

FIFO - *First In First Out*

IDGF- Instrução para Distribuição Gratuita de Fardamento

LIFO - *Last In First Out*

RFID - *Radio Frequency Identification*

SDAB- Subdiretoria de Abastecimento

SKU - *Stock Keeping Unit*

WMS - *Warehouse Management System*

1. INTRODUÇÃO

A eficiência e eficácia de uma rede de distribuição dependem diretamente do desempenho das operações ocorridas nos armazéns, que são os pontos críticos da rede (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007; Rouwenhorst et al., 2000). As atividades desempenhadas neste setor possuem um papel vital no sucesso ou no fracasso das empresas e comprometem boa parte do capital (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2010). Segundo Baker & Canessa (2009), os custos de capital e de operação de armazéns correspondem a cerca de 22% dos custos logísticos de uma empresa nos EUA e cerca de 25% na Europa. Por estes motivos, investigações que visam otimizar as operações por meio da obtenção do maior nível de serviço possível ao menor custo têm sido constantemente realizadas.

Nos últimos anos, é cada vez mais comum a adoção de sistemas de armazenagem automatizados (*Automated Storage Retrieval System - AS/RS*) que têm contribuído para uma maior agilidade e grau de precisão nas operações, além de proporcionar um melhor controlo de inventário. No entanto, possuem um elevado valor de investimento inicial e, por isso, necessitam de um esforço especial no planeamento da necessidade. A quantidade correta de equipamentos combinados com as especificações e as regras de utilização ideais promovem uma taxa de utilização maximizada com o menor investimento possível (Azzi, Battini, Persona, Sgarbossa, & Faccio, 2011).

Por outro lado, há uma crescente disponibilização de novas tecnologias de informação. Novos padrões globais de identificação, novas tecnologias de código de barras e a identificação por radiofrequência (RFID) também contribuem para um expressivo aumento na agilidade e precisão. Além disso, as novas tecnologias promovem maior controlo e total rastreamento dos produtos em toda cadeia (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007).

Noutras áreas de conhecimento, os atuais sistemas de gestão (*Warehouse Management Systems - WMS*) integrados com modernos sistemas de gestão empresarial (ERP) viabilizam a utilização dos métodos *Just-in-time* e a troca de informações em tempo real entre cliente e fornecedores, aumentando a importância e a complexidade das operações (Gu et al., 2007).

Dessa forma, em virtude do papel dos centros de distribuição (CD) no contexto da cadeia de abastecimento e da crescente disponibilização de novas tecnologias para operação e controlo, é evidente a importância do processo de conceção de armazéns. As decisões realizadas na fase de planeamento são fundamentais para a criação e modificação de CD que maximizem os resultados logísticos mediante as restrições para investimento inicial e operação. As decisões corretas sobre o

dimensionamento, o *layout* de cada setor, a estratégia de operação e os equipamentos são essenciais para a obtenção da melhor relação custo-benefício no atendimento aos clientes (Gu et al., 2010).

Rouwenhorst et al. (2000) afirmam que o processo de concepção de armazém é uma atividade altamente complexa. Neste processo, as decisões tomadas em cada etapa impactam nas demais e, por isso, provocam a necessidade de realizar constantes avaliações de custo-benefício entre os objetivos conflitantes. Os autores informam que não há um procedimento sistemático para projetar sistemas de armazenamento e este problema provoca grande dificuldade na investigação e na implantação dos sistemas. Gu et al. (2010) evidenciam o distanciamento entre as investigações publicadas e a prática nas empresas no que se refere ao processo de concepção e definição das estratégias das operações.

De Koster, Le-Duc, & Roodbergen (2007) concentram a investigação em *design* e controle da operação de preparação de pedidos (*order picking*) e constatam a dificuldade em realizar a tarefa de projetar a operação em virtude do conjunto de fatores externos e internos que influenciam as escolhas. Os fatores externos incluem canais de *marketing*, padrão de procurado cliente, o padrão de reposição do fornecedor, os níveis de *stock*, a procura global de um produto e o estado da economia. Fatores internos incluem características do sistema como o nível de mecanização e as dimensões do armazém. Os autores afirmam que problemas relacionados com estratégia e operação de *order picking* são muitas vezes provocados por problemas na fase da concepção inicial do projeto.

Conforme relatado na bibliografia, além do pequeno número de publicações sobre o processo de concepção, não há um consenso geral sobre as metodologias e ferramentas que devam ser utilizadas em cada fase do planejamento de armazéns. No entanto, é notado um entendimento comum sobre a necessidade de validação do projeto proposto.

Dentre as formas para a validação do conceito, a que promove maior redução dos riscos na implantação é a simulação discreta. Segundo Gu et al. (2010), a simulação contribui de forma decisiva para a validação das decisões tomadas no processo de *design*, bem como na adoção das regras utilizadas na operação. Segundo Geraldes, Carvalho, & Pereira (2011), a simulação é uma abordagem normalmente utilizada para a análise de sistemas complexos, pois possibilita reproduzir e testar diferentes cenários de tomada de decisões a fim de determinar, de antemão, o nível de otimização e robustez de uma determinada estratégia. Conforme Gagliardi, Renaud, & Ruiz (2007), a simulação orientada à operação pode auxiliar os gestores a obterem uma estimativa de desempenho mediante as diferentes estratégias adotadas.

Considerando a importância do armazém no desempenho de toda cadeia de abastecimento e a importância da simulação de eventos discretos na validação do *design* de sistemas que cumpram os requisitos estabelecidos pela cadeia, este projeto de investigação realiza um estudo de caso que tem por objetivo a validação do processo de *design* de um armazém automatizado por meio da construção de modelos de simulação que representem as alternativas planejadas.

O estudo foi realizado com os dados de uma base logística do Comando da Aeronáutica do Brasil denominada Subdiretoria de Abastecimento (SDAB). A organização tem passado, nos últimos anos, por diversas transformações nos processos de distribuição dos produtos. Recentemente, foi implantado um sistema automatizado de armazenagem e retirada de material (AS/RS) noutra rede de abastecimento geridas pela unidade militar. Com o êxito do primeiro empreendimento, há um processo de planeamento para a implantação de um novo AS/RS que será o armazém central unificado da rede de distribuição gratuita de fardamento aos militares e material de apoio às organizações.

No entanto, tem-se discutido a possibilidade de alterar o projeto inicial do novo sistema para contemplar a inclusão de um *sorting* automatizado. O objetivo da modificação do projeto é realizar, na SDAB, a atividade de separação dos *kits* individuais de uniforme para os militares beneficiados pelo sistema de distribuição gratuita.

Atualmente, o sistema possui dois armazéns centrais que enviam os fardamentos e os demais materiais de apoio em caixas fechadas para 57 armazéns regionais. Os armazéns regionais se encarregam de receber os produtos, promover a distribuição do material de apoio e a separação dos *kits* individuais. O processo manual de separação dos *kits* de fardamento em cada depósito regional demanda uma necessidade extra de *stock*, um elevado tempo para processamento e o envolvimento de diversos colaboradores nos pontos de distribuição.

Com a alteração do projeto, contempla-se que o novo CD concentre as atividades de separação dos materiais de apoio e de separação do fardamento, para as renovações anuais, em formato de *kits* individuais com o processamento dos produtos num sistema de *sorting* automatizado. No entanto, não é do conhecimento dos gestores se a implantação do *sorting* automatizado atende aos requisitos da cadeia de abastecimento e se compromete as demais operações de armazenamento e *picking* dos materiais de apoio, que exigiria uma nova concepção de todo o centro de distribuição.

Uma eventual necessidade de alteração do *layout* de armazenamento do modelo inicial possui um impacto elevado para a implantação do projeto em andamento devido às limitações existentes para a construção do novo sistema. Assim, a depender do tipo de alteração, poderá acarretar a impossibilidade de implantação do sistema de separação automatizado.

1.1 Objetivo

O objetivo geral da investigação é analisar o impacto da inclusão do processo de separação automatizada no tempo médio estimado para a realização das operações de armazenamento e retirada no novo centro de distribuição do Sistema de Provisões. Para isso, a investigação conta com 4 objetivos específicos conforme abaixo descritos:

OE 1 – Identificar os **requisitos** do Sistema de Provisões do Comando da Aeronáutica para a implantação do novo armazém;

OE 2 – Identificar o **tempo** médio estimado para as operações de **armazenamento e retirada**, por meio de simulação, do novo armazém, **sem** a inclusão do **sorting** automatizado;

OE 3 – Identificar os **novos requisitos** do sistema com a inclusão do **sorting** automatizado;

OE 4 - Identificar o **tempo** médio estimado para as operações de armazenamento e retirada, por meio de simulação, do novo armazém **com a inclusão do *sorting*** automatizado, mediante os novos requisitos.

A motivação para o estudo foi a inquietação sobre a possibilidade da alteração do projeto, para inclusão do *sorting* automatizado, comprometer o funcionamento da operação de armazenagem e a operação de separação dos demais produtos já especificados como primeira opção do processo de concepção. A incerteza é decorrente das afirmações dos autores Gu et al. (2007), de Koster et al. (2007) e Rouwenhorst et al. (2000) que descrevem que uma tomada de decisão sobre a alteração de uma estratégia de operação influencia as demais escolhas realizadas na fase de concepção. Dessa forma, o estudo visa descobrir se a inclusão do subsistema de separação automatizado para composição dos *kits* de fardamento no CD exige, ou não, um redimensionamento do setor de armazenamento e dos equipamentos já especificados.

Diante do exposto, podemos destacar duas **questões de investigação** que motivam o presente projeto:

Q1 – A inclusão do subsistema de separação automatizado para composição dos *kits* de fardamento no armazém central **atende** aos novos requisitos da cadeia de abastecimento?

Q2 – A inclusão do subsistema de separação automatizado para composição dos *kits* de fardamento **prejudica** as operações de armazenamento e a separação dos demais materiais a serem processados no armazém?

1.2 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação foi baseada no método de estudo de caso. Segundo Saunders, Lewis, & Thornhill(2007), o estudo de caso é definido como uma estratégia de investigação que envolve o desenvolvimento de conhecimento detalhado sobre um caso ou um pequeno número de casos, num contexto de ambiente real, utilizando várias fontes de evidência.

A investigação classifica-se como descritiva, uma vez que visa identificar a relação entre duas variáveis: sistema de separação (*sorting*) automatizada e tempo médio estimado para as operações de armazenamento e retirada do novo sistema. A verificação da influência da variável *sorting* automatizada no tempo médio estimado para as operações no novo armazém foi realizada por meio da construção de modelos de simulação, nos *softwares* ARENA e SIMIO, que representam as alternativas existentes no estudo de caso.

Os procedimentos para realização da investigação foram caracterizados pelos pontos destacados a seguir:

- Revisão da literatura para compreensão do funcionamento dos armazéns e dos sistemas automatizados envolvidos no estudo de caso.
- Revisão da literatura para compreensão do processo de conceção e validação de projetos de armazéns automatizados.
- Investigação documental sobre os requisitos da cadeia de abastecimento que será afetada pela construção do novo sistema.
- Análise do projeto de construção do novo armazém automatizado e do subsistema de separação automatizado a ser incluído no projeto.
- Obtenção dos parâmetros de funcionamento dos equipamentos planeados.
- Implementação e validação de modelos de simulação para a análise do impacto da inclusão do *sorting* e análise de diferentes regras para as operações de armazenamento e *picking*.
- Análise dos resultados da simulação.

A descrição detalhada dos procedimentos de investigação acima relacionados, que foram necessários para o cumprimento do objetivo geral proposto, estão apresentados no capítulo 4 do presente relatório.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em 6 capítulos, incluindo este primeiro capítulo introdutório.

O capítulo 2 tem o objetivo de apresentar os principais conceitos sobre as operações ocorridas nos armazéns, com destaque para a operação de preparação de pedidos. Em seguida, é apresentada uma abordagem sobre as características mais importantes dos armazéns automatizados e dos sistemas automatizados de separação. Por fim, são apresentados os principais conceitos sobre a concepção de armazéns automatizados, bem como do procedimento para validação do *design*.

O capítulo 3 é reservado para a apresentação do estudo de caso, é onde se faz uma breve apresentação do sistema logístico em questão e das características da cadeia de distribuição. Em seguida, é apresentado o projeto de construção do novo sistema automatizado, informando os detalhes do funcionamento esperado com a concepção inicial e, também, com a inclusão do subsistema de separação automatizada.

O capítulo 4 apresenta a descrição da metodologia utilizada, retratando o passo a passo da pesquisa.

O capítulo 5 apresenta os resultados e suas respectivas análises.

Por fim, no sexto e último capítulo são feitas as conclusões relativas aos resultados obtidos e são apresentadas sugestões para novas linhas de investigação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo é dedicado à revisão bibliográfica. Os temas escolhidos são abordados a partir do conceito mais amplo, que é o entendimento sobre as operações básicas dos armazéns e em especial a operação de preparação de pedidos. Em seguida é apresentado o estado da arte acerca dos armazéns automatizados e subsistemas automatizados de separação que são os objetos do estudo de caso. Concluindo a revisão da literatura, são apresentadas as melhores práticas para o processo de conceção de armazéns automatizados, bem como o processo de validação da etapa de conceção. As informações apresentadas compõem o conjunto de conhecimento necessário para a compreensão do problema de pesquisa e desenvolvimento da estratégia para o cumprimento do objetivo proposto para o presente projeto.

2.1 As Operações nos Armazéns

As operações dos armazéns são agrupamentos de ações que estão relacionadas com o fluxo dos produtos. As operações desempenham um papel vital na determinação da competitividade de uma empresa uma vez que os custos logísticos envolvidos constituem uma parcela importante dos custos totais para disponibilização dos materiais.

As quatro operações básicas de um armazém são: **recebimento, armazenamento, preparação de pedidos e expedição**. Em cada uma delas, há uma série de ações que podem ser acrescentadas, suprimidas ou modificadas a depender da estratégia e das políticas de funcionamento adotadas (Gu et al., 2007; Roodbergen & Vis, 2009). A seguir, será apresentado um breve resumo das operações fundamentais.

A operação de recebimento é o primeiro processo ocorrido no armazém. Os produtos chegam por camião, comboio ou transporte interno. Em seguida, ocorrem as atividades de descarga, atualização dos registos de inventário, conferência para verificação da quantidade e retirada de amostra para verificação qualitativa (de Koster et al., 2007; Gu et al., 2007). Nesta etapa, normalmente é anexada uma etiqueta contendo código de identificação dos volumes, caso os volumes não estejam identificados conforme o padrão suportado pela empresa. O objetivo da identificação é prover controlo e rastreamento dos materiais ao longo de toda cadeia de abastecimento, além de permitir o uso da automação logística nas operações posteriores. (Chow, Choy, Lee, & Lau, 2006).

A operação de armazenamento contempla a movimentação dos produtos da área de recebimento para uma localização identificada, além do registo da movimentação. A operação também pode envolver uma reorganização dos produtos noutra unidade de carga e outras movimentações internas. De Koster et al. (2007) detalha cinco métodos que são os mais utilizados para o armazenamento das unidades de carga:

- **Armazenamento casual (aleatório):**Caracterizado pela escolha de um local para armazenamento com igual probabilidade entre todas as localizações livres. O método proporciona uma maximização da utilização do local de armazenamento, no entanto, aumenta a distância média de percurso para regatedo material.
- **Armazenamento com localização livre mais próxima:**similar ao método de escolha aleatória por não haver um local específico que seja reservado para cada material ou agrupamento deles. No entanto, possui a particularidade de escolher a localização com base na pesquisa do local disponível mais próximo do setor de recebimento. Segundo Roodbergen & Vis (2009), o método lidera a forma de controlo em sistemas automatizados.
- **Armazenamento com localização dedicada:**o método reserva um local no *stock* para cada item que é manipulado mesmo que esteja momentaneamente em rutura. O método é bastante utilizado em estruturas de pequeno porte, ou em situações em que há uma grande diversidade dos materiais. Por exemplo, materiais que possuem um peso muito superior aos demais itens geralmente possuem um local reservado na parte interior das estantes. Assim como produtos com dimensões especiais possuem um local específico de armazenamento. A desvantagem da adoção do método é a baixa utilização do espaço físico (Roodbergen & Vis, 2009).
- **Armazenamento com localização dedicada com o critério de taxa de movimentação:**o método atribui um local para cada item com base na taxa de rotação. Neste caso, as localizações são dedicadas aos produtos de modo que os mais utilizados ficam próximos ao setor de separação e os produtos com menor rotação possuem a localização reservada com o critério de maior distanciado setor de separação. O método possui a vantagem de provocar uma redução na distância média de percurso para resgate dos materiais. No entanto, à medida com que os produtos sofrem alterações na procura, torna-se necessário realizar um conjunto de movimentações internas a fim de reorganizar os produtos conforme as novas taxas de movimentação.

- **Armazenamento por classes de material:** o método utiliza o critério de movimentação dos produtos para a reserva da localização no *stock*, porém, o local é reservado para um grupo de produtos, ao invés de um *stock keeping unit* (SKU). A regra toma como base o método de Pareto. O objetivo é agrupar os produtos de modo que a primeira classe seja composta por cerca de 15% dos produtos que contribuem com aproximadamente 85% das movimentações. Os produtos com maiores taxas de movimentação geralmente são chamados de itens A e são dispostos em localizações próximas ao setor de despacho. Roodbergen & Vis (2009) informam que a implantação do método envolve três decisões que são a determinação do número de classes, a determinação do número de itens em cada classe e a determinação do posicionamento de cada um delas.

Uma adaptação do método de armazenamento por classes é realizar o agrupamento dos produtos considerando o histórico de venda de todos os itens pertencentes a mesma família. Dessa forma, os produtos similares, que normalmente são solicitados no mesmo pedido, permanecem em localizações próximas.

Conforme Charles, Gerald, & Daniel (2004) estudos de simulação comprovam que o armazenamento com localização dedicada com o critério de taxa de movimentação proporciona um menor percurso médio para resgate dos materiais, no entanto, o método de armazenamento por classes possui a vantagem da simplicidade para implementação e manutenção. Os autores informam que, num sistema manual, o ideal é manter entre duas e quatro classes de materiais. A Figura 1exibe as formas mais comuns de implementação de armazenamento baseado em classes.

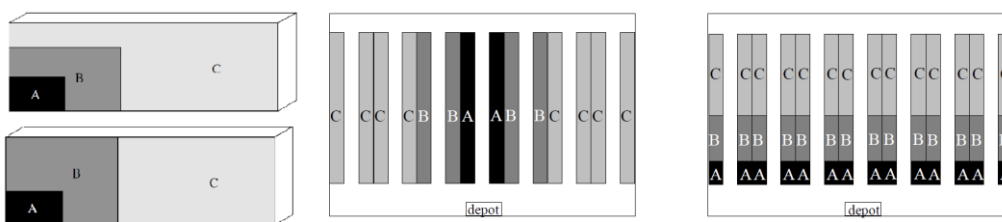


Figura 1. Exemplos de implementação de armazenamento baseado em classes (de Koster et al., 2007; Roodbergen & Vis, 2009).

Segundo de Koster et al. (2007), o *order-picking* é a operação que concentra o maior esforço de trabalho e que possui o maior custo logístico do armazém. A operação inclui o recebimento, a atribuição da localização para cada item do pedido, o agrupamento e agendamento dos pedidos, a liberação das ordens de separação, o resgate do material e a consolidação da encomenda. Uma vez que o nível de qualidade de um sistema de armazenamento é medido pela forma com que atente as

encomendas recebidas, o *order-picking* destaca-se, por ser a atividade mais importante (Gray, Karmarkar, & Seidmann, 1992). Dessa forma, a compreensão de cada atividade que compõem a operação e o conhecimento das diferentes estratégias são fundamentais para o *design* de centros de distribuição que cumpram os requisitos da cadeia de abastecimento.

A operação de expedição envolve as tarefas de conferência, classificação, embalagem e carregamento. As operações de expedição e recebimento são influenciadas pelas decisões sobre a atribuição dos locais das atividades e pelo agendamento das tarefas de carregamento e descarregamento. Em casos específicos, ocorre o *cross-docking* que é caracterizado pela transferência direta dos produtos das docas de recebimento para as docas de expedição, no entanto, a situação regular é realizar as operações de armazenamento e preparação de pedidos (de Koster et al., 2007).

2.2 Preparação de Pedidos

De Koster et al. (2007) definem a operação de preparação de pedidos (*order picking*) como o processo de retirada de produtos de um *stock* ou de zonas de *buffer* em resposta a um pedido específico dos clientes. O objetivo da operação é satisfazer a necessidade do cliente com a disponibilização dos produtos corretos, no momento adequado e com a quantidade correta, para isso, deve primar pela agilidade, coordenação e controle das múltiplas tarefas realizadas. O *order picking* deve ser realizado de modo a maximizar o nível de serviço mediante as restrições de recurso.

O nível de serviço é composto por uma variedade de fatores como o tempo médio para retirada dos pedidos, o nível de atendimento aos pedidos e o nível de acerto da separação. O nível de atendimento é representado pela quantidade de produtos atendidos em relação à quantidade total de produtos solicitados. O nível de acerto é obtido pela razão entre a quantidade de itens retirados sem erros em relação a quantidade total de itens.

No caso de *order picking* manual, o tempo para processamento de toda a atividade está diretamente relacionado com a distância a ser percorrida para aceder aos produtos. Conforme de Koster et al. (2007), o tempo de viagem representa mais de 50% do tempo total da operação. Portanto, a busca pela diminuição do tempo médio de preparação em função da distância média a ser percorrida deve ser priorizada.

Os autores listam outros objetivos que devem ser levados em consideração no processo de concepção e otimização de armazéns.

- Minimizar o tempo total de expedição de um pedido
- Minimizar o tempo de expedição geral
- Maximizar o uso do espaço.
- Maximizar o uso dos equipamentos
- Maximizar a mão-de-obra
- Maximizar a acessibilidade a todos os itens.

A seguir serão apresentadas as principais atividades que compõem a operação de preparação de pedidos.

2.2.1 Recebimento de Pedidos

Os pedidos dos clientes consistem num conjunto de itens que fazem referência aos tipos de produto ou SKU existentes. Em decorrência das evoluções nas atividades de produção e procedimentos de distribuição, os armazéns têm recebido pedidos com alta variedade de itens e com o prazo de entrega cada vez mais curto. Esta combinação aumenta a complexidade da operação de preparação de pedidos e exige um esforço ainda maior na coordenação das atividades que compõem a operação (Gu et al., 2007).

Atualmente, uma forma comum para entrada dos pedidos é por meio da troca eletrônica de dados (*Electronic Data Interchange* EDI). Neste método, as necessidades dos clientes são transferidas para os fornecedores (neste caso, centros de distribuição) por meio de conexões de internet sem a necessidade de interferência humana. Segundo Yao, Dresner, & Palmer (2009), o uso do EDI reduz os erros de solicitação, promove uma rotação elevada do *stock* e redução de rupturas de materiais nos clientes.

2.2.2 Atribuição da Localização

Uma tarefa importante no processo de preparação de pedidos é realizar a escolha das localizações que serão acedidas para o resgate dos materiais. Como um produto pode ser encontrado em várias localizações, deve-se estabelecer uma regra para escolha dos lotes de materiais que serão manuseados para atendimento dos pedidos. As regras mais comuns para retirada obedecem aos padrões FIFO (Primeiro lote a entrar é o primeiro a sair) e LIFO (último lote a entrar é o primeiro a sair) (Parlar, Perry, & Stadje, 2011).

2.2.3 Agrupamento e Agendamento de Pedidos

Quando os pedidos possuem uma quantidade grande de itens na lista, normalmente a ordem de retirada dos produtos do *stock* depende do prazo para despacho e são liberadas de forma simplificada, isto é, um roteiro é programado para a recolha de todos os itens do pedido pelo mesmo operador. No entanto, quando as ordens são pequenas, a formação de lotes (*batch*) de pedidos para retirada em simultâneo se torna mais eficiente. Dessa forma, são programados ciclos para o atendimento de vários pedidos (*wave picking*). Esta estratégia visa a diminuição da distância percorrida para a recolha, pois possibilita que cada operador realize apenas um trajeto para cada *wave picking*. Há, basicamente, apenas dois critérios para o agrupamento de pedidos: Agrupamento por proximidade das localizações e agrupamento por janela de tempo (de Koster et al., 2007).

A formação de lotes pelo critério da proximidade entre as localizações promove a obtenção da menor distância possível entre os pares de itens pertencentes às ordens de retirada. Conforme Gademann, van Den Berg, & van Der Hoff (2001), o objetivo da técnica é a minimização do tempo de cada ciclo. Gu et al. (2007) afirma que o desafio operacional do agrupamento é selecionar as ordens de retirada de modo que o tempo de processamento não exceda o tempo planeado para o *wave picking*.

Com o critério de agrupamento por janela de tempo, os pedidos recebidos num determinado intervalo são automaticamente agrupados para o próximo ciclo de preparação. Nesta modalidade, o ganho do tempo de processamento é obtido pela execução de uma rota otimizada para o resgate dos materiais já previamente selecionados.

Roodbergen & Vis (2009) comentam a possibilidade de realização de agrupamento de pedidos num tipo específico de sistema de AS/RS no qual o operador está embarcado no equipamento de armazenagem e retirada. Nesta modalidade, o limite para o tamanho do agrupamento é a capacidade de carga do transportador.

2.2.4 Liberação das Ordens de Retirada

A liberação das ordens de retirada é o processo que autoriza a recolha do material pelos operadores de *picking*. Neste processo, o pedido do cliente é representado por uma ou várias listas (*pick list*). A forma de liberação e o conteúdo das listas dependem, além das regras estabelecidas nas etapas anteriores, das estratégias adotadas para zoneamento da retirada. Caso a política adotada seja a retirada de material por meio da preparação simplificada de pedidos (*single order picking*), será

gerada apenas uma ordem de retirada contendo todos os itens solicitados e o processo será realizado pelo mesmo operador ou dispositivo automatizado.

Como alternativa, os locais de armazenamento podem ser organizados em zonas nas quais cada operador se responsabiliza por retirar os materiais pertencentes ao seu sítio de responsabilidade. A vantagem dessa alternativa é que os departamentos possuem uma equipa dedicada, que proporciona menor erro em consequência da familiaridade com os itens dispostos. Além disso, o método promove a eliminação dos congestionamentos. Em contrapartida, a divisão do pedido para cada zona provoca a necessidade de criar a tarefa de consolidação do pedido, ao final da retirada.

