

**Dimensionamento de operações num armazém de  
produtos químicos – Desenvolvimento e aplicação de  
um modelo de simulação discreta**

**João Duarte Rodrigues Ferreira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

Orientador: Prof. Amílcar José Martins Arantes

**Júri**

**Presidente:** Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

**Orientador:** Prof. Amílcar José Martins Arantes

**Arguente:** Prof. Cristina Marta Castilho Pereira Santos Gomes

**Setembro 2021**

## Resumo

Os elementos de logística e da cadeia de abastecimento foram sempre fundamentais para a produção, armazenamento e movimentos das mercadorias e produtos. Contudo, só recentemente é que estes elementos têm sido reconhecidos como peças vitais no ambiente económico. O bom funcionamento das cadeias de abastecimento é cada vez mais um fator determinante para o sucesso das entidades que as compõem como os armazéns/centros de distribuição que, conseqüentemente, têm visto a sua responsabilidade aumentar.

Com o ressurgimento do interesse pela L-Fucose (monossacarídeo raro com disponibilidade natural limitada), face aos 30 anos anteriores e conseqüente crescimento (exponencial) do mercado, a empresa 73100 viu a oportunidade de fabricá-lo.

O âmbito do trabalho de dissertação de mestrado a desenvolver consiste na análise e no dimensionamento das operações logísticas de uma área industrial com o intuito de obter custos reduzidos a partir de uma boa gestão de inventário e de recursos referente a uma empresa de Biotecnologia, que se denomina 73100, e que opera em contínuo processo de abastecimento de matéria prima (MP) e expedição de produtos finais (PF).

Dito isto, as técnicas de simulação discreta baseada em eventos revelam-se úteis na obtenção de resultados do funcionamento de sistemas complexos e aleatórios, como é o caso das operações numa fábrica, permitindo comparar eficazmente vários cenários, configurações e diferentes afetações de recursos. Com o auxílio software SIMUL8, foi desenvolvido um modelo de simulação do processo de fabrico dos produtos da 73100. O modelo permitiu a análise e dimensionamento do sistema a estudar.

Os resultados permitiram chegar a uma adequada afetação de recursos sendo que, os mínimos referidos pela empresa foram respeitados. Verificou-se um decréscimo na matéria prima armazenada, com um equilíbrio, não registado anteriormente, da matéria prima Hidróxido de Sódio, acabando com a sua escassez ao longo da produção. Conseqüentemente, verificou-se um aumento no produto final obtido e uma produção continua ao longo do tempo.

**Palavras-Chave:** Gestão Logística, Gestão de Cadeias de Abastecimento, Simulação Discreta Baseada em Eventos;

## Abstract

The elements of logistics and supply chain have always been fundamental to the production, storage and movement of goods and products. However, only recently have these elements been recognized as vital pieces in the economic environment. The proper functioning of supply chains is increasingly a determining factor for the success of the entities that compose them, such as warehouses/distribution centers, which have consequently seen their responsibility increase.

With the resurgence of interest in L-Fucose (a rare monosaccharide with limited natural availability) over the previous 30 years and the consequent (exponential) growth of the market, the 73100 company saw the opportunity to manufacture it.

The scope of the work to be developed consists in the analysis and dimensioning of the logistical operations of an industrial area, in order to obtain reduced costs from a good management of inventory and resources related to a Biotechnology company, 73100, and which operates in a continuous process of supply of raw material (MP) and shipment of final products (PF). This work also intends to manage human and material resources, stock management and identify possible bottlenecks due to the traffic present in the complex.

That said, discrete event-based simulation techniques prove useful in obtaining results of the operation of complex and random systems, such as the operations in a factory, allowing, for example, to effectively compare various scenarios, configurations, and different resource allocations. With the aid of SIMUL8 software, a simulation model of the 73100's product manufacturing process was developed. The model allowed the analysis and sizing of the system to be studied

The results allowed an adequate allocation of resources to be reached, and the minimums referred to by the company were respected. There was a decrease in the stored raw material, with a previously unrecorded balance of the raw material Sodium Hydroxide, ending its shortage throughout production. Consequently, there was an increase in the final product obtained and continuous production over time.

**Keywords:** Logistics Management, Supply Chain Management, Event-Based Discrete Simulation;

## Agradecimentos

Quero, desde já, agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento da minha dissertação de mestrado.

Agradeço ao professor Amílcar Arantes, por se ter disponibilizado em ser meu orientador assim como a disponibilidade que teve ao poder-me ajudar e acompanhar durante o desenvolvimento da dissertação.

Queria agradecer também ao Eng. Ortega Pereira, responsável da fábrica da 73100, e ao Eng. Filipe Aguiar, diretor da 73100. Agradeço toda vossa ajuda, disponibilidade e acima de tudo me ter permitido realizar a minha dissertação de mestrado na 73100.

Quero ainda deixar um agradecimento especial ao meu tio, Eng. Sérgio Duarte, que sempre se disponibilizou para me ajudar durante o desenvolvimento da minha dissertação de mestrado e à minha mãe, Eugénia Duarte, que esteve sempre comigo durante todo este percurso.

Por último, uma vez que este trabalho representa o encerramento de um capítulo importante na minha vida académica, agradeço a todos os meus colegas, amigos e professores que me acompanharam e ajudaram a ter o título de mestre.

## Índice

Resumo .....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Lista de Tabelas .....	v
Lista de Figuras .....	vi
Lista de Abreviaturas .....	ix
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Objetivos da Dissertação .....	4
1.3. Metodologia de trabalho .....	5
<b>2. Definição do Problema.....</b>	<b>7</b>
2.1. Descrição.....	7
2.2. Capacidade da unidade industrial .....	8
2.3. Atividades e operações em estudo .....	9
2.4. Questões a estudar na unidade industrial.....	10
<b>3. Revisão da literatura .....</b>	<b>11</b>
3.1. Introdução.....	11
3.2. Gestão Logística.....	11
3.3. Gestão de armazéns .....	13
3.3.1. Atividades Relacionadas com a Expedição .....	14
3.3.2. Organização do Fluxo .....	15
3.3.3. Gestão de Inventário .....	15
3.3.4. Armazenamento de Produtos Químicos .....	16
3.4. Simulação.....	17
3.4.1. Situações apropriadas para simulação .....	17
3.4.2. Vantagens e Desvantagens da simulação .....	18
3.4.3. Simulação de sistemas de eventos discretos .....	20
3.4.4. Classificação dos Modelos de Simulação .....	20
3.4.5. Etapas do estudo de simulação .....	22

3.5. Software .....	25
3.6. Conclusões do capítulo .....	27
<b>4. Análise do caso em estudo .....</b>	<b>29</b>
4.1. Descrição do armazém e dos principais fluxos .....	29
4.2 Desenvolvimento da simulação.....	32
4.2.1 Formulação do problema.....	32
4.2.2 Desenvolvimento do modelo de simulação.....	32
4.2.3 Recolha e análise de dados relevantes .....	39
4.2.4 Construção do Modelo em SIMUL8 .....	43
4.3 Experiências e Discussão dos Resultados .....	61
4.3.1 Análise da variação da taxa de entrada das matéria primas .....	62
<b>5. Conclusões Finais.....</b>	<b>70</b>
<b>Referências .....</b>	<b>73</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>76</b>
Anexo A – Dados recolhidos sobre os indicadores de desempenho críticos para o sistema através da opção Results Manager do Simul8 .....	76
Anexo B – Cálculo dos novos dados para análise .....	78
Anexo C – Dados confidenciais .....	79

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Identificação das MP e das suas quantidades previstas por ano em cruzeiro .....	79
Tabela 2 - Identificação dos PF e das suas quantidades previstas por ano em cruzeiro.....	79
Tabela 3 - Capacidade da Unidade Industrial .....	9
Tabela 4 - Softwares de simulação (adaptado de J. J. Swain 2011).....	25
Tabela 5 - Caracterização da duração das atividades em estudo.....	43
Tabela 6 - Ícones do simul8 .....	46
Tabela 7 – Tabela com os tempos de entrada das Matérias Primas no sistema .....	56
Tabela 8 – Dados anteriores de chegada de Matérias Primas .....	62
Tabela 9 – Dados novos das chegadas de Matérias Primas.....	63
Tabela 10 – Tabela auxiliar para cálculo dos novos dados .....	78

## Lista de Figuras

Figura 1 - Nº de estudos científicos sobre a L-Fucose nos últimos 30 anos (Setenta e Três Mil e Cem, Lda (2020)) .....	2
Figura 2 - Fluxograma do processo .....	3
Figura 3 - Etapas da metodologia de trabalho .....	5
Figura 4 - Layout da unidade industrial e identificação das diferentes zonas .....	7
Figura 5 - Fluxograma do funcionamento da fábrica .....	8
Figura 6 - The Value Chain – A Cadeia de Valor (Porter, 1985).....	11
Figura 7 - A Cadeia de Abastecimento (adaptado de Stuart Emmett (2005)) .....	12
Figura 8 - Gestão de Cadeias de Abastecimento (Macro) e Gestão Logística (Micro) .....	12
Figura 9 - <i>Trade-offs</i> na gestão de armazéns (adaptado de Richards (2011)).....	13
Figura 10 - Um modelo de produtividade (Adaptado de Emmett (2005)) .....	14
Figura 11 - Exemplo da existência de stock de segurança (Adaptado de Emmett 2005) .....	16
Figura 12 - Exemplo de um sistema discreto em função do tempo (adaptado de Banks 2014) .....	21
Figura 13 - Exemplo de um sistema contínuo em função do tempo (adaptado de Banks 2014) .....	21
Figura 14 - Guia para um modelo de simulação (Nova 2008) .....	22
Figura 15 - Exemplo visual SIMUL8.....	27
Figura 16 - Possíveis rotas da unidade industrial .....	29
Figura 17 - Layout do Armazém de Descarga .....	30
Figura 18 - Layout Armazém de PF .....	31
Figura 19 - Grupos de Matéria-Prima.....	79
Figura 20 - DCV da Glucose .....	34
Figura 21 - DCV do Hidróxido de Sódio .....	34
Figura 22 - DCV dos Sólidos .....	35
Figura 23 - DCV do Camião de descarga .....	35
Figura 24 - DCV do Camião de Carga .....	36
Figura 25 - DCV da Camionete de Resíduos.....	36
Figura 26 - DCV do Tanque 1 .....	36

Figura 27 - DCV do Tanque 2 .....	37
Figura 28 - DCV do Armazém de Descarga.....	37
Figura 29 - DCV do Armazém de Carga .....	37
Figura 30 - DCV da Báscula.....	37
Figura 31 - DCA do sistema .....	38
Figura 32 - Modelo de simulação desenvolvido em Simul8.....	44
Figura 33 - Configuração do relógio.....	45
Figura 34 - Configuração do <i>Travel Time</i> .....	45
Figura 35 - Configuração Start Point para a entrada da Glucose .....	46
Figura 36 - Configuração Start Point para a entrada do Hidróxido de Sódio.....	47
Figura 37 - Configuração Start Point para a entrada de Sólidos .....	47
Figura 38 - Configuração Start Point para a entrada da camionete de Resíduos .....	48
Figura 39 - Configuração da atividade documentos .....	48
Figura 40 - Configuração atividade documentos .....	49
Figura 41 - Configuração da atividade Regulamentação .....	49
Figura 42 - Divisão no sistema das matérias primas e da camionete de resíduos.....	50
Figura 43 - Configuração atividade Formação .....	50
Figura 44 - Configuração atividade divisão 1 e 2.....	51
Figura 45 - Configuração atividade recolha de resíduos .....	51
Figura 46 - Configuração atividade Descarga sólidos .....	52
Figura 47 - Configuração atividade Separação e embalagem.....	52
Figura 48 - Criação do <i>label</i> "Sólidos 3" .....	53
Figura 49 - Configuração Tanque 1 .....	53
Figura 50 - Configuração atividade Produção e embalagem.....	54
Figura 51 - Configuração atividade produção e embalagem 75_3 .....	54
Figura 52 - Configuração Start Point Camião de carregamento .....	55
Figura 53 - Configuração Carregamento produto final.....	55
Figura 54 – Comparação entrada e saída de veículos .....	57
Figura 55 – Uso da <i>Label</i> Encomenda 1 e sua manipulação .....	57
Figura 56 – Transformação da <i>Label</i> Encomenda 1 em Encomenda 10 .....	58



Figura 57 – Transformação da encomenda em quilogramas de Matéria prima .....	58
Figura 58 – Validação da opção <i>collect</i> e suas quantidades .....	58
Figura 59 – Constrangimentos nas filas de espera da secção de manufatura .....	59
Figura 60 – Resultados atividade Produção e embalagem 75_3 .....	60
Figura 61– Resultado das filas de espera que antecedem a secção de produção e que usam os recursos seguranças e operadores.....	60
Figura 62 - Resultado das filas de espera que antecedem a secção de produção e que usa os recursos operário e empilhadora.....	61
Figura 63 – Quantidade de stock de Hidróxido de sódio disponível .....	61
Figura 64 - Quantidade de stock de Glucose disponível ao longo do tempo .....	62
Figura 65 - Quantidade de stock de Sólidos disponível ao longo do tempo .....	62
Figura 66 - Número de encomendas de Hid. sódio vs saídas .....	63
Figura 67 – Verificação dos constrangimentos após mudança das taxas de entrada das MP. ....	65
Figura 68 - Número de <i>runs</i> recomendado pelo <i>trials calculator</i> .....	65
Figura 69 – Nova quantidade de stock de Glucose disponível ao longo do tempo .....	66
Figura 70 – Nova quantidade de stock de Hidróxido de Sódio disponível ao longo do tempo.....	66
Figura 71 – Nova quantidade de stock de Sólidos disponível ao longo do tempo .....	66
Figura 72 - Resultados atividade Produção e embalagem 75_3 / Quantidade produzida .....	67
Figura 73 – Utilização dos recursos Seguranças, Empilhadoras e Operadores .....	67
Figura 74 - Utilização recurso operários (quantidade 5) .....	68
Figura 75 - Utilização recuso operários (quandidade 6) .....	68

## **Lista de Abreviaturas**

CA – Cadeias de Abastecimento

CLM – Council of Logistics Management

DCA – Diagrama de Ciclo de Atividades

DES – Discrete Event Simulation

GA – Gestão de Armazéns

GCA – Gestão de Cadeias de Abastecimento

GOS - Galacto-oligossacáridos

GL – Gestão Logística

HMO - Human Milk Oligosaccharides

KPI – Key Performance Indicator

LGCA – Logística e Gestão de Cadeia de Abastecimento

MP – Matéria-Prima

PF – Produto Final

SD – System Dynamics

3PL – Third Party Logistics

# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização

A Setenta e Três Mil e Cem, Lda (“73100”) é uma start-up Portuguesa fundada em 2006 para concretizar projetos de I&D (pesquisa e desenvolvimento), principalmente na área da Biotecnologia, relacionados com fermentação microbiana de produtos de alto valor acrescentado a partir de MP renováveis, essencialmente, para aplicações nas indústrias Biomédica, Farmacêutica, Cosmética e Alimentar. Essa produção tem, contudo, uma característica específica, pois, recorre a seres vivos ou aos seus componentes como parte integrante do processo de produção, para desenvolver ou criar produtos ou qualquer aplicação tecnológica. Para que isso seja possível, são necessários os conhecimentos fundamentais da Biologia associados aos da Engenharia, para que se encontrem as estratégias mais adequadas à obtenção do produto que se pretende, assim como os cuidados a ter com a sua movimentação e armazenamento. A Biotecnologia é assim uma atividade de base científica que requer um conhecimento detalhado dos mecanismos biológicos que se pretendem utilizar e a integração de processos de engenharia de forma a otimizar as bio-reações e a sustentabilidade do processo.

Atualmente, a biotecnologia é utilizada maioritariamente na produção de biocombustíveis, detergentes melhorados, têxteis mais resistentes, proteção ambiental, redução de resíduos e mesmo recuperação de óleos minerais e petróleo. As aplicações mais mediáticas da biotecnologia estão relacionadas com a saúde e a indústria farmacêutica, seja através da produção de medicamentos, vacinas, terapia genética ou substituição de tecidos. A empresa 73100 tenciona concretizar projetos na área da Biotecnologia, relacionados com fermentação microbiana de produtos de alto valor acrescentado a partir de MP renováveis, essencialmente, para aplicações nas indústrias Biomédica, Farmacêutica, Cosmética e Alimentar. No entanto, a gestão da 73100 tem-se dedicado a um novo projeto promissor de biotecnologia: a produção industrial de L-fucose. O monossacárido L-fucose é um açúcar raro com muito interesse para as indústrias alimentar, química, farmacêutica, nutracêutica e cosmética. A maioria destes açúcares apresentam várias funções fisiológicas identificadas e possuem um enorme potencial para aplicações cosméticas, nutricionais ou para a indústria farmacêutica. Concretamente, na indústria alimentar, os açúcares raros são reconhecidos como suplementos pouco calóricos e também como prebióticos (moléculas que estimulam os microrganismos da flora intestinal) de extrema importância para a regulação da saúde intestinal. Uma das aplicações mais promissora para a L-fucose é na produção de oligossacáridos do leite materno (HMO). A crescente necessidade de introduzir HMO fucosilados nos leites infantis, é a grande oportunidade de mercado para a L-fucose com o maior potencial de crescimento a médio/longo prazo como é possível verificar na figura 1.

A comercialização da L-fucose, em particular, tem como principal problema a incapacidade de satisfazer as necessidades futuras para essas aplicações promissoras. A quantidade de L-fucose

necessária para satisfazer a procura resultante da sua incorporação em produtos alimentares no espaço de 10 anos é muito superior à produzida atualmente e conseqüentemente, muita dessa investigação, nomeadamente aquela que requer maiores quantidades, não chega a ser executada por falta de disponibilidade de L-fucose no mercado. Tal como a investigação das aplicações está no início do seu crescimento, também o mercado da L-fucose está a entrar na sua fase de crescimento exponencial.

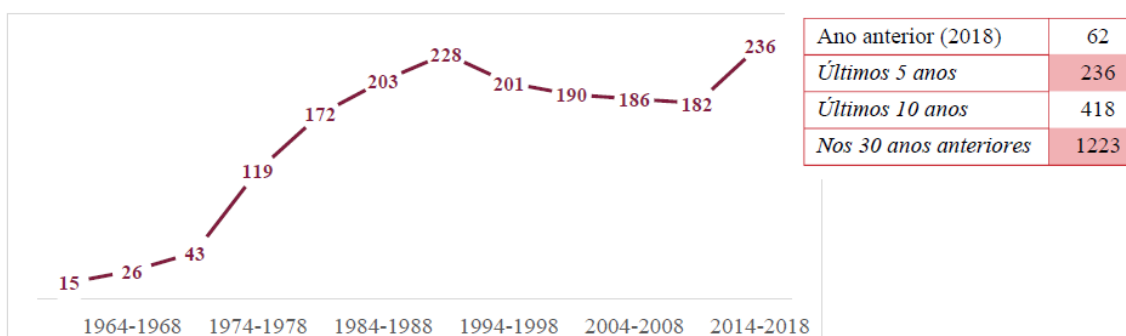


Figura 1 - Nº de estudos científicos sobre a L-Fucose nos últimos 30 anos (Setenta e Três Mil e Cem, Lda (2020))

Para além da L-fucose, a 73100 tenciona fabricar outros produtos. O FucoPol, produto obtido da fermentação da *Enterobacter A47* como exo-polissacarídeo, é o precursor de todos os outros produtos a comercializar. É composto por galactose, fucose, ácido glucurónico, glucose, acetato, piruvato e succinato. Sendo que apenas os 3 primeiros serão comercializados e os 2 últimos poderão sê-lo posteriormente. A comercialização do FucoPol dependerá da sua rentabilidade, uma vez que a venda dos respetivos monómeros (moléculas que podem ligar-se entre elas formando moléculas maiores denominadas polímeros) é muito mais rentável, e do volume de vendas alcançado pelos outros produtos, dado que pode ser vendido para criar maior volume de vendas e aproveitar a capacidade produtiva instalada.

A D-galactose é utilizada como precursor para a síntese de GOS (galacto-oligosacáridos). Apesar dos GOS não ocorrerem naturalmente no leite humano têm sido utilizados em suplementos alimentares, mimetizando os efeitos benéficos dos HMO. A D-galactose obtida a partir dos polissacáridos FucoPol será comercializada como precursor com elevado grau de pureza para a síntese de GOS, para incorporação em produtos alimentares. Subproduto – Ácido Glucurónico.

Por fim, o ácido glucurónico foi proposto como agente desintoxicante do fígado e para o tratamento da osteoartrite. Este açúcar ácido será obtido por decomposição do polissacárido FucoPol e será comercializado como ingrediente ativo para a indústria farmacêutica.

A tecnologia de produção a utilizar foi desenvolvida pela 73100 desde a escala laboratorial até à escala industrial. A produção dos produtos finais, terá início com a obtenção de polissacáridos

através de fermentação microbiana, que será realizada em fermentadores adequados para o cultivo de bactérias e leveduras.

A matéria-prima para alimentação dos microrganismos será, principalmente, glicerol, glucose, ou açúcares, suplementados com outros micronutrientes. Serão sujeitos a condições controladas de pH, temperatura e arejamento em que após um período inicial de crescimento serão impostas condições limitantes de micronutrientes mantendo a disponibilidade em fonte de carbono (glicerol ou glucose). Estas condições restringem o crescimento celular e desencadeiam a síntese dos polissacáridos, que são excretados para o meio extracelular ou acumulados no meio intracelular (bactérias e leveduras respectivamente).

No final da fermentação, o caldo fermentativo será recolhido e sujeito a uma hidrólise (reação química na qual uma molécula de água quebra uma ou mais ligações químicas). Depois os processos de *downstream processing* incluem entre outros passos de separação por centrifugação e/ou *decanter*, purificação por sistemas de filtração, purificação por passagem em sistemas de resinas, e para se obterem os produtos desejados, por novo tratamento químico, hidrólise ácida, de modo a promover a decomposição do polissacárido nos seus monómeros constituintes.

Por cromatografia preparativa (técnica analítica que tem por finalidade a separação e/ou purificação de misturas), a solução mistura será previamente purificada e posteriormente os monómeros serão separados em frações individuais contendo cada uma o respetivo monossacárido (açúcar simples com uma única molécula de 6 átomos de carbono).