Há duas abordagens para a realização da retirada por zonas, a primeira é o zoneamento progressivo. Ao utilizar esta abordagem, o *pick list* continua a ser emitido de forma unificada para cada pedido ou lotes de pedido, no entanto, um operador inicia a retirada num determinado setor e, ao concluir, passa a lista (ou lotes de pedidos) para a retirada dos produtos noutra departamento. A outra abordagem é a retirada sincronizada. Nesta modalidade, é emitida uma lista para cada setor do armazém. Assim, os operadores realizam a retirada dos materiais de forma simultânea. Uma variação da última alternativa é zoneamento dinâmico. A vantagem em relação aos setores fixos é que as listas possuem maior probabilidade de serem geradas de modo a que o esforço para a recolha seja equilibrado entre as listas pertencentes ao mesmo pedido.

Estudos de simulação demonstram que a emissão de *pick list* que possuem a combinação de retirada por lotes e retirada por zonas aumentam significativamente a produtividade do *order picking* (de Koster et al., 2007). Petersen (2002) também demonstra, por meio de simulação, que o número de corredores por zona, o comprimento dos corredores, o número de itens na lista de recolha e as políticas de armazenamento provocam efeitos significativos na distância média de percurso para a retirada dos produtos em cada setor.

Outro aspeto importante a ser tratado no lançamento do *pick list* é o roteamento para a retirada dos materiais. O problema consiste em organizar uma sequência das localizações que serão acedidas para o resgate dos itens da lista de recolha de modo a promover uma minimização da distância a ser percorrida (Gu et al., 2007). Conforme de Koster et al. (2007) o roteamento da lista de recolha é um caso especial do “problema do caixeiro-viajante”. O desafio é compor uma sequência, com a menor rota possível, na qual o operador visite todos os pontos planeados e retorne ao sítio inicial. No entanto, outros autores informam que os problemas de roteamento são resolvidos principalmente com a utilização de heurísticas porque as soluções propostas seguem um raciocínio lógico predeterminado e já testado anteriormente.

2.2.5 Resgate do Material

A retirada dos produtos que compõe os pedidos pode ser realizada de forma automatizada ou manual. O *picking* manual é o método mais utilizado, ainda que a armazenagem e recuperação das caixas ou paletes que contém os produtos seja realizada por sistema automatizado (AS/RS). Conforme de Koster et al. (2007), o *order-picking* manual pode ser realizado por três formas distintas: *picker-to-parts*, *parts-to-picking* e *put system*.

Picker-to-parts systems é caracterizado pelo operador que percorre os corredores a fim de resgatar os produtos, este tipo de operação pode se dividir em dois subtipos, que são o *low-level picking* e *high-level picking*. A diferença entre estes métodos é que o primeiro é realizado sem o auxílio de empilhadores ou outros dispositivos de carga. No *high-level picking*, o operador encarregado pela recolha encontra-se embarcado nos equipamentos de transporte de carga.

A característica principal do *parts-to-picker systems* é a realização da operação de retirada dos materiais numa estação de trabalho fixa. Neste caso, os produtos, estruturados em paletes ou caixas, são conduzidos até o operador por meio de sistemas automatizados e não embarcados.

A modalidade *put system* trata-se de um processo de retirada e distribuição dos produtos. Num primeiro momento, o operador realiza a retirada prévia do material (*pre-picking*) por meio dos métodos *parts-to-picker* ou *picker-to-parts*. Em seguida, o material é disponibilizado para outros operadores numa transportadora. O *put system* é comum em situações nas quais é necessário a retirada de uma grande quantidade de produtos num curto espaço de tempo. Conforme de Koster et al. (2007), é viável projetar sistemas capazes de retirar e separar mais de 1.000 itens de pedido por hora por meio desta modalidade de operação.

2.2.6 Consolidação da Encomenda

Quando são utilizadas as estratégias de agrupamento de pedidos e/ou retirada por zoneamento, torna-se necessário um esforço adicional para a separação dos grupos e consolidação dos pedidos originais. Nesta tarefa, os pedidos, que se encontram agrupados, são separados conforme as ordens recebidas, assim como, os pedidos que foram retirados do *stock* de forma sincronizada em várias zonas são novamente agrupados. Outra possibilidade é realizar novos agrupamentos de pedidos para uma mesma localidade a fim de facilitar a operação de expedição (de Koster et al., 2007).

2.3 Armazéns Automatizados

Os sistemas automatizados de armazenagem e retirada de materiais (AS/RS) têm sido utilizados desde os anos de 1950. Conforme Roodbergen & Vis(2009), houve um grande crescimento no número AS/RS entre os anos de 1994 e 2004, nos Estados Unidos. Segundo Gagliardi, Renaud, & Ruiz(2010), os AS/RS são muito utilizados em modernos centros de distribuição e são classificados como sistemas que utilizam um dispositivo automatizado para a realização de tarefas repetitivas de armazenamento e retirada de material em estantes.

A finalidade é armazenar matérias-primas, produtos semiacabados e produtos finais num ambiente de produção ou distribuição, além de realizar o resgate dos bens para o cumprimento de uma ordem de retirada(Roodbergen & Vis, 2009). Conforme Gagliardi et al.(2010), os sistemas automatizados são capazes de armazenar e resgatar materiais com rapidez, precisão e eficiência.

A vantagem do sistema automatizado é a economia de mão-de-obra e do espaço de armazenamento, além do aumento de produtividade e redução de erros. Segundo Meller & Mungwattana(1997), o facto dos AS/RS serem controlados por computador provoca maior visibilidade do *stock*, requer um número menor de colaboradores e diminui os erros de operação e de inventário. Ainda segundo os autores, a única desvantagem é o elevado custo para implantação do sistema.

Conforme Roodbergen & Vis(2009) e Xu, Shen, Yu, & Huang(2014), os principais componentes de um AS/RS são estantes, transelevadores ou veículo S/R, corredores, pontos de entrada/saída (*I/O-Points*), tapetes rolantes e estações de *picking*. As estantes são tipicamente estruturas metálicas com localizações para acomodação das unidades de carga. O transelevador é capaz de carregar, transportar e descarregar as unidades de cargas sem a interferência de um operador, por isso, o sistema é classificado como totalmente automatizado. Corredores são os espaços entre as estantes, nas quais são instalados os trilhos superiores e inferiores para controlar a rota dos transelevadores. Os pontos de entrada e saída são os locais onde o equipamento automatizado realiza a carga e descarga da unidade de armazenamento. Os tapetes rolantes são utilizados para a condução da unidade de carga entre os *I/O-Points* e estações de trabalho. As estações de trabalho são os locais para onde a carga é conduzida após o descarregamento no ponto de saída, portanto, é o local no qual fica operador de *picking*, no caso da realização de retirada manual, configurando o *Parts-to-picker* (de Koster et al., 2007).

A Figura 2, a seguir, exibe uma ilustração de um transelevador à esquerda e um sistema de composto por seis corredores à direita.

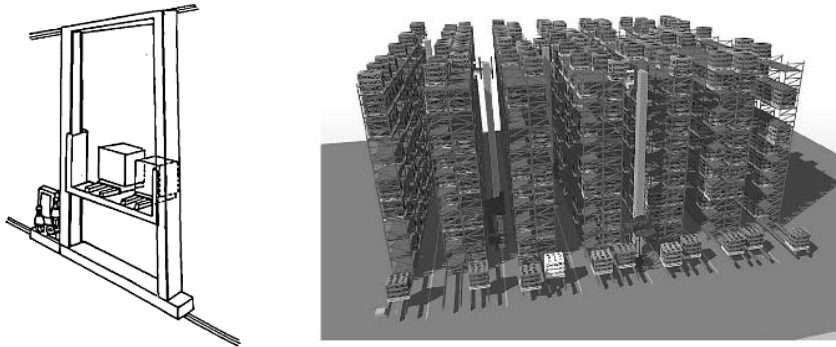


Figura 2. Transelevador e sistema de automatizado de armazenamento e retirada (J. P. Gagliardi et al., 2010; Meller & Mungwattana, 1997).

De acordo com Roodbergen & Vis (2009) e Hachemi, Sari, & Ghouali (2012), há diversas opções de configuração de sistemas automatizados. O modelo básico é uma estrutura que contém um transelevador para cada corredor (corredor cativo), que transportam e armazenam paletes ou plataformas similares de carga (*unit-load*), que manipula uma carga por vez (carga simples ou *single-shuttle*) e acede apenas uma estante em cada lado do corredor (profundidade simples).

Há situações em que o transelevador pode resgatar ou armazenar mais de uma unidade de carga por vez, o que caracteriza o *multi-shuttle*. Conforme Meller & Mungwattana (1997), o transporte de duas ou mais cargas em simultâneo aumenta a eficiência e resulta em mais agilidade e menor tempo de espera. Segundo Shin-Ming & Tsai-Pei (2008), a escolha de um sistema *double-shuttle* pode promover um aumento de desempenho de pelo menos 40% em relação ao tipo *single-shuttle*. Noutros casos, o sistema pode conter uma quantidade menor de veículos S/R que corredores, necessitando, dessa forma, de um outro processo de transferência dos equipamentos de armazenagem e retirada de um corredor para outro. Outra variação do modelo genérico é a utilização de equipamentos menores e mais ágeis para o manuseio de cargas com pequenas dimensões (geralmente caixas), sendo assim denominados *miniloads*.

Outra opção é disponibilizar materiais em duas estantes em cada lado do corredor (dupla profundidade). Neste caso, uma unidade de carga é depositada à frente dos volumes que se encontram na estante traseira. Esta modalidade possui a vantagem de maximizar o espaço de armazenamento com a diminuição da quantidade de corredores, no entanto, aumenta o tempo de processamento devido à eventual necessidade de realocação de carga quando é necessário resgatar materiais localizados nas estantes mais distantes do corredor (Xu et al., 2014).

Dependendo da configuração, os veículos S/R executam um comando para cada ciclo de movimentação, que significa que o equipamento recebe uma ordem de armazenagem ou retirada e

só recebe outra instrução do sistema informatizado de gestão (WMS) quando cumprir a tarefa corrente. Atualmente é possível conceber sistemas com carga simples e profundidade simples nos quais os equipamentos podem realizar comandos duplos, assim, o transelevador coordena um procedimento de armazenagem com uma retirada de material (de Koster et al., 2007).

Nos casos em que os equipamentos S/R transportam mais de uma carga em simultâneo ou acedem prateleiras com dupla profundidade, ocorre o ciclo com múltiplos comandos, por exemplo um transelevador pode depositar duas cargas na estante, realocar uma carga (no caso de dupla profundidade) e retirar outras duas cargas, transportando-as para o ponto de saída. Conforme Meller & Mungwattana(1997), um veículo S/R com carga simples possui maior desempenho se configurado em modo de ciclo duplo em relação à configuração para recebimento de comandos simples e um veículo S/R com carga dupla será mais eficiente se for programado em ciclo quádruplo ao invés de ciclo duplo.

2.3.1 Outros tipos de AR/SR

Como alternativa ao sistema automatizado tradicional configurado para operar no modo *parts-to-picker*, Roodbergen & Vis (2009) exibem o *person-on-board* AS/RS. Neste tipo de equipamento, o operador responsável pela retirada dos produtos encontra-se embarcado do veículo automatizado de armazenamento e retirada. Dessa forma, ocorre um procedimento excepcional em sistema AS/RS que é a utilização do método *picker-to-parts* e a possibilidade de utilizar a estratégia de retirada dos materiais em lotes de pedidos.

Outra opção é a utilização de sistemas automatizados do tipo carrossel. Park(2009) define o carrossel como uma série encadeada de estantes que são movimentadas por um dispositivo automatizado de modo a disponibilizar uma prateleira por vez ao operador de *picking*. O carrossel pode ser do tipo vertical ou horizontal a depender do sentido de movimento das prateleiras. Kuo, Kung, & Huang(2011) apresentam um estudo de simulação de uma versão híbrida contendo dois carrosséis horizontais integrados com um veículo S/R (transelevador).

Uma terceira opção é a utilização de veículos guiados automaticamente (AGV). Neste sistema de armazenamento e retirada, os veículos automatizados resgatam contentores ou paletes e as transportam para a área de *picking*. O sistema de gestão é capaz de coordenar o trânsito interno de vários veículos automatizados de modo a evitar congestionamentos e otimizar as rotas. Segundo Vis(2006), o uso de veículos automatizados tem crescido rapidamente desde a introdução da tecnologia, em 1955.

2.4 Sistemas Automatizados de Separação de Pedidos

Nas situações em que o procedimento de *picking* contemplam as estratégias de retirada em lotes e retirada por zonas, normalmente é adicionada uma atividade para promover a separação dos itens da lista de forma a compor os pedidos originais dos clientes. Em armazéns com elevado fluxo de material, a atividade de separação é realizada com a utilização de sistemas automatizados (Marchet, Melacini, & Perotti, 2011).

Os sistemas de separação normalmente são compostos por um tapete rolante acumulativo, um transportador circular, pontos de admissão e os pontos de saída. Os materiais retirados dos locais de armazenamento são depositados no primeiro tapete rolante, onde os produtos são conduzidos para os locais de admissão e aguardam um setor livre no equipamento de separação. Assim que o material é transferido para o equipamento, o dispositivo se encarrega de transportá-lo para ponto de saída que está vinculado ao pedido de destino (Gu et al., 2007).

Conforme a Figura 3, o tapete rolante circular se movimenta ao longo de duas fileiras contendo pontos de saída. Um sistema de informação recupera a informação do produto que passa pelo local de admissão e associa ao setor do equipamento de *sorting*. Em seguida envia a informação para que o setor ocupado libere o produto sobre o ponto de saída que foi vinculado ao pedido do cliente. Na parte inferior de cada ponto de saída é disponibilizado uma caixa que acumula os itens pertencentes ao pedido.

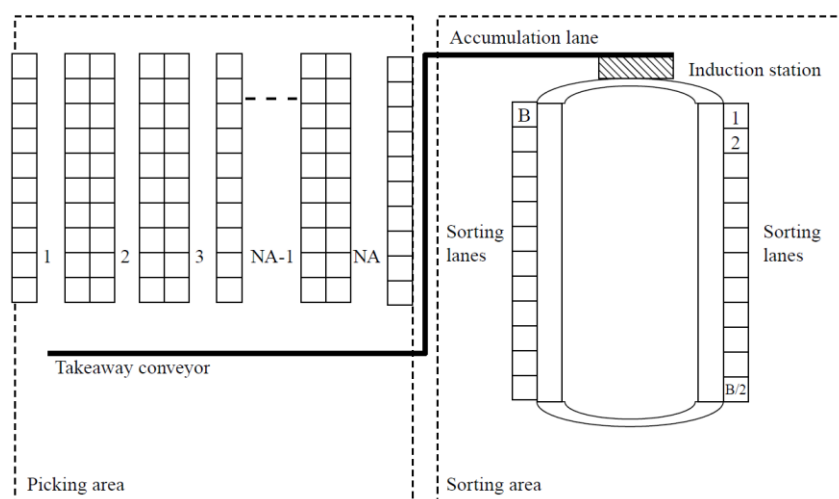


Figura 3. Sistema de separação automatizado (Marchet et al., 2011).

Segundo Marchet et al. (2011), a zona de *picking* possui o *layout* e o funcionamento idênticos aos demais sistemas preparação de pedidos. Os operadores de *picking* depositam os itens no transportador que, por sua vez, os conduzem ao sistema de separação. Os tapetes rolantes

também possuem a função de acumular os materiais próximos ao local de admissão de modo a manter um fluxo constante de itens no sistema. O local de admissão é o sítio designado para inclusão dos itens no equipamento de separação automatizado. O procedimento de admissão pode ser realizado de forma automatizada ou manual. A admissão dos materiais deve ser realizada com a velocidade adequada e com a escolha correta do setor livre no transportador circular.

Um sistema de separação pode ser programado para operar com mais de um processo de admissão em simultâneo. Nesta situação, caso o processo de admissão seja realizada de forma manual, deverá ser escolhida um dos dois métodos de admissão apresentados a seguir:

- *Side-by-Side Inductors*, os operadores trabalham em grupos em cada ponto de admissão.
- *Split Inductors*, os operadores trabalham individualmente em cada ponto de alimentação do sistema.

Conforme Johnson & Meller(2002), sistemas de separação que suportam a recirculação dos produtos são normalmente selecionados para a maioria dos casos porque permite que o número de pedidos processados em simultâneo seja maior que o número de pontos de saída. Nestes sistemas, os produtos permanecem no transportador circular até que a caixa correspondente ao pedido seja inserida em substituição à outra caixa que já possua o pedido totalmente consolidado. No caso de sistemas de separação do tipo *split-case*, a quantidade de pedidos atendidos em cada ciclo será sempre menor ou igual à quantidade de pontos de saída porque não é contemplada a recirculação dos produtos sobre o transportador.

Há diferentes tecnologias disponíveis para sistemas de separação automatizada. Marchet et al. (2011) relacionam o *bomb-bay*, *tilt-tray* e *cross-belt*. A escolha entre as diferentes opções é realizada em função das dimensões físicas dos itens que serão processados e de outros fatores como peso e fragilidade dos produtos. Conforme Johnson & Meller(2002), os sistemas possuem tecnologias similares e diferem-se em relação ao modo de descarga do item nos pontos de saída. O *bomb-bay* é conhecido por contemplar o modo de operação mais simples uma vez que os setores do tapete rolante são bandejas que se abrem e liberam a carga numa caixa posicionada num ponto de saída, sob o transportador. No caso do *tilt-tray*, as bandejas que contém os produtos são inclinadas ao passarem nos pontos de saída para a liberação da carga, que é conduzida sob gravidade para a caixa de destino. Já no caso do sistema *cross-belt*, os setores de carga do transportador possuem pequenos tapetes rolantes que se movem no sentido perpendicular ao movimento do tapete principal, neste dispositivo, os materiais são conduzidos do tapete circular para o contentor de destino com o mínimo de colisões no trajeto.

Segundo Johnson & Meller (2002), a velocidade de processamento de um sistema de separação automatizado é muito elevado. Portanto, a taxa de saída do sistema é condicionada pela velocidade de admissão dos materiais. A admissão dos materiais depende diretamente das estratégias adotadas para a operação de *picking*, sobretudo, no que diz respeito ao tamanho do *wave picking*, à quantidade de lotes a serem separados em simultâneo e à forma de localização dos materiais no armazém. Outros aspetos que influenciam a velocidade de admissão são a quantidade de locais de admissão e a estratégia adotada para a atividade. Os autores identificaram que a modalidade *split inductor* possui um potencial para prover maior velocidade de processamento em relação ao método *side-by-side*.

2.5 Design de Armazéns Automatizados

Segundo Baker & Canessa(2009), a definição dos requisitos gerais da cadeia de abastecimento deve ser o primeiro passo no processo de conceção de qualquer tipo de armazém. É necessário entender o objetivo do novo sistema, com qual frequência receberá os produtos dos fornecedores e como é a forma de atendimento aos clientes. Outra atividade importante é o estudo aprofundado sobre as características dos produtos a serem processados. O conhecimento sobre a quantidade de SKU, quantidade de famílias distintas, características físicas de cada família, valores da taxa de movimentação e a quantidade a manter em *stock* de cada produto são imprescindíveis para a conceção do armazém e escolhas das tecnologias. Com base nas informações acima, é realizada uma análise dos dados obtidos de forma a estabelecer-se as unidades de carga a serem usadas e os métodos para a sua movimentação e armazenamento.

Conforme Escobar, Carvalho, & Freires(2015), a questão fundamental no processo de seleção de tecnologias para preparação de pedidos é compreender quais as razões de natureza estratégica e/ou tática que impelem a empresa a procurar uma nova abordagem para o seu processo de preparação de pedidos (revisão do processo de distribuição, aumento da procura, baixo nível de serviço, baixa eficiência, etc.) e quais os objetivos a atingir (reduzir custos de operação; melhorar serviço, aumentar precisão, melhorar a produtividade, etc.). Por outro lado, é necessário identificar os constrangimentos existentes, que podem ser de natureza financeira, física ou de recursos humanos. Em seguida, são processados outros *inputs* como: a situação atual (nível de serviço, custos), características da procura (estrutura e frequência dos pedidos, tendência, sazonalidade), características dos produtos armazenados (peso, volume, facilidade para empilhar, formato, unidades carga, etc.),

modelo de codificação de produtos, níveis de inventário, rotação, *stock* de segurança, *lead time*, dimensão e *layout* do armazém e maturidade tecnológica do Sistema de informação (WMS).

Roodbergen & Vis (2009) comentam sobre a importância de perceber as perspectivas de crescimento da empresa a fim de tornar o projeto escalável. Segundo os autores, os sistemas automatizados possuem a característica de possuir baixa flexibilidade para modificações futuras, portanto necessitam de um planejamento adequado para suportar as necessidades atuais e também as possíveis alterações de requisitos a longo prazo. Outro aspecto importante é que o veículo S/R é apenas um dos recursos existentes, dessa forma, o desempenho das operações de armazenamento e retirada é influenciado pelo desempenho dos demais recursos. Assim, a quantidade de *I/O points*, o tempo médio para transporte entre os *I/O points* e os postos de trabalho, o tempo médio para *picking*, o tempo para realização de tarefas auxiliares e as ações de controle devem estar em harmonia com a capacidade de movimentação dos veículos automatizados.

Com base nas informações sobre o produto, a definição da unidade de armazenamento e as restrições da cadeia de abastecimento é possível iniciar a etapa fundamental do processo de concepção, que consiste na determinação das características físicas do sistema. A primeira escolha é sobre o tipo do AS/RS. Em seguida, são tomadas as decisões sobre as configurações do sistema, que diz respeito à quantidade de corredores, às dimensões das estantes e à quantidade e localizações dos *I/O Points*. Gu et al. (2010) informam que o principal desafio é determinar o número de veículos S/R, corredores e estantes de modo a minimizar os custos de construção, manutenção e operação e maximizar a utilização dos equipamentos.

Um ponto a ser levado em consideração é o equilíbrio entre a altura e a largura das estantes. Tomando como base que o valor da velocidade horizontal dos veículos S/R é normalmente três vezes superior a velocidade vertical, o ideal é que a largura da estante seja três vezes superior ao tamanho da altura. O objetivo é equilibrar o tempo de viagem no sentido horizontal com o tempo de elevação do suporte de carga no sentido vertical.

Outro fator é a localização do ponto de entrada e saída de carga. Estudos de simulação garantem que a melhor escolha é o posicionamento no centro da estante, no entanto, esta solução só é possível em sistemas que contêm apenas um corredor, ou em casos que contemplam a construção de *I/O Points* dedicados para o corredor mais próximo da zona de *picking*. Roodbergen & Vis (2009) também comentam que um ótimo *design* seria propor uma menor quantidade de veículos que corredores ou mais de duas estantes por corredor quando o número de requisições do sistema for relativamente baixo.

Segundo Gu et al.(2010), uma decisão importante a ser tomada no processo de *design* é a definição das estratégias de operação. As duas maiores decisões relacionadas com a estratégia de operação são as definições sobre os métodos de armazenamento e as estratégias de *picking*.

Segundo Roodbergen & Vis(2009), a escolha correta do método para o sequenciamento da retirada pode trazer grandes benefícios para o processo de *picking*. O problema é mais frequente nos casos de utilização de AS/RS com o método *parts-to-picker*, pois o veículo de carga automatizado transporta entre uma a três unidades de carga em simultâneo para o operador de *picking*, a depender do tipo do sistema. Assim, o equipamento necessita ser programado para que realize um sequenciamento da retirada de modo se obter um menor tempo de processamento total dos pedidos. Outro fator a ser observado é que, normalmente, os equipamentos são configurados paraa realização de ciclos com múltiplos comandos, que é caracterizada pela retirada do material em conjunto com um movimento de armazenagem. Dessa forma, aoperação se torna mais complexa porque a lista de procedimentos a ser posta em sequência sofre variações durante o processo.

Os autores descrevem duas formas para realização do sequenciamento. A primeira delas é apanhar, num determinado momento, um conjunto de pedidos mais urgentes e realizar o sequenciamento (*wave picking*). Outra maneira é realizar um sequenciamento dinâmico, que consiste em escolher os itens da lista para a próxima tarefa imediatamente após o último movimento do transelevador. Estudos de simulação apontam uma vantagem operacional da última opção(Roodbergen & Vis, 2009).

Meller & Mungwattana(1997) realizaram um estudo de caso a fim de identificar o método para realização do sequenciamento dinâmico que promova o menor tempo de processamento. Os autores afirmam que a escolha da retirada com base na regra do “vizinho mais próximo” pode reduzir o tempo de viagens entre localizações em 60% e o tempo de viagem total em 16%. O método consiste em realizar um procedimento de armazenagem utilizando a localização livre mais próxima do *I/Opointe*, em seguida escolher, dentre os itens da lista de retirada mais urgente, a unidade de carga cujo tempo de viagem entre as localizações, seja a menor possível.

Hachemi et al.(2012) desenvolveram um método matemático para otimização de AS/RS configurados com ciclos duplos. Neste método, a escolha do local de armazenagem depende da localização de onde serão retirados os materiais. O método denominado de tempo mínimo de viagem de um ciclo duplo realiza as combinações de armazenagem e retirada de modo a diminuir o tempo total de um conjunto de ciclos. A desvantagem do método é que foi desenvolvido apenas para utilização em *wave picking*.

Segundo Roodbergen & Vis(2009), a escolha entre as diversas regras de controlo e operação deve ser realizadas com a utilização de estimativas de tempo médio de viagem dos veículos S/R para cada cenário proposto. O resultado da combinação das escolhas devem ser validades por meios de obtenção de estimativas que normalmente são obtidas por simulação discreta.

2.5.1 Utilização de Simulação Discreta para Validação de Design de Armazéns Automatizados.

ConformeGagliardi, Renaud, & Ruiz (2012), a utilização de simulação discreta para validação de cenários tem sido progressivamente introduzida nos processos de conceção de armazéns. Segundo os autores, a simulação discreta é a melhor escolha para validar um modelo específico porque os sistemas reais normalmente são muitos complexos para serem analisados analiticamente. Outra vantagem do método é que permite uma análise integrada com a rede de distribuição a montante e com os processos a jusante. Além disso, é possível realizar a análise do processo de conceção ao mesmo tempo que valida diferentes estratégias para controlo e operação.

Segundo Eben-Chaime, Pliskin, & Sosna (2004), os armazéns automatizados oferecem um excelente exemplo de necessidade de análise por meio de simulação discreta em virtude da possibilidade de analisar diversas regras de operação que influenciam os ciclos de duplos comandos dos veículos S/R. Outra vantagem é que a simulação possui utilidade tanto como parte do processo de criação como para melhor compreensão dos novos sistemas.Outro ponto enfatizado pelos autoresé a economia proveniente da redução dos riscos da implantação devido ao processo de validação por meio de simulação ocorrer antes de qualquer implementação física.

Escobar et al.(2015)expõem que a última etapa de um processo de implementação de melhorias na operação de preparação de pedidos éa avaliaçãodas características de cada subsistemacom o objetivo de aperfeiçoar tanto quanto possível o seu desempenho. O procedimento provoca uma análise não apenas no *order picking*, como também do *layout* das políticas de *routing*, armazenagem e zoneamento.

Atualmente, a grande capacidade de processamento dos microcomputadores permite que engenheiros utilizem a simulação como parte de avaliação do processo de conceção de armazéns, além disso, permite-lhes procurar as alternativas de *design* possíveis e encontrar aquela que melhor atenda aos critérios globais da cadeia de abastecimento(J.-P. Gagliardi et al., 2012).

3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo é destinado à apresentação das principais características da cadeia de abastecimento e do sistema automatizado de armazenamento e retirada. A descrição do funcionamento do novo sistema será realizada inicialmente sem o subsistema de *sorting*. Nas seções posteriores serão apresentadas as características do novo subsistema e os requisitos esperados para o funcionamento do centro de distribuição.

3.1 Sistema de Provisões do Comando da Aeronáutica

O Sistema de Provisões do Comando da Aeronáutica é uma cadeia de abastecimento que possui a finalidade de fornecer uniformes aos militares beneficiados pela distribuição gratuita e materiais de apoio às organizações do Comando da Aeronáutica. Atualmente, as atividades do Sistema de Provisões são realizadas por meio da seguinte estrutura:

- Diretoria de Intendência (DIRINT) - órgão central do sistema, localizado na cidade do Rio de Janeiro -SP, que é responsável pela orientação normativa, coordenação e gerenciamento das atividades.
- Subdiretoria de Abastecimento (SDAB) - organização militar localizada na cidade de São Paulo - SP responsável pelo planejamento da necessidade, especificação, licitação, obtenção e análise qualitativa dos materiais recebidos.
- Depósito de Material de Intendência (DMI) –centro de distribuição localizado nas dependências da SDAB, que possui a finalidade de receber, armazenar, controlar e distribuir os materiais destinados ao pessoal e às organizações localizadas nas regiões militares sob sua responsabilidade.
- Depósito Central de Intendência (DCI) - centro de distribuição localizado na cidade do Rio de Janeiro, responsável pelo apoio logístico ao pessoal e às organizações do Comando da Aeronáutica localizadas nas regiões não apoiadas pelo DMI.
- 57 Armazéns Regionais. Dentre os quais, 36 armazéns possuem a atribuição de realizar a distribuição de fardamento e material de apoio e 21 possuem a dedicação exclusiva aos materiais de apoio, também denominado de Material de Intendência.

A cadeia de abastecimento do Sistema de Provisões possui elevada complexidade devido à existência dos diversos armazéns regionais distribuídos em todas as regiões do país. Além disso, possui elevada importância em decorrência do tipo de produto processado ser considerado estratégico e fundamental para o funcionamento de uma Força Armada.

Atualmente, a Diretoria de Intendência possui um estudo em andamento para a unificação dos depósitos centrais do Sistema de Provisões. O plano trata da construção de um novo sistema, nas dependências da Subdiretoria de Abastecimento, que sirva como CD unificado para toda a cadeia pertencente ao Sistema de Provisões.

Após a experiência bem-sucedida na implantação de um sistema automatizado de armazenamento e retirada em outra rede de distribuição gerida pela SDAB (R. d. F. Dias, Figueroa, Peixoto, & Sousa, 2012), iniciou-se, no ano de 2013, o desenvolvimento de um projeto para a construção de um novo armazém automatizado que possua a capacidade de *stock* e de processamento dos dois depósitos centrais existentes. Após a realização de um processo de concepção e levantamento de custos do novo CD, foi possível verificar a viabilidade da construção de uma estrutura autoportante com dois corredores com transelevadores dedicados em cada corredor. O projeto contempla uma conexão, por meio de AGV, do ponto de entrada e saída dos setores de armazenamento como postos de trabalho a serem implantados no interior de uma estrutura já existente.

Outra frente de trabalho participa da implantação de um novo *software* de gestão capaz de otimizar o processo de planejamento das necessidades e controle da distribuição de fardamento e de material de apoio, além de viabilizar a integração com *software* de gestão (WMS) do futuro sistema de armazenamento.

Entretanto, tendo sido discutida a alteração do projeto inicial para a incorporação de um subsistema de *sorting* automatizado com a finalidade de realizar a separação dos *kits* individuais de peças de fardamento no novo depósito central. Esta inovação poderá promover maior qualidade e controle no processo de distribuição de fardamento, além de minimizar a quantidade de *stock* e de mão-de-obra nos 36 armazéns regionais da rede de abastecimento de fardamento gratuito.

Contudo, há a necessidade de investigar se a implantação do subsistema de separação automatizado possibilita o atendimento aos requisitos da cadeia de abastecimento. Além disso, é fundamental investigar qual o impacto da alteração da estratégia de separação de fardamento na operação de armazenamento e operação de *picking* dos demais produtos que serão processados no novo centro de distribuição.

3.2 Características do Projeto de Construção do Armazém Automatizado

O projeto de construção do sistema automatizado contempla, na versão inicial, a construção de uma estrutura autoportante que conterà as estantes, os transelevadores e os corredores. A estrutura possuirá 93m de comprimento, 16m de largura e 26m de altura. Está prevista a instalação de 8 estantes, que serão acedidas por dois corredores contendo transelevadores cativos do tipo *single-shuttle*.

As estantes possuirão 54 setores verticais e 11 níveis de altura, totalizando 4.752 localizações. As localizações suportarão paletes medindo 1,2m x 1,2m com limite de carga de até 1,5m de altura ou 1.000 Kg de massa. A Figura 4, a seguir, exibe uma perspectiva do local de armazenamento planejado.

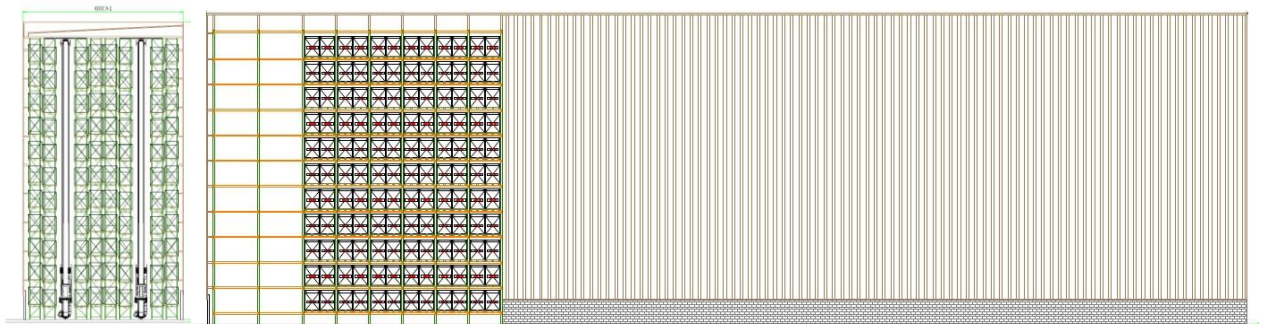


Figura 4. Visão de corte frontal e lateral do armazém autoportante.

Os transelevadores, que acederão a localizações dispostas em dupla profundidade, serão programados com ciclos de múltiplos comandos. Os valores esperados para velocidade, aceleração/desaceleração, carregamento/descarregamento e as distâncias a serem percorridas estão apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Valores de configuração dos veículos S/R

| Parâmetro | Valores |
|--|----------------------|
| Velocidade horizontal (eixo X) | 180 m/min |
| Aceleração/desaceleração horizontal | 0,8 m/s ² |
| Distância entre localizações do eixo X | 1500 mm |
| Velocidade vertical (eixo Y) | 60 m/min |
| Aceleração/desaceleração vertical | 0,8 m/s ² |
| Distância entre localizações (eixo Y) | 2160 mm |
| Tempo acesso profundidade 1 (eixo Z) | 8,47 s |
| Tempo acesso profundidade 2 (eixo Z) | 11,45 s |

Os pontos de entrada e saída para os dois corredores estão localizados no canto inferior das estantes centrais (Figura 5). Os tapetes rolantes do lado esquerdo de cada corredor são utilizados para o transporte das paletes que são destinados aos pontos de entrada. Os outros dois dispositivos serão utilizados para o transporte das paletes dos pontos de saída de cada zona de armazenamento para os pontos de recolha de um terceiro veículo automatizado (*automated guided vehicle- AGV*). A função do AGV é transportar os materiais entre a zona de armazenamento e a zona de *picking* e entrada. A Figura 5 exibe uma visão geral dos transportadores e da rota do AGV.

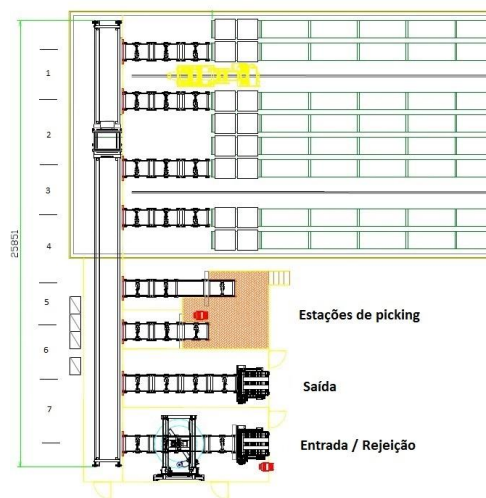


Figura 5. Visão superior do setor de entrada e *picking*.

Os valores de configuração do AGV e dos transportadores estão apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3, a seguir. Os valores dos segmentos para a movimentação do AGV fazem referência à distância entre os transportadores, a começar da parte superior da Figura 5.

Tabela 2: Valores de configuração do AGV

| Parâmetro | Valores |
|------------------------------------|----------------|
| Velocidade | 160 m/min |
| Tempo carregamento/descarregamento | 9 s |
| Distância segmento 1 | 3000 mm |
| Distância segmento 2 | 4250 mm |
| Distância segmento 3 | 3000 mm |
| Distância segmento 4 | 4800 mm |
| Distância segmento 5 | 1750 mm |
| Distância segmento 6 | 3440 mm |
| Distância segmento 7 | 3020 mm |

Tabela 3: Valores de configuração dos transportadores.

| Parâmetro | Valores |
|---|----------|
| Velocidade | 10 m/min |
| Distância segmentos interior do armazém | 6000 mm |
| Distância segmento <i>picking</i> 1 | 6800 mm |
| Distância segmento <i>picking</i> 2 | 5100 mm |
| Distância segmento saída | 4700 mm |
| Distância segmento entrada | 8100 mm |

3.3 Modo de Funcionamento do Sistema de Armazenamento e Retirada

A versão inicial do sistema contempla a entrada de paletes com os uniformes e os materiais de apoio por meio da indicação 01 da Figura 6. As caixas de produtos, previamente identificados com etiquetas de radiofrequência, em conjunto com paletes, também identificados com etiquetas RFID, seguirão para a localização 03 com a finalidade de serem conferidos automaticamente numa cabine eletrônica. Caso a verificação seja positiva, os produtos seguem para a posição 04 com o objetivo de receberem um embalamento da carga e, em seguida aguardam o resgate pelo AGV (posições 21 e 25 da Figura 6). Se ocorrer problemas na conferência das etiquetas de radiofrequência, a unidade de carga retorna ao ponto de entrada.

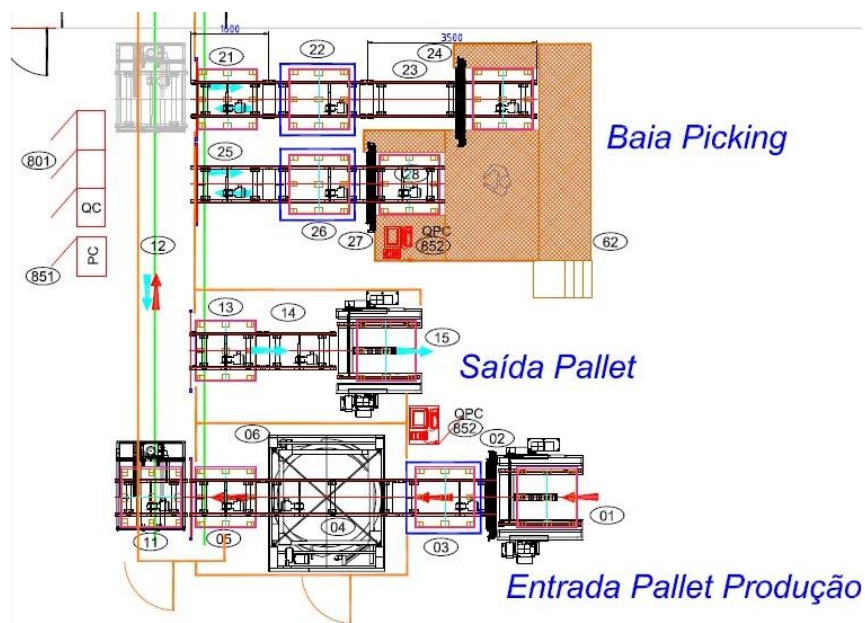


Figura 6. Visão setor de armazenamento e *picking*.

Uma vez resgatados pelo AGV, as unidades de carga serão destinadas, de forma alternada, para um dos setores de armazenamento. O método previsto é a ocupação da localização livre mais próxima. Nos documentos de especificação não há a exigência de utilização de classes de material e sequenciamento da retirada.

A operação de preparação de pedidos será realizada com a utilização dos demais transportadores previstos na área de *picking*. No caso de retiradas parciais de produtos das paletes, estes serão enviados alternadamente para os postos de *picking 1* e *picking 2* (Posições 24 e 28 da Figura 6). No final do procedimento de retirada dos materiais da unidade de carga, o conjunto paletes-caixas são novamente verificados de forma automatizada numa cabine de leitura por radiofrequência. Com a verificação aprovada, os materiais retornam para o ponto de espera do resgate pelo AGV. Nas situações em que a quantidade de produtos a ser retirada correspondem à quantidade total de produtos disponíveis na paleta, a unidade de carga será enviada para a posição de saída do sistema, conforme indicado na posição 15 da Figura 6.

Segundo as especificações iniciais, a operação de *picking* ocorrerá conforme as seguintes regras:

- O recebimento de pedido de forma eletrônica por meio de integração entre sistemas de TI.
- A atribuição da localização segundo a regra FIFO.
- Método simplificado de separação (Não está previsto o agrupamento de ordens de retirada ou *wave picking*).
- Liberação de ordens de separação de forma sincronizada entre os dois setores de armazenamento.
- Retirada de material realizada de forma manual (*parts-to-picking*).

3.4 Características do Subsistema de Separação Automatizada

O sistema de separação automatizada para processamento dos *kits* individuais de fardamento inicialmente concebido é composto, principalmente, por um tapete rolante circular acumulativo e um equipamento de *sorting* automatizado do tipo *Bomb-bay*.

O transportador circular possui a finalidade de conduzir os produtos da área de *picking* para os locais de alimentação do *sorting* e também servir como um acumulador de material uma vez que a velocidade para colocação dos produtos no transportador é maior que a velocidade de retirada

paracolocação no *sorting*. Estão previstos 3 pontos para colocação de materiais no transportador circular e quatro pontos para retirada dos materiais e alimentação no equipamento de separação, conforme indicado na Figura 7, abaixo.

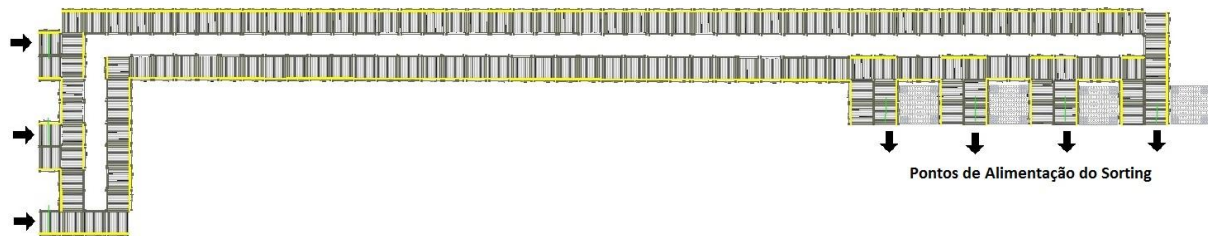


Figura 7. Visão do conjunto de transportadores.

As especificações técnicas do conjunto de transportadores estão apresentadas na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Valores de configuração do transportador circular.

| Parâmetro | Valores |
|----------------------------------|----------------|
| Velocidade | 18,3 m/min |
| Quantidade de caixas | 50 unidades |
| Pontos de entrada | 3 unidades |
| Pontos de saída | 4 unidades |
| Distância total do transportador | 78600 mm |

A movimentação dos produtos do ponto de *picking* para o local de alimentação, por meio dos transportadores, será realizado em caixas plásticas padronizadas (Figura 8). O objetivo do contentor é organizar o transporte e controlar a identificação dos produtos que estão em trânsito. Assim, por meio da identificação automatizada da etiqueta da caixa, os códigos dos produtos que estavam associados às paletes passarão a ser associados ao número de identificação do contentor, quando o contentor for posicionado num local de alimentação, será possível reconhecer os produtos existentes e enviar os respectivos códigos para o *software* de controlo do subsistema de separação.

Para que o rastreamento dos produtos seja possível, a atividade de retirada de materiais das paletes é realizada de forma coordenada com a inserção dos produtos nas diversas caixas de transporte.



Figura 8.Caixa plástica para transporte.

O equipamento de *sorting* prevê o tipo de alimentação manual e operação no modo *split*. Um sistema informatizado de controlo receberá os códigos dos produtos que estão associados às caixas e se encarregará de realizar o comando de abertura da bandeja sobre os pontos de saída que estarão associados à identificação dos militares beneficiados. Em seguida, os materiais serão destinados ao setor de embalagem e expedição.

Os valores de configuração do equipamento de *sorting* estão apresentados na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5: Valores de configuração do *sorting*.

| Parâmetro | Valores |
|-------------------------------|----------------|
| Velocidade | 54 m/min |
| Quantidade de pontos de saída | 150 unidades |
| Quantidade de bandejas | 178 unidades |
| Distância largura da bandeja | 450 mm |
| Locais de alimentação | 4 |

A Figura 9exibe uma ilustração de um equipamento de *sorting* automatizado do tipo *Bomb-bay*, presente na especificação.



Figura 9. Sistema de separação automatizada do tipo *Bomb-bay*.

3.5 Requisitos da Cadeia de Abastecimento

O novo sistema será responsável por concentrar as operações ocorridas atualmente no Depósito de Material de Intendência e Depósito Central de Intendência. O novo CD receberá os materiais dos fornecedores por meio de caixas padronizadas e armazenará as caixas em paletes exclusivas para uso interno. O inventário atual é formado por 2.940 SKU organizados em 386 famílias e a capacidade atual é de 9.150 m³.

Neste momento, os produtos são enviados para os depósitos regionais nas mesmas caixas recebidas pelo fornecedor. Uma parcela pequena dos produtos é enviada de forma fracionada e, portanto, fora da caixa original. Os materiais processados pelo sistema de separação automatizada deverão ser embalados em caixas especiais, conforme a quantidade e tipos de produtos destinados a cada militar. A separação das peças de uniforme em formato de *kit* individual será destinada às renovações anuais de fardamento. A elaboração dos *kits* destinados a incorporação de novos militares, continua a ser realizada nos depósitos regionais.

Os armazéns centrais possuem um pico de operação nos meses de setembro, outubro e novembro. O histórico de movimentações diárias para este período demonstram que são realizados, em média, 210 acessos às localizações para realização de *picking* e 32 movimentações diárias para a operação de armazenamento. Os gestores esperam, para os próximos anos, um crescimento de 20% nas movimentações em virtude da inclusão de novas classes de materiais. Estima-se que as movimentações para distribuição de uniformes destinados à renovação de fardamento correspondem a 65% do total de movimentações de preparação de pedidos.

Com a implantação do processo de *sorting* automatizado, o subsistema deverá ser capaz de promover o processamento de 600 conjuntos de peças de fardamento por dia. Os requisitos baseiam-se na capacidade de promover a renovação de fardamento para mais de 40.000 militares num prazo de três meses.

Conforme citado na seção 2.5, o conhecimento da cadeia de abastecimento, bem como a descoberta de suas restrições e perspectivas de crescimento são os primeiros passos para a um estudo de concepção de um armazém. A presente investigação, que tem como objetivo a análise de um processo de *design*, possui a mesma premissa. Os dados recebidos da organização em estudo foram processados de modo a serem inseridos nos modelos de simulação, que possibilitou a análise e conclusões. As informações sobre a obtenção e tratamento dos dados estão descritos no próximo capítulo.

4. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

O presente capítulo é destinado a apresentar os procedimentos utilizados para o levantamento dos requisitos da cadeia de abastecimento, levantamento das especificações dos equipamentos envolvidos e construção dos modelos de simulação. As atividades permitiram a obtenção dos dados necessários para a realização da análise proposta como objetivo da investigação.

4.1 Recolha de dados

O passo inicial foi a identificação dos requisitos da cadeia de abastecimento que será afetada pela construção do novo armazém (Baker & Canessa, 2009; Roodbergen & Vis, 2009). O conhecimento dos requisitos ocorreu por meio da consulta de normas, documentos de instruções técnicas do Comando da Aeronáutica e documentos de prestações de contas arquivadas na rede interna da SDAB. A obtenção dos dados sobre as características dos produtos e movimentações nos últimos anos foi realizada por meio de consultas ao banco de dados dos sistemas de TI utilizados na SDAB. O acesso aos bancos de dados dos sistemas informáticos e aos documentos existentes na rede de informação foi realizado por meio de uma conexão VPN.

Os dados sobre perspectiva de crescimento, restrições para a elaboração dos *kits* de uniforme, produtos que compõem o *kit* de renovação e os tipos de operações ocorridas atualmente nos armazéns centrais foram obtidos por meio de consultas via correio eletrônico, telefone e teleconferências aos gestores responsáveis.

O objetivo da etapa inicial foi possibilitar uma compreensão sobre as atividades pertencentes ao Sistema de Provisões, bem como perceber as características dos produtos, as taxas de movimentação de entrada e saída dos materiais e as restrições do sistema para cada alternativa apresentada.

O passo a seguir foi analisar o projeto de construção do novo sistema automatizado e obter os parâmetros de funcionamento dos equipamentos existentes. Os valores foram obtidos por meio da consulta aos documentos de especificações do novo CD, consulta em artigos científicos sobre o funcionamento dos equipamentos e consulta aos fabricantes que enviaram as propostas comerciais existentes no plano de construção. O objetivo desta etapa foi reunir as informações necessárias para a replicação do sistema num ambiente de simulação.

4.2 Construção e Análise de Modelos de Simulação

Com base nas informações recolhidas nas etapas anteriores, foi possível obter o conjunto necessário de dados para iniciar o processo de construção dos modelos que representam as opções 1 (Sem o sistema de *sorting* automatizado) e 2 (com o sistema de *sorting*). Os *softwares* utilizados para a construção dos modelos foram o ARENA e o SIMIO. Segundo Dias, Pereira, Vik, & Oliveira (2011), o *software* ARENA é a ferramenta de simulação mais popular no mercado, o que significa que o aplicativo é potencialmente de melhor qualidade ou mais utilizado.

O SIMIO é um *software* para construção de modelos de simulação baseado em objetos inteligentes (Vik, Dias, Pereira, Oliveira, & Abreu, 2010). O objetivo inicial da construção de um modelo paralelo em SIMIO foi a possibilidade de promover uma reavaliação do *layout* final (opção 2) e apresentar uma animação do funcionamento do sistema em três dimensões, que oferece uma melhor compreensão do sistema (Eben-Chaime et al., 2004). Conforme Dias et al. (2011), o SIMIO é uma nova ferramenta de simulação que possui uma tendência de se projetar a uma posição de destaque.

4.2.1 Modelagem do Sistema sem o *Sorting* Automatizado

O processo de modelagem da primeira opção de *design* foi composto pela elaboração de 3 modelos com animação em duas dimensões. O objetivo da elaboração de outros dois modelos é promover uma otimização do processo, por meio da análise de diferentes estratégias para operação e controlo (J.-P. Gagliardi et al., 2012), antes de adicionar o subsistema de *sorting* automatizado. As alternativas analisadas estão descritas a seguir:

1. Modelo original, que simulou o ambiente da forma como foi especificado originalmente.
2. Modelo com a inclusão do método de sequenciamento da retirada com base no “vizinho mais próximo” em substituição ao método com base na localização mais próxima do ponto de saída, conforme apresentado por Meller & Mungwattana (1997).
3. Modelo com a inclusão do armazenamento por classes de família de materiais conforme análise de custo-benefício descrita por Charles et al. (2004).

As análises dos modelos de simulação foram baseados na estimativa diária (tempo de simulação igual a 8 h), e o número de repetições foram programados com base na quantidade de dias úteis de um mês (23 repetições). A quantidade inicial do inventário foi estimada em 85% do total

das localizações em cada um dos dois setores de armazenamento do novo centro de distribuição. O tempo de cada procedimento manual de *picking* foi programado para utilizar uma distribuição triangular com moda de 0,5 min, mínimo de 0,2 min e máximo de 1 min.