Após separação das frações constituintes, os monossacáridos serão sujeitos a processo de cristalização que consiste numa separação onde, partindo de uma mistura líquida (solução ou sólido fundido-magma) obtêm-se cristais de um dos componentes da mistura, com 100% de pureza e secagem para obtenção do produto final. De forma a facilitar a compreensão das várias etapas, é apresentado na figura 2 o fluxograma do processo de produção.

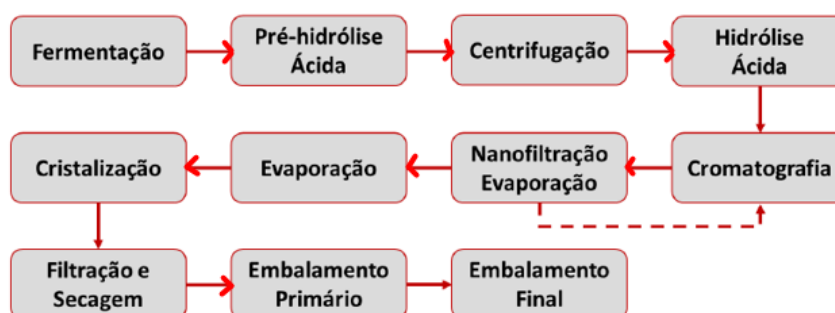


Figura 2 - Fluxograma do processo de obtenção dos monossacarídeos e seu embalagem

A produção tem, todavia, uma questão económica pertinente. Se todos os processos de fabrico não forem economicamente rentáveis, não existirá produção. Dessa forma, será vantajoso estudar as operações logísticas que têm espaço na unidade industrial de forma a obter uma melhoria da eficiência (redução de custos) e da eficácia (redução do tempo de fabrico) dos processos de fabrico. Como a unidade industrial em estudo estará em contínuo processo de receção de MP, o objetivo deste trabalho consiste em contribuir para a melhoria das operações que estão presentes no processo de fabrico dos monossacarídeos. Assim sendo, é conveniente a utilização neste trabalho de uma metodologia que estude as operações na unidade industrial em causa, permitindo a análise dos diferentes cenários, a identificação de *bottlenecks* (pontos de estrangulamento), e que incorpore as incertezas em todos os processos a serem estudados.

## 1.2. Objetivos da Dissertação

O objetivo desta dissertação é analisar e dimensionar as operações logísticas de uma área industrial com o propósito de obter uma melhoria da eficiência e eficácia a partir de uma melhor gestão de inventário e de recursos. As técnicas de simulação discreta baseada em eventos revelam-se úteis na obtenção de resultados do funcionamento de sistemas complexos e aleatórios, como é o caso das operações numa fábrica.

A partir de ferramentas de simulação, enquanto suporte, vai ser analisado os possíveis estrangulamentos causados pela chegada das MP, o fluxo da matéria prima e produtos finais como também a gestão do seu *stock* e o dimensionamento dos recursos necessários para o funcionamento da fábrica.

### 1.3. Metodologia de trabalho

Em relação à metodologia de trabalho a seguir na dissertação, foram adotadas 6 etapas (Figura 3) que se passam a descrever:

#### 1. Contextualização

Nesta primeira etapa, o problema será contextualizado assim como a indústria de Biotecnologia. Serão identificados os principais objetivos de investigação, assim como a motivação presente por trás. Será apresentado também o contexto em que surge o problema, assim como a caracterização da empresa e da indústria onde esta está inserida, explicando o seu funcionamento e enquadramento no mercado.

#### 2. Revisão da Literatura

Na revisão da literatura, os principais conceitos, definições, metodologias e resultados de investigação prévia, relacionados com o tópico em estudo, são clarificados e discutidos.

#### 3. Análise do caso em estudo

É apresentado o caso de estudo e as especificações associadas. Serão também descritos e analisados todos os fluxos das principais entidades do sistema.

#### 4. Recolha e tratamento de dados

Neste passo procede-se à caracterização dos dados necessários ao caso de estudo, bem como à explicação da origem e dos métodos usados na sua recolha. No caso de os dados recolhidos não serem suficientes para a correta análise do problema, irão ser enumerados todos os dados que foram assumidos assim como a sua devida justificação.

#### 5. Construção, validação e teste do modelo

Seguidamente, irá ser apresentado o modelo conceptual desenvolvido para a simulação do sistema. Pretende-se recriar um sistema que seja o mais aproximado possível à realidade sendo então usados os dados recolhidos na fase anterior. Este modelo de simulação irá ser criado com o auxílio de um programa de computador apropriado, neste caso concreto, o SIMUL8. O modelo será ainda validado e testado, para se verificar se reflete a realidade.

#### 6. Obtenção de resultados

Os resultados apresentados pelo sistema são recolhidos.

#### 7. Por fim, os resultados obtidos serão analisados e escolhidas as melhores soluções encontradas e qual a sua aplicabilidade em relação à 73100. Vão ainda ser mencionados alguns ajustes e/ou melhorias que poderiam ser feitas ao modelo desenvolvido.



Figura 3 - Etapas da metodologia de trabalho





## 2. Definição do Problema

Neste capítulo são tratados os dados relevantes para o problema. Começa por ser feito uma descrição da zona Industrial com a sua capacidade, disposição e respetivo funcionamento. Seguidamente a matéria prima e os produtos finais são especificados e quantificados relativos a um ano em cruzeiro. Posto isto é indicada a capacidade da unidade industrial, o tipo de entidades e recursos, que estarão presentes na fábrica, e o seu propósito. Por fim são definidas todas as operações e as questões a serem respondidas a partir deste estudo.

### 2.1. Descrição

A empresa tem sede em Lisboa e uma unidade fabril na Freguesia de Igreja de Alentejo, concelho de Arraiolos, nas instalações da “ANTIGA FÁBRICA DO TOMATE” com uma zona dedicada à receção e envio de produto com utilidades de área total aproximada de 1820 m<sup>2</sup> no qual irão ser desenvolvidas as atividades relacionadas com a produção e comercialização de monossacáridos obtidos a partir de um processo industrial inovador. O presente trabalho foca a sua análise no complexo apresentado na figura 4.

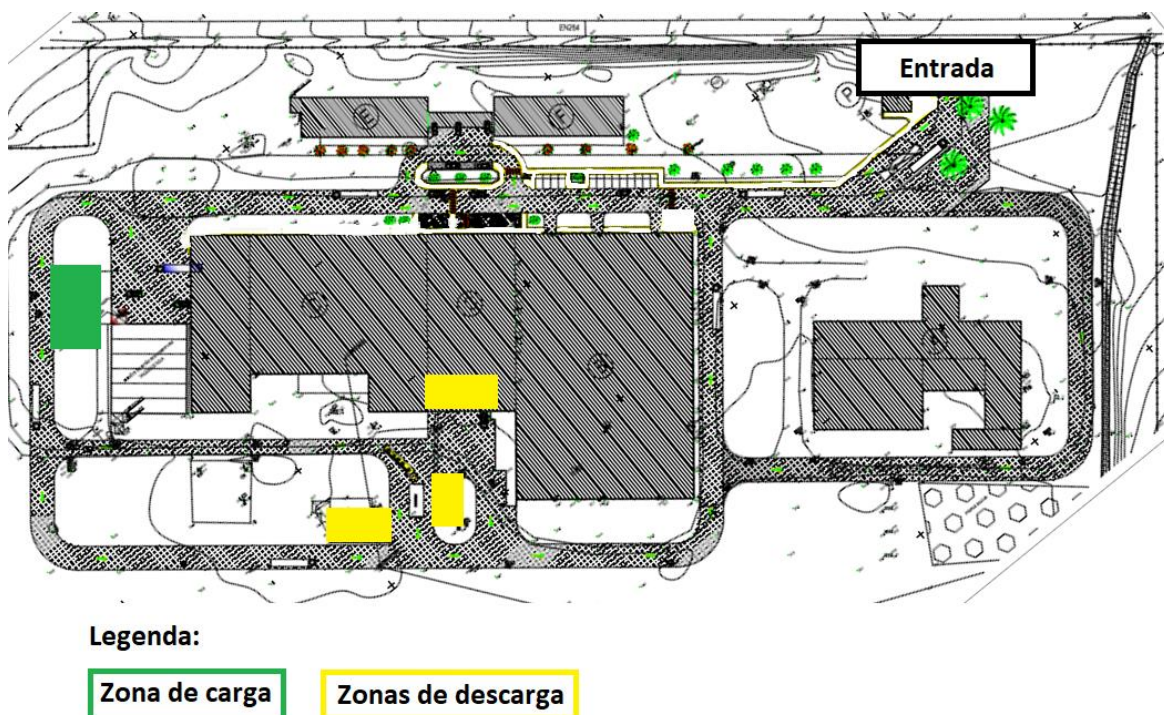


Figura 4 - Layout da unidade industrial e identificação das diferentes zonas

O processo será subdividido em armazenamento de matérias-primas, produção e embalagem e armazenamento de produtos finais como se pode ver no fluxograma presente na figura 5.



Figura 5 - Fluxograma do funcionamento da fábrica

Os produtos a serem fabricados são açúcares raros, cujas aplicações serão principalmente ingredientes para produtos farmacêuticos, alimentares e cosméticos, sendo o principal produto a L-Fucose. Para a produção desses produtos, são necessárias as MP líquidas como a glucose e o Hidróxido de Sódio e de outros reagentes químicos sólidos. Estes serão descarregados e carregados na unidade industrial a partir de fornecedores de Logística subcontratada (3PL).

Na tabela 1 e 2 presente no anexo C é possível identificar todos os produtos que são necessários para a produção e os que são produzidos respetivamente como as suas quantidades previstas por ano em cruzeiro

Em relação ao manuseamento da MP, a indústria Química é reconhecida pela exigência que impõe no controlo de qualidade dos seus produtos, assim como nas condições de higiene e segurança inerentes à sua produção e armazenamento. Para isso, a empresa tem/dispõe de um departamento de gestão da qualidade que procura analisar se os espaços de produção e armazenamento cumprem os requisitos impostos em relação aos seus produtos. Um desses requisitos obriga a manter uma temperatura controlada, de modo a que determinados produtos finais estejam armazenados a uma temperatura entre 15°C e 25°C e, os designados como produtos de frio, estejam a uma temperatura entre 2°C e 8°C.

## 2.2. Capacidade da unidade industrial

No que toca à gestão de recursos humanos, de forma a conseguir-se obter o maior desempenho da unidade industrial, vão ser estudadas as seguintes entidades que compõem todos os processos logísticos:

- Seguranças – Fazem o controlo de guias no posto de segurança (portaria), o registo das quantidades na báscula e o tipo de produto a entregar. Refere a baía de descarga indicada pelo operador;
- Operadores – Dão formação, supervisionam a descarga pela sala de controlo e indicam a zona de descarga;
- Operários – Auxiliam na descarga das MP.

A concepção da Unidade Industrial da empresa permite obter um elevado grau de automação das operações aliada a uma grande flexibilidade das operações. Desse modo, é possível retirar igualmente bom aproveitamento de todas as entidades e conseqüentemente das operações a que estas estão responsáveis. Neste estudo será necessário ter em conta que o complexo tem uma capacidade limitada e, portanto, a quantidade de produto a ser manuseada é limitada. Posto isto, a unidade está concebida para a seguinte capacidade apresentada na tabela 3 (de referir que estes limites servirão de estrangimentos no desenvolvimento do caso de estudo):

Tabela 1 - Capacidade da Unidade Industrial

<b>Capacidade da Unidade Industrial</b>		
Modo de Operação da Fábrica:		Contínuo
Modo de Operação do Processo:	<i>Batch</i> , Semi-contínuo ou Contínuo	
Dias de Laboração por ano:		330
Dias de Laboração por semana:		7
Horas de Laboração por dia:		24
Número de trabalhadores		16 - 20

### 2.3. Atividades e operações em estudo

As operações consideradas relevantes para este estudo estão divididas em três fases, abastecimento, expedição e recolha de resíduos. Em relação à chegada das matérias primas verifica-se o seguinte:

- Chegada das MP líquidas (Glucose, Hidróxido de Sódio) à fábrica por camião-cisterna e as sólidas (reagentes químicos) por camiões.
- Controlo de guias (documentos) no posto de segurança, pesagem na báscula e registo das quantidades e tipo de produto a entregar.
- Deslocação para a sala de controlo e formação para casos de emergência.
- Indicação pelo operador da zona de descarregamento e deslocação do veículo:
  - No caso da MP ser transportada por cisternas:
    - Efetuação da ligação entre a cisterna e o sistema de transferência da baía de carga e iniciação da operação de descarregamento sendo supervisionada no local pelo motorista do veículo e do operador a partir da sala de controlo.
  - No caso da MP ser transportada nas carrinhas:
    - Descarregamento dos reagentes químicos sólidos, que se encontram nas carrinhas, para o armazém de descarga com o auxílio de empilhadoras e operários.
    - Armazenamento em respetivas prateleiras.
- Deslocação para a báscula onde é feita a pesagem final e tratamento da documentação antes da saída.

Na expedição:

- Chegada dos camiões a carregar à fábrica.
- Controlo de guias (documentos) no posto de segurança.
- Deslocação dos veículos para a báscula para pesagem e registo das quantidades a carregar.
- Deslocação para a zona de carga e carregamento do camião com os PF.
- Deslocação para a báscula e pesagem.
- Tratamento da documentação antes da saída.

Na recolha de resíduos:

- Chegada da camionete para a recolha de resíduos.
- Controlo de guias no posto de segurança, pesagem na báscula e registo das quantidades de resíduos a carregar.
- Deslocação para a sala de controlo e formação para casos de emergência.
- Indicação do armazém pelo operador e deslocação do veículo.
- Carregamento dos resíduos na camionete.
- Deslocação para a báscula e pesagem.
- Tratamento da documentação antes da saída.

## 2.4. Questões a estudar na unidade industrial

Estando a fábrica ainda para construir, é necessário previamente implementar o sistema e analisar o controlo de estrangulamento causado pela chegada das MP em veículos próprios, como o dimensionamento de recursos e de stock de segurança, de forma a que não haja rotura de stock ou excesso da capacidade do armazém. Isto implica a que seja necessário a temporização de cada operação dentro da unidade industrial, o respeito das políticas de circulação no armazém e que o fluxo da matéria seja sempre contínuo, ou seja, toda a matéria que é recebida e transformada, é depois então expedida a um rácio constante. É necessário também obter uma produção contínua de produto final (L-Fucose entre outros).

### 3. Revisão da literatura

#### 3.1. Introdução

De modo a se compreender os vários conceitos que estão envolvidos neste caso de estudo, serão referidos e clarificados, neste capítulo, os temas que explicam a abordagem feita ao estudo sendo estes a logística ou gestão de logística, gestão de armazéns e a simulação.

#### 3.2. Gestão Logística

O pensamento logístico, apesar de não se saber onde realmente começou, é possível encontrar já documentados, em meados de 1900, indícios de logística no tema da economia agrícola como revisto no documento *Kent and Flint* (1997). No entanto, foi na Segunda Guerra Mundial quando se deu uma evolução em várias funções como transporte de produtos, inventário, armazenamento e em distribuição espacial devido à necessidade de os países ganharem vantagens uns em relação aos outros. Mais tarde, a logística começou a ser ensinada como uma área (1960) concentrando-se no desempenho total do sistema, em vez do desempenho individual como anteriormente. Em 1970, com o crescer da importância dos clientes, a logística começou a focar-se mais nestes começando o cliente a ser o principal foco das empresas e, só mais tarde, quando conceitos como GCA, logística ambiental e logística reversa começaram a aparecer, a logística foi considerada um componente crítico na estratégia das empresas (S. Globerson 2014).

Apesar das suas origens militares, a logística atualmente, encontra-se presente em todas as cadeias de abastecimento sendo definido até pelo *Council of Logistics Management* (CLM) como “Logística ou Gestão Logística como a parte da Cadeia de Abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso e as operações de armazenagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir ao encontro dos requisitos/necessidades dos clientes».

Já Michael Porter em 1985, com o artigo *The Value Chain – A Cadeia de Valor* (Porter, 1985), a Logística aparece tendo como atividades primárias a gestão do abastecimento (*inbound logistics*) e como sendo a gestão da distribuição ao cliente (*outbound logistics*) como visto na figura 6.

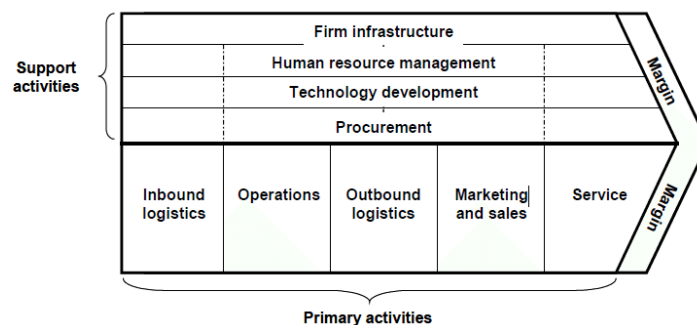


Figura 6 - The Value Chain – A Cadeia de Valor (Porter, 1985)

Em relação ao termo Cadeia de Abastecimento (CA), Stuart Emmett em 2005 refere-a como o processo que integra, coordena e controla o movimento de bens e materiais desde o fornecedor ao cliente até ao último consumidor (Figura 7). O ponto essencial com a cadeia de abastecimento é que conecta todas as atividades entre fornecedores e clientes para o consumidor de uma forma temporal.

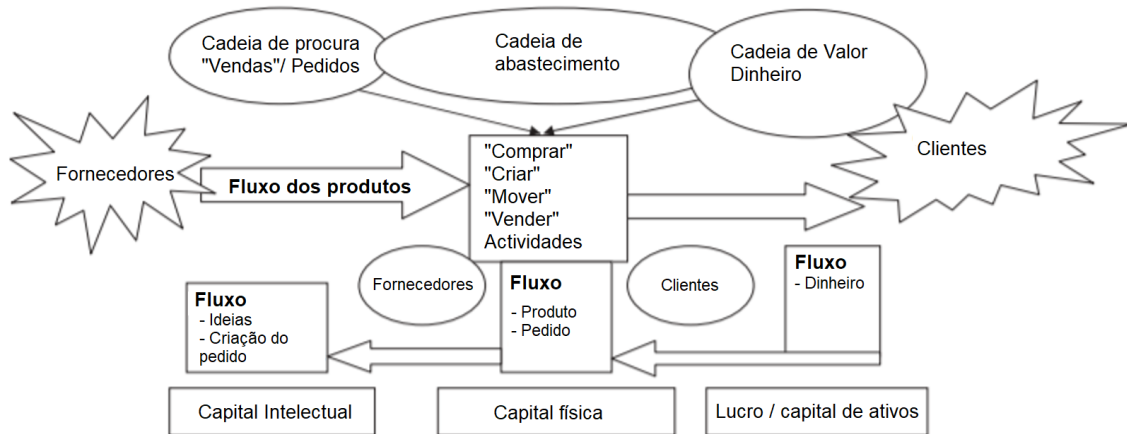


Figura 7 - A Cadeia de Abastecimento (adaptado de Stuart Emmett (2005))

No entanto, como existe ambiguidade quanto às diferenças entre GL e GCA, e como GL é uma parte importante do GCA, Shlomo Globerson escreveu um artigo em que coletou informações sobre ambos de forma a explicar o que as distingue. Segundo (Globerson, 2014), apesar das semelhanças entre GL e GCA estarem aos olhos de toda a gente, existem realmente diferenças entre elas. A existência dessas diferenças aponta à necessidade de explicitar todos os conceitos, termos e atividades tanto de GL como de GCA. Há também alguma evidência de que os conteúdos da GL se centram mais no nível micro de logística, como "armazenamento e armazém", enquanto os conteúdos programáticos de GCA concentrarem-se mais no nível macro, como "fluxo logístico" e "gerenciar a organização logística" (figura 8).

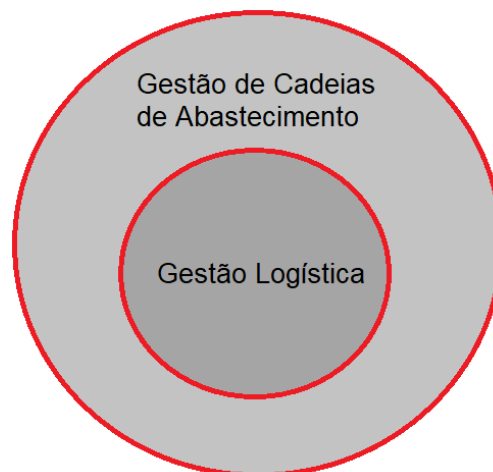


Figura 8 - Gestão de Cadeias de Abastecimento (Macro) e Gestão Logística (Micro)

### 3.3. Gestão de armazéns

A gestão de armazéns está ativamente ligada à GCA. Nas cadeias de abastecimento que funcionam de acordo com a procura (*demand driven*), os armazéns funcionam somente para o armazenamento de mercadorias ou, eventualmente, com o funcionamento de mais atividades, mas ambos com o propósito de fornecer clientes externos. Nas CA dominadas pelo fornecimento, os armazéns são renomeados como lojas e têm o objetivo de manter os stocks necessários para alimentar atividades internas como a produção. Armazéns são, portanto, uma parte integrante da infraestrutura das CA (Richards 2011). Gerir *trade-offs* no armazém é fundamental para o gestor. Os principais *trade-offs* são mostrados na Figura 9.



Figura 9 - *Trade-offs* na gestão de armazéns (adaptado de Richards (2011))

Os gestores de armazém também devem reconhecer e equilibrar outras compensações dentro do armazém, exemplos dos quais são os seguintes segundo Richards (2011):

- aumento da produtividade versus redução dos custos de mão de obra;
- densidade de armazenamento versus extração mais rápida de paletes;
- processos manuais versus automatizados;
- aumento das taxas de escolha versus precisão;
- custos de manutenção de stock versus custo de falta de stock.