4.2.2 Modelagem do Sistema com o *Sorting* Automatizado

A representação do novo armazém com inclusão do subsistema de *sorting* automatizado foi realizada com a construção de três modelos distintos. As diferentes hipóteses tomaram como pressuposto as restrições para alteração do projeto. A alteração da estratégia do *order picking* para a adição do procedimento de *sorting*, no ambiente de simulação, ocorreu tendo como base o modelo que apresentou melhores resultados como primeira opção na seção anterior.

Antes da elaboração dos modelos, foi estimada a quantidade média de paletes necessárias para atender a quantidade de SKU, considerando que os produtos estão armazenados em diferentes lotes. Outra atividade realizada foi calcular a quantidade de caixas necessárias para reter a quantidade total de cada produto e transportá-los até o local de alimentação do *sorting*. Os operadores da SDAB verificaram a quantidade máxima suportada pela caixa de transporte para cada produto a ser distribuído. Além disso foram realizadas simulações do procedimento de *picking* para que fosse obtido uma estimativa dos tempos dos procedimentos manuais. O resultado foi enviado em formato de folha de cálculo (planilha eletrônica).

Cada *wave picking* foi planeada para a separação de 150 *kits* de fardamento, tomando como base a quantidade de SKU para a renovação dos cinco principais tipos de uniforme previstos na Instrução para Distribuição Gratuita de Fardamento (IDGF).

Os modelos de simulação discreta foram construídos conforme os pressupostos abaixo relacionados:

- Estimativa de ciclo de separação com o agrupamento baseado na homogeneidade das peças de uniforme. Foi considerado que serão realizados agrupamentos dos pedidos de separação de militares baseados no conjunto de uniformes semelhantes e nos tamanhos das peças de fardamento, ainda que os destinatários estejam em organizações militares diferentes.
- Inclusão da variabilidade da quantidade de paletes envolvidos no *picking* a depender da quantidade de lotes de recebimento existentes no armazém (Tabela 14).
- Inclusão da variabilidade da quantidade de caixas de transporte necessárias para receber os produtos retirados das paletes (Tabela 14).
- Inclusão da variabilidade da quantidade de produtos por caixa (Tabela 14).

- Criação de pacotes de distribuição para meias e T-shirt brancas a fim de diminuir a quantidade de admissão de produtos repetitivos no *sorting*.
- Operação de carregamento das caixas de transporte realizada de forma coordenada com a retirada de produtos das paletes. Foi inserida uma regra para que a caixa de transporte seja enviada para o setor de admissão somente após a conferência dos produtos restantes das paletes pela cabine RFID.
- Inserção manual no equipamento de separação, com o tempo de espera necessário para a disponibilização da bandeja diante do operador.

Com base nas informações obtidas, foram construídos três novos modelos em ARENA, conforme listados a seguir.

4. Modelo da opção 2 com a hipótese de permanecer com apenas dois postos para *picking*.
5. Modelo da opção 2 com a hipótese de adicionar dois novos postos de *picking* reservado ao uso exclusivo de separação de fardamento em conjunto com o equipamento de *sorting*.
6. Modelo da opção 2 com a hipótese de operar de forma alternada (Separação de fardamento com *sorting* utilizando 4 postos de *picking* ou separação dos demais produtos utilizando dois postos de *picking*).

A Figura 10, abaixo, ilustra as diferentes estratégias representadas nos modelos de simulação.

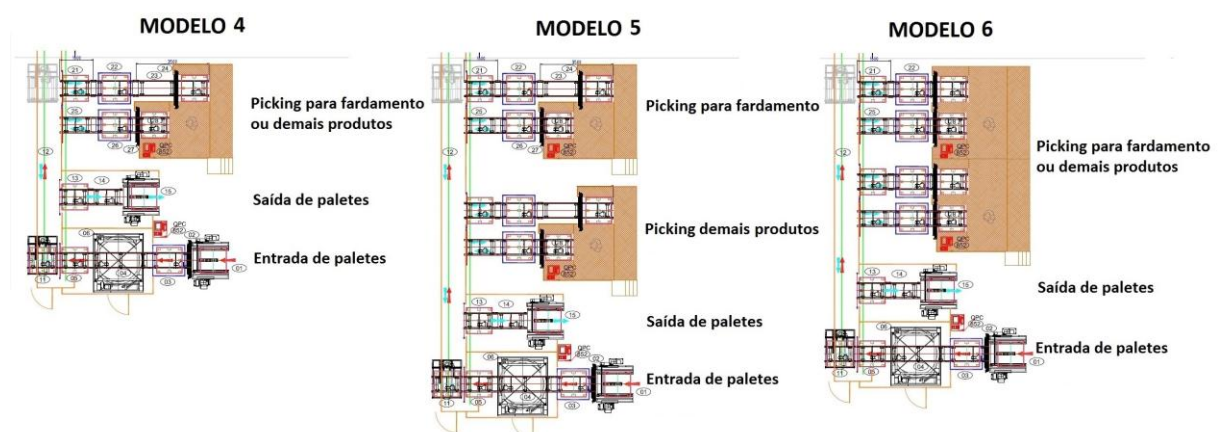


Figura 10. Estratégias de *picking* para inclusão do *sorting* automatizado.

Os modelos que representam a segunda opção de *design* foram programados com o tempo de 2 horas e 92 repetições, de modo a se obter os valores de cada *wavepicking* considerando a média de utilização mensal. A quantidade inicial do inventário também foi estimada em 85% do total das localizações em cada um dos dois setores de armazenamento do novo centro de distribuição. Os valores dos procedimentos manuais foram programados com base em distribuições de probabilidade do tipo triangular conforme os valores de moda, mínimos e máximos apresentados na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Configuração dos procedimentos manuais.

| Parâmetro | Moda | Mínimo | Máximo |
|--|-------------|---------------|---------------|
| Procedimento de armazenamento (min) | 0,2 | 0,5 | 1 |
| Procedimento de <i>picking</i> (min) | 0,2 | 0,5 | 1 |
| Procedimento de colocação de produtos nas caixas (min) | 0,2 | 0,2 | 0,8 |
| Procedimento de retirada de grupos de produtos das caixas (s) | 3 | 4 | 7 |
| Intervalo de tempo entre a alimentação e espera da próxima bandeja livre (s) | 1,2 | 1,6 | 2 |

Tomando como base o modelo que apresentou melhor desempenho, foram realizados ajustes para racionalizar a quantidade de recursos humanos e materiais. Em seguida, o modelo final proposto foi novamente desenvolvido no *software* SIMIO (Figura 13). Entretanto, por limitações da licença de uso fornecida à universidade, não foi possível realizar uma reavaliação das estimativas de tempo de processamento. Dessa forma, o modelo com animação em três dimensões foi utilizado para aumentar a percepção sobre o modo de funcionamento do sistema e facilitar a apresentação do projeto aos gestores do Comando da Aeronáutica e futuros fornecedores da solução.

A construção dos modelos de simulação foi organizada em 10 diferentes subprocessos e 8 dispositivos de controlo, conforme exposto na Tabela 7 e Tabela 8 e representados em cada conjunto de blocos de programação da Figura 11. Os detalhes dos modelos de cada subprocesso e cada tipo de controlo estão dispostos nos anexos do relatório.

A tarefa final do desenvolvimento foi comparar os resultados da simulação no ARENA com os requisitos da cadeia de abastecimento a fim de avaliar o impacto da inclusão do *sorter* automatizado e cumprir o objetivo geral e objetivos específicos do projeto.

Tabela 7: Processo dos modelos de simulação.

| Nome do processo | Quantidade de instancias |
|---|---------------------------------|
| Recebimento de paletes | 1 |
| Entrada no <i>stock</i> | 2 |
| Retirada de paletes pelos transelevadores | 2 |
| Saída de paletes do setor de armazenamento | 2 |
| <i>Picking</i> manual | 4 |
| Saída de paletes do sistema | 1 |
| Inserção de produtos nas caixas de transporte | 3 |
| Movimentação do transportador circular | 1 |
| Processo de admissão | 4 |
| Movimentação do equipamento de <i>sorting</i> | 1 |

Tabela 8: Controlos dos modelos de simulação.

| Nome do controlo | Quantidade de instancias |
|---|---------------------------------|
| Solicitação de <i>picking</i> | 1 |
| Controlo da escolha local de <i>picking</i> | 1 |
| Controlo da escolha do <i>stock</i> de destino | 1 |
| Controlo de requisição do AGV | 1 |
| Controlo de criação das localizações do armazém | 1 |
| Controlo do destino dos transelevadores | 2 |
| Controlo das existências no armazém | 2 |
| Controlo da quantidade de caixas de transporte por paleta | 1 |

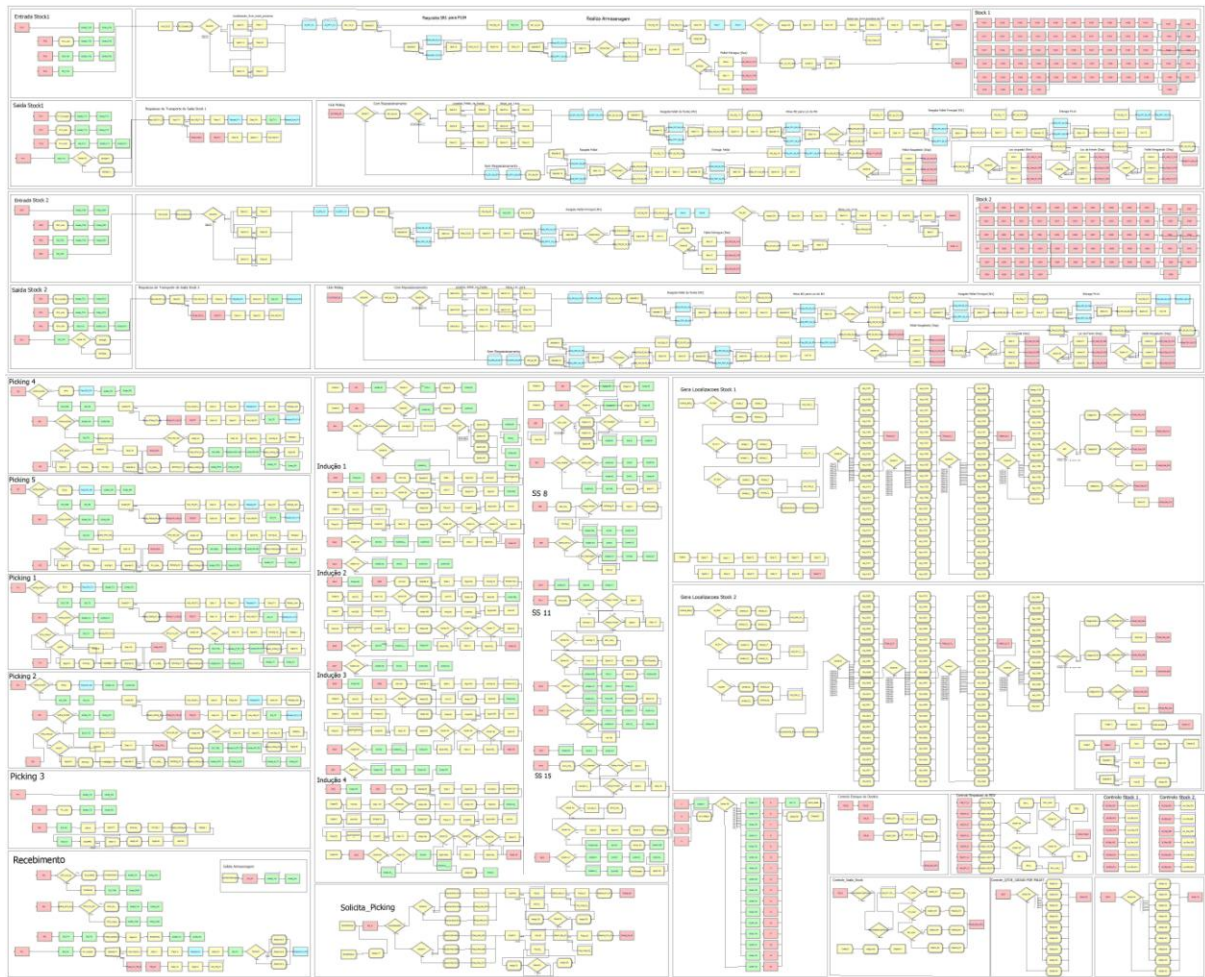


Figura 11. Blocos de programação do Modelo 6 no *software* ARENA.

A Figura 12, a seguir, exibe uma representação da animação em duas dimensões, do Modelo 6, desenvolvido no *software* AREMA e a Figura 13 exibe a representação do mesmo modelo em formato tridimensional desenvolvido no *software* SIMIO.

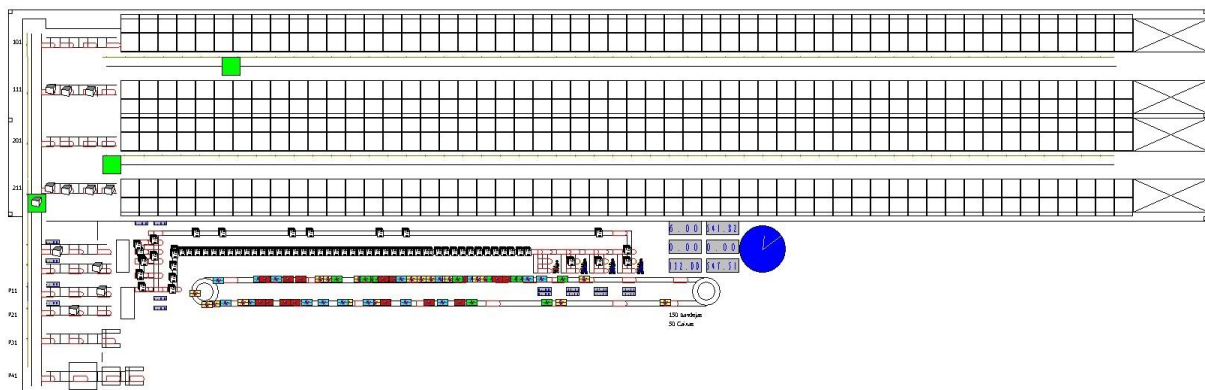


Figura 12. Animação em duas dimensões no *software* ARENA.

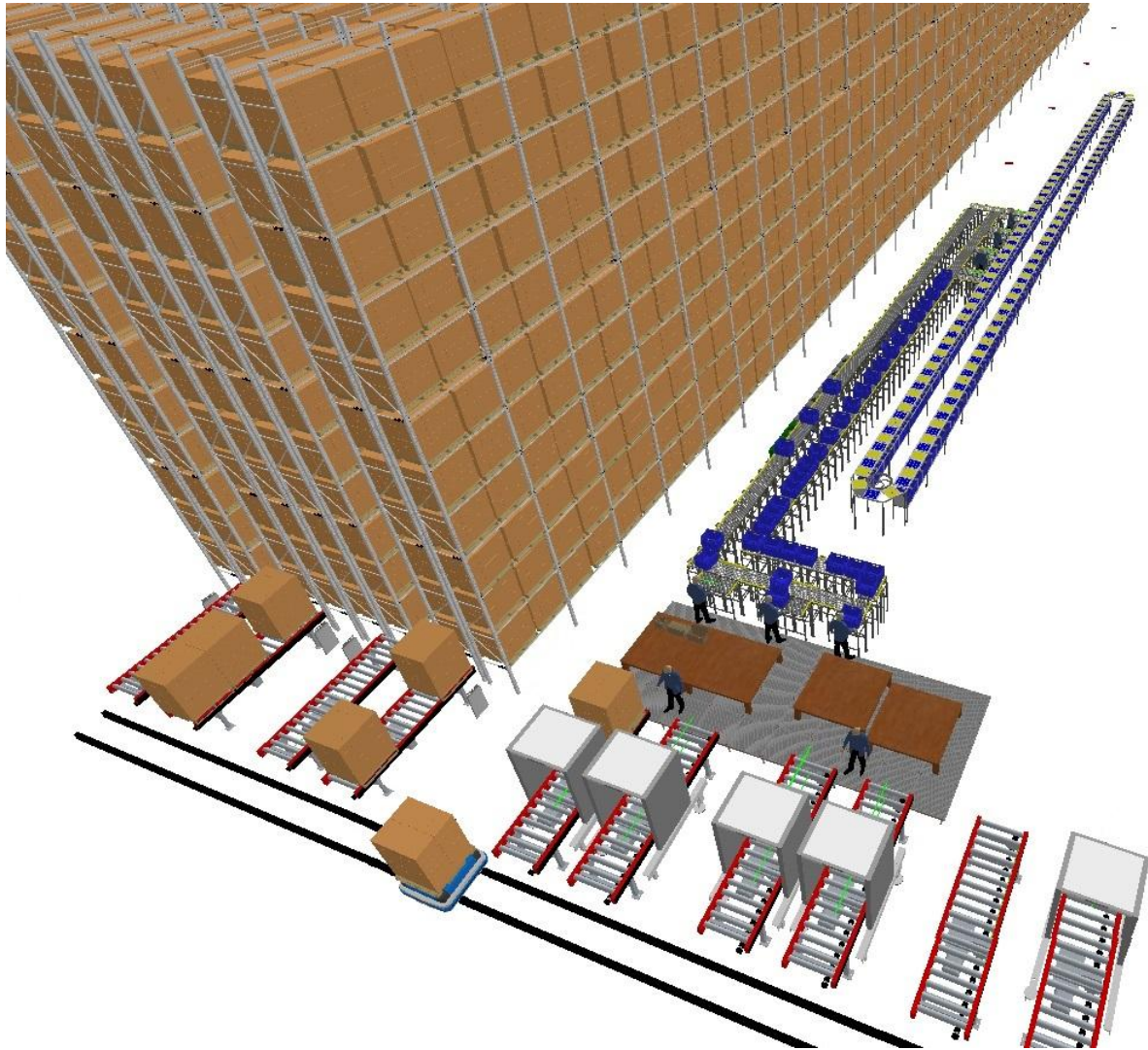


Figura 13. Animação em três dimensões no *software* SIMIO.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O presente capítulo é destinado à apresentação e análise dos dados obtidos no processo de simulação discreta. Os valores apresentados fazem referência a modelos que não possuem o subsistema de *sorting* automatizado e outros que incorporam a nova estratégia para preparação de pedidos. Os resultados apresentados e as análises realizadas possuem o objetivo de responder às questões de investigação propostas para o projeto de investigação.

5.1 Resultados dos Modelos de Simulação sem o *Sorting* Automatizado

O cenário concebido como primeira opção de funcionamento foi representado por três modelos de simulação com diferentes estratégias ou regras de controlo para as operações de armazenamento e *picking*, conforme apresentados nas seções a seguir:

5.1.1 Resultados do modelo de simulação sem otimização das operações.

O primeiro modelo de simulação foi desenvolvido conforme as descrições previstas nos documentos de especificação. No modelo, a sequência de retirada de material da operação de preparação de pedidos foi realizada conforme a ordem de chegada dos itens de pedido. Nesta primeira representação, não foi utilizado o método de armazenamento por classes de material. O objetivo inicial da simulação foi identificar o número máximo de movimentações diárias para armazenamento e *picking*. Os resultados apresentados na Tabela 9, abaixo, indicam que é possível realizar a movimentação média de 615 paletes num período de 8h, caso o sistema seja implantado conforme as regras inicialmente planeadas.

Tabela 9: Resultado de simulação do Modelo 1.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de entrada (Un) | 290 | 279 | 298 |
| Total de movimentações de saída (Un) | 325 | 315 | 331 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 86,94 | 84,80 | 89,19 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 78,99 | 76,21 | 81,22 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 93,96 | 93,14 | 94,57 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de <i>picking</i> (%) | 69,64 | 65,53 | 72,01 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de paletes (%) | 43,94 | 41,83 | 45,95 |

5.1.2 Resultados do modelo de simulação com a inclusão do método do vizinho mais próximo.

O segundo modelo de simulação apresentou uma alteração na regra de controlo da operação de *picking* de modo que a sequência da retirada dos produtos depende da proximidade em relação à localização atual dos veículos S/R. Assim, foi possível verificar o impacto da diminuição do tempo da movimentação entre localizações no desempenho geral do sistema. Os resultados estão apresentados na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10: Resultado de simulação do Modelo 2.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de entrada (Un) | 280 | 272 | 287 |
| Total de movimentações de saída (Un) | 350 | 341 | 361 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 83,97 | 81,04 | 86,75 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 74,96 | 73,29 | 79,57 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 94,54 | 93,97 | 95,33 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de <i>picking</i> (%) | 67,32 | 64,54 | 70,74 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de paletes (%) | 86,57 | 81,86 | 90,45 |

Comparando-se os valores apresentados na Tabela 9 e Tabela 10, pode-se verificar que a alteração na estratégia de *picking* prioriza esta atividade e aumenta a capacidade de retirada em 25 unidades, que representa um acréscimo de 7,7% na produtividade. No entanto, como ocorreu uma diminuição de 10 unidades nas movimentações destinadas ao armazenamento, verifica-se um aumento de 15 unidades nas movimentações totais. A modificação do método de sequenciamento do *picking* também reduziu ligeiramente o percentual de utilização dos transelevadores. Contudo, elevou o percentual de utilização do veículo AGV para valores próximos à 95%.

5.1.3 Resultados do modelo de simulação com o método de armazenamento e retirada por classes de material.

Numa terceira hipótese planeada para a simulação do sistema automatizado, a regra de sequenciamento da retirada com base no método do vizinho mais próximo foi mantida e o setor de armazenamento foi organizado em três partes destinadas às classes de material (Classificação ABC). A configuração do modelo foi realizada de modo que cerca de 80% das movimentações de entrada e saída foram destinados aos produtos da classe A, 15% das movimentações foram destinadas ao

produtos da classe B e as demais movimentações foram destinadas aos produtos da classe C. Os resultados estão dispostos na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Resultado de simulação do Modelo 3.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de entrada (Un) | 289 | 281 | 297 |
| Total de movimentações de saída (Un) | 413 | 400 | 423 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 64,52 | 61,53 | 67,90 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 64,72 | 61,53 | 66,98 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 90,33 | 89,68 | 91,36 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de <i>picking</i> (%) | 78,55 | 76,13 | 80,98 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de paletes (%) | 92,30 | 88,55 | 96,07 |

Os dados obtidos indicam que o terceiro modelo apresenta um número maior de movimentações de armazenamento e *picking*, em virtude do menor tempo médio de percurso dos transelevadores. Os resultados ainda indicam uma redução no tempo total de utilização dos transelevadores e do AGV. A Figura 14, abaixo, exibe um gráfico que expõe a evolução do número total de movimentações que podem ser realizadas por meio de cada modelo no intervalo de tempo correspondente a um dia de trabalho.

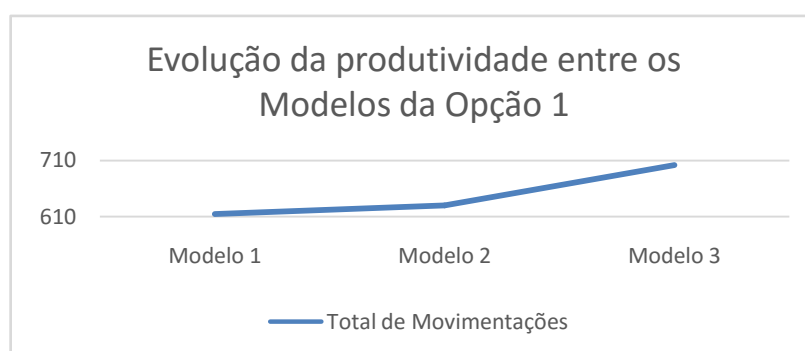


Figura 14. Comparação da produtividade entre os modelos da opção 1.

Conforme apresentado na Figura 14 e na Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11, pode-se afirmar que, levando em consideração a quantidade total de movimentações de armazenamento e *picking* e a taxa de utilização dos equipamentos, o modelo 3 possui um desempenho superior aos demais em virtude da inclusão dos métodos identificados na revisão da literatura.

5.2 Comparação dos Modelos de Simulação da Opção 1 com os Requisitos da Cadeia de Abastecimento.

Com o objeto de cumprir o segundo objetivo específico da investigação, que é identificar o tempo médio estimado para as operações de armazenamento e retirada previstas para o novo CD sem a inclusão do *sorting* automatizado, os modelos foram novamente analisados.

Desta vez, os parâmetros foram configurados de modo que as quantidades de solicitações de armazenamento e retirada foram correspondentes às quantidades de movimentações previstas para o novo sistema. Os valores inseridos nos modelos de simulação, que foram inflacionados em 20% de acordo com a previsão de crescimento, podem ser visualizados na Tabela 12, abaixo.

Tabela 12: Requisitos para funcionamento do novo armazém.

| Parâmetro | Valores Informados | 20% | Valores Estimados |
|---|--------------------|-----|-------------------|
| Quantidade de movimentações diárias para o processo de <i>picking</i> | 210 | 42 | 252 |
| Quantidade de movimentações diárias para o processo de armazenamento | 32 | 9 | 41 |

Os resultados das novas simulações, após a inclusão das quantidades apresentadas estão exibidos na Figura 15, abaixo. Uma vez que as quantidades movimentadas são iguais nos três modelos, os indicadores utilizados para a comparação foram o tempo de processamento total e a taxa de utilização dos principais equipamentos.

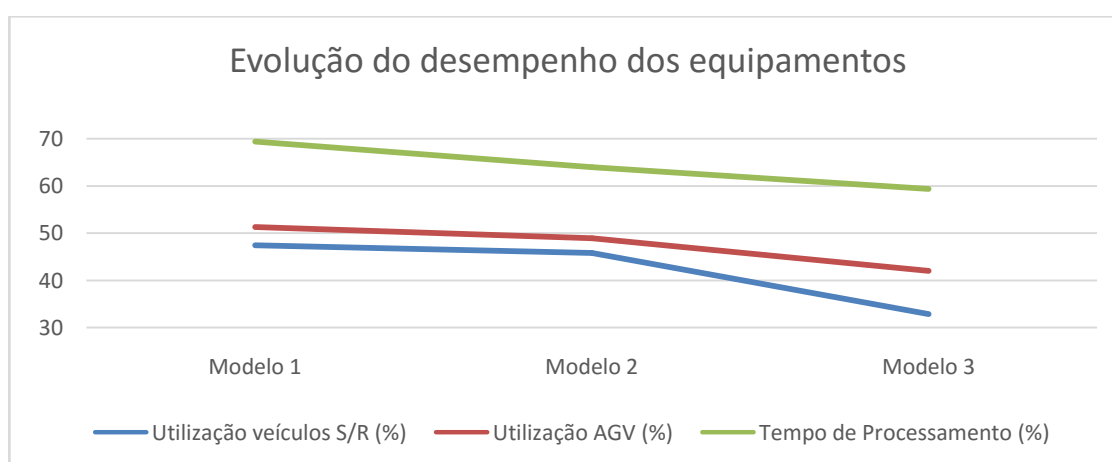


Figura 15. Comparação do desempenho entre os modelos da opção 1.