De forma a melhor entender como funcionam os processos que fazem parte da produtividade, a Figura 10 apresenta um modelo que demonstra as bases da produtividade e as ligações entre elas. Entradas de recursos como mão de obra, matérias primas, maquinário, dinheiro e o tempo é usado num processo que reúne vários métodos. Como resultado desse processo, a saída resulta na forma de um produto ou serviço.

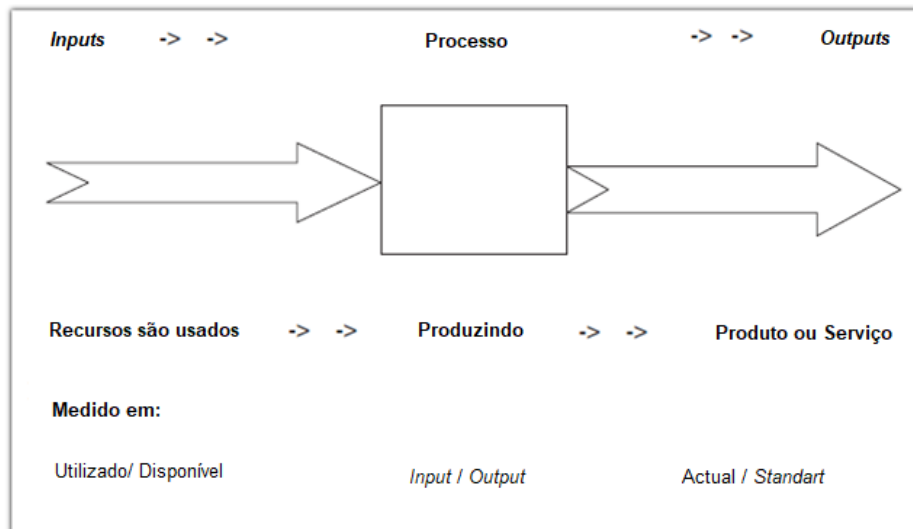


Figura 10 - Um modelo de produtividade (Adaptado de Emmett (2005))

O tempo é um recurso não-acumulável que, uma vez perdido, não pode ser recuperado diretamente (Emmett 2005). Dessa forma, as melhorias nos processos e o aumento da produtividade vêm da melhor utilização do tempo. Nas operações de armazém, é crítico que todos os tempos necessários para realizar as atividades sejam medidos. A maneira como os diferentes tipos de trabalho são realizados tem um impacto direto no tempo utilizado.

### 3.3.1. Atividades Relacionadas com a Expedição

Estas atividades são um reflexo da área de recebimento de mercadorias. Para que isso seja feito, de acordo com Emmett (2005) é necessário fazer o seguinte :

- Certificar de que há espaço disponível para qualquer embalagem de acordo com o tipo de carregamento.
- Analisar se as mercadorias têm áreas de carregamento.
- Verificar a documentação do pedido e registrar cada item na guia de remessa.
- Verificar as mercadorias quanto ao estado e efetuar um controlo de qualidade.
- Relatar discrepâncias e condição / qualidade inferior.
- Estabelecer a área de carregamento correta; certifique-se de que é seguro e adequado para a operação.
- Certificar de que o veículo está seguro antes de carregá-lo.
- Carregar o veículo.
- Posicionar o selo de segurança com o condutor presente.
- Obter a assinatura do motorista.
- Registrar a partida do veículo e anotar o número correspondente ao selo.



### 3.3.2. Organização do Fluxo

Após a observação de cada atividade no armazém, é possível considerar de forma útil como garantir que a operação ocorra de uma forma eficiente e eficaz conjuntamente com outras atividades. Dessa forma, segundo Emmett (2005), é necessário garantir estes princípios importantes para o fluxo:

- Verifique os dados do grupo de manuseio de produto correto e os princípios de velocidade de transferência.
- Verifique os níveis de retenção de stock.
- Minimizar as distâncias de viagem para economizar tempo e recursos.
- Verifique a compensação entre trabalho manual e manuseio mecânico.
- Avalie o impacto dos requisitos operacionais e da papelada / sistemas automatizados de informações em tempo real.
- Verifique a compensação necessária entre a velocidade de acesso e a utilização do espaço disponível, avaliando os requisitos de mão de obra e equipamento, os custos e os principais indicadores de desempenho (KPI's).
- Ao planejar e simular um 'novo' layout de armazém, permitir o controle de stock / segurança adequado e em conformidade com os regulamentos.

### 3.3.3 Gestão de Inventário

A gestão de Inventário pretende fazer a gestão do fluxo de produtos numa cadeia de abastecimentos de forma a atingir o nível de serviço necessário a um custo aceitável. “Movimento” e “Fluxo de Produto” são conceitos-chave na gestão de inventário (e também em toda a cadeia de abastecimento), devido ao custo adicionado de ter inventário parado. Posto isto, Stuart Emmett dá as seguintes razões para manter inventário em armazém:

- Para dissociar a oferta da procura. Como os armazéns encontram-se entre a oferta e a procura, pode-se encontrar vários tipos de inventário:
  - matérias-primas para a produção
  - artigos semi-acabados
  - artigos finais
- Como segurança / proteção:
  - para proteger contra a incerteza do fornecedor
  - para cumprir um pedido não previsto
  - fornecida fisicamente, pelo armazém.
- Em antecipação à procura:
  - aumento promocional ou sazonal
  - descontos no preço quanto ao fornecimento a granel.

- Para prestar serviço aos clientes (internos e externos):
  - ciclos de *stock* de produtos acabados
  - disponibilidade do *stock* de segurança para procura não prevista (figura 11)

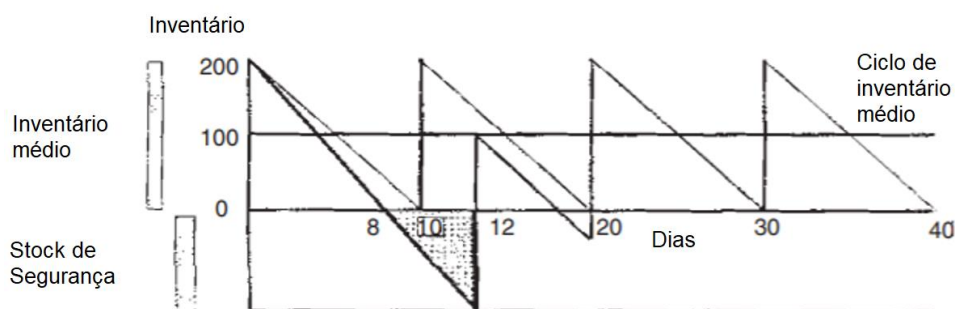


Figura 11 - Exemplo da existência de stock de segurança (Adaptado de Emmett 2005)

É preciso também ter em conta a variação da procura e o *bullwip effect* (refere-se a oscilações crescentes no inventário, em resposta às variações na procura do consumidor, à medida que se sobe na cadeia de abastecimento. A flutuação de preços e a falta de produção das matérias primas na área farmacêutica intensifica este fenómeno (Simchi-Levi and Kaminsky, 2004).

### 3.3.4 Armazenamento de Produtos Químicos

Embora os produtos químicos contribuam muito para a nossa sociedade, eles também representam sérias ameaças à saúde humana e ao meio ambiente quando manuseados de maneira inadequada. Apesar de às vezes as empresas pareçam estar a reduzir a sua quantidade de stock, o armazenamento de bens (sejam produtos acabados, semi-acabados ou matérias-primas) continua a ser uma etapa importante na cadeia de abastecimentos. O stock de produtos químicos aparece normalmente como de pipeline ou de armazém. O stock referente aos pipelines inclui produtos em contentores marítimos, como transporte de tanques de gás, transporte de tanques químicos e transporte de óleos minerais, enquanto os transportes rodoviários incluem produtos químicos a granel líquidos ou mesmo mercadorias embaladas com produtos químicos. Na GCA é possível encontrar armazéns para armazenar os produtos químicos enquanto não estão em trânsito para outro destino ou antes do processamento. Como muitos produtos químicos são perigosos para o meio ambiente ou para as pessoas, os efeitos de um depósito de produtos químicos mal administrado podem estender-se muito para além dos limites do próprio armazém, como se tem verificado em vários desastres ao longo dos anos.

A gestão adequada e sustentável, correspondente ao armazenamento dos produtos químicos, deve incluir medidas para eliminar ou reduzir os riscos de manuseamento. Isso pode ser feito a partir de um bom layout das instalações e de um bom manuseamento dos equipamentos.

### 3.4. Simulação

A simulação é definida como o processo de criação de um modelo computacional conceptual que representa adequadamente o comportamento de um sistema existente ou proposto, a fim de identificar e compreender os fatores que controlam o sistema (Wang 2008). Tem como objetivo melhorar ou otimizar o desempenho do sistema, de acordo com um conjunto de critérios pré-determinados, ao examinar o seu funcionamento e ao analisar a sua sensibilidade no que toca a uma série de fatores que influenciam o sistema. Também fornece uma abordagem "segura", pois oferece a oportunidade de se poder repetir os mesmos processos várias vezes, levando em consideração todos os diferentes aspetos e ambiente da sua operação (Tsekeris 2011).

Como a simulação pode ser utilizada num vasto leque de situações, no livro de Banks (2014) é possível encontrar várias áreas onde esta pode ser uma mais valia. Outros autores como Wu (2002), Ericson (2009) e Sarjughian (2005) também realizaram estudos onde demonstram a simulação como uma ferramenta na cadeia de abastecimento de produtores, de construção e de semicondutores respetivamente.

#### 3.4.1. Situações apropriadas para simulação

Os modelos de simulação, também podem ser usados para examinar problemas de design de armazéns ou de operações contínuas, para melhorar a eficiência e os níveis de produtividade. Na verdade, uma aplicação popular desta ferramenta é estudar a capacidade da operação do armazém para lidar com um volume previsto de mercadorias recebidas ou pedidos dentro de um período de tempo específico. Normalmente a execução dos modelos, leva a mudanças na operação que culminam na eliminação de *bottlenecks* que restringem a capacidade do sistema de atender os níveis de carga de trabalho previstos. Da mesma forma, a simulação pode ajudar os analistas a determinar o número de operários, expedidores ou destinatários que lidam com o fluxo diário de entrada e saída de mercadorias do centro de distribuição ou do armazém. A variação do tempo dos pedidos de entrada e saída pode também significativamente afetar o perfil de pessoal necessário de forma a lidar com a carga de trabalho em tempo útil e de uma maneira económica. As características físicas do armazém também podem entrar em jogo, como o número de docas de envio e recebimento, o número de empilhadoras disponíveis e o espaço disponível para construir pedidos ou inspecionar mercadorias recebidas (Kieran 2007).

A disponibilidade do software de simulação, as capacidades de computação a um custo por operação decrescente e os avanços nas metodologias de simulação fizeram da simulação uma das ferramentas mais usadas e aceites na pesquisa de operações e na análise de sistemas. As circunstâncias sob as quais a simulação é a ferramenta apropriada para o *Network Simulations Engineer* (NSE) foram discutidas por muitos autores (Naylor et al., 1966; Shannon, 1998).

A simulação pode ser usada para os seguintes propósitos:

1. A simulação permite o estudo de interações internas de um sistema complexo ou de um subsistema dentro de um sistema complexo.
2. Alterações de informação, organização e ambientais podem ser simuladas, e o efeito dessas alterações no comportamento do modelo pode ser observado.
3. O conhecimento adquirido durante o projeto de um modelo de simulação pode ser de grande valia para sugerir melhorias no sistema sob investigação.
4. Analisar de que forma as variáveis sofrem alterações ao longo da simulação ao dar diferentes valores aos dados de entrada (*inputs*).
5. A simulação pode ser usada como um dispositivo pedagógico para reforçar as metodologias de solução analítica.
6. A simulação pode ser usada para experimentar novos projetos ou políticas antes da implementação, a fim de se preparar para o que pode acontecer.
7. A simulação pode ser utilizada para verificar soluções analíticas.
8. Simular diferentes recursos para uma "máquina" pode ajudar a determinar os requisitos dela.
9. A animação de um sistema em operação pode ser simulada para que o plano possa ser visualizado.
10. O sistema de modem (fábrica, organização de serviços etc.) é tão complexo que as suas interações internas só podem ser tratadas por simulação.

#### 3.4.2. Vantagens e Desvantagens da simulação

A simulação é uma solução muito interessante para um cliente porque "imita" o que acontece num sistema real. Os *outputs* de uma simulação devem corresponder diretamente ao produto do sistema real. Além disso, é possível desenvolver um modelo de simulação de um sistema sem premissas duvidosas (como a mesma distribuição estatística para cada variável aleatória) de modelos matematicamente solucionáveis. Por estes e outros motivos, a simulação é frequentemente a ferramenta utilizada para ajudar na resolução de problemas. Ao contrário dos modelos de otimização, os modelos de simulação são "executados" em vez de resolvidos.

Dado um particular conjunto de *inputs* e de características do modelo, este é executado e o comportamento correspondente à entrada desse conjunto é observado. Este processo de alterar *inputs* e características do modelo resulta num conjunto de cenários que são avaliados. Posteriormente, seja na análise de um sistema existente ou para um novo sistema, é recomendada uma boa solução pelo simulador para possível implementação.

De seguida, estão listadas algumas vantagens e desvantagens da simulação por Pegden, Shannon e Sadowski (1995).

#### Algumas vantagens:

1. Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, e assim por diante podem ser explorados sem interromper as operações no sistema real.
2. Novos designs de hardware, layouts físicos, sistemas de transporte e outros podem ser testados sem comprometer recursos.
3. Hipóteses sobre a razão de fenómenos ocorrerem podem ser testados quanto à viabilidade.
4. O tempo pode ser compactado ou expandido para permitir uma aceleração ou desaceleração dos fenómenos sob investigação.
8. Pode-se obter informações sobre a interação de variáveis.
9. É possível obter informações sobre a importância das variáveis para o desempenho do sistema.
10. A análise de *Bottlenecks* pode ser feita de modo a descobrir as razões do atraso de processos, informações, materiais entre outros.
11. Um estudo de simulação pode ajudar a entender como é que se opera um sistema e não como indivíduos acham que o sistema funciona.
12. Perguntas como *what if* podem ser respondidas. Isto é particularmente útil no design de novos sistemas.

#### Algumas desvantagens:

1. A construção de modelos requer treino especial, é uma arte que é aprendida ao longo do tempo e através da experiência. Além disso, modelos construídos por indivíduos diferentes podem ser semelhantes, mas é altamente improvável que sejam iguais.
2. Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar. A maioria dos outputs de simulação são essencialmente variáveis aleatórias (geralmente são baseadas em entradas aleatórias); portanto, pode ser difícil distinguir se uma observação é resultado de inter-relações do sistema ou simplesmente ser de origem aleatória.
3. A criação de um modelo e análise de simulação podem ser demoradas e caras. Ao economizar em recursos para o modelo ou análise pode resultar num modelo de simulação ou análise defeituoso ou insuficiente para a tarefa.
4. A simulação é usada em alguns casos em que uma solução analítica é possível, ou mesmo preferível. Isso pode ser particularmente importante na simulação de algumas filas de espera.

### 3.4.3. Simulação de sistemas de eventos discretos

Segundo Banks (2014), a simulação de sistemas de eventos discretos é feita quando é criado um modelo de um sistema em que as variáveis de estado mudam apenas num conjunto discreto de pontos no tempo. Os modelos de simulação são analisados com métodos numéricos e não por métodos analíticos. Métodos analíticos empregam o raciocínio dedutivo da matemática para "resolver" o modelo. Por exemplo, o cálculo diferencial pode ser usado para calcular o custo mínimo para alguns modelos.

Os métodos numéricos empregam métodos computacionais para "resolver" modelos matemáticos. No caso de modelos de simulação, que empregam métodos numéricos, os modelos são "executados" em vez de resolvidos, ou seja, é gerado um histórico artificial do sistema a partir das suposições do modelo e as observações são recolhidas para serem analisadas de forma a estimar o verdadeiro desempenho do sistema.

A simulação de sistemas de eventos discretos tem sido tradicionalmente usados no setor de fabrico, embora recentemente é cada vez mais utilizado no setor de serviços (Robinson, 2005). Segundo Tako (2010) alguns aplicativos principais incluem aeroportos, *call centers*, restaurantes de *fast food*, bancos, saúde e processos de negócios.

### 3.4.4. Classificação dos Modelos de Simulação

Os modelos podem ser classificados como matemáticos ou físicos. Um modelo matemático usa notação simbólica e equações matemáticas para representar um sistema. Um modelo de simulação é um tipo particular de modelo matemático de um sistema. Os modelos de simulação podem ainda ser classificados como estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos e discretos ou contínuos (Law 2007; Porta Nova 2008; Kelton et al. 2010; Harrell et al. 2012).

#### **Modelos Estáticos ou Dinâmicos**

Um modelo de simulação estática, às vezes chamado simulação de Monte Carlo, representa um sistema em um determinado momento no tempo. Modelos de simulação dinâmica representam sistemas à medida que mudam com o tempo. A simulação de uma dum horário das 9:00 às 17:00 é um exemplo de simulação dinâmica.

#### **Modelos Determinísticos ou Estocásticos**

Modelos de simulação que não contêm variáveis aleatórias são classificados como determinísticos. Os modelos determinísticos têm um conjunto conhecido de *inputs*, o que resultará em um conjunto exclusivo de *outputs*, como por exemplo vários pacientes com horas diferentes marcadas para um médico. Um modelo de simulação estocástica possui uma ou mais variáveis aleatórias como entradas. *Inputs* aleatórios levam a *Outputs* aleatórios. Dito isto, estes podem ser considerados apenas como estimativas das verdadeiras características de um

modelo. A simulação de um banco normalmente envolveria tempos aleatórios entre chegadas e tempos aleatórios de serviço. Assim, em uma simulação estocástica, a saída mede - o número médio de pessoas que esperam, o tempo médio de espera de um cliente - deve ser tratado como estimativa estatística das verdadeiras características do sistema.

### Modelos Discretos ou Contínuos

Os modelos discretos e contínuos são definidos de maneira análoga. No entanto, um modelo de simulação discreto nem sempre é usado para modelar um sistema discreto, como um modelo de simulação contínua também não é sempre usado para modelar um sistema contínuo. Existem casos em que apesar de certos modelos serem tratados como discretos, estes são na realidade contínuos. Além disso, os modelos de simulação podem ser misturados, discretos e contínuos. A escolha de usar um modelo de simulação discreto ou contínuo (ou discreto e contínuo) é uma função das características do sistema e do objetivo do estudo. Assim, um canal de comunicação poderia ser modelado discretamente se as características e o movimento de cada mensagem fossem considerados importantes. Por outro lado, se este fosse tratado em todo como um conjunto de mensagens importantes era mais adequado modelar o sistema por meio de simulação contínua. De forma a clarificar os dois modelos serão apresentados dois exemplos (Figura 11 e Figura 12).

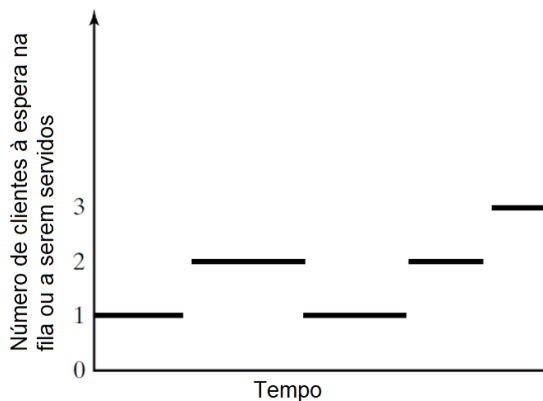


Figura 12 - Exemplo de um sistema discreto em função do tempo (adaptado de Banks 2014)

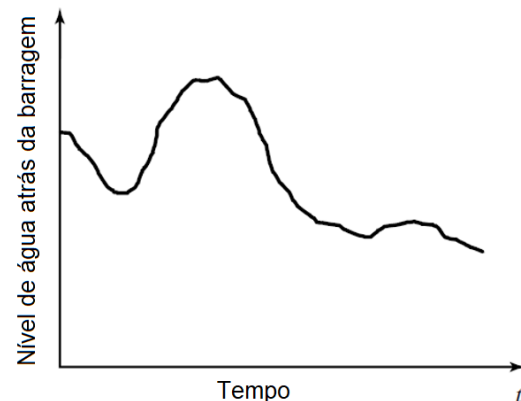


Figura 13 - Exemplo de um sistema contínuo em função do tempo (adaptado de Banks 2014)

### 3.4.5. Etapas do estudo de simulação

A Figura 14 mostra um conjunto de etapas para servir de orientação quando se constrói um modelo de simulação. De seguida serão listadas as etapas e um fluxograma como também uma breve de definição para cada etapa segundo Nova, 2008:

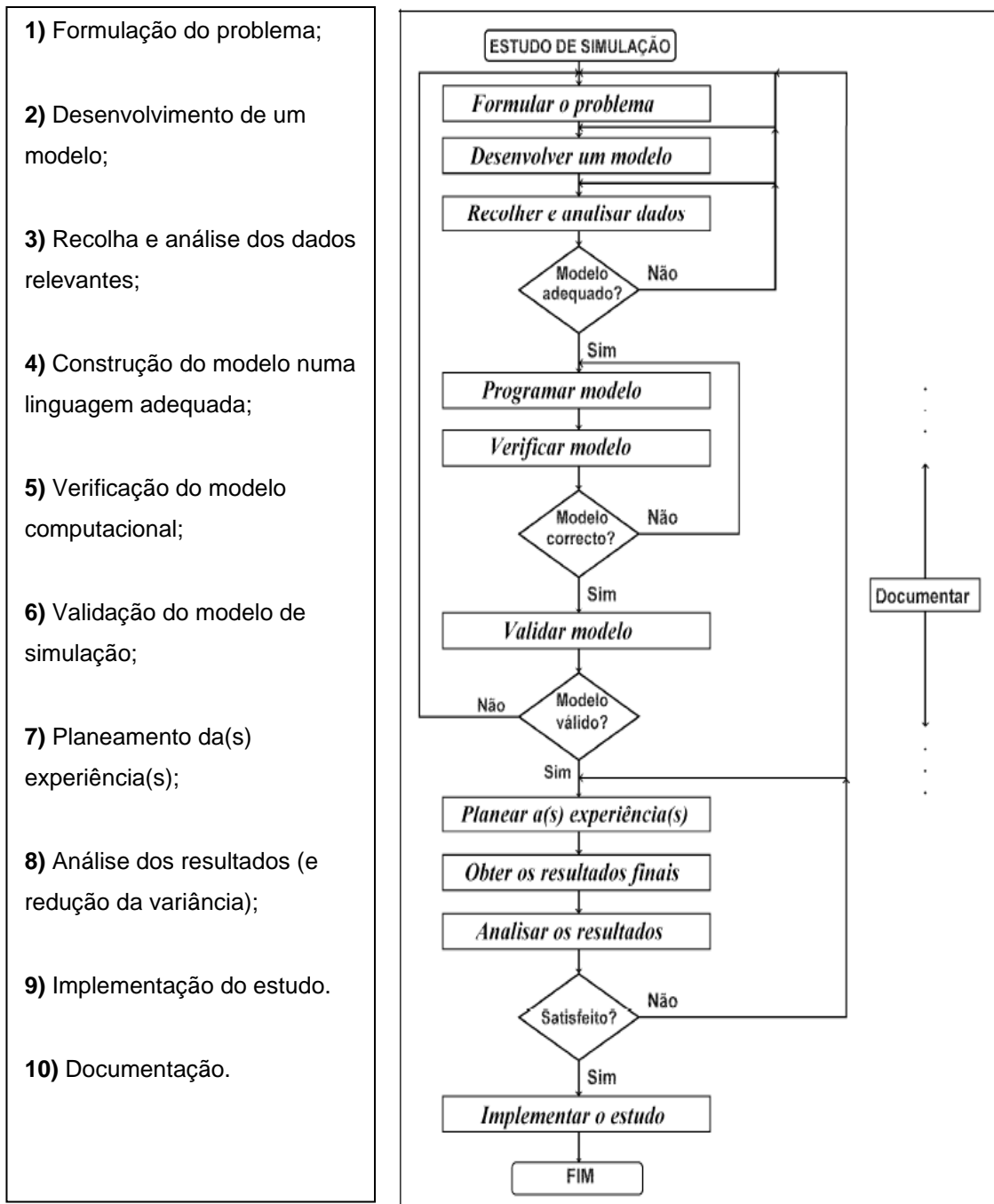


Figura 14 - Guia para um modelo de simulação (Nova 2008)



### **1) Formulação do Problema.**

Todos os estudos devem começar com uma definição clara do problema. O analista deve garantir que entendeu o problema e explicar o que pretende fazer com este. É necessário definir os objetivos a atingir como também as alternativas a considerar e os critérios que as diferenciam. Dito isto, a formulação deve ser feita de uma forma cautelosa e sucinta com a identificação de todas as variáveis e parâmetros que englobam o problema.

### **2) Desenvolvimento de um Modelo.**

Para desenvolver um modelo de simulação, é necessário o analista ter bons conhecimentos sobre simulação. Dito isto, segundo vários autores de renome, a experiência, a sensibilidade, as capacidades de observação e de abstração são componentes essenciais para o desenvolvimento de um modelo, de modo a que o analista se possa aproximar de uma forma mais realista e simples de um sistema real. Dessa forma, é possível identificar as componentes relevantes para o modelo a construir e a sua consequente escolha para o tipo de modelação. Só então é possível definir um modelo conceptual do sistema.

### **3) Recolha e Análise dos Dados Relevantes**

Nesta fase, efetua-se a recolha dos dados e parâmetros do modelo, as distribuições probabilísticas que mais se identificam com as variáveis aleatórias do modelo e por fim a sua validação de forma a adaptá-lo o mais possível à realidade. Durante o processo de recolha de dados, é necessário também fazer uma análise crítica e estatística dos dados de forma a encontrar formas de melhorar o modelo e encontrar possíveis dependências entre variáveis, ou até ajustar distribuições probabilísticas.

### **4) Construção do Modelo numa Linguagem Adequada.**

A linguagem mais adequada para a construção de um modelo, deve ser a linguagem que simplifique a construção do modelo para o analista. Dito isto de outra forma, uma linguagem mais específica para o problema em si e para a conceção do modelo libertaria o analista de ter que executar tarefas que o podem atrapalhar e fazer perder o seu tempo desnecessariamente.

### **5) Verificação do Modelo Computacional.**

A linguagem escolhida na fase anterior deverá ajudar o analista na verificação do modelo. Certas linguagens ajudam ou permitem instantaneamente a identificação dos erros do modelo computacional, ou ajudam a verificação pela leitura da evolução das entidades ao longo da simulação.

### **6) Validação do Modelo de Simulação.**

Esta é a fase que em que o analista verifica se o modelo realmente está de acordo com (ou próximo) da realidade. O modelo deve ter valores próximos da informação do sistema real e estes devem ser credíveis. No caso de o analista se deparar com valores que não correspondem ao previsto, este deve voltar atrás e corrigir o possível erro que desvie o modelo de valores significativos.

### **7) Planeamento da(s) Experiência(s).**

No planeamento da experiência, procede-se à recolha dos dados que realmente têm importância para o estudo em questão. Posteriormente é decidido que alternativas poderão vir a ser simuladas, bem como decidir os parâmetros a estudar para cada configuração do sistema. É ainda aconselhável que se façam vários testes ao modelo, mudando o tempo total da simulação bem como as quantidades dos parâmetros. De referir o interesse em atribuir um *warmup period* ao modelo de forma a este entrar em equilíbrio.

### **8) Análise dos resultados da simulação:**

De forma a determinar as medidas médias de desempenho, são usadas técnicas de estatística tal como na recolha de dados. Uma das formas mais credíveis na simulação de o fazer é o das replicas independentes, que se traduz na repetição indeterminada do modelo até que as suas medidas de desempenho tenham cada vez menos variações.

### **9) Implementação do estudo:**

De forma a concluir o estudo, implementam-se os resultados obtidos respeitando todas as etapas anteriores.

Nota: É necessária a documentação do estudo de forma a compreender todos os elementos que o compõem. Esta documentação servirá também de auxílio ao analista durante todo o estudo.

### 3.5. Software

A simulação dinâmica é uma ferramenta valiosa para testar as estratégias propostas num ambiente imprevisível, como as várias partes integrantes de uma cadeia de abastecimentos (Dong 2001). Esta possui duas características: representa um evento discreto e utiliza um método estocástico incorporando, portanto, incertezas. A capacidade de identificar e controlar os vários processos presentes nas empresas e organizações tornou-se crucial, especialmente na logística. Consequentemente, de forma a abordar estes processos, foi necessária a implementação de ferramentas adequadas como simulação computadorizada. Na tabela 4, são dados como exemplo vários softwares de simulação utilizados atualmente nas empresas:

Tabela 2 - Softwares de simulação (adaptado de J. J. Swain 2011)

Software	Fornecedor	Aplicações típicas do software	Principais mercados para os quais o software é aplicado
Arena	<a href="#">Rockwell Automation</a>	Projeto/configuração de instalações, programação, processos eficazes de passageiros e bagagem, gestão de pacientes, estratégia de roteamento / despacho.	Portos, saúde, logística, cadeia de abastecimento, produção, militar, processo de negócios.
AutoMod	<a href="#">Brooks Software</a>	Ferramenta de apoio à decisão para a análise estatística e gráfica de aplicações de manuseio de material, manufatura e logística de materiais usando gráficos 3D em escala real. Modelos para transportadores, movimentadores, pontes rolantes, AS / RS, correias transportadoras e cinemática.	Armazenamento e distribuição, automotivo, semicondutor, produção, transporte, logística, portos / bagagem / carga / segurança, manuseio de correio e pacotes, aço e alumínio, teste de controles e emulação.
Extend Sim	<a href="#">Imagine That, Inc.</a>	Modelar processos contínuos, eventos discretos ou taxas discretas; Modelagem 3D e ajuste de distribuição analítica.	Sistemas baseados em taxas e de grande escala, produção, logística, linhas de embalagem, transporte.
Flexsim	<a href="#">Flexsim Software Products, Inc</a>	Fabrico, logística, manuseio de materiais, transporte de contentores, armazenamento, distribuição, mineração, cadeias de abastecimento.	Fabrico, logística, manuseio de materiais, transporte de contentores, armazenamento, distribuição, mineração, cadeias de abastecimento.
LeanModeler	<a href="#">Visual8</a>	Mapeamento do fluxo de valor; Análise de nível de <i>stock</i> , prazo de entrega, capacidade, <i>bottlenecks</i> .	Fabrico, cadeias de abastecimento, logística, consultoria de produção otimizada, treino em SIX Sigma.
ProModel Optimization Suite	<a href="#">ProModel Corporation</a>	Optimização, SIX Sigma, planeamento de capacidade, análise de custos, modelização de processos, redução do tempo de ciclo, otimização de rendimento.	Fabrico e logística, farmacêutica, defesa.
ShowFlow 2	<a href="#">Webb Systems Limited</a>	Melhoria de processos; Viabilidade de investimento; <i>what if</i> ; redução de tempo de ciclo, do material em processo e do tempo de espera; Melhoria de layout.	Fabrico, logística, lojas, distribuição, serviços financeiros, ensino.
SIMUL8 Professional	<a href="#">SIMUL8 Corporation</a>	Gestão de fluxo de trabalho, análise de rendimento, eliminação de <i>bottlenecks</i> , desenvolvimento de novos produtos/processos, análise de capacidade, melhoria contínua.	Processo de negócios, call centers, produção, cadeias de abastecimento, logística, saúde, financeiro, farmacêutico.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas do software	Principais mercados para os quais o software é aplicado
SLIM	<a href="#">MJC" Ln-nited</a>	Modelização e otimização de rede logística estratégica.	Operações logísticas (lojas, petróleo, frete, comboios, alimentos, construção, governo, manufatura)
Supply Chain Builder	<a href="#">Simulation Dynamics, Inc.</a>	Abordar problemas de <i>stock</i> e transporte ou recursos; descrição de <i>stock</i> de bibliotecas, itens, recursos, operações e ações.	Produção, organizações de serviços, gestão de transportes e outras empresas que procuram ferramentas de gestão de processos on-line contínuas

Este caso de estudo a ser simulado, é numa empresa farmacêutica que tem como objetivo temporizar as operações no complexo e identificar os estrangulamentos causados pela chegada das MP em veículos próprios, o armazenamento da matéria prima e produtos finais (gestão de *stocks*), o dimensionamento dos recursos e o número de trabalhadores necessários e máquinas para a melhoria contínua do processo de fabrico. Após análise das diferentes soluções listadas na tabela anterior, e a experiência do autor em relação a o mesmo, conclui-se que o Software Simul8 engloba todos estas aplicações/requisitos o que o torna um perfeito candidato para a execução deste problema.

O software SIMUL8 foi criado em meados de 90 na Universidade de Strathclyde, Escócia, com o objetivo de auxiliar os estudantes a fazer simulação discreta baseada em eventos. No entanto, com o sucesso enorme que teve e como o software ganhou o interesse de muitos analistas, este passou a ser comercializado posteriormente. A possibilidade de criar um modelo visual do estudo, assim como os objetos de simulação permite ao analista utilizar e entender o software de uma forma simples ou menos complicada.

Como é possível ver na figura abaixo, o SIMUL8 comporta-se como uma rede baseada em fluxos. Este permite que o analista crie um modelo que leva em conta as restrições da vida real, capacidades, percentagem de erro, turnos e outros fatores que afetam o desempenho total e a eficiência da produção. Através do modelo, é possível testar cenários reais num ambiente virtual, por exemplo, simular funções e cargas, alterar parâmetros que afetam o desempenho do sistema, realizar testes com *inputs* excessivos, verificar soluções propostas e selecionar a solução ideal entre outros. Uma característica comum dos problemas resolvidos no SIMUL8 é que todos têm em conta o custo, capacidade e tempo.

O SIMUL8 usa simulação dinâmica e discreta, o que possibilita o fornecimento de resultados concretos e inequívocos. Por outras palavras, este fornece informação sobre como o sistema de produção otimizado realmente funcionará. Os *outputs* da simulação são, portanto, "dados concretos", valores e estatísticas de parâmetros de desempenho e métricas do sistema de produção.

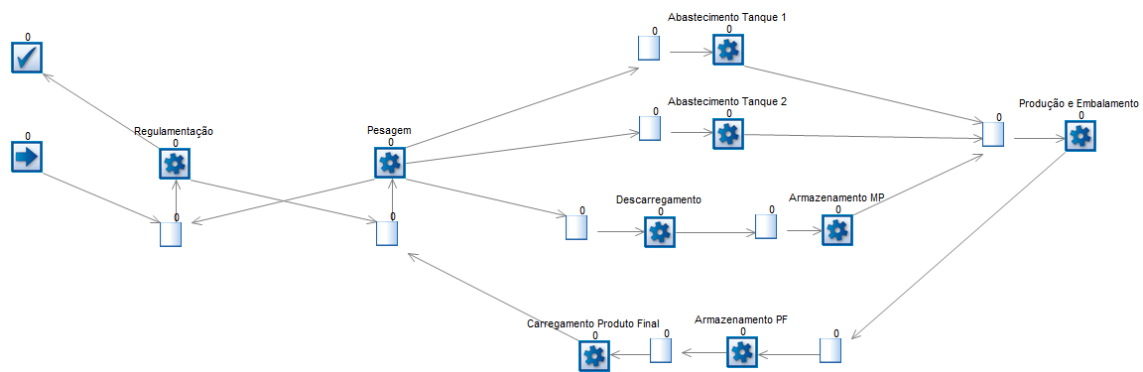


Figura 15 - Exemplo visual SIMUL8

### 3.6. Conclusões do capítulo

De forma a que se possa compreender melhor os conceitos e ferramentas que serão usados ao longo deste estudo, foram abordados os pontos relevantes para o estudo relativamente à gestão logística, gestão de armazéns e à simulação, e software de simulação. Esta análise, torna o leitor mais próximo dos assuntos que serão tratados ao longo do documento.

Com esta revisão é possível entender a importância que os conceitos de GL e GCA apresentam para a empresa e o impacto que estas vão ter na análise das operações na unidade fabril. Sabe-se agora que isto serve para maximizar, da produção ao consumo e enfrentando custos, a eficiência e a eficácia do fluxo e da gestão das MP, produtos acabados e informações.

Como vai ser necessário também para este trabalho analisar todas as operações que envolvem o transporte e recolha das MP, foram referidos vários casos que suportam o uso de simulação discreta baseada em eventos para esta questão e, por fim, foi feita também uma descrição como as várias características do software SIMUL8 justificaram a sua escolha para desenvolver o modelo de simulação na dissertação de mestrado, por este poder trabalhar com casos que envolvam incertezas e eventos discretos estocásticos, como se pretende neste caso.



## 4. Análise do caso em estudo

Como mencionado em capítulos anteriores, o objetivo deste estudo é estudar as operações logísticas que têm espaço na unidade industrial de forma a obter uma melhor gestão de inventário e de recursos. Para isso, será necessário estudar e conseqüentemente melhorar os processos e recursos necessários, tanto para o bom desempenho desta nova unidade industrial como para toda a cadeia de abastecimento envolvente. As questões a serem estudadas vão desde o controlo de estrangulamento causado pela chegada das MP em veículos próprios, o armazenamento da matéria prima e produtos finais (gestão de *stocks*), o dimensionamento dos recursos como o número de trabalhadores necessários e máquinas, e a temporização das operações no complexo.

### 4.1. Descrição do armazém e dos principais fluxos

Em relação às questões que podem surgir com a chegada das MP em veículos próprios, para além do próprio tráfego em si e da limitação das rotas provisionadas, a empresa pondera posteriormente fabricar produtos para terceiros, onde é necessário o manuseamento de MP de natureza perigosa (Etanol) resultando na prioridade de circulação da cisterna que o transporta. Por isso terão que ser estudadas várias alternativas para este transporte, tendo em conta o tempo das operações e o tráfego no complexo desde a entrada do veículo ao descarregamento da MP. Em relação às rotas que os veículos poderão percorrer, na figura 16, estão delimitadas com linhas vermelhas e verdes. As linhas vermelhas representam os caminhos que têm sentido obrigatório e as verdes os que possibilitam a circulação nos dois sentidos.

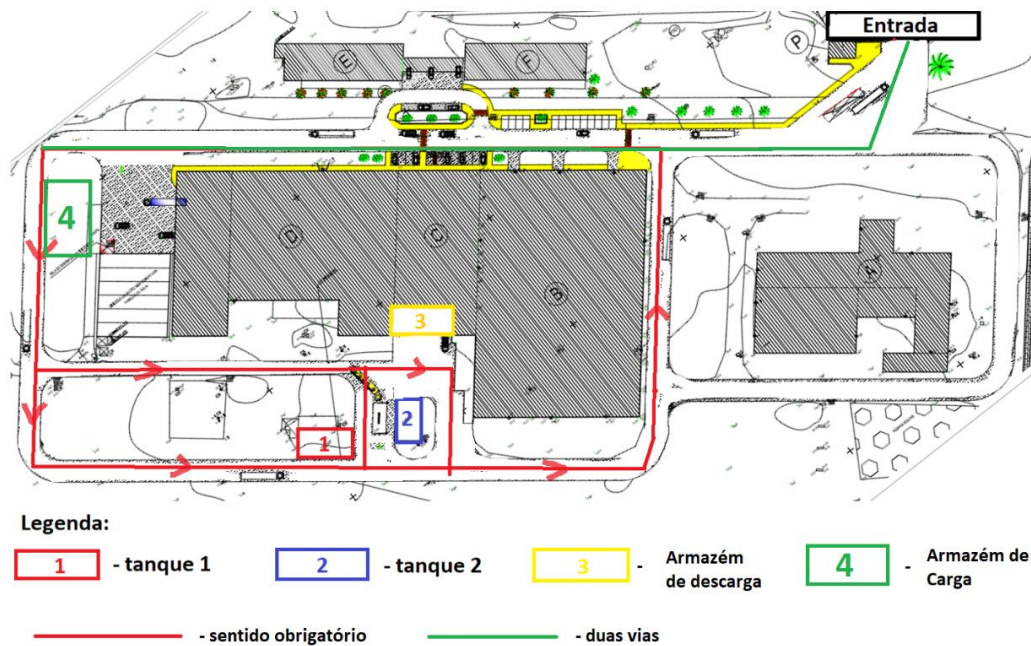


Figura 16 - Possíveis rotas da unidade industrial

Existem 2 fases de manuseamento de MP: abastecimento e expedição da mesma. A operação de abastecimento começa com a existência de um pedido por parte dos clientes que, consequentemente, é transformada numa encomenda de MP. A MP chega a um porto por via marítima, em *flexitank* ou em contentores (líquida e sólida respetivamente), e é transportada então em seguida por veículos próprios em parceria com uma 3PL- *Third Party Logistics* (terceirização dos processos logísticos) que toma encargo de todo o transporte da CA. De referir que todas estas operações tomam um determinado tempo até chegar à fábrica. Quando chegam à fábrica, os veículos que as transportam serão sujeitos, à entrada da unidade industrial, a uma verificação dos documentos por parte do segurança. Em seguida, são encaminhados para a báscula onde serão pesados com a supervisão do segurança de forma a que haja controlo da MP. Posteriormente, estes serão encaminhados para cada respetiva zona de descarga por ordem do operador sendo que as MP líquidas vão para os tanques e as sólidas diretas para o armazém de descarga. Dessa forma a MP de glucose e de Hidróxido de Sódio são descarregadas no tanque 1 e no tanque 2 respetivamente enquanto os restantes reagentes (sólidos) vão para o armazém de descarga (ver figura 16). De referir que no caso dos reagentes líquidos, é necessário somente um operador e um operário para o auxílio do descarregamento da MP enquanto nos reagentes químicos sólidos não existe um número máximo de operários para descarregar o camião. De seguida, a MP é transportada para a zona de separação e é armazenada em prateleiras de acordo com os pesos e descrição desta (figura 17).

Durante todo este processo, o manuseamento da MP varia com o peso, sendo que até 15 kgs é manuseado manualmente e, no caso de vir em *drum bags*, este é feito com o auxílio de empilhadores sendo que no processo da descarga, é só possível o manuseamento de um de cada vez. O camião, após o tempo de descarga, volta a ser encaminhado para a báscula para pesagem e controlo por parte do segurança antes de sair. Durante esse tempo, a MP é encaminhada para a zona de separação de forma a que esta seja separada e consequentemente armazenada nos seus respetivos lugares.

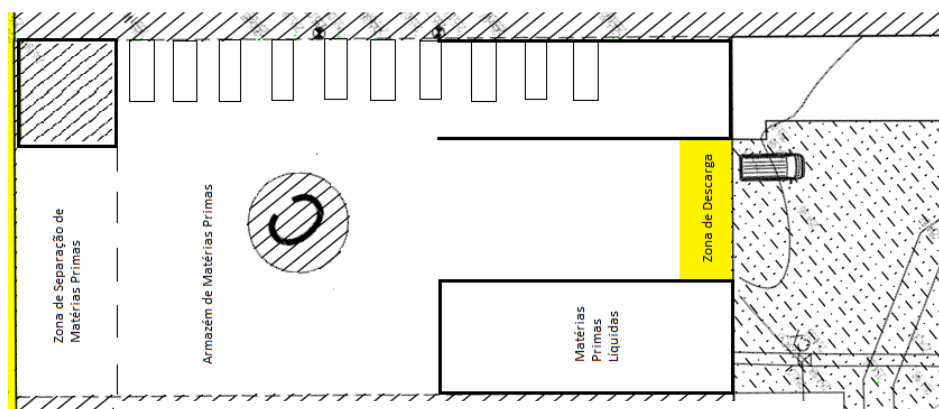


Figura 17 - Layout do Armazém de Descarga



No caso da fase de expedição, o caminhão é também sujeito a uma verificação dos documentos por parte do segurança e ao controlo por pesagem. De seguida, é encaminhado para a zona de carga (Figura 18) onde tomará um determinado tempo a ser carregado por operários que vão buscar o PF às prateleiras da zona de produtos de frio, e às prateleiras da zona ambiente sendo que neste caso pode ser operado tanto por operários como por operadores com o uso de empilhadoras na zona ambiente do armazém de carga.