Conforme as informações contidas no gráfico, o modelo 3 continua a apresentar um melhor desempenho em relação aos demais, ao processar o volume de movimentações previsto para o novo sistema. Dessa forma, pode-se prever que as operações diárias de armazenamento e retirada a serem realizadas no sistema, sem o *sorting*, utilizarão cerca de 60% do tempo total reservado para o expediente (285 minutos num total de 480).

Ainda com base no modelo 3, foi realizada outra simulação na qual foi configurado apenas um colaborador para o processo de inserção de paletes. Os dados principais obtidos após a inserção das novas limitações estão apresentados na Tabela 13. O valor apresentado de 285 min exibido como tempo de processamento cumpre o objetivo específico 2 e serve de base para comparação com os modelos que incluem o subsistema de separação automatizada.

Tabela 13: Resultado de simulação do Modelo 3 com três operadores.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de entrada (Un) | 41 | 41 | 41 |
| Total de movimentações de saída (Un) | 252 | 252 | 252 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 32,32 | 30,37 | 35,84 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 33,38 | 31,32 | 35,70 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 41,99 | 40,94 | 42,93 |
| Taxa de ocupação dos 2 operadores de <i>picking</i> (%) | 31,96 | 28,63 | 32,26 |
| Taxa de ocupação do operador de paletes (%) | 5,21 | 4,68 | 6 |
| Tempo total da operação (min) | 285 | - | - |

Importante informar que o tempo estimado para as operações de recebimento e expedição não estão incluídos no tempo de processamento informado nas tabelas acima e os valores das taxas de utilização dos recursos estão a considerar o tempo total de oito horas diárias. Contudo, nota-se a participação muito pequena do colaborador responsável pela operação de inclusão de paletes no sistema, o qual poderá acumular outras atividades em simultâneo.

Serão apresentados nos próximos subcapítulos os parâmetros de funcionamento, os resultados e as análises referentes aos modelos de simulação que incluem o sistema de *sorting* automatizado (opção 2). Por fim, será realizada a comparação entre o modelo N3 (opção 1) e o modelo da opção 2 que apresentou o melhor desempenho.

5.3 Apresentação dos Parâmetros de Funcionamento do Sistema com a Adição do *Sorting* Automatizado

Levando em consideração o cumprimento do objetivo específico número 3 (Identificar os novos requisitos do sistema com a inclusão do *sorting* automatizado), os requisitos informados pela Subdiretoria de Abastecimento para a opção 2 foram detalhados para que fosse possível configurar os novos modelos.

Tomando como base a quantidade máxima de pontos de saída do equipamento planejado para o *sorting* automatizado (150 unidades), a quantidade de peças para compor os uniformes (conjunto N° 5, 7, 9, 10 e 14), a quantidade de cada item previsto na IDGFe a quantidade de produtos suportados nas paletes e nas caixas, foi realizada uma estimativa da quantidade de paletes, caixas de transporte e produtos envolvidos em cada *wavepicking*. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Valores estimados para *wavepicking*.

| Parâmetro | Valores Médios | Valores Mínimos | Valores Máximos |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Quantidade de paletes por <i>wavepicking</i> | 51 | 46 | 54 |
| Quantidade média de caixas de transporte por <i>wavepicking</i> | 115 | 97 | 136 |
| Quantidade de produtos por <i>wavepicking</i> | 9000 | 7950 | 10650 |
| Quantidade de caixas de <i>picking</i> por palete | 3 | 1 | 9 |
| Quantidade de produtos por caixa de transporte | 122 | 17 | 300 |
| Quantidade de militares atendidos por <i>wavepicking</i> | 150 | - | - |

Além das informações necessárias para a realização do *wavepicking* destinado à renovação de uniformes, foi realizada uma estimativa da quantidade de paletes dos demais produtos a serem movimentados diariamente, em concorrência com o processo de confecção dos *kits* fardamento. Os valores obtidos para os meses de pico de movimentação, já considerando um aumento de 20% da demanda, estão apresentados na Tabela 15, a seguir.

Tabela 15: Requisitos para o funcionamento do novo armazém.

| Parâmetro | Valores |
|--|----------------|
| Quantidade de movimentações diárias para o processo de <i>picking</i> (Opção 2) (35% da movimentação total de <i>picking</i>) | 88 |
| Quantidade de movimentações diárias para o processo de armazenamento (Opção 2) (100 % da movimentação total de entrada) | 41 |

5.4 Resultados dos Modelos de Simulação com a adição do *Sorting* Automatizado

Com posse dos parâmetros de configuração de funcionamento do sistema e da quantidade necessária de peças a serem processadas, foram desenvolvidos outros três modelos de simulação conforme estratégias exibidas na Figura 10. Os resultados obtidos estão apresentados nas seções a seguir.

5.4.1 Resultados de Simulação do Modelo 4.

O modelo 4 foi desenvolvido a partir do modelo 3 previamente apresentado. O processo de elaboração foi caracterizado pela manutenção da quantidade de postos de *picking* pela adição do transportador circular e do equipamento para separação. A estratégia de funcionamento da operação de preparação de pedidos foi atender os diferentes tipos de produtos de forma alternada: separação de *Kits* de fardamento em conjunto com o sistema de *sorting* ou separação dos demais produtos. Os resultados estão expostos na Tabela 16, abaixo.

Tabela 16: Resultado de simulação do Modelo 4

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de Movimentações de paletes (Un) | 50 | 44 | 53 |
| Total de Movimentações de caixas (Un) | 121 | 93 | 144 |
| Total de Movimentações de produtos (Un) | 9332 | 7095 | 10608 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 29,63 | 21,74 | 40,72 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 27,82 | 21,21 | 36,56 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 38,27 | 34,41 | 41,78 |
| Taxa de ocupação dos operadores de <i>picking</i> (%) | 51,19 | 35,06 | 70,57 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 1 (%) | 84,37 | 67,76 | 93,36 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 2(%) | 83,08 | 64,13 | 92,54 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 3(%) | 80,04 | 58,50 | 91,68 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 4(%) | 72,43 | 38,38 | 89,68 |
| Tempo total da operação(min) | 120 | - | - |
| Tempo de processamento das paletes (min) | 120 | - | - |

De acordo com os resultados obtidos na simulação do modelo 4, é possível realizar a separação de 150 *kits* de uniforme contendo 9332 produtos em média. Os valores são adequados à

necessidade diária de 600 *kits* num turno de 8h. No entanto, por haver somente dois postos de *picking*, o tempo total das atividades nestes postos também corresponde a 2h (tempo de processamento das paletes) e não permite realizar a separação dos demais produtos existentes no sistema dentro do turno diário de 8h. Dessa maneira, foi elaborada uma nova alternativa, conforme descrito a seguir.

5.4.2 Resultados de Simulação do Modelo 5.

O modelo de simulação 5 foi caracterizado pela adição de dois novos postos de *picking*. A nova estratégia é retirar os produtos das paletes para o abastecimento das caixas de transporte em conjunto com a retirada e armazenamento dos demais produtos. Os dois primeiros postos são destinados ao abastecimento do subsistema de *sortinge* os demais são destinados ao *picking* sem *sorting*. Os resultados estão apresentados na Tabela 17, abaixo.

Tabela 17: Resultado de simulação do Modelo 5

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de paletes <i>sorting</i> (Un) | 48 | 43 | 52 |
| Total de movimentações de paletes entrada (Un) | 11 | 11 | 11 |
| Total de movimentações de paletes saída (Un) | 24 | 23 | 26 |
| Total de movimentações de caixas (Un) | 110 | 77 | 137 |
| Total de movimentações de produtos (Un) | 8387 | 5383 | 10091 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 44,84 | 35,83 | 55,31 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 42,85 | 32,62 | 52,06 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 59,80 | 55,55 | 63,43 |
| Taxa de ocupação dos operadores de <i>picking</i> (%) | 49,28 | 31,28 | 67,07 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 1 (%) | 81,93 | 60,84 | 93,01 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 2(%) | 78,27 | 42,30 | 88,13 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 3(%) | 70,56 | 42,30 | 88,13 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 4(%) | 56,66 | 17,66 | 83,68 |
| Tempo total da operação (min) | 120 | - | - |

Os resultados de simulação do modelo 5 indicam que é possível realizar o armazenamento de 11 paletes e a retirada de produtos (separação sem *sorting*) de outras 24 paletes. No entanto a quantidade média de produtos processados pelo equipamento de separação é inferior à quantidade média esperada de 9.000 unidades. Logo, foi elaborada uma nova estratégia com a tentativa de melhorar o desempenho total do sistema, conforme apresentado na próxima seção.

5.4.3 Resultados de Simulação do Modelo6.

O modelo 6 possui a quantidade de postos de *picking* iguais ao modelo anterior. Contudo, o modo de funcionamento para o novo modelo é dedicar os quatro postos para a utilização em conjunto com o subsistema de *sorting* com a finalidade de observar se haverá uma redução do tempo total para separação dos produtos e/ou uma redução do tempo para liberação da área de *picking*. Os resultados da simulação estão apresentados na Tabela 18, a seguir.

Tabela 18: Resultado de simulação do Modelo 6

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de paletes (Un) | 51 | 47 | 54 |
| Total de movimentações de caixas (Un) | 122 | 99 | 145 |
| Total de movimentações de produtos (Un) | 9443 | 7251 | 10720 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 30,08 | 22,47 | 40,68 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 28,44 | 21,54 | 36,95 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 37,99 | 34,83 | 41,33 |
| Taxa de ocupação dos operadores de <i>picking</i> (%) | 40,72 | 24,39 | 69,74 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 1 (%) | 82,17 | 62,02 | 93,29 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 2(%) | 81,30 | 62,88 | 92,81 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 3(%) | 80,35 | 63,93 | 92,32 |
| Taxa de ocupação do operador do <i>sorter</i> 4(%) | 79,61 | 59,47 | 91,78 |
| Tempo total da operação (min) | 120 | - | - |
| Tempo total movimentação das paletes | 113 | - | - |

Os dados apresentados indicam que a quantidade de produtos separados é superior ao valor esperado de 9.000 produtos, em média, por *wave picking*. Entretanto, o tempo observado de 113 minutos para a retirada dos materiais das paletes não permite a realização das movimentações referentes às demais ordens de pedidos.

Dessa forma, foram realizadas novas simulações com alternativas de baixo impacto que pudessem otimizar o modelo. Inicialmente, foi analisado se há uma relação entre a quantidade de caixas de transporte (destinadas ao *buffer* do local de admissão) e o tempo para liberação da zona de *picking*. Tomando como base o valor inicialmente fornecido de 50 caixas, foram realizadas outras seis simulações com quantidades diferentes de contentores. Os resultados estão expostos na Figura 16, a seguir.

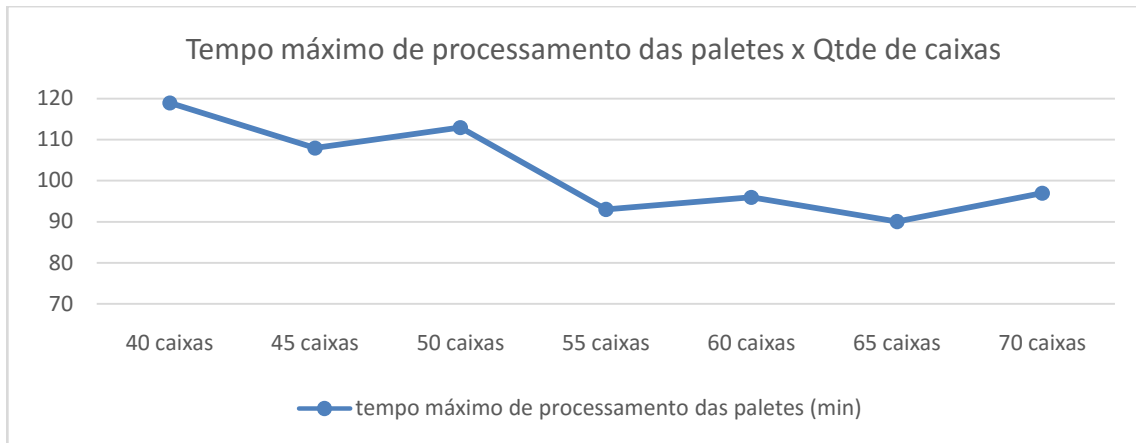


Figura 16. Avaliação do desempenho em relação a quantidade de caixas de transporte.

Conforme o gráfico apresentado, pode-se concluir que o resultado da simulação com 55 caixas apresenta a melhor relação custo-benefício entre o tempo de processamento da atividade de retirada dos produtos das paletes e a quantidade de contentores. No entanto, como o valor obtido se refere ao tempo máximo do processamento da última paleta, foi realizada outra simulação com o tempo limite de 1h 30 min para que seja confirmada a quantidade média de movimentações. O objetivo foi avaliar se o intervalo de tempo é suficiente para que os quatro postos de *picking* realizem a retirada dos produtos necessários das paletes quando estão operando de forma sincronizada com o subsistema de *sorting*. A hipótese em questão é saber se o intervalo médio de tempo entre a movimentação da última paleta e o tempo total do *wave picking* é suficiente para a retirada dos demais produtos que não são processados pelo equipamento de *sorting*, conforme indicado na Figura 17. A análise da alternativa apresentada está descrita no subcapítulo a seguir.



Figura 17. Identificação do intervalo de tempo reservado às movimentações sem *sorting*.

5.5 Comparação dos Modelos de Simulação da Opção 2 com os Requisitos da Cadeia de Abastecimento.

Após a parametrização de 55 caixas para transporte dos produtos da zona de *picking* para a zona de admissão e a configuração do tempo de simulação em 1h 30 min, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 19, abaixo.

Tabela 19: Resultado de simulação do Modelo 6 com 90 min.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de paletes (Un) | 51 | 45 | 54 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 1 (%) | 40,41 | 30,85 | 55,77 |
| Taxa de ocupação do veículo S/R 2 (%) | 38,24 | 29,32 | 48,11 |
| Taxa de ocupação do veículo AGV (%) | 51,16 | 46,61 | 56,06 |
| Taxa de ocupação dos operadores de <i>picking</i> (%) | 66,55 | 31,99 | 93,75 |
| Tempo total da operação (min) | 90 | - | - |

Os valores apresentados mostram que, de acordo com a simulação realizada, é possível realizar a movimentação média de 51 paletes no prazo de 90 minutos quando o sistema está a operar em conjunto com o subsistema de *sorting* automatizado. Assim, o passo seguinte foi avaliar se o tempo restante de 30 minutos, para cada ciclo de separação, é suficiente para a realização do armazenamento e retirada dos demais produtos do sistema. Os resultados da nova simulação estão exibidos na Tabela 20, a seguir.

Tabela 20: Resultado de simulação do Modelo 6 com 30 min.

| Parâmetro | Média | Média Mínima | Média Máxima |
|---|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Total de movimentações de paletes entrada (Un) | 11 | 10 | 11 |
| Total de movimentações de paletes saídas (Un) | 22 | 22 | 22 |
| Taxa de ocupação do Veículo S/R 1 (%) | 66,53 | 45,04 | 84,41 |
| Taxa de ocupação do Veículo S/R 2 (%) | 61,95 | 35,28 | 86,95 |
| Taxa de ocupação do Veículo AGV (%) | 89,32 | 80,35 | 94,63 |
| Taxa de ocupação dos operadores de <i>picking</i> (%) | 42,56 | 31,99 | 54,60 |
| Tempo total da operação (min) | 30 | - | - |
| Tempo total da última paleta (min) | 28 | - | - |

Conforme os resultados obtidos, é possível realizar uma quantidade de movimentações diárias ligeiramente superior aos valores estabelecidos de 41 movimentações de entrada e 88 operações de saída num período de 8 horas (ou quatro ciclos de separação) em conjunto com o processo de separação de fardamento, que corresponde ao tempo total reservado para as atividades. Dessa forma, é possível cumprir o objetivo específico OE 4 e identificar o tempo médio de 8 horas diárias para a realização das operações de armazenamento e *picking* com e sem a atividade de *sorting*

5.6 Resposta às Questões de Investigação

Os dados gerados pelo processo de simulação do Modelo 6, conforme apresentado na seção anterior, também foram utilizados para a resposta às questões de investigação. Assim, é possível afirmar que a inclusão do subsistema de separação automatizada atende ao requisito de elaboração de 600 *kits* por dia (Q1). Quanto à questão de investigação Q2, pode-se concluir que a adição do subsistema de separação para composição dos *kits* de fardamento não compromete as operações de armazenamento e a separação dos demais materiais.

No entanto, para que os valores sejam alcançados, é necessário propor as seguintes alterações:

- 1 – Implantação de regra de sequenciamento da retirada das paletes, conforme o critério do vizinho mais próximo (Roodbergen & Vis, 2009).
- 2 – Implantação do método de armazenamento por classes de material com base no histórico de movimentação da família de produtos (Charles et al., 2004).
- 3 – Criação de dois novos postos para *picking*, conforme modelo 6 da Figura 10.
- 4 – Aumento da quantidade de caixas de transporte de produtos para a zona de admissão em 5 unidades.

5.7 Análise da Utilização da Simulação Discreta

A investigação demonstrou o benefício trazido pela utilização da simulação discreta para validação de cenários uma vez que permitiu: a identificação da alteração do desempenho da atividade de *picking* quando opera em conjunto com a atividade de separação a jusante; a análise do impacto da implantação de diferentes estratégias para controlo e operação no caso específico em estudo; e a avaliação da alteração do *layout* com o aumento de dois novos postos de trabalho.

Uma análise que envolve diversos subsistemas de forma integrada seria limitada com o uso de ferramentas analíticas, pois o resultado da aplicação destas ferramentas seria a análise isolada de

cada setor de armazenamento apoiado pelos transelevadores, ou do desempenho do AGV de forma isolada ou do subsistema de *sorting* também de forma isolada.

No entanto, ao utilizar a simulação discreta, é possível verificar que as expectativas de produtividades de cada equipamento, previstas nas especificações técnicas, sofrem alterações em virtude da utilização em conjunto com outros equipamentos. Além disso, os valores de produtividade são alterados conforme o nível de integração, a depender das regras de controlo, e das estratégias de operação adotadas. Dessa forma, pode concluir que o uso de simulação de eventos discretos é adequado à análise de sistemas de armazenamentos complexos.

Vale destacar a importância da revisão da literatura descrita no capítulo 2 uma vez que o processo de implementação dos modelos e a avaliação das diferentes alternativas só foi possível com a obtenção dos seguintes fatores:

- Entendimento das operações envolvidas;
- Entendimento do modo de funcionamento dos equipamentos citados no *design*;
- Conhecimento das melhores práticas ocorridas nos armazéns.
- Conhecimento dos relatos de experimentos de simulação.

Outro aspeto observado é a utilidade da simulação discreta não somente na avaliação de diferentes hipóteses levantadas antes e durante o processo de modelagem como, também, na melhor compreensão do sistema em fase de conceção ou aprimoramento. O aspeto é potencializado quando se utiliza *softwares* com o paradigma de simulação orientada a objetos e que viabilizam a animação em três dimensões, como é o caso do *software* SIMIO.

6. CONCLUSÃO

Neste capítulo, é apresentado um sumário dos principais aspectos abordados, bem como as conclusões obtidas no estudo que deu origem à presente dissertação. Além disso, são apresentadas algumas contribuições e sugestões para futuros trabalhos.

6.1 Objetivos

A investigação realizada no âmbito deste projeto tinha como objetivo geral a análise do impacto da inclusão do processo de separação automatizada no tempo médio estimado para a realização das operações no novo CD do Sistema de Provisões do Comando da Aeronáutica brasileiro. Para isto, foi realizado um levantamento de dados com a intenção de identificar os requisitos de funcionamento do novo centro de distribuição com e sem o processo de separação automatizada (OE 1 e OE 3) e foram desenvolvidos seis modelos de simulação com diferentes cenários para a obtenção do tempo de processamento das atividades no novo Sistema (OE 2 e OE 4).

6.2 Modelos Desenvolvidos

Os três primeiros modelos desenvolvidos representam a primeira opção do armazém (Sistema sem o *sorting* automatizado) e ofereceram as informações necessárias para o cumprimento do OE 2. Os demais modelos de simulação representam a segunda opção do sistema de armazenamento (Sistema com o *sorting* automatizado) e estão relacionados com o OE 4.

- Modelo 1 - Elaborado conforme as regras de controlo estabelecidas nos documentos de especificação do sistema.
- Modelo 2 - Adição do sequenciamento da retirada com base na regra do vizinho mais próximo.
- Modelo 3 - Adição do método de armazenamento conforme a classificação ABC.
- Modelo 4 - Inclusão do subsistema de *sorting* automatizado.
- Modelo 5 - Inclusão de dois novos postos de *picking* com dedicação exclusiva para a separação de *kits* de fardamento com o equipamento de *sorting*.

- Modelo 6 – Alteração da estratégia de funcionamento dos postos de *picking* de modo que os 4 postos foram programados para a separação de *kits* de fardamento com *sorting* ou separação dos demais produtos.

6.3 Resultados Obtidos

Após a construção de três modelos de simulação contendo diferentes cenários para o sistema inicialmente concebido, foi identificado o tempo médio de 285 minutos para a realização de 41 procedimentos de armazenamento e 252 procedimento de *picking*(OE 2).

Os resultados de simulaçãodos modelos que representam a segunda opção informam que são necessários 480 minutos para a separação média de 600 *kits* de fardamento, além de outras 41 operações de armazenamento e 129 procedimentos de *picking*sem o uso do equipamento de separação (OE 4).

Dessa forma, em resposta às questões de investigação, é possível verificar a viabilidade da implantação do subsistema de *sorting* automatizado para a renovação de fardamento(Q1) e verificar que é possível realizar a separação dos demais pedidos enquanto a atividade de separação dos *kits* é desenvolvida (Q2).

O estudo concluiu que o impacto da implantação do processo de separação de fardamento para formação de *kits* individuais é o aumentado tempo de processamento médio de 285 minutos para 480 minutos, que corresponde ao tempo total programado paraas atividades diárias nonovo CD. No entanto, para que os requisitos sejam atingidos, torna-se necessária a implantação de regras de sequenciamento das retiradas, a implantação do método de armazenamento por classes, a adição de dois novos postos de *picking* e o aumento da quantidade de caixas de transporte.

6.4 Principais Contribuições do Trabalho

A investigação verificoua eficiência da utilização de simulação discreta para a validação de diferentes cenários envolvendo alterações de *layouts*, estratégias e controlos de operação. Além disso, possibilitou a análise do processamento das operações em conjunto com outras atividades ocorridas simultaneamente na frente e atrás. Assim, foi possível analisar os diferentes desempenhos de processos quando em atividade isolada ou em conjunto com outros processos.

Outro aspeto observado foi a facilidade de programação de modelos de simulação com o paradigma de orientação aobjetos, uma vez que é possível interagir de forma mais intuitiva e obter

uma melhor compreensão do funcionamento do sistema ao longo do processo de experimentação. A simulação em três dimensões possui grande utilidade para a verificação e correção de possíveis problemas no processo de programação, bem como para facilitar a divulgação do modo de funcionamento do novo sistema aos gestores responsáveis pela tomada de decisão.

A investigação também verificou a interdependência das operações e atividades ocorridas nos armazéns de maneira que uma alteração de uma estratégia de operação no processo de concepção deve ser objeto de reanálise de todo o projeto. Também foi possível verificar o benefício da aplicação dos melhores métodos e controles de operação no desempenho do sistema, bem como quantificar o aumento do desempenho no sistema específico em estudo.

Os resultados da investigação também poderão ser utilizados como justificativa para o desenvolvimento de um projeto de melhoria de desempenho no armazém automatizado já existente na Subdiretoria de Abastecimento. A ação poderá propor a aplicação de novos métodos de armazenamento como o ABC, alterações na estratégia de *picking* com a inclusão de *wave picking* e alterações em regras de controle e sequenciamento das operações.

6.5 Trabalhos Futuros

Como sugestões para estudos futuros, poderá ser analisado o impacto do agrupamento dos *kits* de uniforme para militares pertencentes a várias organizações (a fim de facilitar o processo de separação) no processamento e controle dos dados, na atividade de embalagem e na operação de expedição. Além disso, poderá ser levantado os dados referentes às movimentações dos demais meses e analisar a possibilidade de organizar a atividade de preparação de *kit* sem períodos que não coincidam com meses de pico de movimentação dos demais produtos.

Por fim, pode ser realizado um estudo de retorno sobre investimento tendo como base a quantidade de colaboradores a serem remanejados para outras atividades e a quantidade de inventário a ser reduzido em função da centralização das operações de separação de fardamento destinado à renovação no novo armazém central.

BIBLIOGRAFIA

- Azzi, A., Battini, D., Persona, A., Sgarbossa, F., & Faccio, M. (2011). Innovative travel time model for dual- shuttle automated storage/ retrieval systems. *Computers and Industrial Engineering*, *61*(3), 600-607.
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, *193*(2), 425-436.
- Charles, G. P., Gerald, R. A., & Daniel, R. H. (2004). Improving order- picking performance through the implementation of class- based storage. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *34*(7), 534-544.
- Chow, H., Choy, K., Lee, W., & Lau, K. (2006). Design of a RFID case- based resource management system for warehouse operations. *Expert Syst. Appl.*, *30*(4), 561-576.
- 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.
- Dias, L. S., Pereira, G. B., Vik, P., & Oliveira, J. (2011). Discrete simulation tools ranking: a commercial software packages comparison based on popularity. *9th Industrial Simulation Conference*, 5-11.
- Dias, R. R. d. F., Figueroa, H. E. H., Peixoto, R. T., & Sousa, L. A. d. A. (2012). *RFID in the central warehouse of refundable uniforms Supply Sub Directorate*. Paper presented at the 2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA).
- Eben-Chaïme, M., Pliskin, N., & Sosna, D. (2004). An integrated architecture for simulation. *Comput. Ind. Eng.*, *46*(1), 159-170.
- Escobar, J. A. T., Carvalho, M. d. S. F. B. S., & Freires, F. G. M. (2015). O uso de tecnologias para o processo de preparação de pedidos: implicações e proposições. *Revista Produção Online*; v. 15, n. 1 (2015).
- Gademann, A., van Den Berg, J. P., & van Der Hoff, H. (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel- aisle warehouse. *Int. Transactions*, *33*(5), 385-398.
- Gagliardi, J.-P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2012). Models for automated storage and retrieval systems: a literature review. *International Journal of Production Research*, *50*(24), 7110-7125.
- Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2007). A simulation model to improve warehouse operations. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2012-2018.
- Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2010). *Simulation Modeling Approaches for Automated Storage and Retrieval Systems—A Literature Review*. : CIRRELT.