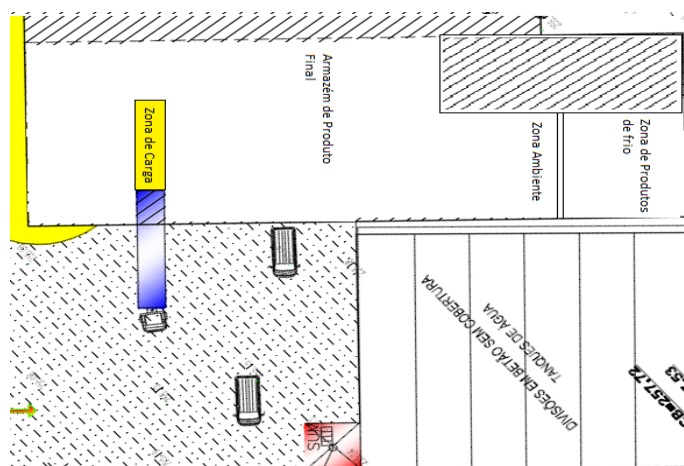


Figura 18 - Layout Armazém de PF

Após o carregamento, este será encaminhado novamente para a báscula de forma a que seja efetuada a pesagem supervisionada pelos seguranças e, posteriormente, a verificação da documentação.

Em todo o tempo que o complexo industrial estiver em funcionamento existe uma restrição a um veículo por zona de descarga ou carga.

Em relação ao aviamento do material, o transporte da MP em estado sólido é todo feito em paletes. A MP vai estar selada em *drum bags* de 25 ou 50 kgs ou em frascos de 1, 5 ou 10 kgs enquanto é transportada em paletes (max 1000kgs) e é posteriormente armazenada em prateleiras.

## 4.2 Desenvolvimento da simulação

### 4.2.1 Formulação do problema

Através da simulação, pretende-se analisar o sistema das operações internas da fábrica, desde a chegada das matérias primas à expedição do produto final.

Atendendo ao número elevado de tipos de matérias primas a chegarem à fábrica, entendeu-se em agrupa-las em três diferentes grupos consoante a forma em como são manuseados e aos procedimentos a que estão sujeitos. Na figura 19 e na tabela 1 presentes no anexo C, é possível verificar como é composto um lote padrão e as suas quantidades totais por ano respetivamente.

Tabela 1 - Grupos de Matéria Prima e seus rácios

### 4.2.2 Desenvolvimento do modelo de simulação

Para a realização deste trabalho e análise das operações que envolvem o complexo industrial, irá ser construído um modelo de simulação. De forma a ser mais acessível construir o modelo a partir de uma linguagem de simulação, recomenda-se desenhar um diagrama de ciclo de atividades (DCA). Sendo estes diagramas uma representação pictórica do modelo, é mais fácil entender, comunicar e discutir a sua lógica (Ferreira 2012). O desenho destes diagramas é essencial para o desenvolvimento de um modelo de simulação.

#### **Identificação das principais entidades**

Os diagramas são compostos por várias entidades e, para a sua construção, foi necessário fazer uma identificação das entidades que têm impacto no desempenho do armazém. Desta forma, foram identificadas as que condicionam a operação no sistema:

- **Permanentes**, permanecem no sistema durante a simulação:  
Tanque 1, tanque 2, armazém de carga e armazém de descarga.
- **Temporárias**, entram e saem do sistema durante a simulação. Surgem a partir de uma encomenda.

Neste caso as entidades temporárias consideradas no desenvolvimento do modelo de simulação são os camiões de carga e descarga, camioneta de recolha de resíduos, as cisternas e a Matéria Prima (Glucose, Hidróxido de sódio e sólidos (Drumbags e frascos)).

Visto que as entidades mencionadas são relevantes para o funcionamento do sistema em estudo, é expectável que figurem entre os bottlenecks (estrangulamentos) a serem identificados pelo modelo de simulação.

## **Diagramas de ciclo de vida e de atividades**

Na criação dos diagramas, as atividades são representadas por retângulos e as filas de espera por círculos, é ainda usual utilizar a convenção de que as filas e as atividades devem alternar entre si (Paul 1993). As setas que cada símbolo tem, representam, respetivamente, os estados antecedentes (origem) e os consequentes (destino). Para que uma determinada atividade possa ter início, é necessário que as entidades que vão estar envolvidas estejam disponíveis. É possível calcular a duração e o instante de tempo em que a atividade irá estar concluída. Por sua vez, o tempo durante o qual uma entidade permanece numa fila é desconhecido, só podendo ser determinado através de simulação (Ferreira 2012).

### **Diagramas de ciclo de vida - DCV**

De forma a auxiliar na criação do modelo de simulação, foi criado um diagrama de ciclo de vida para cada uma das entidades descritas anteriormente. Um DCV descreve a sequência de estados ativos e passivos pelos quais as entidades passam (Oliveira 2014).

### **Diagrama de ciclo de vida das entidades temporárias**

Com os diagramas de ciclo de vida é possível verificar o fluxo das entidades temporárias na simulação sendo elas os camiões de carga e descarga, a camionete de resíduos, as cisternas e a Matéria Prima que se divide em Glucose, Hidróxido de sódio e outras em estado sólido (Sólidos).

Cada entidade temporária presente no sistema, apesar de fazerem as mesmas atividades muitas vezes, são diferentes umas das outras o que resulta num ciclo de vida diferente.

Em relação às matérias primas, a glucose e o Hidróxido de sódio têm ciclos muito parecidos sendo o único elemento que os diferencia o tanque onde é depositado (figura 20 e 21) e o seu processo de fabrico (neste caso não é estudado pois é irrelevante para o estudo sendo explicado mais sucintamente no desenvolvimento do modelo).

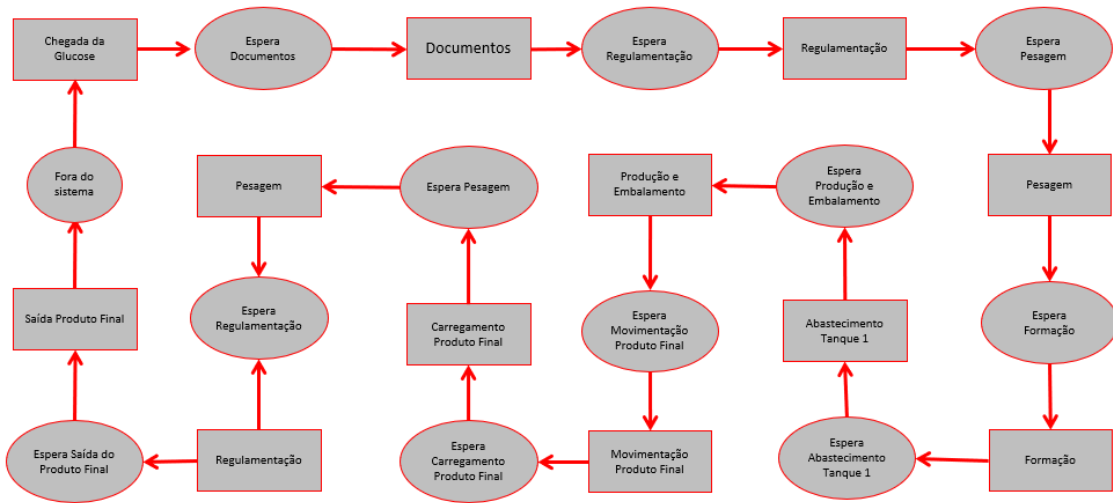


Figura 19 - DCV da Glucose

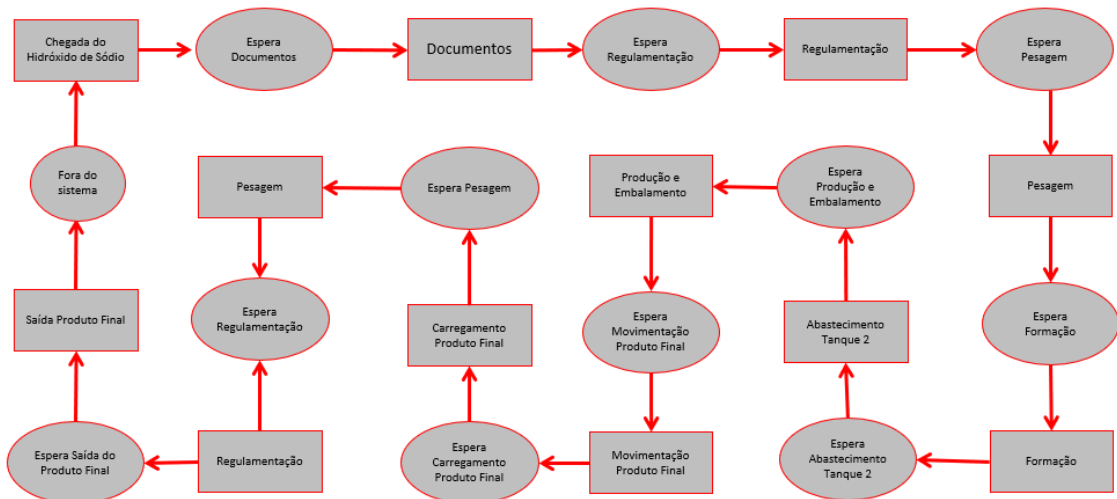


Figura 20 - DCV do Hidróxido de Sódio

Os sólidos, por outro lado, são tratados de forma diferente dentro do armazém, onde são separados das paletes que os envolvem sendo estes organizados e armazenados à espera da fase produção (figura 22).

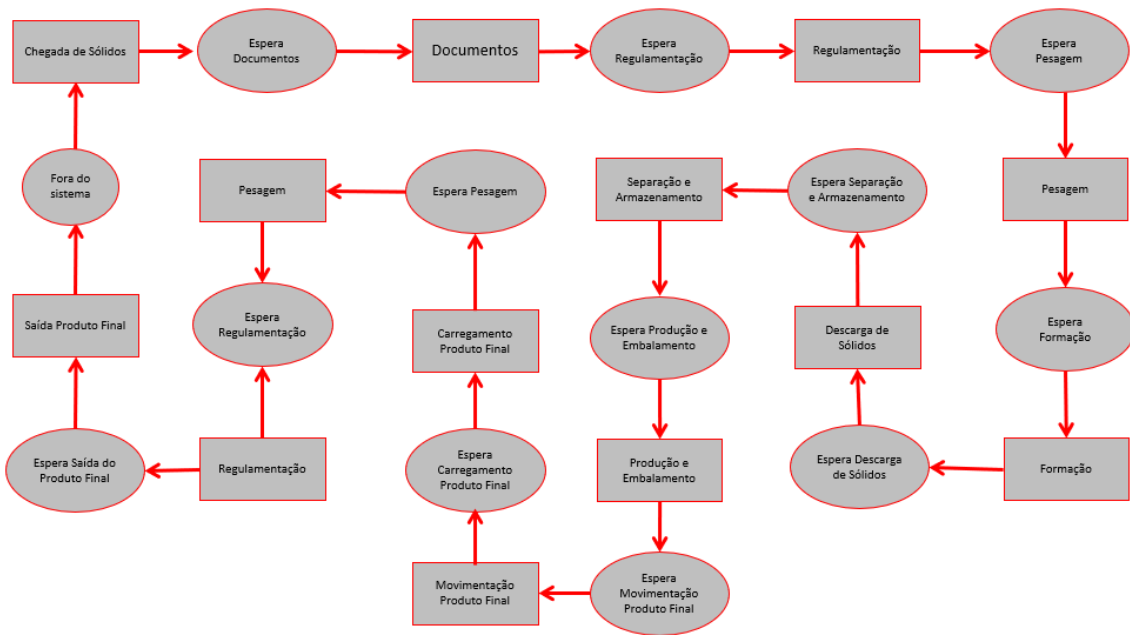


Figura 21 - DCV dos Sólidos

Em relação aos veículos, a grande diferença entre o camião de carga e o de descarga é a sua função no sistema. O camião de carga como transporta matéria prima necessita fazer uma revisão de documentos na entrada ao contrário do camião de descarga como se pode ver na figura 23 e 24. Os armazéns de carga e de descarga também são diferentes localizando-se em sítios diferentes na fábrica.

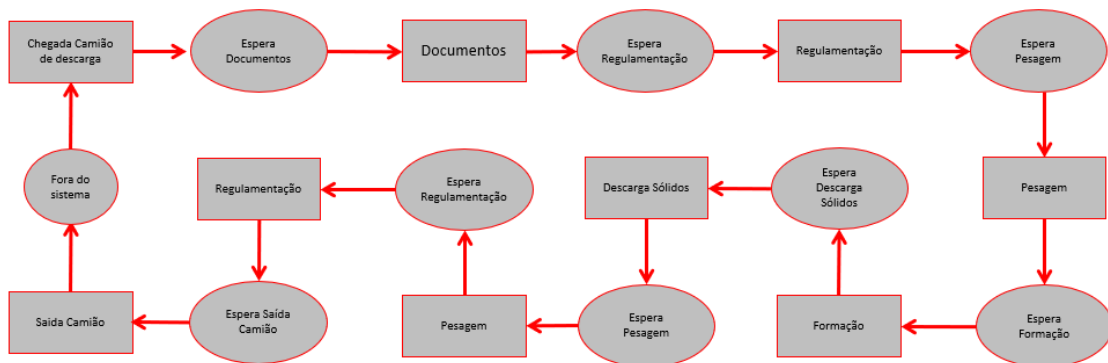


Figura 22 - DCV do Camião de descarga

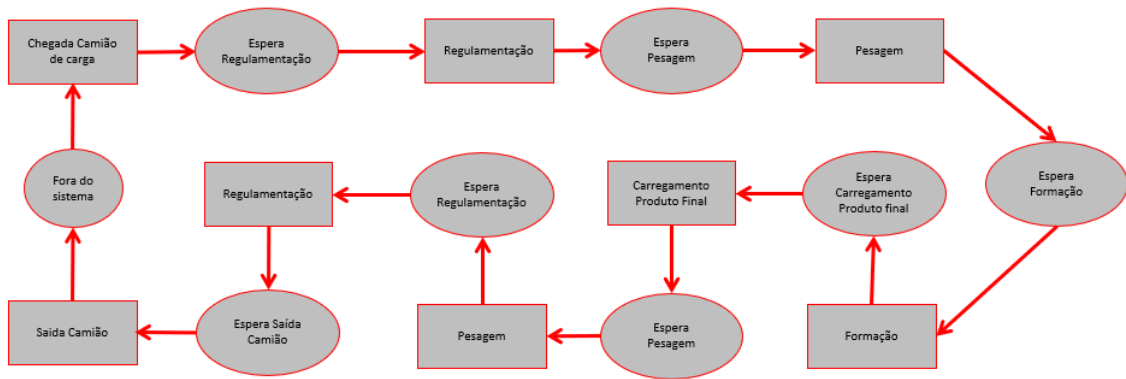


Figura 23 - DCV do Camião de Carga

Por fim a camionete de resíduos tem o ciclo presente na figura 25 e o seu objetivo é levar da fábrica os resíduos deixados pelo camião de descarga (paletes, drumbags, plásticos...).

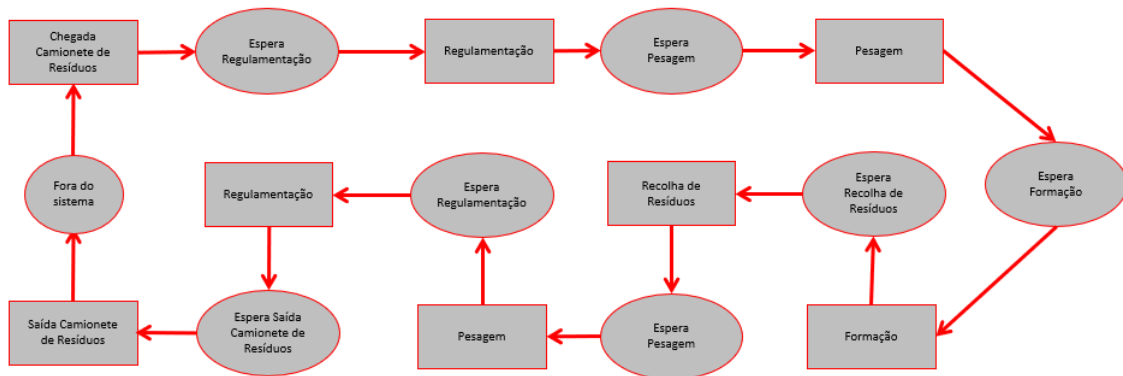


Figura 24 - DCV da Camionete de Resíduos

### Diagramas de ciclo de vida das entidades permanentes

As entidades permanentes refletem os recursos da empresa que podem não estar disponíveis a todo o momento. Dito isto, tanto o “tanque 1” como o “tanque 2” só se encontram disponíveis quando a passagem da matéria prima da cisterna para o tanque esteja completa devido aos tanques só terem uma mangueira de sucção (figura 26 e 27).

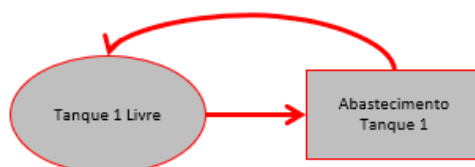


Figura 25 - DCV do Tanque 1

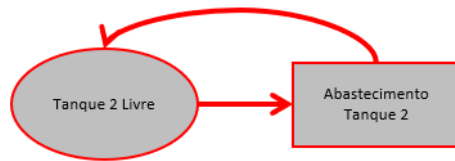


Figura 26 - DCV do Tanque 2

O mesmo se repete em relação ao armazém. Devido a este estar desenhado para poder trabalhar só com um camião de cada vez, o recurso só fica disponível após termino da operação de carregamento/descarregamento (figura 28 e 29).

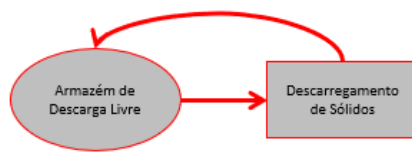


Figura 27 - DCV do Armazém de Descarga

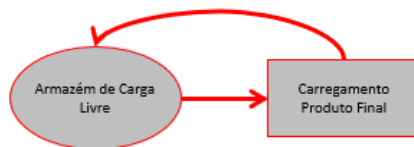


Figura 28 - DCV do Armazém de Carga

Em relação à báscula, numa análise conjunta com o engenheiro responsável pelo armazém, verificou-se que este será um dos principais recursos que vai ter mais impacto no desempenho do sistema, ao longo do trajeto percorrido pelas entidades temporárias devido a haver um só responsável por este recurso e a impossibilidade de ser usado mais do que uma vez em simultâneo.

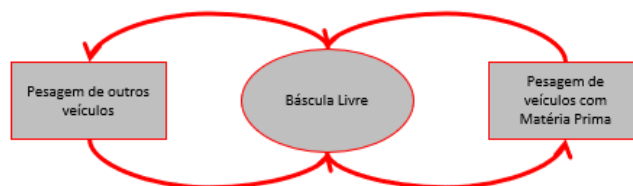


Figura 29 - DCV da Báscula

## Diagrama de Ciclo de Atividades

O DCA consiste na combinação de todos os diagramas de ciclo de vida de cada uma das entidades do sistema (Robinson et al. 2010), representando diagramaticamente o comportamento dinâmico de um sistema. O DCA descreve o processo de cada entidade através da sucessão de estados ativos e estados passivos assim como as interações entre as diferentes entidades que compõem o sistema (Oliveira 2014).

Está representado na figura 31 o DCA relativo ao fluxo realizado pelas mercadorias, desde a sua chegada na fábrica como matéria-prima e veículos com objetivos dentro da fábrica, até à sua saída como produto final (PF) e os veículos após terem executado as suas obrigações. Os diagramas têm de ser ciclos fechados de forma que é necessário introduzir uma fila de espera “Fora do sistema” para as entidades que entram no sistema (Paul 1993).

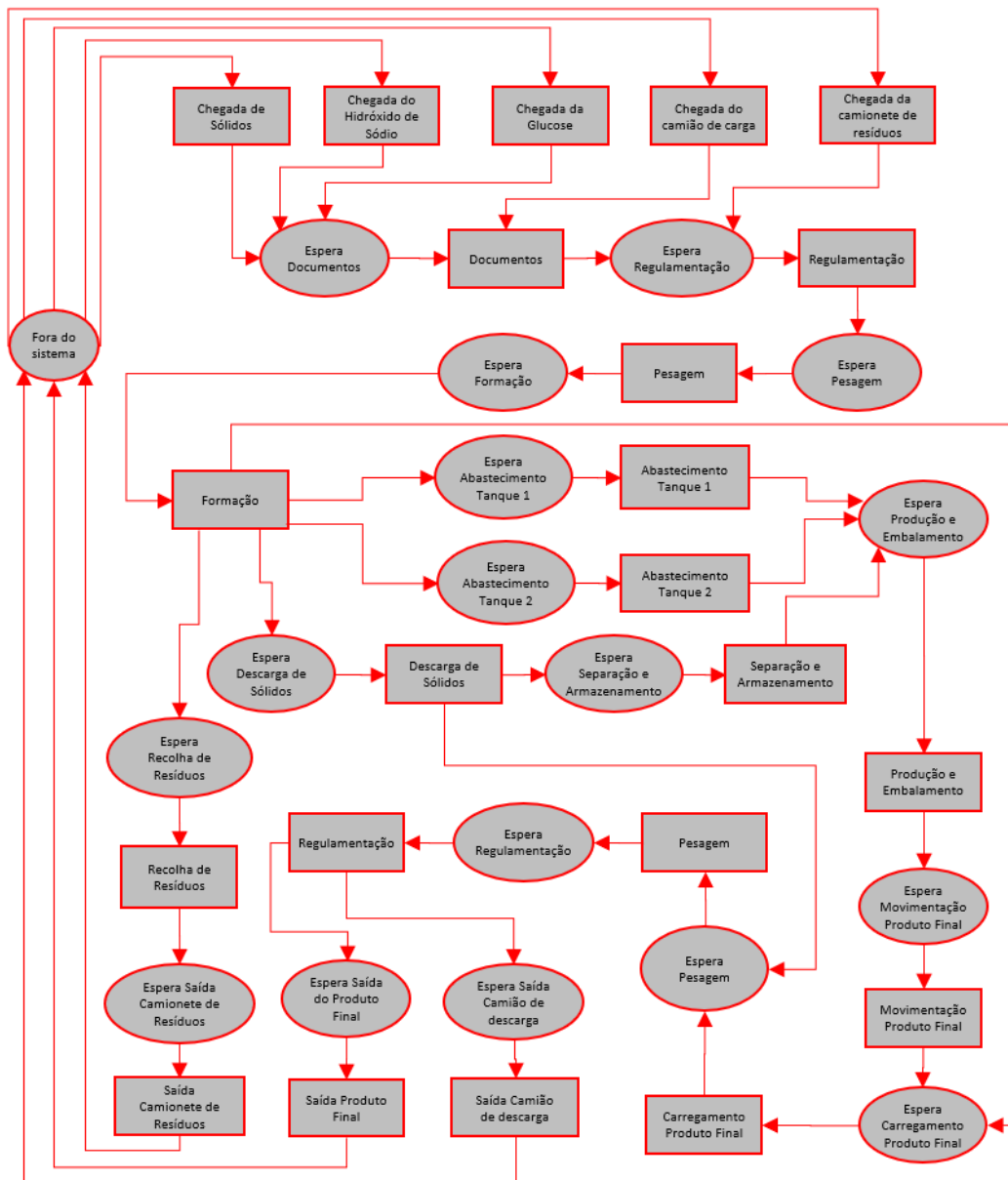


Figura 30 - DCA do sistema



#### 4.2.3 Recolha e análise de dados relevantes

De forma a recolher dados que sejam necessários para servir de base para o desenvolvimento do modelo de simulação, foi necessário reunir com os engenheiros da fábrica.

Os dados foram recolhidos na unidade fabril em Freguesia de Igreja de Igrejinha no Alentejo, concelho de Arraiolos, com o auxílio do responsável do armazém e de alguns trabalhadores.

Nesta secção apresentam-se os dados que foram recolhidos referentes às especificações do funcionamento da fábrica. São também explicadas as simplificações efetuadas na construção do modelo de simulação.

#### **Horário de funcionamento**

A fábrica em estudo encontra-se em produção 24 horas por dia, 7 dias por semana, tendo só folga um dia por ano designado para manutenção de forma que não foi contado para efeitos de simulação. Os horários dos trabalhadores são em turnos (3 trabalhadores mínimo por dia com turnos de 8 horas cada um de forma a completar as 24 horas).

#### **Taxa de entrada de Matéria prima na fábrica**

Os dados recebidos esperados pela empresa sobre a matéria prima são anuais representando-se por uma quantidade fixa por ano (770 558,98kg de Glucose, 992 463,12 kg de Hidróxido de sódio e um somatório de drumbags e de frascos total de 158490,31 kg de Sólidos).

Em relação aos líquidos (Glucose e Hidróxido de Sódio) serão transportados em cisternas de 24 000L (as maiores disponíveis) de forma a reduzir o número de encomendas. Através deste dado e com a densidade do composto conhecida, optou-se por saber a quantidade máxima de Kgs que cada cisterna pode transportar (Equação 1 e 2).

#### **Glucose:**

$$\text{Peso da MP na cisterna (kg)} = \text{Capacidade da cisterna (L)} * \text{densidade do composto } \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (1)$$

$$\text{Peso da cisterna (kgs)} = 24\,000 * 1,26 \approx 30\,240 \text{ kg}$$

#### **Hidróxido de Sódio:**

$$\text{Peso da MP cisterna (kg)} = \text{Capacidade da cisterna (L)} * \text{densidade do composto } \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (2)$$

$$\text{Peso da cisterna (kgs)} = 24\,000 * 2,13 \approx 51\,120 \text{ kg}$$

Sabendo agora a quantidade máxima de peso que a cisterna transporta, vai-se verificar a quantidade de encomendas necessárias por ano das mesmas (Equação 3 e 4).

**Glucose:**

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Peso da MP na Cisterna (Kg)}} \quad (3)$$

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{770\,558,98}{30\,240} = 25,48 \approx 26 \text{ (unids)}$$

**Hidróxido de sódio:**

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Peso da MP na Cisterna (Kg)}} \quad (4)$$

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{92\,463,12}{51\,120} = 1,81 \approx 2 \text{ (unids)}$$

Com o cálculo das encomendas efetuado, é possível agora verificar a quantidade aproximada que cada cisterna transporta para a fábrica (Equação 5 e 6).

**Glucose:**

$$\text{Peso real da MP na cisterna (kg)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (5)$$

$$\text{Peso real da MP na cisterna (kg)} = \frac{770\,558,98}{26} \approx 29\,632,65308 \text{ kg}$$

**Hidróxido de sódio**

$$\text{Peso real da MP na cisterna (kg)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (6)$$

$$\text{Peso real da MP na cisterna (kg)} = \frac{92\,463,12}{2} \approx 46\,231,56 \text{ kg}$$

No caso dos sólidos, a quantidade máxima que cada caminhão, já previamente escolhido pela empresa, pode transportar é de 10 000 kg. Sabendo que se prevê uma necessidade de 158490,31 kg por ano, vai-se verificar o número de encomendas por ano (equação 7).

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Peso da MP no caminhão (Kg)}} \quad (7)$$

$$\text{Numero de encomendas (unids)} = \frac{158\,490,31}{10\,000} = 15,84 \approx 16 \text{ (unids)}$$

Com o cálculo das encomendas efetuado, é possível agora verificar a quantidade aproximada que o caminhão transporta para a fábrica (Equação 8).

**Sólidos:**

$$\text{Peso real da MP no caminhão (kg)} = \frac{\text{Quantidade por ano (Kg)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (8)$$

$$\text{Peso real da MP na cisterna (unids)} = \frac{158\,490,31}{16} \approx 9\,905,64 \text{ kg}$$

Como a unidade temporária usada no Simul8 é de minutos, de forma a saber o tempo médio em minutos por encomenda dos três grupos de matérias primas, dividiu-se o a quantidade de minutos num ano (525 600) pelo número de encomendas de cada produto por ano (Equação 9, 10 e 11).

**Glucose:**

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{\text{Minutos por ano (min)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (9)$$

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{525\ 600}{26} \approx 20\ 215 \text{ min}$$

**Hidróxido de Sódio:**

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{\text{Minutos por ano (min)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (10)$$

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{525\ 600}{2} \approx 262\ 800 \text{ min}$$

**Sólidos:**

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{\text{Minutos por ano (min)}}{\text{Número de encomendas (unids)}} \quad (11)$$

$$\text{Média de tempo por encomenda (min)} = \frac{525\ 600}{16} \approx 30\ 918 \text{ min}$$

**Processo de produção:**

De forma a perceber a quantidade de matéria prima utilizada para fazer um lote de produto final, é necessário utilizar os rácios utilizados na produção dos três grupos de matérias primas diferentes (figura 19). Sabe-se também que a fábrica produz 75 kg de matéria prima por cada ciclo que são embalados posteriormente em três drumbags de 25kg cada um. O rácio do processo segunda a empresa é de 3,62%. Sendo assim é calculada a quantidade de matéria prima necessária para um lote de produção (Equação 12).

$$\text{Matéria prima total necessária (kg)} = \frac{\text{Quantidade produzida (kg)}}{\text{Rácio de produção (\%)}} \quad (12)$$

$$\text{Matéria prima total necessária (kg)} = \frac{75}{3,62} \approx 2\ 074 \text{ kg}$$

Com os rácios já anteriormente apresentados (figura 19) segue-se ao cálculo da Matéria prima necessária de cada um dos grupos.

**Glucose:**

$$\text{Matéria prima necessária Glucose (kg)} = \text{Matéria prima total necessária (kg)} * \text{Rácio de produção glucose (\% )}$$

$$\text{Matéria prima necessária glucose (kg)} = 2074 * 75\% \approx 1564 \text{ kg} \quad (13)$$

**Hidróxido de Sódio:**

$$\text{Matéria prima necessária Glucose (kg)} = \text{Matéria prima total necessária (kg)} * \text{Rácio de produção Hid. Sódio (\% )}$$

$$\text{Matéria prima necessária glucose (kg)} = 2074 * 9\% \approx 188 \text{ kg} \quad (14)$$

**Sólidos:**

$$\text{Matéria prima necessária Sólidos (kg)} = \text{Matéria prima total necessária (kg)} * \text{Rácio de produção Hid. Sódio (\% )}$$

$$\text{Matéria prima necessária Sólidos (kg)} = 2074 * 16\% \approx 322 \text{ kg} \quad (15)$$

**Duração das atividades consideradas**

Devido à fábrica não estar ainda em funcionamento e os produtos escolhidos para o desenvolvimento do modelo de simulação apresentarem uma rotatividade reduzida, mesmo após a inauguração da fábrica, como a recepção das suas matérias-primas na fábrica não ocorrem com a frequência desejada, não será possível recolher dados suficientes para cada uma das atividades.

Dessa forma seriam necessários vários meses para recolher os dados necessários a utilizar na construção de modelo de simulação para torna-lo o mais aproximado à realidade possível. No entanto, com a ajuda dos engenheiros da empresa, decidiu-se aplicar a distribuição triangular em algumas atividades de modo a contornar a incerteza associada às suas durações para ultrapassar as dificuldades.

Esse tempo será utilizado no software de simulação, de acordo com o seu tipo de distribuição estatística. Dessa forma, será possível fazer uma aproximação à realidade das operações na unidade fabril e isto será traduzido em resultados próximos da realidade.

A aplicação da distribuição triangular é uma distribuição contínua com um valor mínimo e máximo fixos (extremos) e um valor mais provável de ocorrer (moda). A aplicação da distribuição triangular é frequente em trabalhos realizados na área da simulação (Okagbue et al. 2014). Posto isto, são apresentados na tabela 5 os dados, recolhidos na unidade fabril da 73100, relativos à duração das atividades em causa.

Outro aspeto a ter em consideração referente à tabela 5 é que existem atividades que não apresentam uma distribuição triangular, mas sim um valor médio ou constante, definidas pelos engenheiros da empresa. A tabela 5 apresenta os tempos necessários à construção do modelo de simulação.

Tabela 3 - Caracterização da duração das atividades em estudo.

Actividades	Tempo			Distribuição	Entidade
	mínimo	previsto	máximo		
Regulamentação	5	8	12	Triangular	veículo
Pesagem	5	8	10	Triangular	veículo
Formação	10	15	30	Triangular	veículo
Abastecimento 1		35		Constante	Glucose
Abastecimento 2		35		Constante	Hid. Sódio
Descarregamento MP	60	80	90	Triangular	sólidos
Separação e Armazenamento MP		480		Média	sólidos
Produção e embalagem		2880		Constante	PF
Armazenamento PF	60	80	90	Triangular	PF
Carregamento	3	5	18	Triangular	PF
Recolha Resíduos	5	8	10	Triangular	Resíduos

#### 4.2.4 Construção do Modelo em SIMUL8

Neste subcapítulo vai-se proceder à descrição do processo de construção do modelo de simulação em SIMUL8 assim como à explicação referente aos dados introduzidos no software. Baseando a criação do modelo nos diagramas de ciclo de vida das entidades e o diagrama de ciclo de atividades do sistema construiu-se o modelo de simulação de raiz.

O modelo de simulação desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado encontra-se ilustrado na figura 32. De forma a simplificar as várias partes do modelo, dividiu-se em 3 secções diferentes:

- **A** – Processo que os veículos efetuam desde a sua entrada na fábrica até à sua saída;
- **B** – Processo de descarregamento e manufatura;
- **C** – Processo de carregamento e envio do Produto Final;

Uma vez que o modelo simulação criado é extenso, só estão presentes no documento as atividades com maior relevância e/ou complexidade.

0:00  
Monday

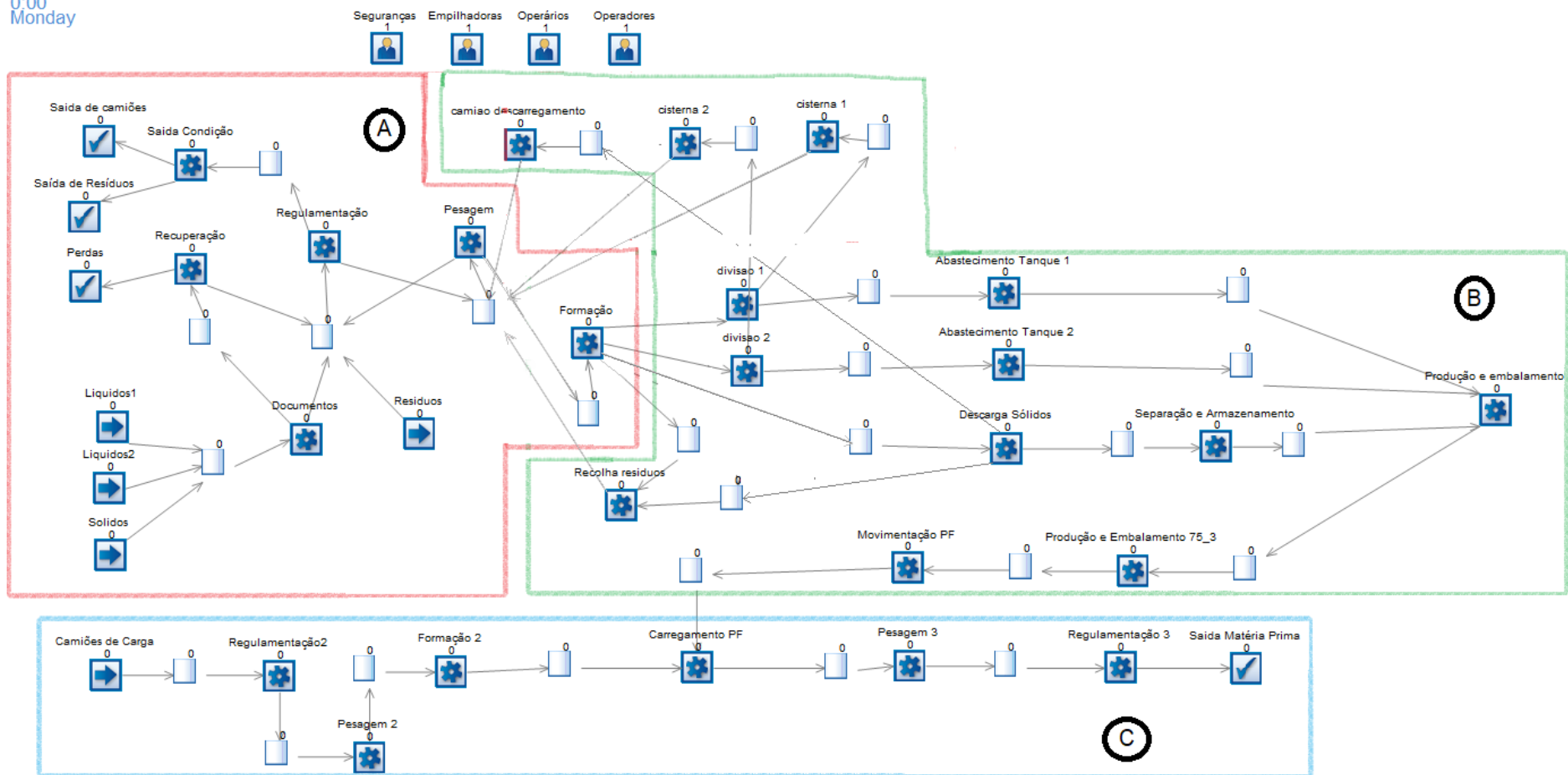


Figura 31 - Modelo de simulação desenvolvido em Simul8

## Configurações iniciais

No início da construção do modelo em Simul8 é necessário configurar o horário para a simulação. Para se configurar é preciso ir às propriedades do relógio (Clock Properties), e definir a hora de início do dia para as 00:00h, a duração do dia para 24:00h como também os 7 dias por semana, como ilustrado na figura 33.

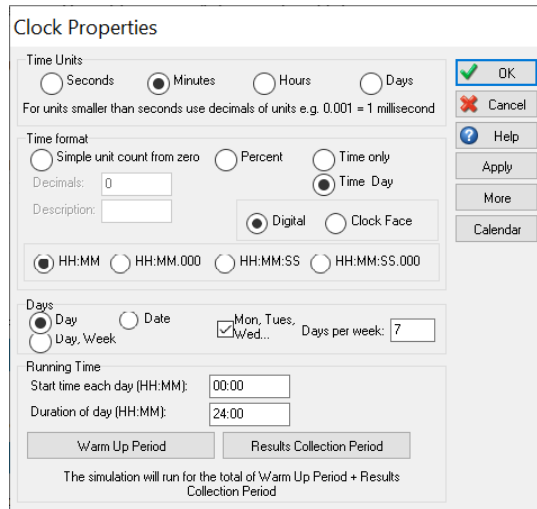


Figura 32 - Configuração do relógio

Algo que se deve ter em conta também na fase inicial da construção é a consideração automática que o software apresenta relativamente à distância entre cada atividade no modelo, que se resolve em tempo de viagem (Travel Time) do work item entre objetos. O SIMUL8 assume que essa distância no ecrã é proporcional à distância real. No entanto, para efeitos de simulação deste presente projeto essa distância é pouco relevante em termos de tempo de forma que não será considerada definindo-se assim o Travel Time para zero como se pode ver na figura 34.

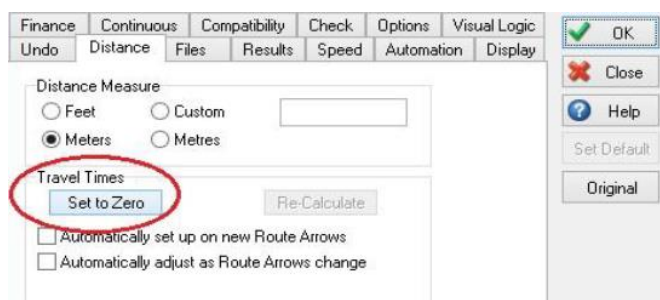






Figura 33 - Configuração do *Travel Time*

Após estas configurações iniciais foi possível começar a desenvolver o modelo de simulação, configurando os seguintes ícones no SIMUL8 descritos na tabela 6.

Tabela 4 - Ícones do simul8

Ícones	Descrição
 Start Point	Onde os <i>work items</i> entram no sistema
 Queue	Onde os <i>work items</i> são retidos até serem processados
 Activity	Onde os <i>work items</i> são processados
 End	Onde os <i>work items</i> saem do sistema

### Secção A da fábrica

Esta secção desenvolvida em software representa o processo que os veículos efetuam desde a sua entrada na fábrica até à sua saída;

### Taxa de entrada dos veículos com as matérias primas e camionete de resíduos

Os veículos com as matérias primas e a camionete de resíduos entram no sistema pela criação dum start point. Estes como têm intervalos de tempo diferentes de entrada, é necessário fazer diferentes start point para cada um.

A glucose entra no sistema a partir de uma unidade de encomenda com um intervalo de 20 215 minutos apresentando uma distribuição fixa. É também imposto um valor de label nesta unidade como “Encomenda” com valor 1 como se pode ver na figura 35.

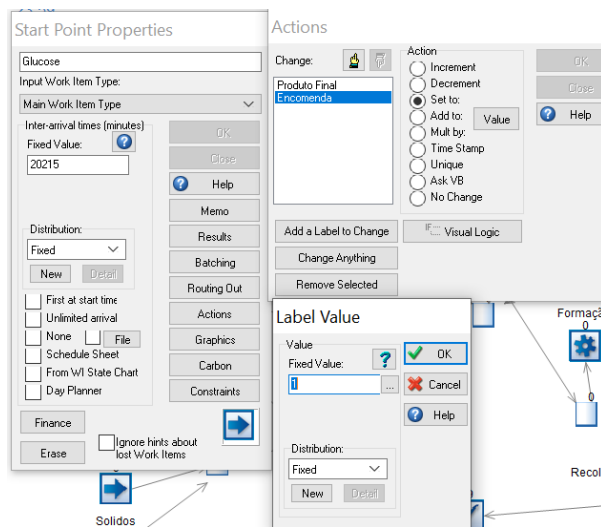


Figura 34 - Configuração Start Point para a entrada da Glucose

No caso do hidróxido de Sódio, este entra no sistema a partir de uma unidade de encomenda com um intervalo de 262 800 minutos apresentando uma distribuição fixa. É também imposto um valor de label nesta unidade como “Encomenda” desta vez com valor 2 como se pode ver na figura 36.



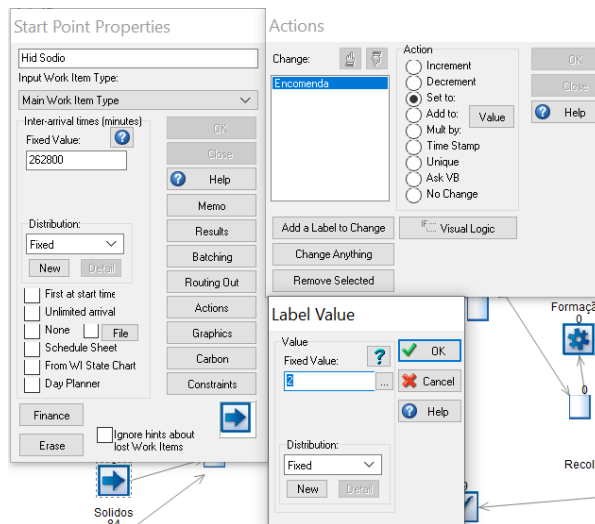


Figura 35 - Configuração Start Point para a entrada do Hidróxido de Sódio

Por fim, o último grupo de matéria prima que entra em estado sólido (Sólidos), entra no sistema a partir de uma unidade de encomenda com um intervalo de 30 918 minutos apresentando uma distribuição fixa. É também imposto um valor de label nesta unidade como “Encomenda” desta vez com valor 3 como se pode ver na figura 37.