- Geraldes, C. A. S., Carvalho, S., & Pereira, G. (2011). Simulation in the warehouse design and management context: a survey: Eurosis-ETI.
- Gray, A. E., Karmarkar, U. S., & Seidmann, A. (1992). Design and operation of an order- consolidation warehouse: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 14-36.
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21.
- 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.
- Hachemi, K., Sari, Z., & Ghouali, N. (2012). A step-by-step dual cycle sequencing method for unit-load automated storage and retrieval systems. *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 980-984.
- Johnson, M. E., & Meller, R. D. (2002). Performance analysis of split- case sorting systems. *Manufacturing and Service Operations Management*, 4(4), 258-274.
- Kuo, W.-C., Kung, S.-H., & Huang, C. (2011). Order picking algorithms for a two-carousel-single-crane automated storage and retrieval system. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 32(3), 763-776.
- Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2011). A model for design and performance estimation of pick-and- sort order picking systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(2), 261-282.
- Meller, R. D., & Mungwattana, A. (1997). Multi- shuttle automated storage/ retrieval systems. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 29(10), 925-938.
- Park, B. (2009). Turnover distribution and carousel system performance. *Int. J. Prod. Res.*, 47(22), 6455-6467.
- Parlar, M., Perry, D., & Stadj, W. (2011). FIFO Versus LIFO Issuing Policies for Stochastic Perishable Inventory Systems. *Methodol Comput Appl Probab*, 13(2), 405-417.
- Petersen, C. G. (2002). Considerations in order picking zone configuration. *Int. J. Oper. Prod. Manage.*, 22(7-8), 793-805.
- Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194(2), 343-362.
- Rouwenhorst, B., Mantel, B., Reuter, V., Stockrahm, G. J., Van Houtum, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515-533.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research methods for business students*. Pearson Education UK.

Shin-Ming, G., & Tsai-Pei, L. (2008). Simulation Evaluation of Single Shuttle and Twin Shuttle AS/RS. *International Journal of Electronic Business Management*, 6(2), 106.

Vik, P., Dias, L., Pereira, G., Oliveira, J., & Abreu, R. (2010). Using SIMIO for the specification of an integrated automated weighing solution in a Cement plant (pp. 1534-1546).

Vis, I. F. A. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 677-709.

Xu, X., Shen, G., Yu, Y., & Huang, W. (2014). Travel time analysis for the double-deep dual-shuttle AS/RS. *International Journal of Production Research*, 53(3), 757-773.

Yao, Y., Dresner, M., & Palmer, J. (2009). Private Network EDI vs. Internet Electronic Markets: A Direct Comparison of Fulfillment Performance. [Article]. *Management Science*, 55(5), 843-852.

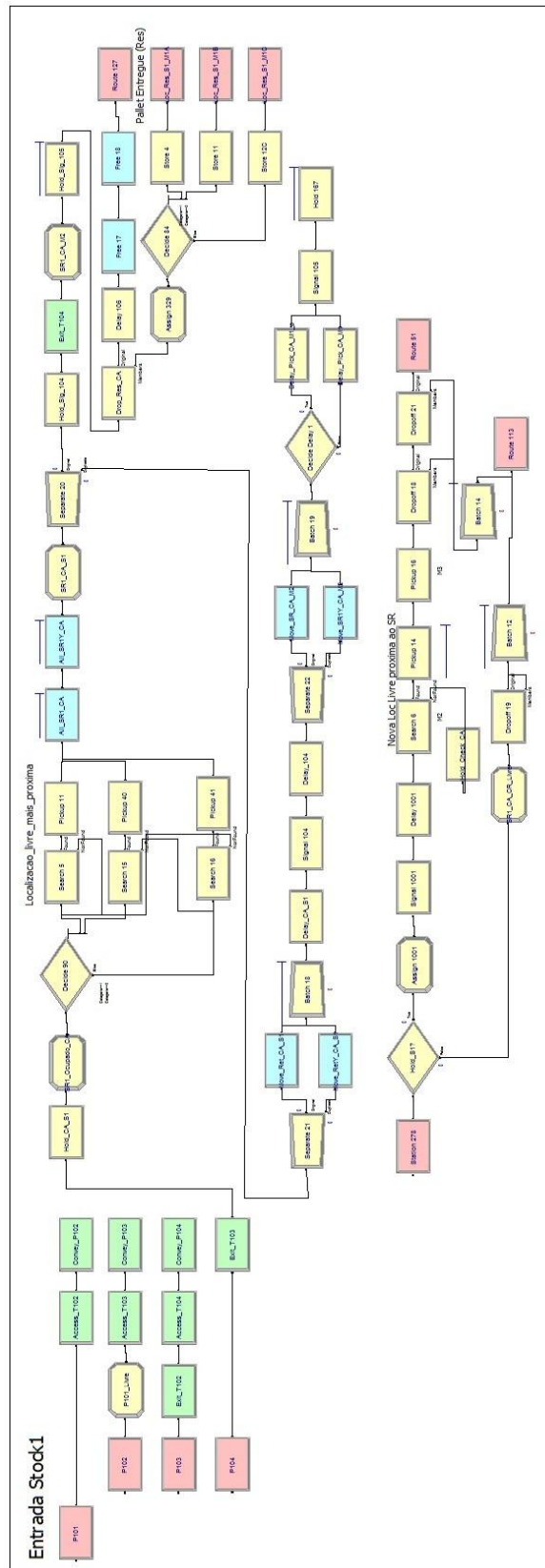
O processo de recebimento é realizado por meio de um transportador com 4 setores representados por blocos do tipo “Station”. O primeiro setor (bloco “P44”) é o local onde é depositada a paleta. Após o processamento necessário para a disponibilização da carga (bloco “Armazenamento”), a mesma é enviada para a posição P43 por meio dos blocos “Access_T43” e “Convey_P43”.

Na estação P43, ocorre um processo de conferência da carga da paleta (Process “Verifica_RFID_P43”) que resulta em enviar o objeto para o posto a seguir, ou regressar a carga para a posição anterior para que seja realizada a operação de conferência (Process “conferência”).

Na estação P42, há um novo processo para a implantação de uma proteção plástica à carga (Process “Embalamento”). Em seguida, o material é enviado para a posição P41. Nesta posição, é realizada uma divisão do objeto no ambiente de simulação (bloco “Separação 19”) para que o objeto original continue na estação e possa ser representado na animação, enquanto uma segunda instância é enviada para o controle centralizado de requisições de transporte ao AGV e para o controle da escolha do setor de armazenamento (“Stock 1” ou “Stock 2”).

Com o sucesso na espera da requisição, o bloco “Signal 41” envia um sinal para o objeto principal para que este realize o resgate do objeto auxiliar (bloco “Pickup 15”) e realize o acionamento do AGV para o resgate da paleta (bloco “Request_P41”). Antes da realização do transporte, é realizada a adição de um atributo que direcionará o objeto para um os locais destinados para cada classe de material (bloco “Decide 93”).

2 – Entrada de Paletes no Armazém



Uma vez que a carga é direcionada para o primeiro setor de armazenamento (“Stock 1”), o objeto é depositado no conjunto de transportadores que são responsáveis pela formação de uma fila para posterior resgate pelo transelevador (veículo S/R 1) cativo ao corredor 1.

A Estação P101 (bloco “P101”) representa o primeiro setor dentre os quatro que formam o conjunto de transportadores. Por meio do bloco do tipo Station “P101”, é inserido um *delay* de 9s necessários para a transferência da paleta do AGV para o transportador. Em seguida, o objeto é transferido para cada estação, conforme a disponibilidade, até chegar à estação P104 (bloco Station “P104”), onde é realizada a espera para o acionamento do transelevador (bloco “Hold_CA_S1”).

Com a libertação do transelevador, é realizada uma nova reserva para o objeto em espera (Bloco Assign “SR1_Ocupado_CA”) e a recolha de outro objeto que representa a localização livre mais próxima da classe de material atribuída inicialmente à paleta. O bloco “Decide 90” realiza o direcionamento para a classe de material conforme atributo de classe atribuído no Processo 1 e os blocos “Pickup 11”, “Pickup 40” e “Pickup 41” realizam a retirada do objeto que representa a localização mais próxima em cada setor destinado às classes A, B e C.

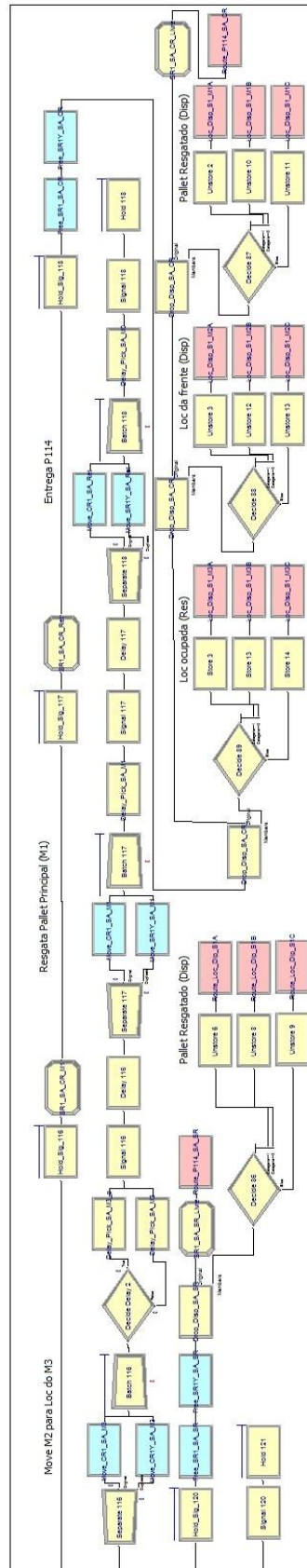
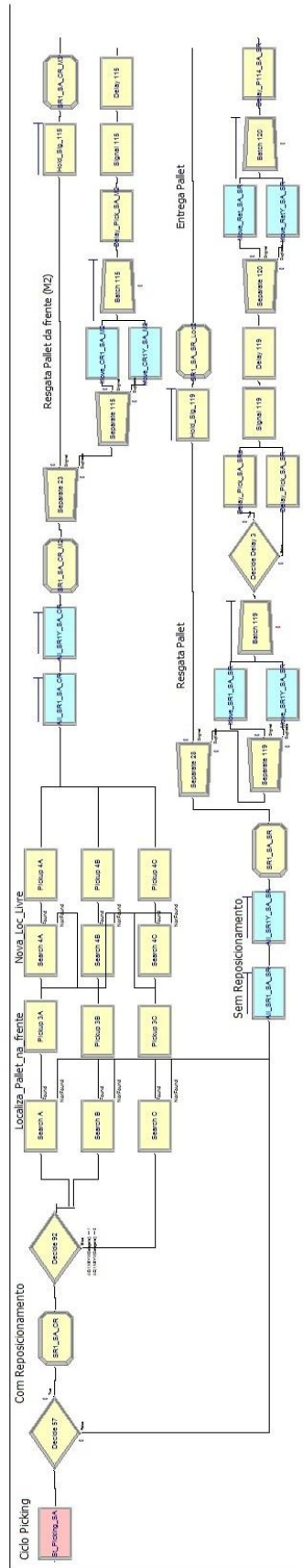
Os blocos do tipo “Allocate” com nomes “All_SR1_CA” e “All_SR1Y_CA” realizam a designação do veículo S/R para o deslocamento horizontal e do componente do transelevador responsável por realizar a movimentação vertical, respetivamente. Após isso, o bloco do tipo “Assign” “SR1_CA_S1” realiza a gravação da posição do eixo X e do eixo Y referente ao local da estação “P104” numa variável de controlo. O objetivo é realizar a simulação da movimentação do transelevador para o local de resgate com base no valor atribuído à variável.

Antes de cada movimentação, a entidade principal é dividida para efeito de controlo da animação (bloco “Separate 20”), e novamente dividida (bloco “Separate 21”) para que o tempo total de movimentação seja atribuído conforme o maior valor necessário para o movimento do eixo X e eixo Y. Após a espera do tempo necessário para o carregamento da paleta (bloco “Delay_CA_S1”), é enviado um sinal para que o objeto principal retire a alocação da estação 104 (bloco “Exit_T104”).

Em seguida, é realizado um novo processo de definição da variável de destino do eixo X e eixo Y do transelevador com base nos atributos do objeto que representa a localização livre mais próxima resgatado pelos blocos “Pickup 11”, “Pickup 40” ou “Pickup 41”. Com a nova definição da variável, é realizada a simulação da movimentação do transelevador e o armazenamento do objeto que representava a localização livre no novo controlo de localizações ocupadas.

Por fim, é realizado uma consulta (Bloco Hold_S1) para verificar se há paletes que necessitam ser resgatados.

3 – Retirada de Paletes



O cliço de retirada pode ser adicionado pela continuidade do processo anterior, ou pelo controlo de solicitação de *picking*, caso não haja objetos a serem armazenados.

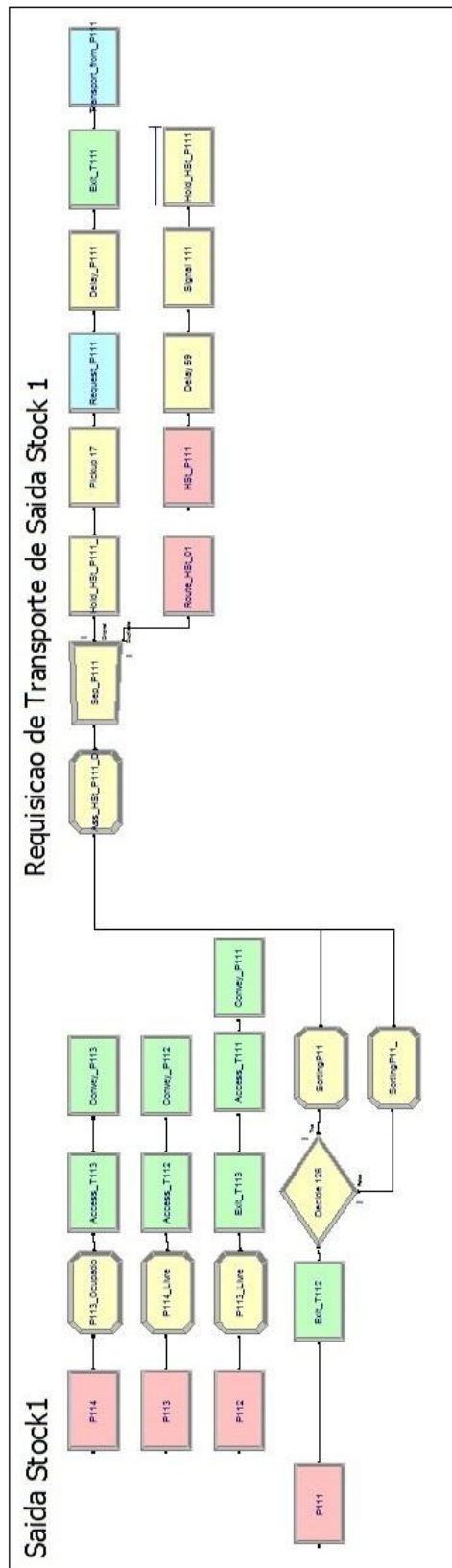
O controlo da movimentação do transelevador em relação aos eixos X e Y e Z (carregamento e descarregamento) são realizados da mesma maneira que ocorre no processo de armazenamento. A quantidade de movimentações irá depender da condição que se encontra o objeto a ser retirado.

Caso o objeto a ser resgatado esteja na estante mais próxima ao corredor (Bloco Decide 57, saída “false”), o modelo realiza uma movimentação para esta localização e outra movimentação para o ponto de saída do armazém. Caso o material a ser resgatado esteja numa das estantes mais distante do corredor, poderá ocorrer duas hipóteses:

- 1 – Localização à frente livre (blocos Search A, B ou C com saída “Not Found”). O comportamento é idêntico ao anterior.
- 2 – Localização à frente ocupada. Neste caso serão realizadas outras duas movimentações. A primeira movimentação terá o objetivo de transportar o objeto “da frente” para a localização livre mais próxima (idêntico ao procedimento de armazenamento) e a segunda trata-se do retorno do transelevador para o resgate do material pretendido.

Ao final do processo de picking, os objetos que representam as localizações são novamente armazenados conforme a categoria (A, B ou C) e tipo de operação (Retirar do bloco do tipo “Hold” que controla as localizações reservadas e armazenar no bloco do tipo “Hold” que controla as localizações livres ou vice-versa).

4 – Saída do Setor de Armazenamento

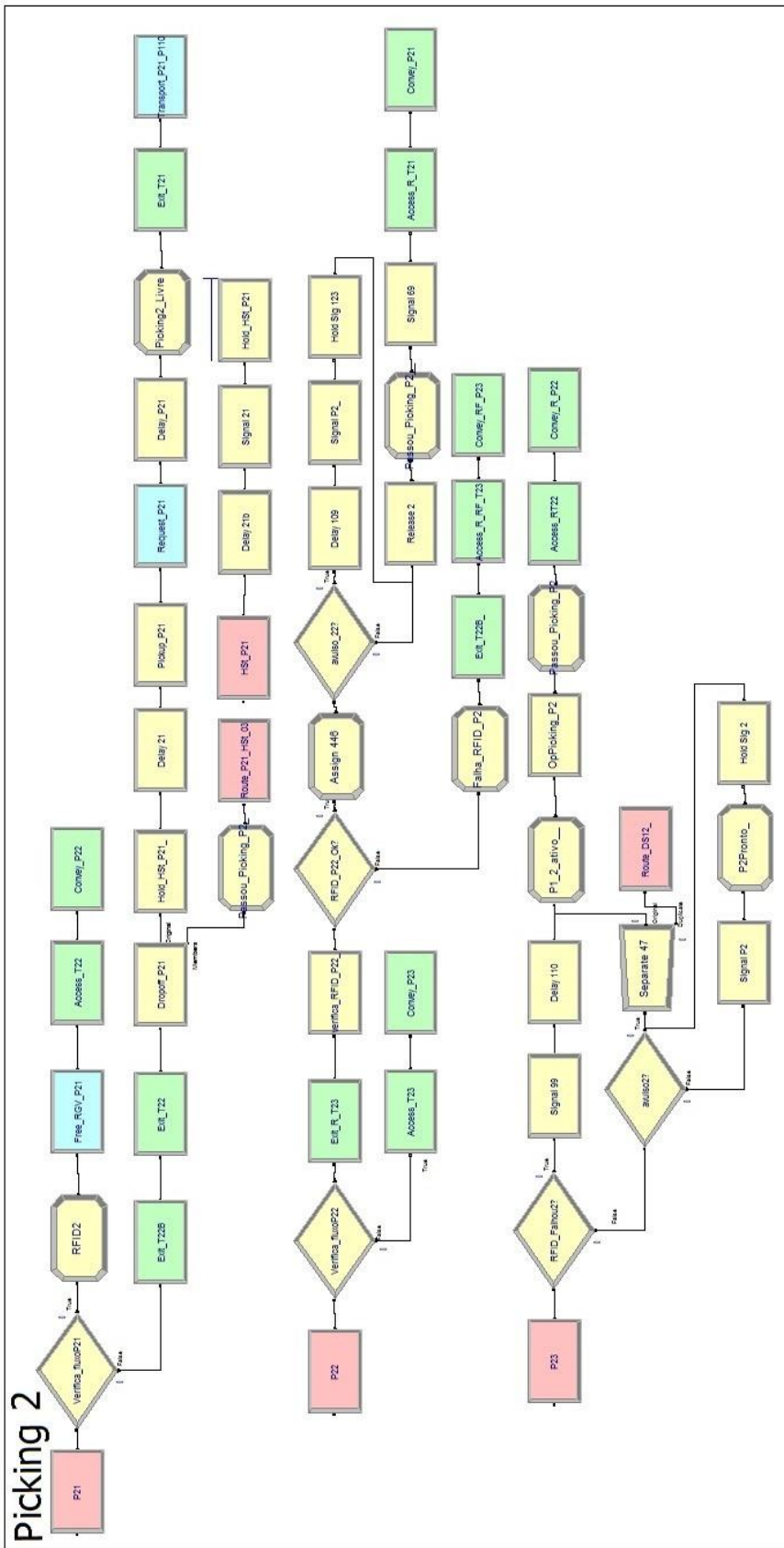


Quando o material do *stock* 1 é retirado do setor de armazenamento, a paleta é depositada na posição P114 (Station P114). O material então é transportado para as demais estações, conforme a disponibilidade, até chegar a posição P111 (Station “P111”).

Neste ponto, é realizada uma divisão do objeto no ambiente de simulação para que o objeto auxiliar seja transportado para o controle centralizado de requisição do AGV e para o controle centralizado para escolha do ponto de *picking*.

A paleta, representada pelo objeto de simulação, poderá ser enviada para um dos quatro postos de *picking* manual, ou para a posição de retirada de paletes do sistema.

5 – PickingManual



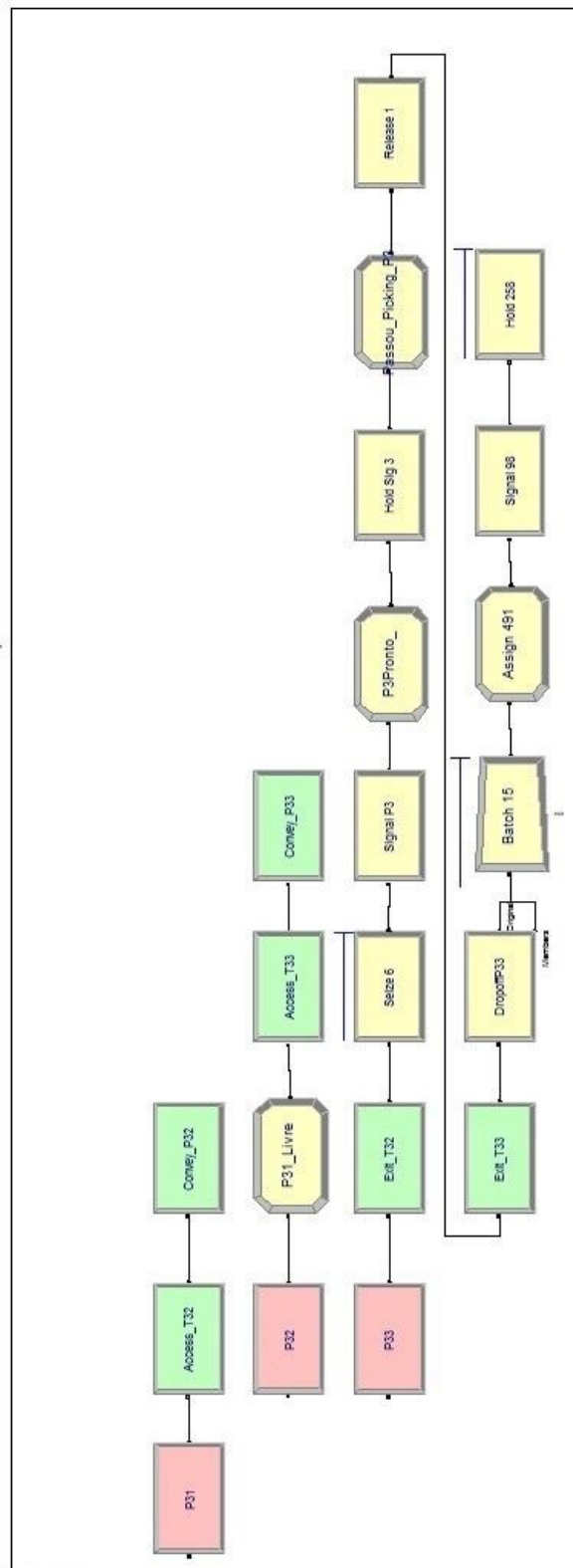
Caso o controle de destino de material decida realizar o *picking* na posição 2, o AGV conduz o material até à posição P21 (Station P21). Em seguida, o material é movimentado até a posição P23 (bloco Station “P23”) por meio de transportadores. Nesta posição, é realizado o processo de *picking* manual (bloco “OpPicking_P2”).

Com o término da operação, a palete é enviada de volta para a posição P22 (bloco Station “P22”), onde é realizada uma conferência eletrônica da carga por meio de leitores de radiofrequência (Station “Verifica_RFID_P22”). Com a verificação positiva, o objeto segue para a posição P21. Caso contrário, o material é enviado novamente para a posição de *picking*.

No caso de operação em conjunto com o sistema de *sorting*, o objeto de simulação aguarda o posicionamento da caixa na posição de inserção para que seja iniciada o procedimento de *picking* (Bloco “Hold Sig 2”)

Ao retornar para a posição 21, o objeto de simulação é enviado para o controle de requisição do AGV e controle para escolha do *stock* de destino.