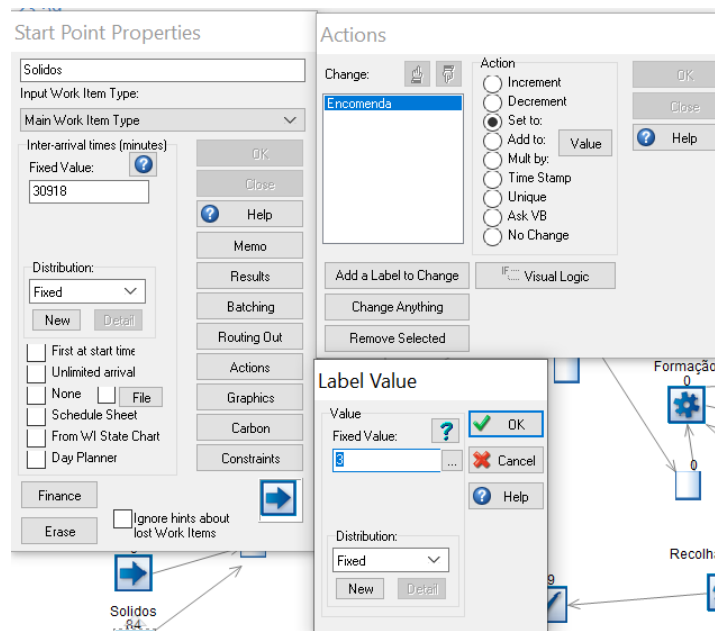


Figura 36 - Configuração Start Point para a entrada de Sólidos

O último *start point* na secção A criado, entra no sistema com o valor de uma unidade com um intervalo de 33 000 minutos apresentando uma distribuição fixa. Neste caso não se tratando de uma encomenda, é imposto um valor de *label* nesta unidade como “Resíduos” com valor 1 como se pode ver na figura 37.

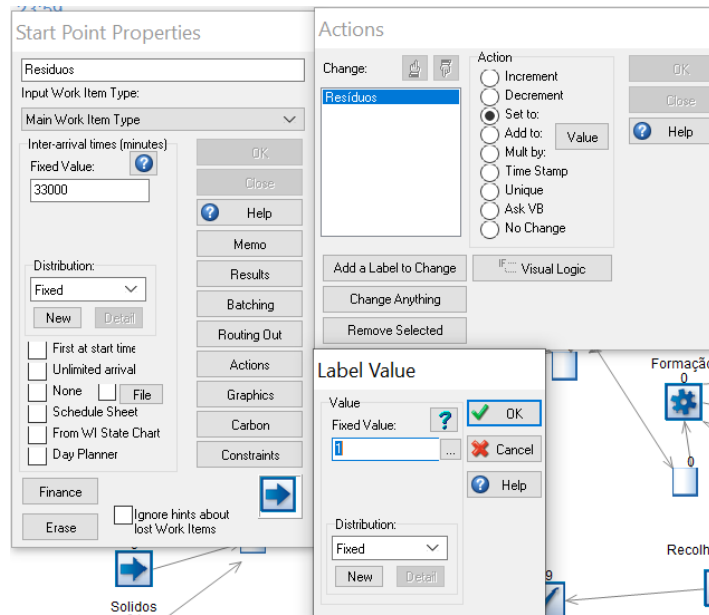


Figura 37 - Configuração Start Point para a entrada da camionete de Resíduos

## Documentos

Os veículos que transportam matéria prima necessitam de fazer uma verificação dos documentos por uma questão de segurança. Esta atividade tem uma duração de 5 minutos com uma distribuição média e corresponde à verificação de documentos que viabilizam se o condutor do veículo pode transportar este tipo de matéria prima. Segundo os dados facultados pela empresa, cerca de 2% das situações, o condutor não é acompanhado dos documentos necessários implicando que não pode entrar dentro da unidade fabril como se pode ver configurado na figura 39.

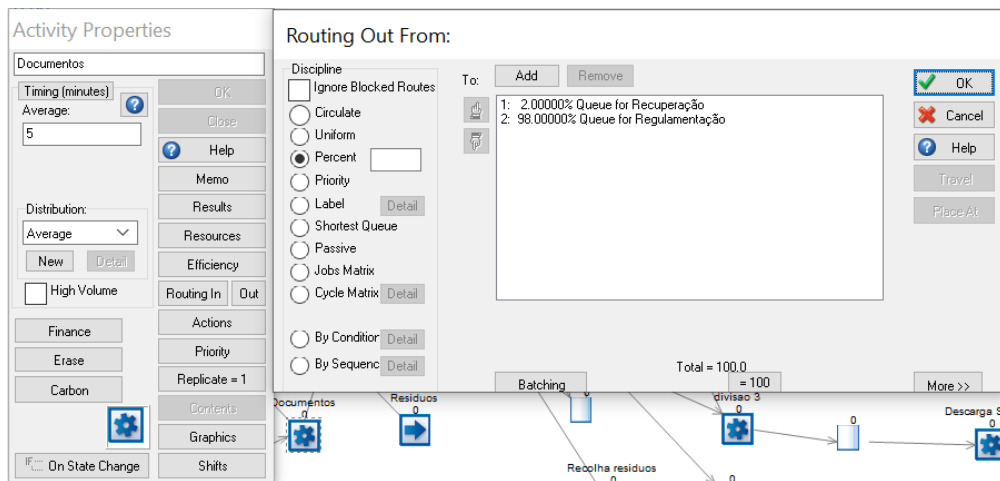


Figura 38 - Configuração da atividade documentos

## Recuperação (atividade extra)

A atividade recuperação, vem de seguida aos veículos não portadores de documentos (2%) e serve de segunda oportunidade para voltar a entrar dentro do sistema. Na probabilidade de haver uma receção de documentos durante o tempo predefinido, os veículos podem proceder para unidade fabril (figura 40).

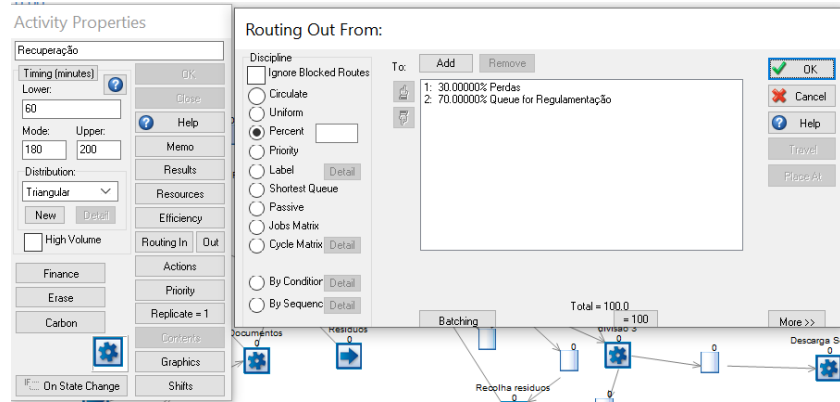


Figura 39 - Configuração atividade documentos

## Regulamentação e Pesagem

A atividade que procede a atividade documentos é a regulamentação que consiste na verificação da encomenda. Como nesta atividade, tanto os camiões que chegam como os que saem precisam de fazê-la, foi necessário usar uma manipulação de *labels*. As condições descritas no software dizem que se o valor da *label* "encomenda" for 1, 2 ou 3, ou se o valor da *label* "resíduos" for 1, os camiões seguem para a fábrica. No caso do valor da *label* "Encomenda" e "Resíduos" for 10 e 2 respetivamente, o camião já está de partida seguindo para fora da fábrica (Envio). Como se pode ver na figura 41. A atividade pesagem regista uma configuração semelhante.

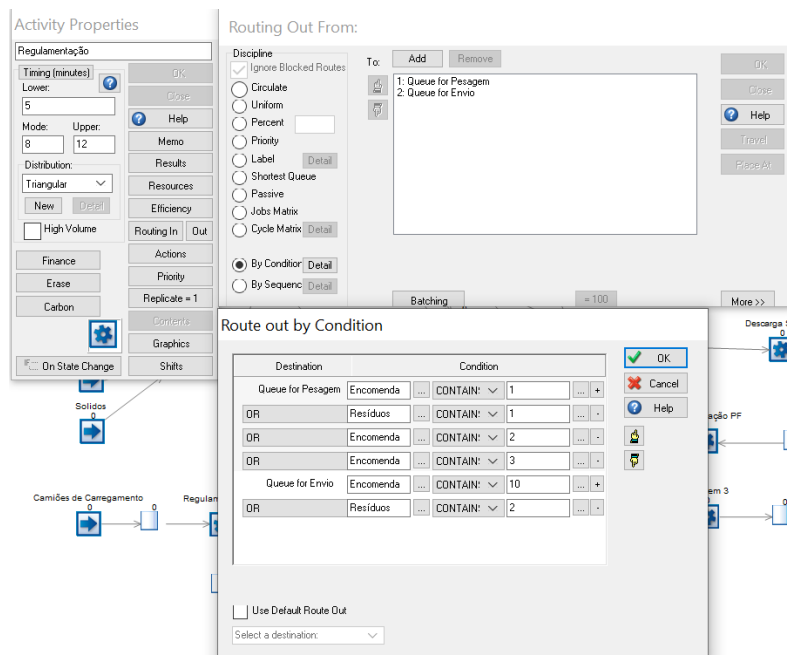


Figura 40 - Configuração da atividade Regulamentação

## Formação

Na atividade formação, é necessário fazer a divisão das matérias primas de forma a que cada uma se dirija ao seu local de descarregamento como se pode ver na figura 42.

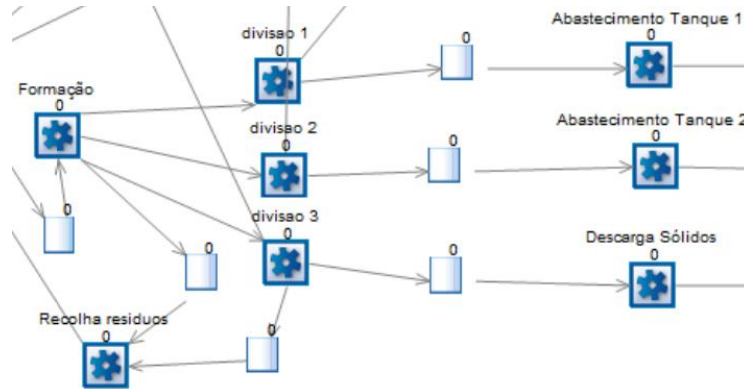


Figura 41 - Divisão no sistema das matérias primas e da camionete de resíduos

De forma a que seja possível escolher a atividade para onde o work item vai, é usado mais uma vez as labels relacionadas com cada matéria prima. Com a propriedade *routing out by condition*, é escolhida a próxima atividade da encomenda. Com os valores usados na label Encomenda anteriormente (1, 2 e 3) é possível escolher o local de descarga sendo o valor 1 o que encaminha para a divisão 1, o 2 para a divisão 2 e o 3 para a divisão 3. No caso da label ser a de Resíduos, o work item segue para a queue Recolha de Resíduos.

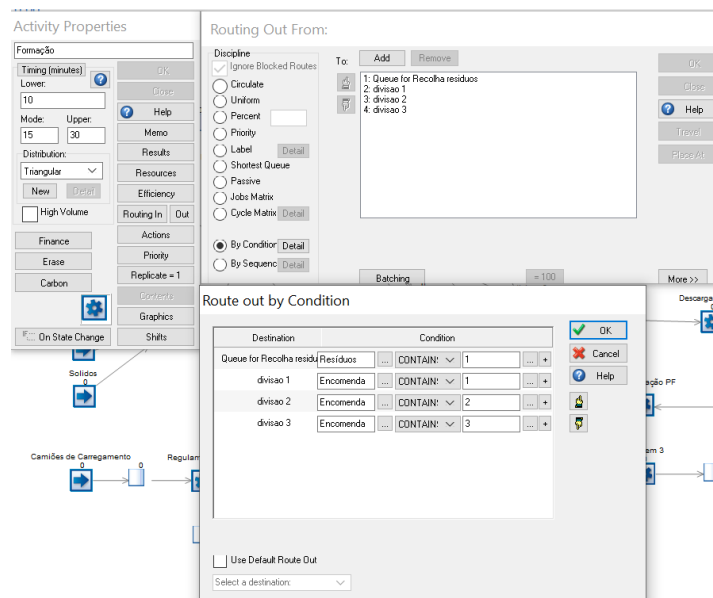


Figura 42 - Configuração atividade Formação

## Secção B da fábrica

Nesta secção, é desenvolvido no software a parte de descarregamento e manufatura.

### Divisão 1 e 2

Na atividade Divisão 1 e 2, com a propriedade *routing out* é feito *batching* de 2 o que transforma a saída do work item em dois sendo aqui que se separa a matéria prima das cisternas. Isto permite que o work item de matéria prima avance para a produção enquanto as cisternas seguem para fora da fábrica devido ao processo *Circulate* que distribui os work items.

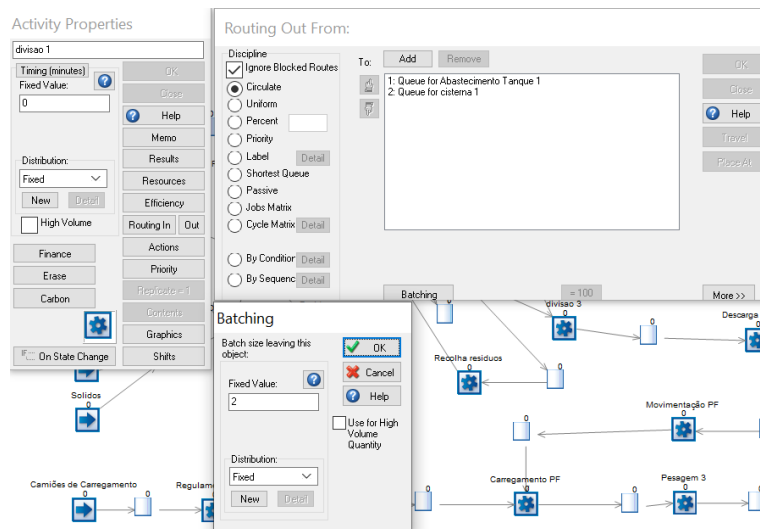


Figura 43 - Configuração atividade divisão 1 e 2

### Recolha de resíduos

Na atividade recolha de resíduos, com a propriedade *routing in*, é feito um *collect* e um *assemble* dos dois *work items* (resíduos e camionete) das duas filas de espera que a antecedem. Isto permite que a camionete e os resíduos se transformem num só *work item*.

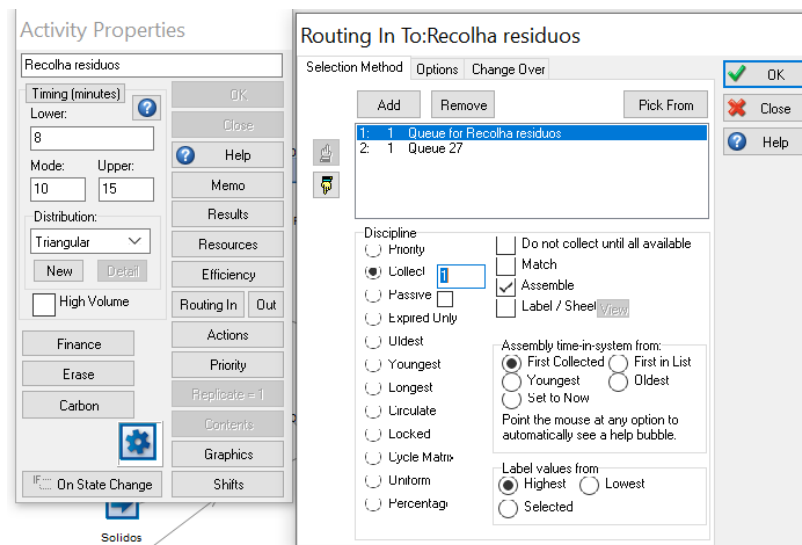


Figura 44 - Configuração atividade recolha de resíduos

## Descarga Sólidos

Na descarga de sólidos, com a propriedade routing out, converteu-se a saída de um work item em três através do batching (matéria prima, camião e os resíduos) sendo aqui que se divide a matéria prima em estado sólido (Sólidos) do camião e dos resíduos usando o processo circulate como se pode ver na figura 46. Isto permite que o work item de matéria prima avance para a produção enquanto o camião segue para fora da fábrica e os resíduos fiquem à espera de ser carregados pela camionete.

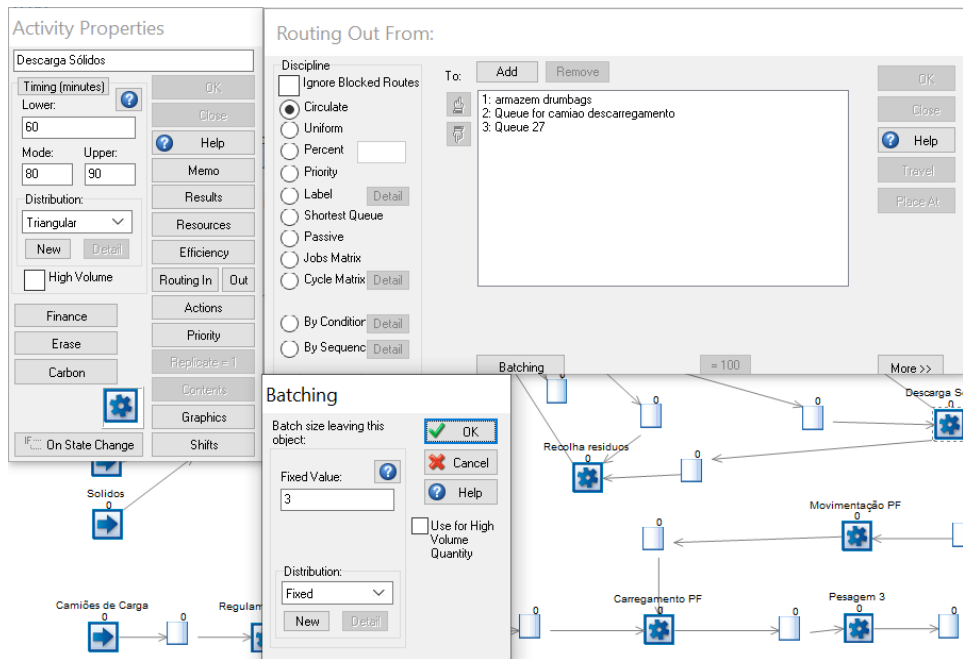


Figura 45 - Configuração atividade Descarga sólidos

## Separação e Embalamento

Na Separação e embalamento é quando se sucede a transformação do *work item* em quilogramas de matéria prima. Isto é possível com a propriedade *batching* na secção *routing out* como apresentado na figura 47 onde é escolhido a *label* "Sólidos 3".

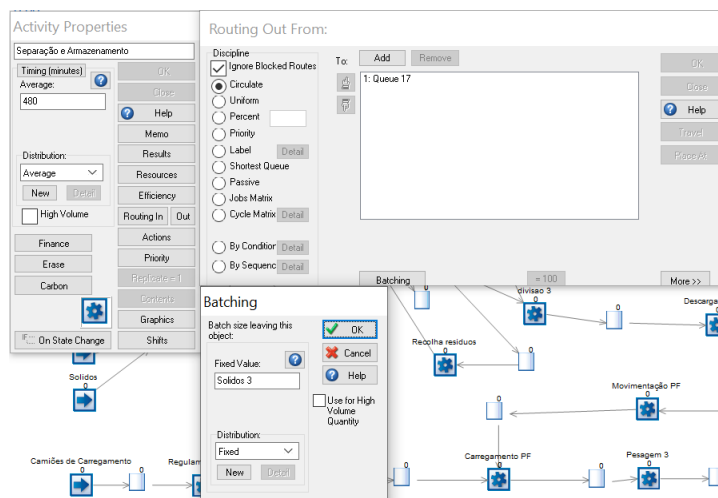


Figura 46 - Configuração atividade Separação e embalamento

Isto é possível devido a uma prévia criação de um label, nomeadamente “sólidos 3”, com o valor da quantidade de matéria prima feita na encomenda como se pode ver na figura 48.

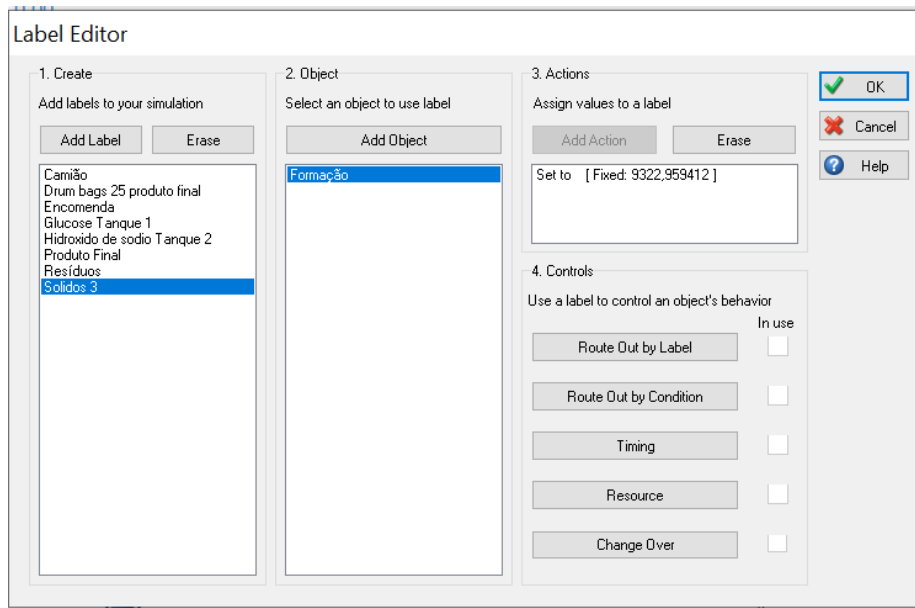


Figura 47 - Criação do label "Sólidos 3"

### Abastecimento tanque 1 e 2

O mesmo acontece no abastecimento do tanque 1 e 2. O *work item* é transformado em quilogramas de matéria prima. Neste caso é usado a label “Glucose Tanque 1” com o valor da encomenda da glucose e o mesmo se fez para o abastecimento do tanque 2 com o hidróxido de Sódio (figura 49).