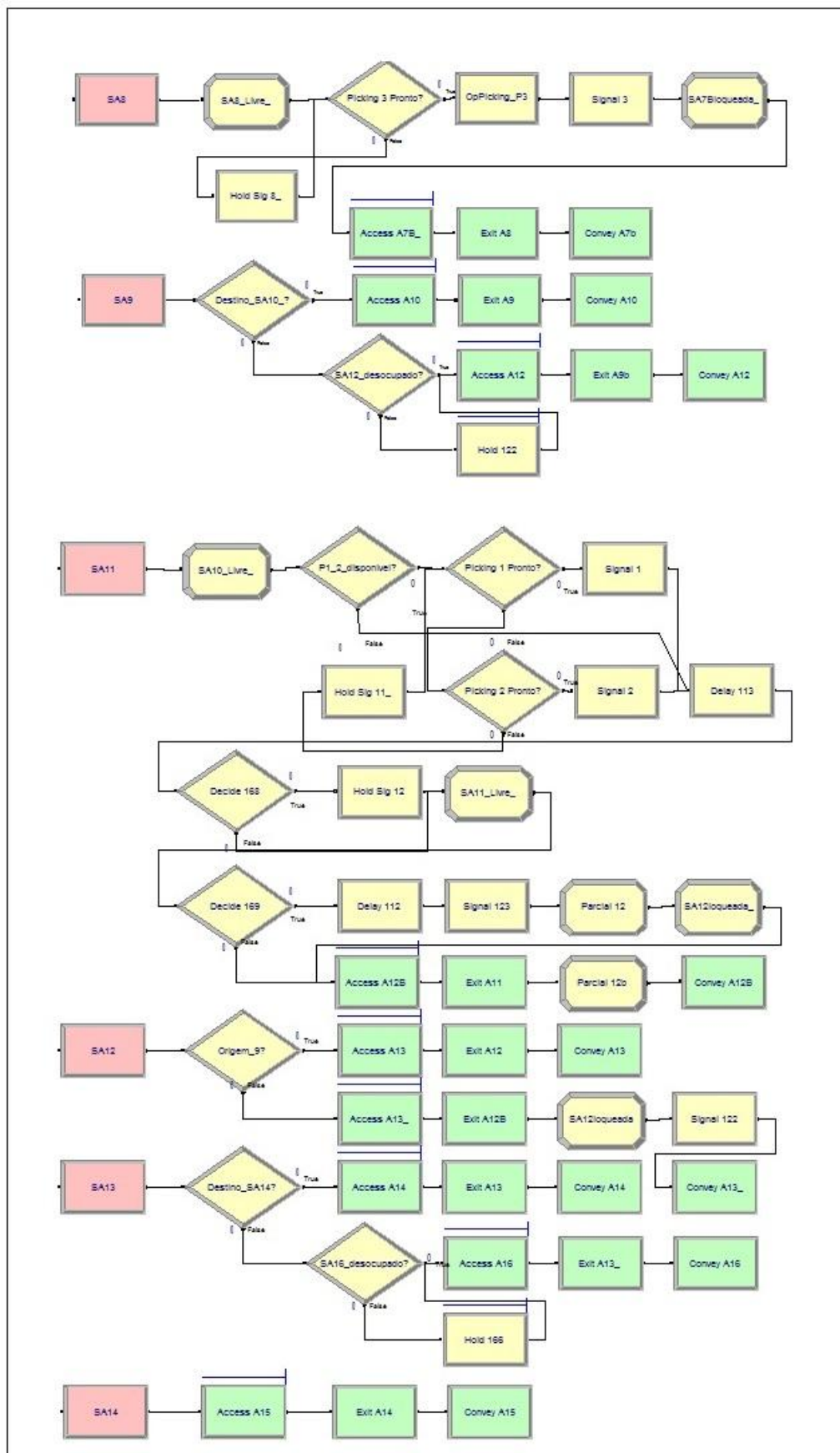
6 – Saída de Paletes do Sistema



Quando a quantidade de produtos a serem retirados da paleta é igual a quantidade produtos remanescente, a unidade de carga é enviada para a posição de *Picking 3* (bloco Station “P31”). O material é transportado até a posição P33 (bloco Station “P33”) onde é retirado do sistema por meio de um carro manual de transporte de paleta.

No ambiente de simulação foi considerado que 20% das movimentações das paletes são destinadas à posição de picking 3, conforme dados fornecidos pelos colaboradores da SDAB.

7 – Colocação de Material nas Caixas de Transporte



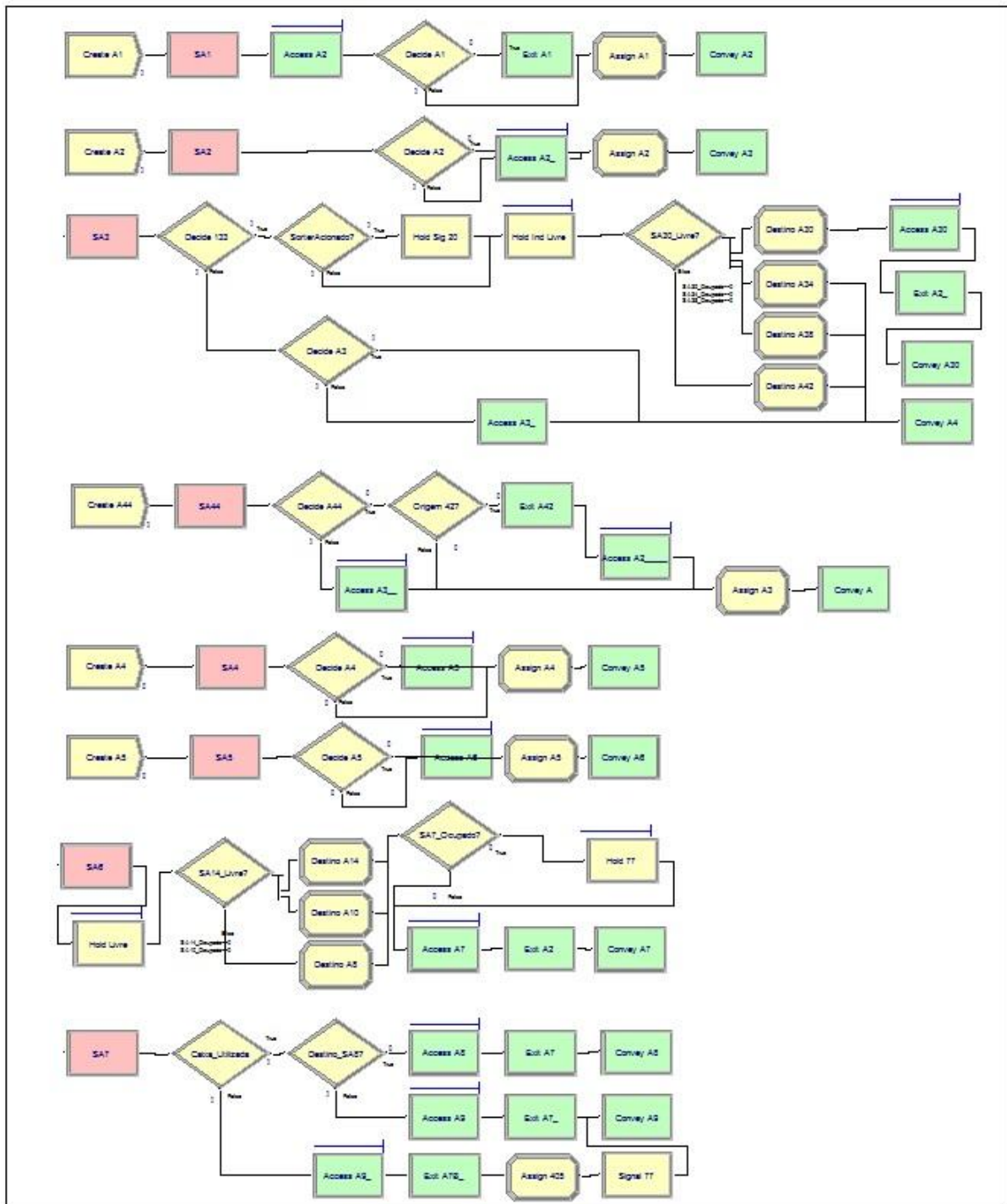
O procedimento de inserção de produtos nas caixas de transporte é realizado de forma coordenada com as operações de *picking*. Os materiais retirados da posição de *picking* 3 são destinados ao ponto de inserção 8 (bloco Station “SA8”), os materiais provenientes do picking 1 ou 2 são destinados ao ponto 11 (bloco Station “SA11”) e os materiais provenientes do postos de picking 3 ou 4 são destinados ao ponto de inserção 15 (bloco Station “SA15”).

Tomando com base o ponto de inserção 11, o sistema realiza uma verificação para descobrir qual posto de picking está ocupado a fim de enviar o sinal de presença da caixa para a posição correta (Blocos “Picking 1 Pronto?”, “Picking 2 Pronto?”, “Signal 1” e “Signal 2”). Em seguida, é realizado um *delay* que representa o tempo necessário para a operação de inserção de produtos (bloco “Delay 113”).

Quando se trata da primeira caixa do conjunto necessário para receber os produtos das paletes, o bloco “Decide 169” identifica a particularidade e realiza uma espera para que a paleta seja conferida pela cabine de RFID (bloco “Hold Sig 12”).

De seguida, é realizada outra verificação (bloco “Decide 169”) a fim de descobrir se é a última caixa da série relacionada à paleta. Em caso positivo, é enviado um sinal para que seja realizada a aproximação de uma nova paleta para outro posto de *picking* (bloco “Signal 123”).

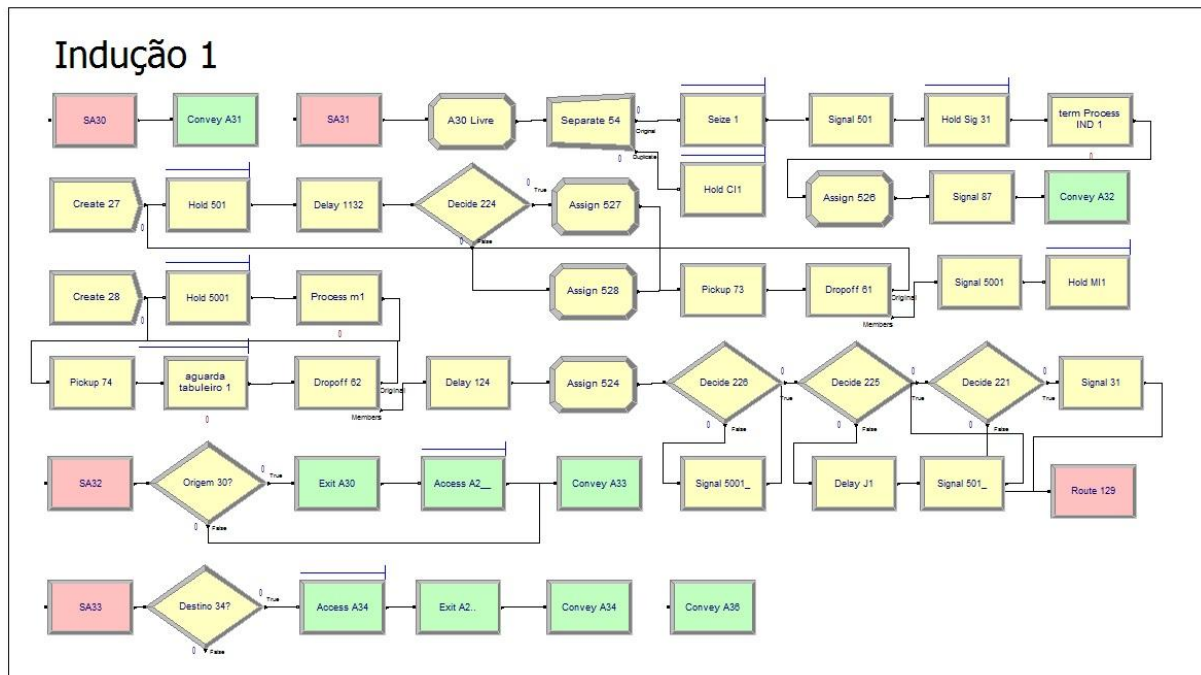
8 – Movimentação de Caixas no Transportador



O conjunto de transportadores possui o objetivo de conduzir as caixas contendo material do ponto de colocação de produtos até o local de admissão e a recondução das mesmas para o ponto de colocação. No ambiente de simulação, a criação das entidades que representam as caixas foram realizados pelos blocos do tipo “Create” e o controlo da movimentação de cada segmento foi realizado pelos blocos dos tipos “Access”, “Convey” e “Exit”.

Na posição 6 (bloco “SA6”) há uma verificação se há locais para colocação de produtos que necessitam do reposicionamento de novas caixas (bloco “Hold Livre”) e na posição 3 (bloco “Station 3”) ocorre a verificação da necessidade de novas caixas para a admissão (bloco “Hold Ind Livre”). Em seguida aos dois controlos, há blocos do tipo Decide que direcionam os objetos para os blocos do tipo “Assign” responsáveis pela atribuição do destino que será conduzido durante as movimentações.

9 – Processo de Admissão

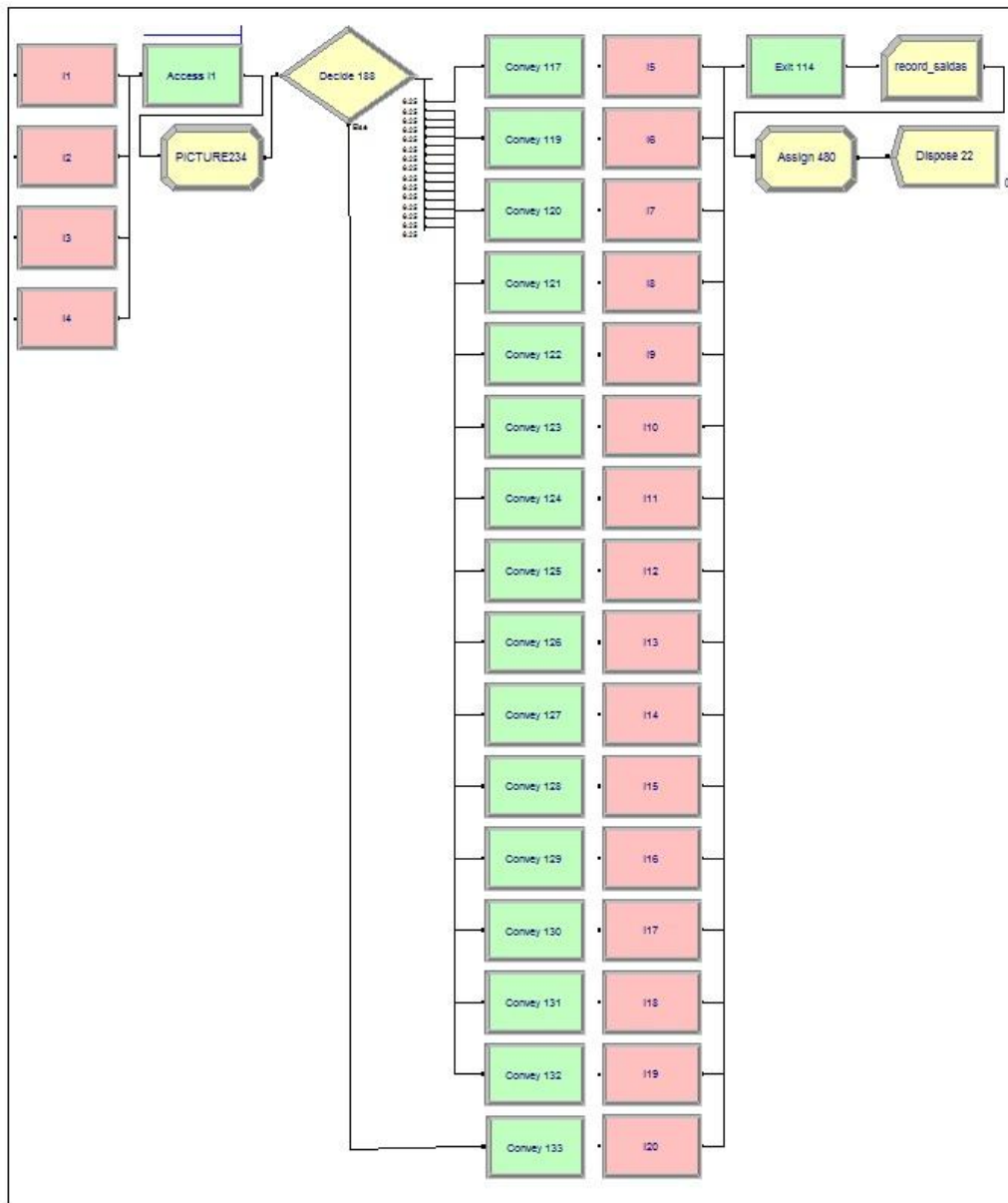


O processo de admissão inicia-se com a definição da quantidade de produtos nas caixas (bloco “A30 Livre”), com base na variabilidade previamente informada. Em seguida é realizada uma divisão (bloco “Separate 43”) para que seja conservada a entidade referente a caixa e seja criada a quantidade de entidades que representam os produtos. Os objetos recém-criados são persistidos na fila do bloco “Hold C11” enquanto o objeto que representa a caixa aciona um sinal (bloco “Signal 501”) para que seja iniciado o processo de retirada e aguarda a conclusão deste processo no bloco “Hold Sig 31”.

O bloco “Signal 501” dispara um processo cíclico que consiste em determinar uma quantidade entre 8 a 12 unidades (bloco “Assign 495”) a serem resgatadas da fila do bloco “Hold C11” e conduzidos para um nova fila (bloco “Hold MI1”). Em seguida, é disparado um novo processo cíclico que consiste em resgatar um elemento da fila do bloco “Hold MI1” (bloco “Pickup 64”), aguardar a disponibilização da bandeja do *sorting* a frente (Bloco “Aguarda tabuleiro 1”).

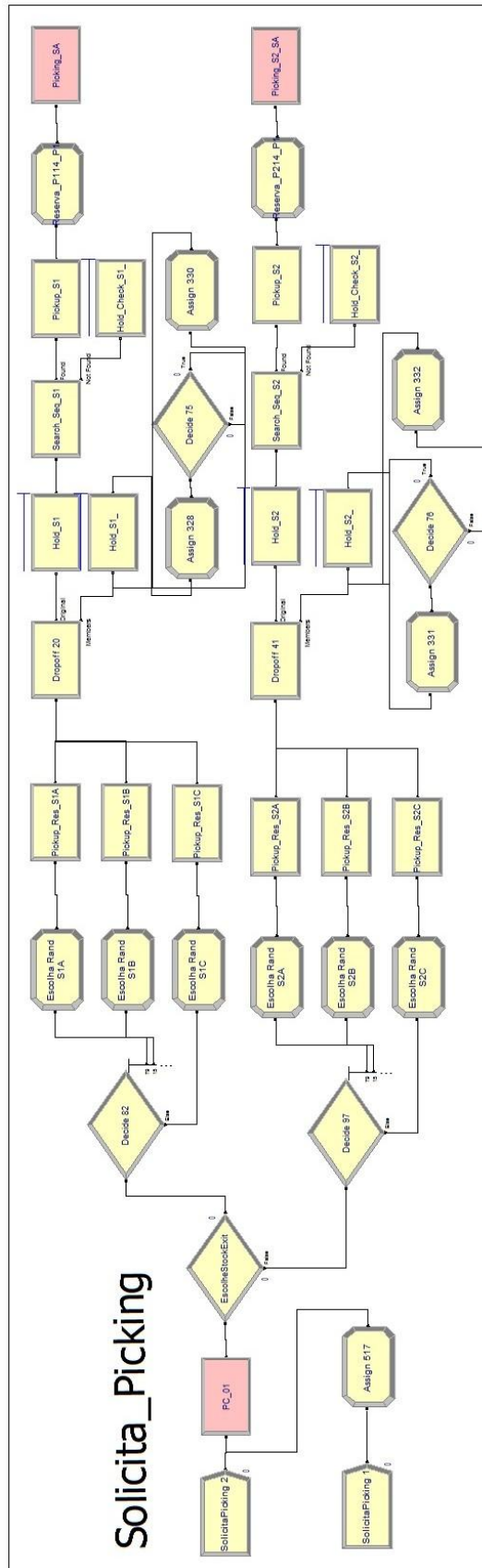
Este procedimento representa o operador que resgata uma quantidade de produtos nas caixas para que seja colocado de um a um no equipamento de *sorting*.

10 – Movimentação do Equipamento de *Sorting*



Os produtos que são depositados no equipamento de *sortings* são transportados para uns dos 150 pontos de saída do sistema. No ambiente de simulação, o equipamento de *sorting* possui 4 pontos de entrada e 16 pontos de saída, representados pelos blocos do tipo Station.

11 – Controlo da Solicitação de *Picking*

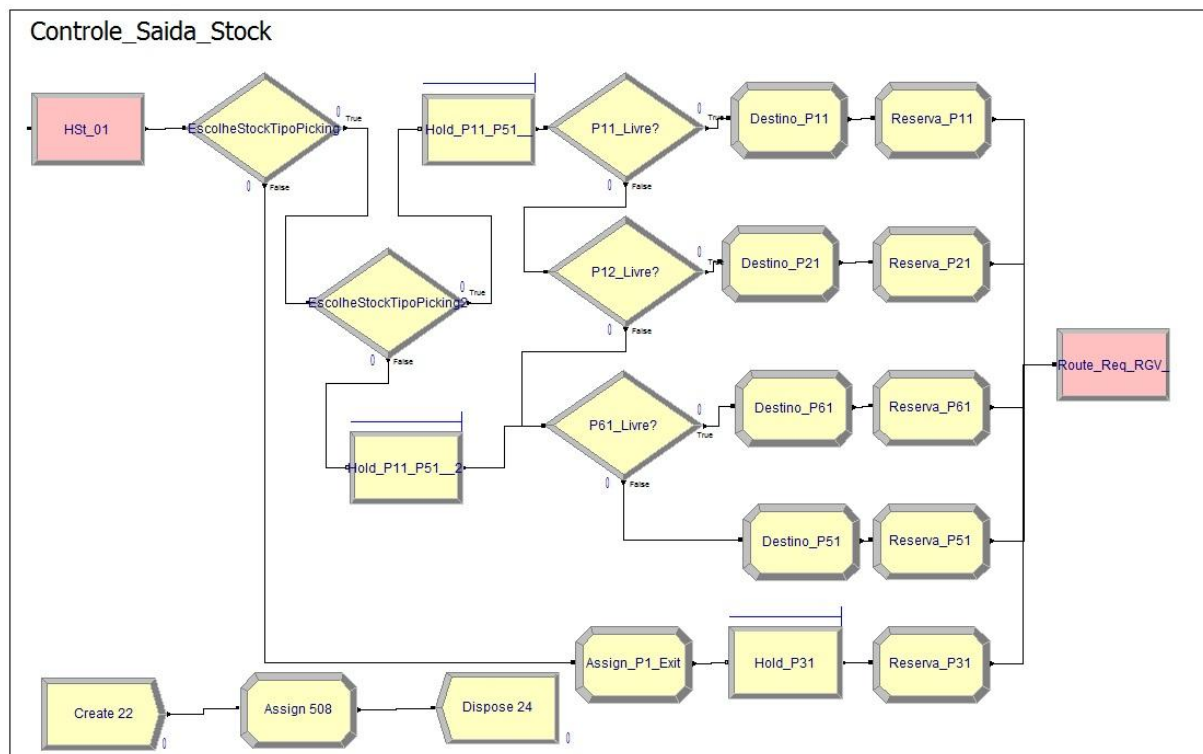


O controlo de pedidos de retirada é iniciado por um bloco do tipo “Create”. Em seguida, é realizada uma distribuição para um dos dois setores de armazenamento (bloco “Escolhe Stock Exit”). Para cada um dos setores, o modelo realiza uma nova distribuição para a retirada em cada uma das categorias A, B e C.

Os blocos seguintes, do tipo “Assign”, são responsáveis pela escolha aleatória de um elemento que representa uma localização ocupada em cada um dos setores (Ex: bloco “Escolha Rand S1A”). Na sequência, é realizada a retirada do objeto da fila correspondente ao controlo das localizações ocupadas, conforme o sorteio realizado (Ex: bloco “Pickup Res S1A”).

Finalmente, a entidade que representa o pedido aguarda a libertação do transelevador no bloco “Hold_S1” e as entidades que representam as localizações são armazenadas no bloco “Hold_S1_”. Caso o procedimento de *picking* seja acionado pelo controlo de pedidos, a sequência da retirada é realizada pelo atributo que representa a proximidade em relação ao ponto de saída. Se a operação for realizada por encadeamento do procedimento de armazenamento, as entidades são retiradas do bloco “Hold_S1_” e novamente reconduzida para que sejam ordenadas de acordo com a proximidade da posição atual do transelevador.

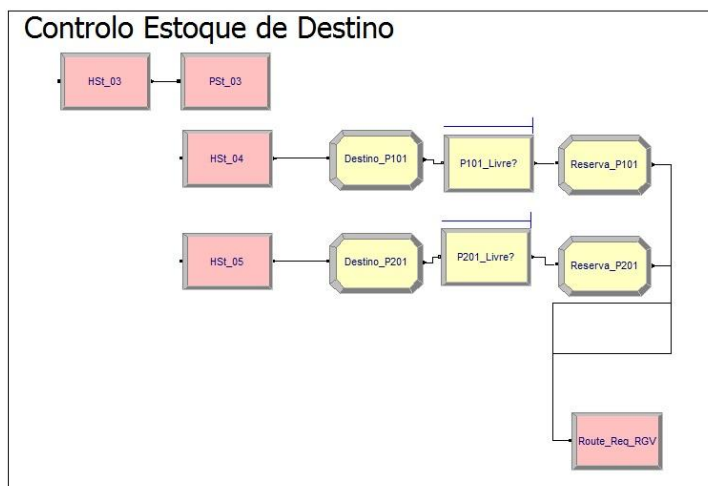
12 – Controlo da Escolha do Local de *Picking*



O controlo da escolha do local de *picking* é acionado cada vez que uma entidade é retirada do setor de armazenamento. A primeira decisão é separar as paletes que irão sair do sistema (bloco “Assign_P1_Exit”) e as paletes que irão para os postos de *picking*.

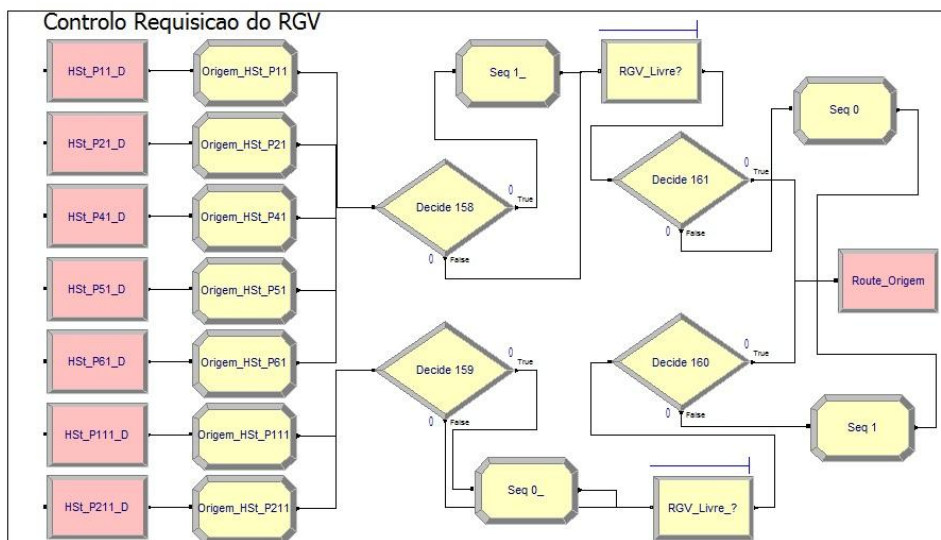
Em seguida, o modelo realiza outro controlo que direciona as entidades para dois ou para os quatro postos de *picking* (bloco “EscolheStockTipoPicking2”). Caso o sistema esteja programado para enviar as entidades para qualquer um dos postos de *picking*, o bloco “Hold_P11_P51” recebe a função de monitorar a existência de um posto disponível. Após isso, a combinação de blocos do tipo “Decide” realiza a identificação do posto específico (ex: bloco “P11_livre?”), os blocos do tipo “Assign” realizam a gravação do atributo de destino e a reserva do posto de *picking*.

13 – Controlo da Escolha do *Stock* de Destino



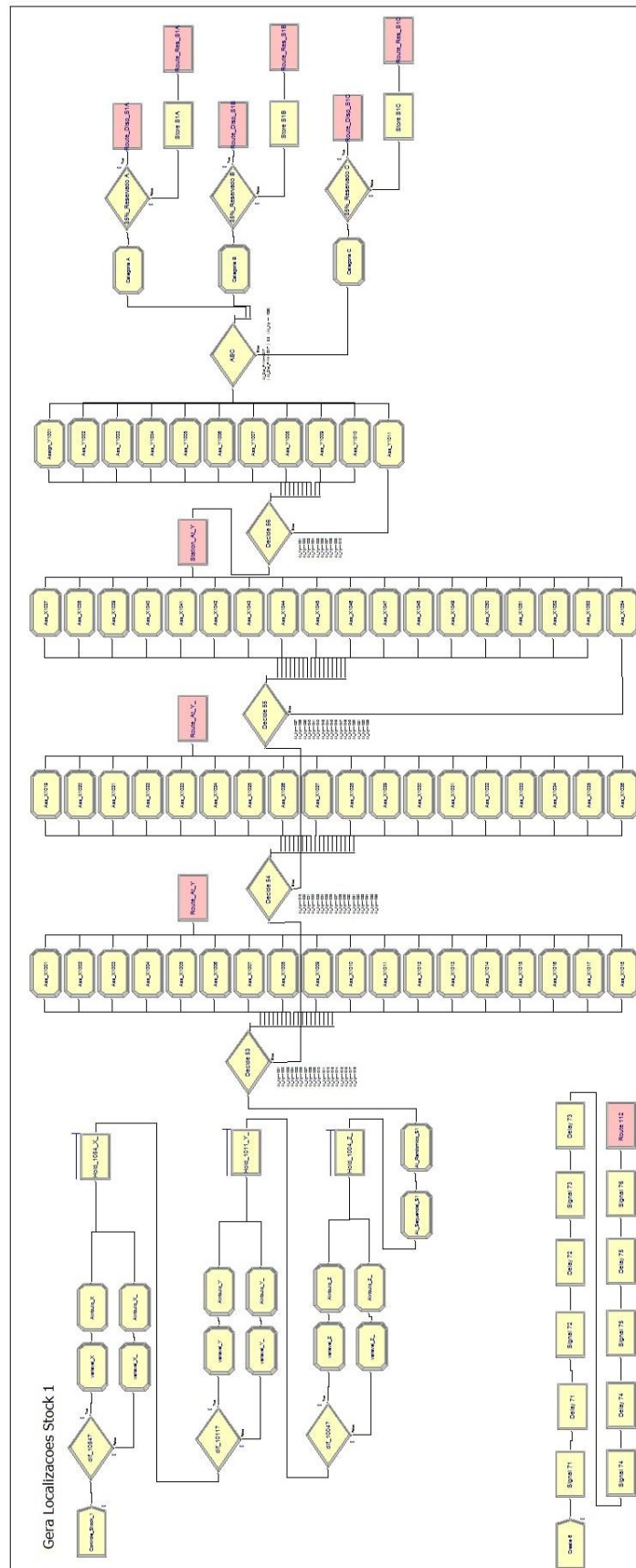
O controlo do estoque de destino é realizado de forma centralizada por meio de um bloco do tipo pickStation (bloco “PSt_03”). O controlo é realizado pela comparação da quantidade total de localizações livres em cada um dos setores de armazenamento. Após a escolha do destino, é realizada uma reserva da localização e o encaminhamento para o controlo de requisição do AGV.

14 – Controlo da Requisição do AGV



O controlo centralizado de requisição do AGV possui o objetivo de garantir que os pedidos de transporte sejam realizados inicialmente pelo critério da alternância do setor de destino e após, pelo critério da ordem cronológica da requisição. Dessa forma, o deslocamento do AGV sem carga é minimizado e todas as requisições são atendidas.

15 – Controlo da Criação das Localizações



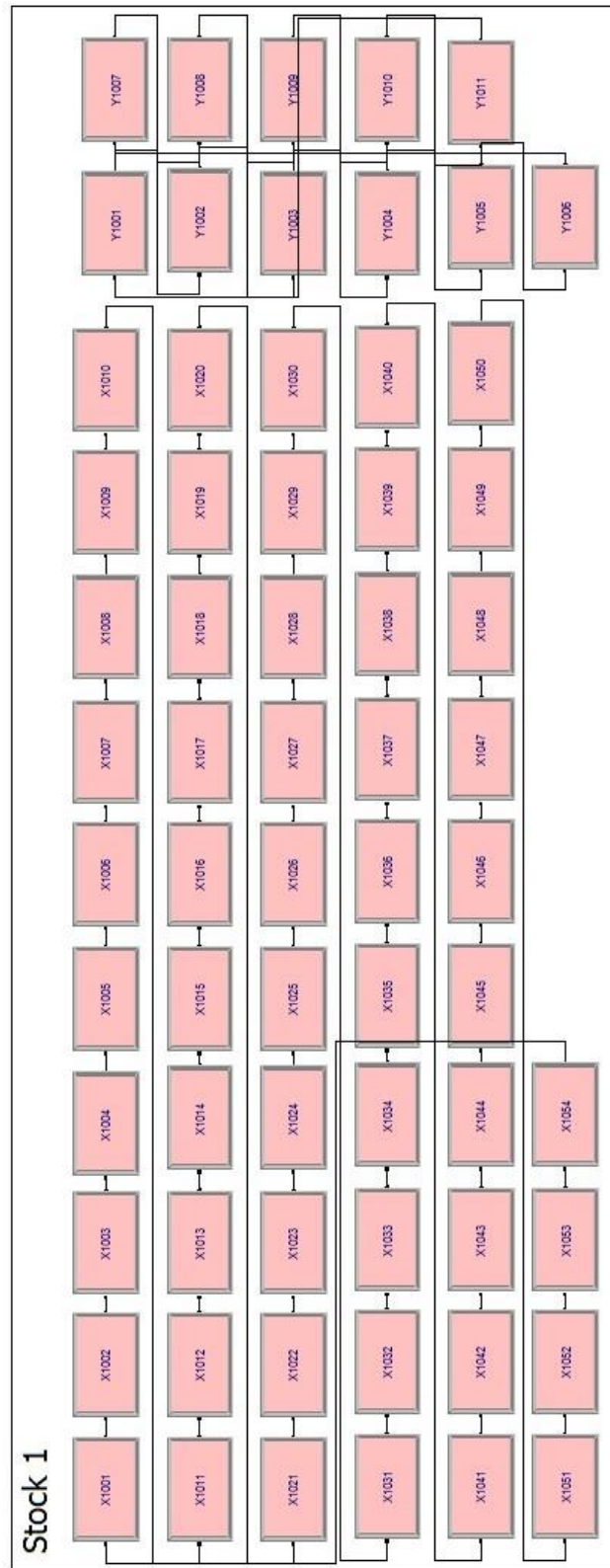
O objetivo do controlo de criação de localizações é promover a criação de atributos que representam as localizações existentes:

- Atributo X. Representa a posição horizontal e pode variar de 1 a 54.
- Atributo Y. Representa a posição vertical e pode variar de 1 a 11.
- Atributo Z. Representa o número da estante e pode variar de 1 a 4.
- Atributo Seq. Representa a ordem conforme a distância em relação ao ponto de saída.

Após a criação das entidades e a criação dos atributos dos tipos numéricos, os produtos são separados conforme os atributos X e Y para que recebam novos atributos do tipo “String” que possam ser utilizados para associação aos blocos do tipo “Station” existentes no modelo.

Por fim, as localizações são separadas conforme a classificação A - B - C e a quantidade inicial de localizações livres e localizações reservadas.

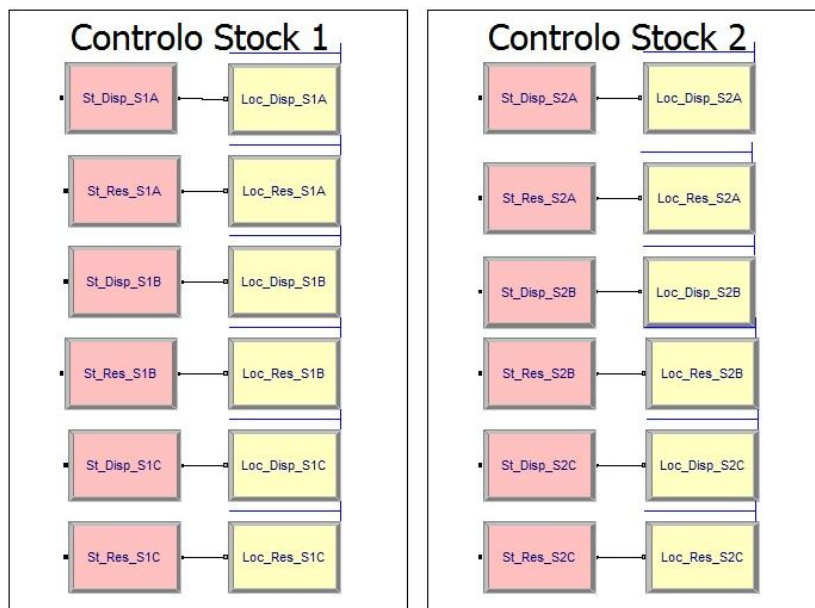
16 – Controlo para Movimentação dos Transelevadores



O conjunto de blocos do tipo “Station” foram criados com o objetivo de apoiar a construção de uma rede de localizações (“Network Link”) necessária para o controlo do tempo de movimentação dos transelevadores no eixo X e no eixo Y.

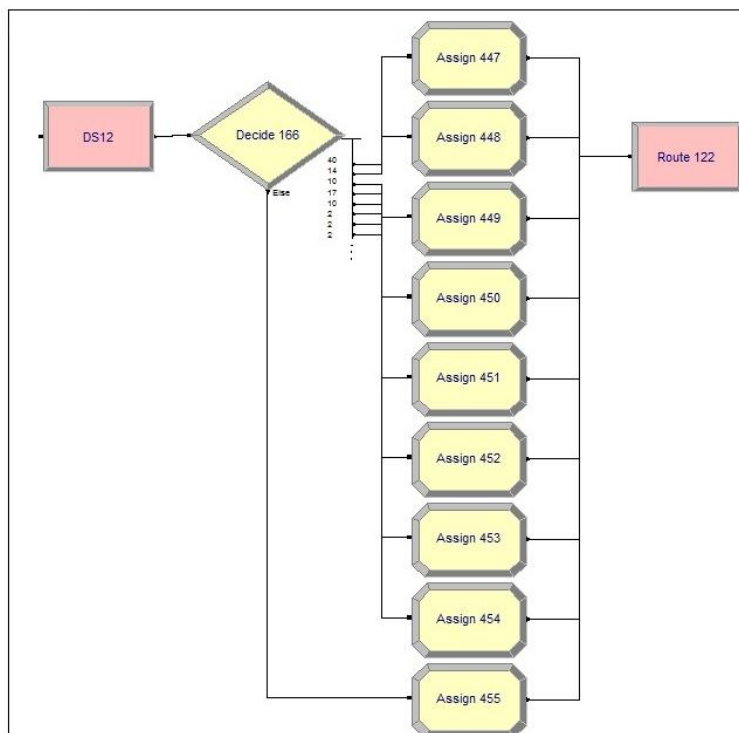
Os nomes das estações correspondem aos nomes dos atributos das entidades que representam as localizações existentes. Assim, para deslocar o transelevador para a uma posição qualquer, o modelo usa o atributo da entidade em questão para atribuir um destino válido na rede.

17 – Controlo do Inventário



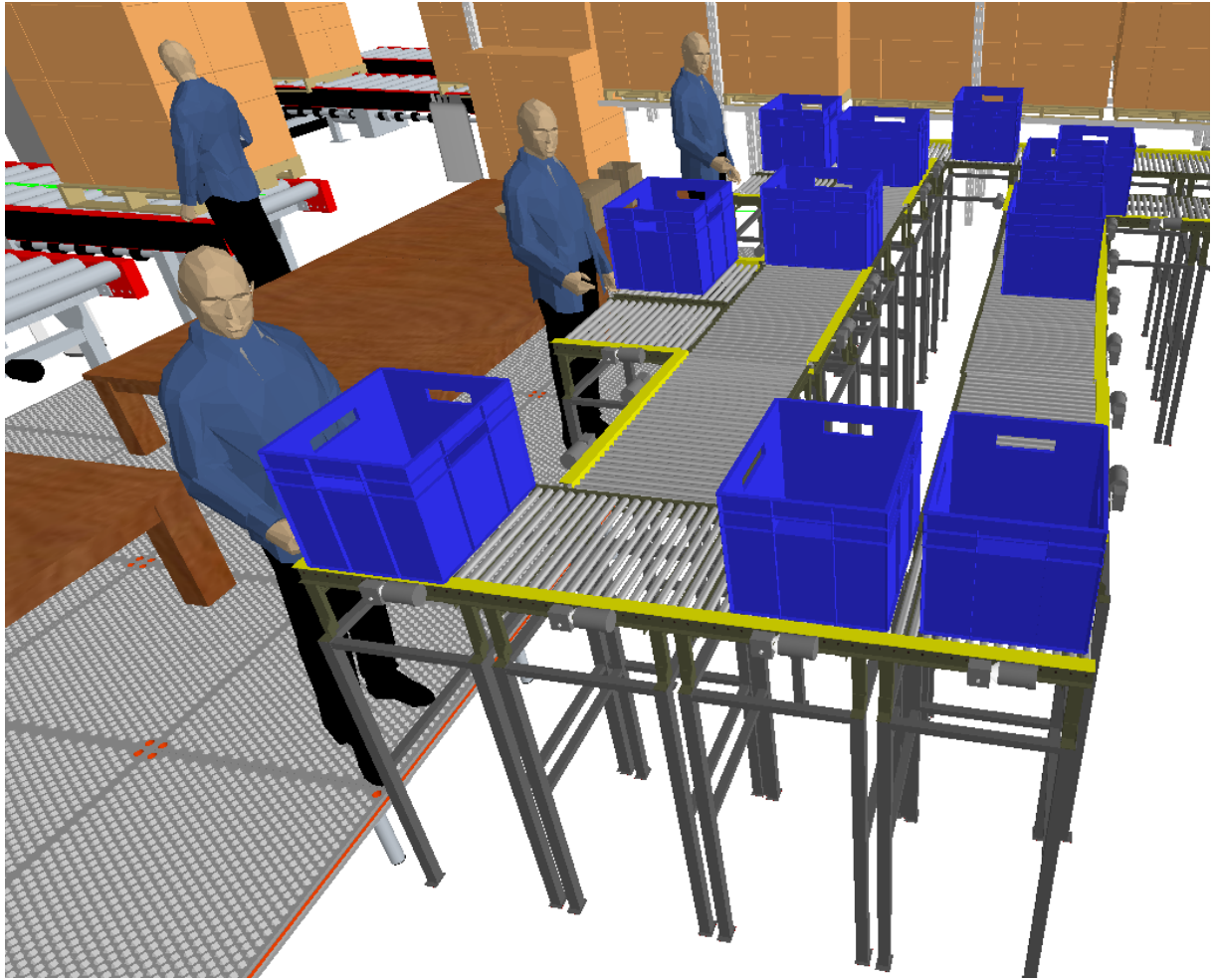
O controlo das localizações disponíveis e ocupadas, em cada um dos setores de armazenamento e categorias é realizado pelos blocos do tipo “Hold” (Ex: bloco “Loc_Disp_S2A”).

18 – Controlo da Quantidade de Caixas por Palete

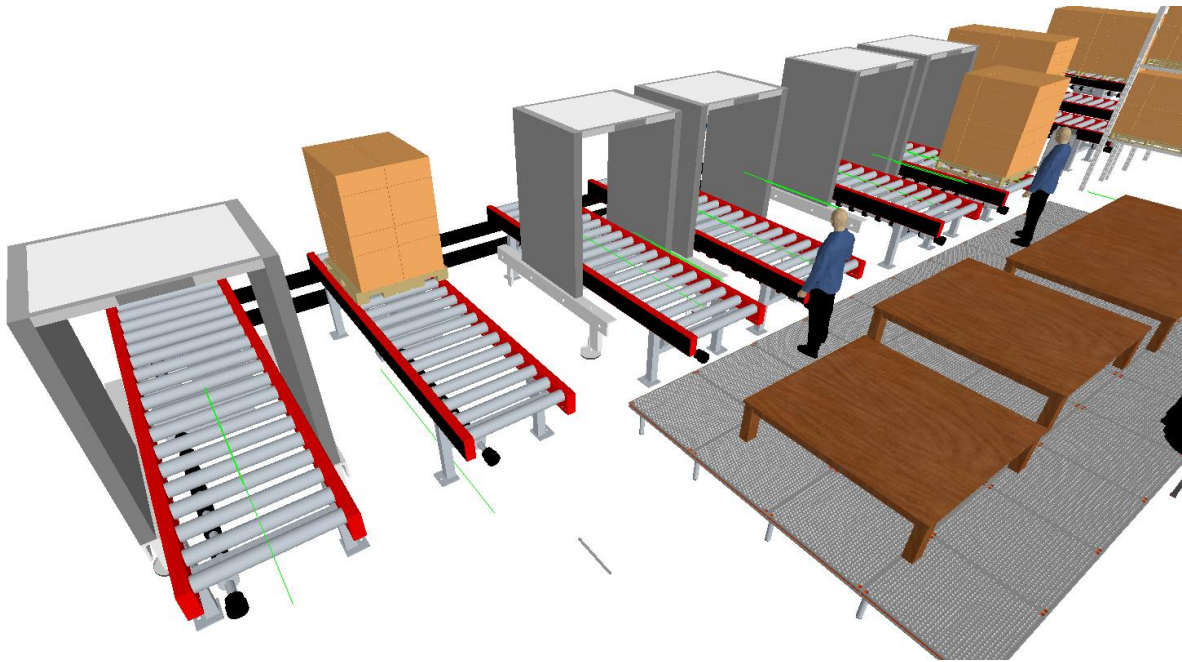


O controlo da variabilidade da quantidade de caixas de transporte a serem ocupadas para cada procedimento de *picking* é realizada com uma combinação do bloco dos tipos “Decide” e “Assign”.

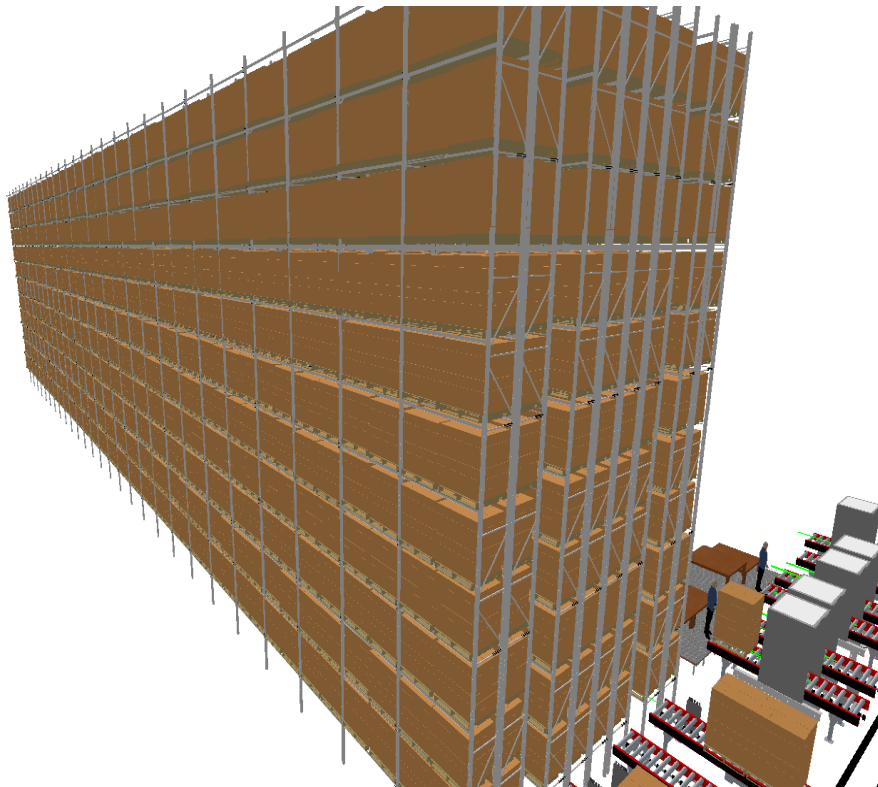
19 – Processo de Colocação de Produtos nas Caixas de Transporte (*SoftwareSIMIO*)



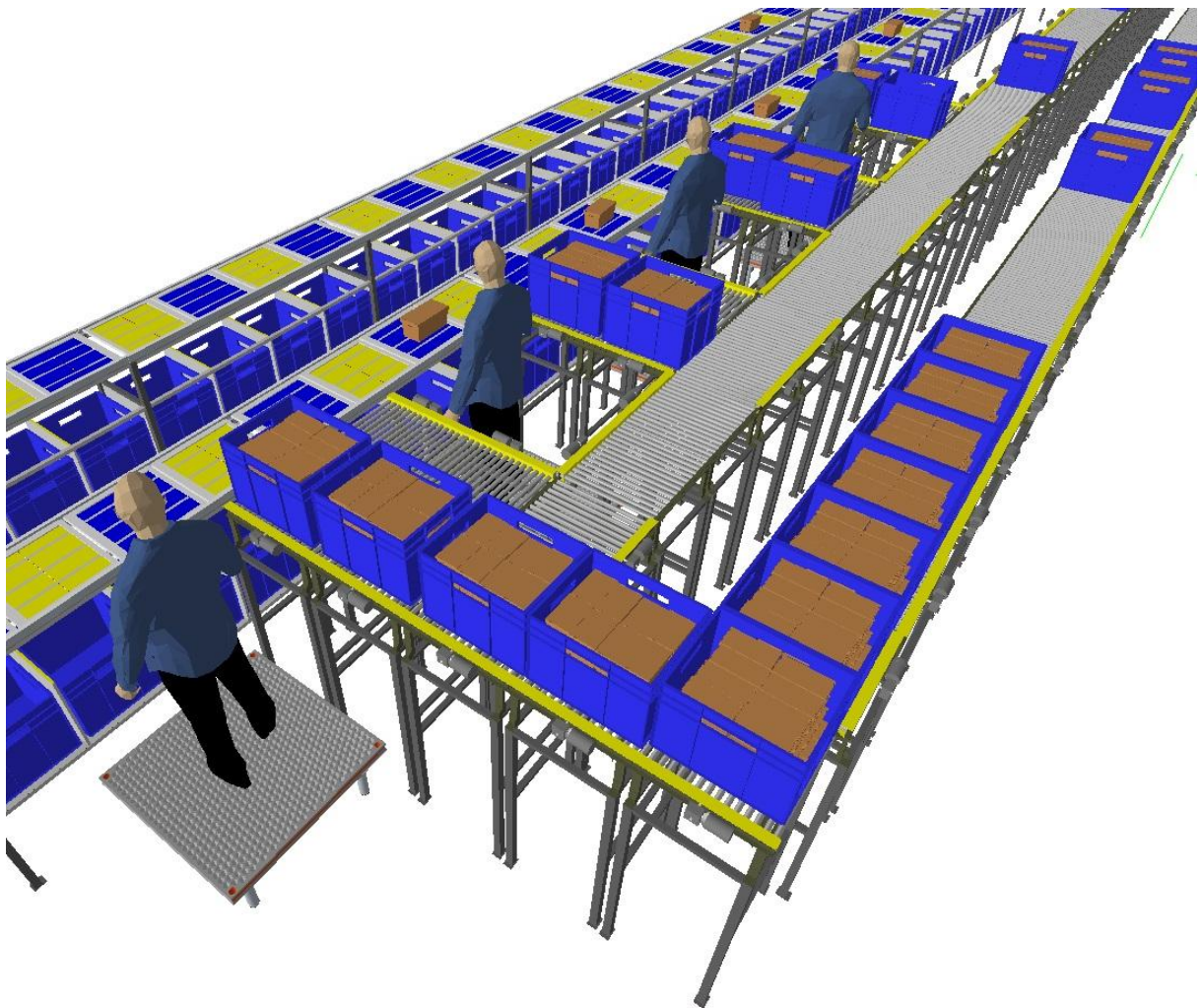
20 – Setor de Recebimento e *Picking*(*Software SIMIO*)



21 – Setor de Armazenamento(*Software SIMIO*)



22 – Processo de Admissão (*Software SIMIO*)



23 – Equipamento de *Sorting* Automatizado (*Software* SIMIO)