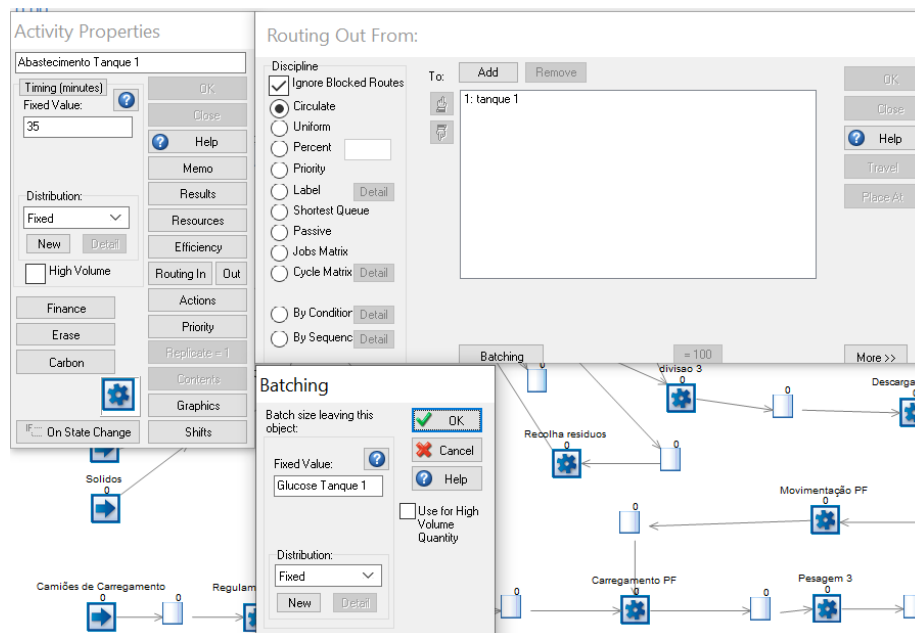


Figura 48 - Configuração Tanque 1

## Camião de descarregamento, cisterna 1 e cisterna 2 (pseudo atividades)

Estas pseudo atividades foram necessárias criar devido a uma limitação do software. Como não é possível fazer um batching com diferentes valores nas atividades de descarregamento de matéria prima, foi necessário criar outras atividades que tomassem o tempo do descarregamento só com o work item do veículo.

## Produção e embalagem

Na atividade Produção e embalagem, com a propriedade *routing in*, é feito um *collect* e um *assemble* da quantidade de matéria prima que é necessária fazer um lote (figura 50). Os dados usados no *collect* foram a quantidade foi previamente calculada na equação 11, 12 e 13. No final, é também feito um *batching* de 75 correspondente ao valor do lote de produto final produzido. Também foi necessário escolher a opção “*Do not collect until all available*” de forma a só começar a produção quando todos os recursos estivessem disponíveis.

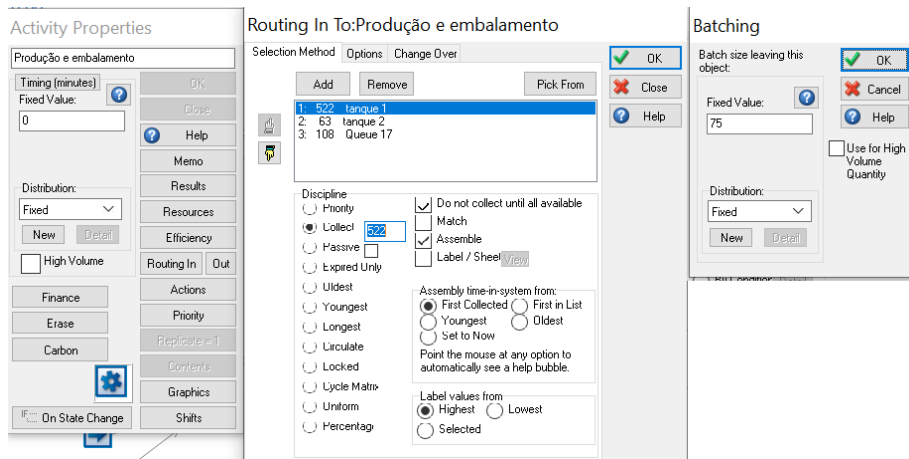


Figura 49 - Configuração atividade Produção e embalagem

## Produção e embalagem 75\_3

Na atividade Produção e embalagem 75\_3, com a propriedade *routing in*, é feito um *collect* da quantidade produzida de produto final (75 kgs) e *assembler*. Com a opção *batching*, são criados 3 work items correspondentes aos 3 drumbags produzidos na opção *routing out*.

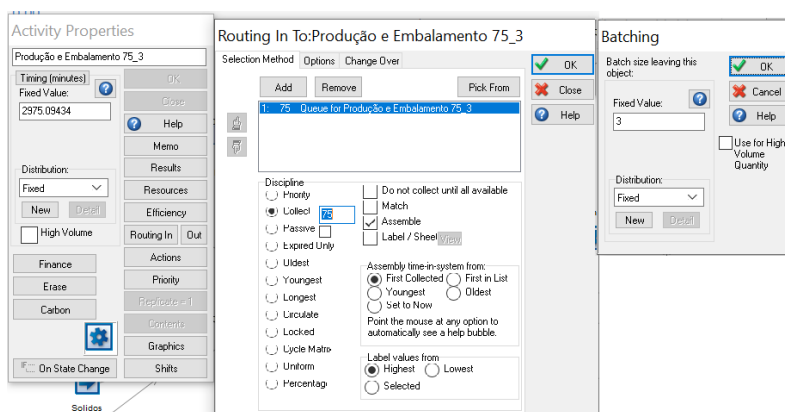


Figura 50 - Configuração atividade produção e embalagem 75\_3



## Secção C

Nesta secção é desenvolvido em software a parte relacionada com o processo de carregamento e envio do Produto Final.

### Taxa de entrada Camião de Carga

O Camião de carregamento entra no sistema através de um start point. Sendo que não existe um tempo certo para o camião de carregamento chegar (depende da procura e é um dado só recolhido na altura) foi utilizado um intervalo de tempo de aproximadamente 29 dias (42 000 minutos) devido à empresa esperar vender nesse tempo.

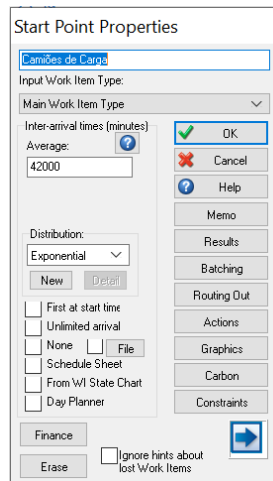


Figura 51 - Configuração Start Point Camião de carregamento

### Outras atividades do Camião de Carregamento

Como todos os veículos presentes no sistema, o camião de carregamento necessita também de passar nas atividades de entrada e saída da fábrica (Regulamentação, Pesagem e Formação já explicadas anteriormente).

### Carregamento Produto Final

Na atividade carregamento produto final, com a propriedade *routing in*, é feito um *collect* e *assemble* da máxima capacidade que o camião suporta (1000 kg ou 40 *drumbags*).

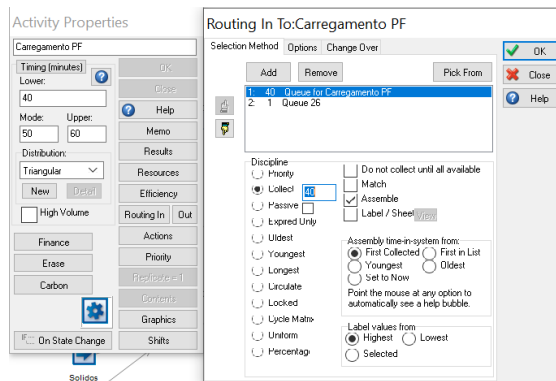


Figura 52 - Configuração Carregamento produto final

Como o objetivo da dissertação rege-se sobre a resposta da fábrica face ao seu contínuo processo produtivo, a procura de produto final e consequentemente a chegada do camião de carga só existe para o estudar os possíveis estrangulamentos na fábrica.

#### 4.3.5 Validação e Verificação do Modelo de Simulação

A verificação e Validação do modelo de simulação é uma etapa necessária no desenvolvimento de um modelo de simulação. Apesar do modelo criado ser uma simplificação do modelo real, também é possível obter resultados coerentes e próximos à realidade. Dito isto, é necessário verificar e validar o modelo desenvolvido. Um dos principais objetivos da verificação do modelo é garantir que não existem erros na implementação do mesmo de forma a que apresente o rigor necessário para se aproximar o mais possível à realidade. Foi feita então uma simulação para 5 anos da fábrica.

Em primeiro lugar, foi realizada uma primeira análise para verificar se o modelo funciona de forma adequada.

#### Entrada da Matéria prima e outros veículos no sistema

De forma a verificar se as matérias primas e os outros veículos entram no sistema corretamente foi necessário analisar os resultados das filas de espera que recebem os *work items* dos respetivos *start points*. Neste caso, é possível verificar que entram corretamente no sistema devido aos valores entrarem sempre em valores múltiplos aos valores fixos iniciais (distribuição fixa), ilustrado na tabela 7. Esta tabela permite também confirmar que o número de unidades rececionadas é o correto.

Tabela 5 – Tabela com os tempos de entrada das Matérias Primas no sistema

Glucose		Hid Sódio		Sólidos	
Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)
0	0	0	0	0	0
5	0	5	0	5	0
10	0	10	0	10	0
15	0	15	0	15	0
(...)		(...)		(...)	
29 633	1	262 800	1	30 918	1
(...)		(...)		(...)	
59 266	1	525 600	1	61 836	1
(...)		(...)		(...)	
88 899	1	788 400	1	92 754	1
(...)		(...)		(...)	

É possível verificar também que a entrada de veículos no sistema é igual à saída de veículos no sistema como se pode ver na figura 54.

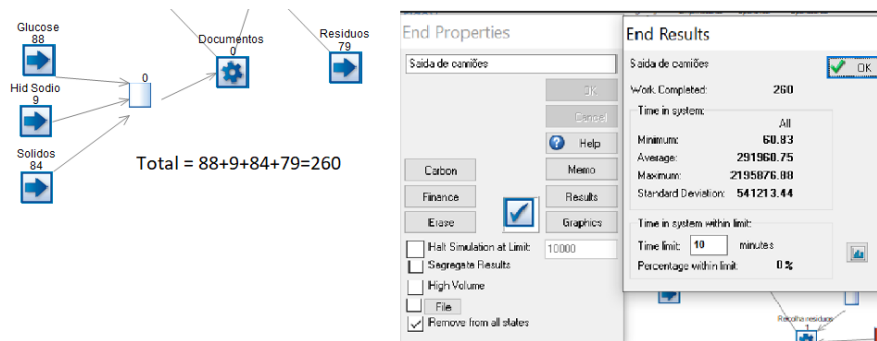


Figura 53 – Comparação entrada e saída de veículos

### Aplicação de *Labels* e sua manipulação

O correto funcionamento das labels é determinante para o sucesso do modelo desenvolvido, uma vez que a sua má implementação pode levar a resultados deturpados. Na figura 55, a partir de uma simulação *step by step*, é possível verificar que *work item* referente à Glucose (Encomenda 1) segue para o abastecimento tanque 1 como era esperado.

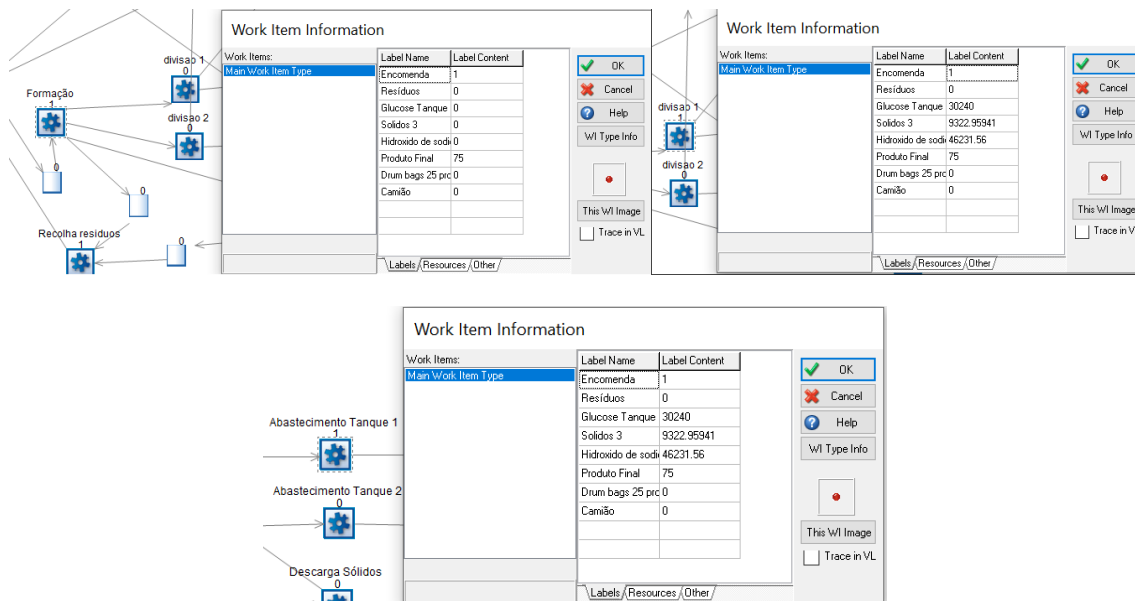


Figura 54 – Uso da Label Encomenda 1 e sua manipulação

Após a cisterna ter sido descarregada, é possível verificar é atribuída à *Label/Encomenda* o valor de 10 como se pode ver na figura 56.

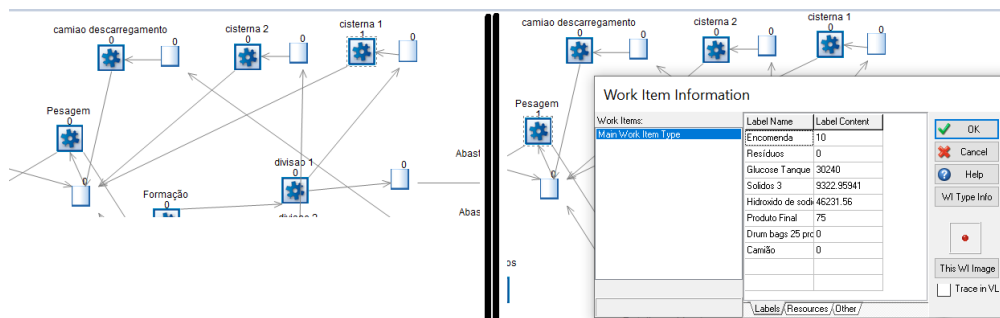


Figura 55 – Transformação da *Label/Encomenda* 1 em Encomenda 10

Do outro lado, na figura 56, é possível verificar que o *work item* referente à glucose se transforma nos quilogramas referentes à quantidade de matéria prima requisitada.

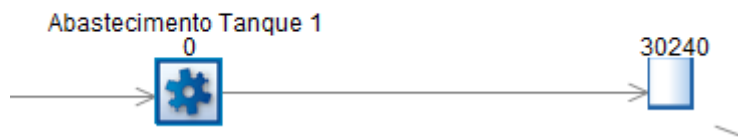


Figura 56 – Transformação da encomenda em quilogramas de Matéria prima

De referir que o mesmo acontece para as outras matérias primas (Hidróxido de Sódio e Sólidos).

Em relação à quantidade de matéria prima que a atividade Produção e Embalamento arrecada com a propriedade *collect*, pode-se confirmar que são as calculadas nas equações 11,12 e 13 como se pode ver na figura 58.

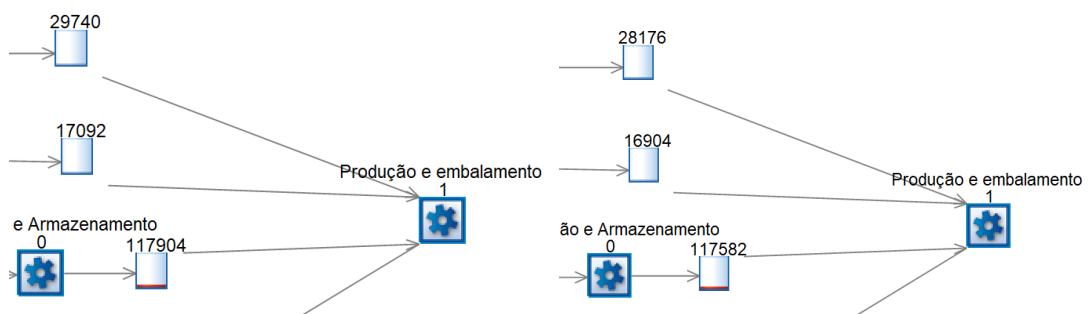


Figura 57 – Validação da opção *collect* e suas quantidades

## Validação do modelo de simulação

Após efetuada a verificação ao modelo e confirmada a implementação bem-sucedida dos diversos processos, é necessário proceder à sua validação. Como o trabalho desenvolvido é sobre uma *start up*, que ainda não tem dados para serem comparados, será só possível verificar se existe algum congestionamento ao longo do modelo.

A implementação nesta fase do modelo de simulação já foi feita e com os dados, previamente recolhidos na empresa, devidamente inseridos. Como já foi referido anteriormente o presente trabalho foca a sua análise na gestão de stocks e de estrangulamentos causados pelos veículos na entrada e saída da fábrica, de forma que foi necessário confirmar se não existem congestionamentos ao longo do modelo que comprometam o funcionamento e dificultem a estabilização do próprio sistema.

## Congestionamentos

Com o objetivo de obter resultados com maior fiabilidade nesta análise, foi executada uma simulação com um tempo de simulação longo (5 anos). Seguidamente foi-se verificar se havia congestionamentos nas filas de espera que se quer analisar (figura 59). Dito isto, analisando de uma forma geral, é possível verificar a existência de constrangimentos em relação ao stock de Glucose e de Sólidos antes de proceder para a produção. O *stock* de Hidróxido de Sódio, por outro lado, aparenta ser escasso sendo esse uma das variáveis a analisar. É também relevante a quantidade de produto final na fila de espera que antecede a atividade produção e embalagem 75\_3. Dito isto, é necessário analisar a fonte do problema destes congestionamentos.

Uma análise mais detalhada desta *run* sobre os indicadores de desempenho do sistema (KPI's), fornecido pela opção *Results Manager* do Simul8, está disponível no Anexo A.

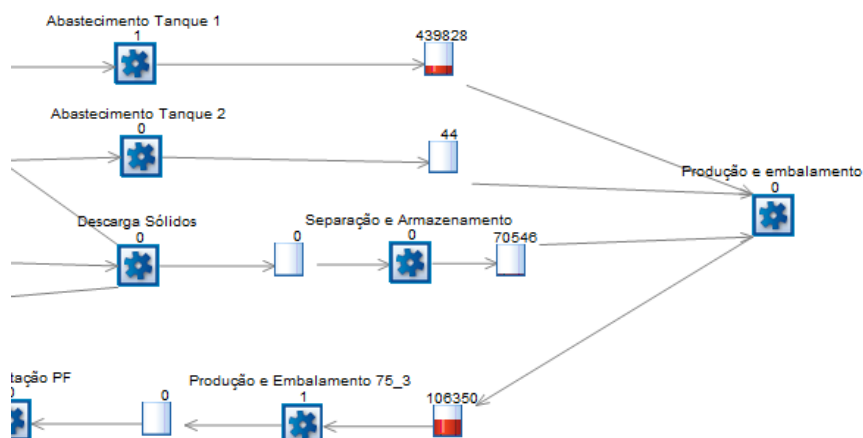


Figura 58 – Constrangimentos nas filas de espera da secção de manufatura

Em relação à quantidade de produto final obtido, é possível verificar que só foram produzidos 794 drumbags de 25kg (figura 60).

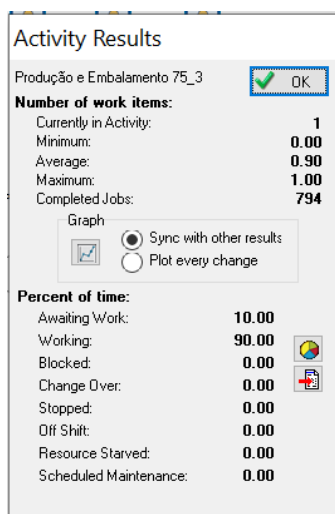


Figura 59 – Resultados atividade Produção e embalagem 75\_3

Após analisados os resultados das filas de espera mais críticas presentes no modelo, nomeadamente as que antecedem a secção de produção (secção mais longa) foi possível concluir que não existem constrangimentos relevantes (figura 61) tendo um tempo de espera reduzido devido à pouca rotatividade das MPs.

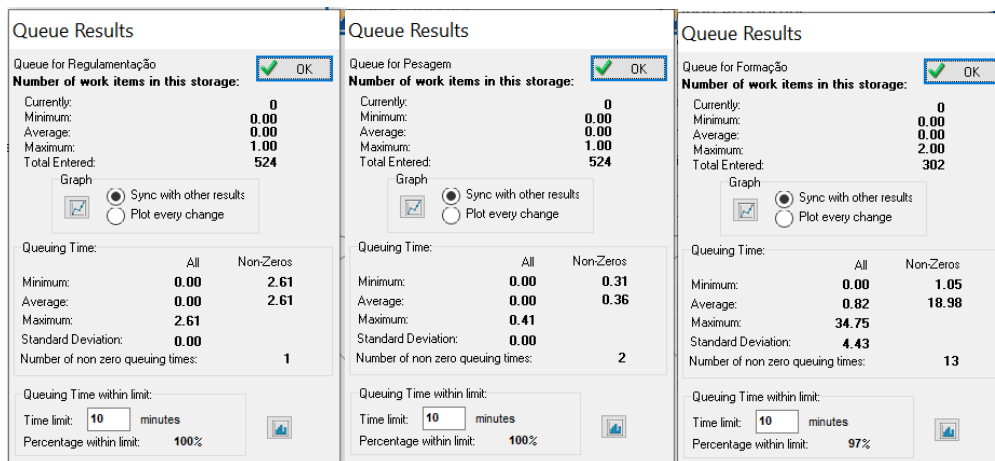


Figura 60– Resultado das filas de espera que antecedem a secção de produção e que usam os recursos seguranças e operadores

O mesmo acontece com a actividade de separação e armazenamento (figura 62). Esta apresenta um tempo reduzido significando que o número mínimo de recursos estudados e atribuídos pela empresa aparentam estar certos.

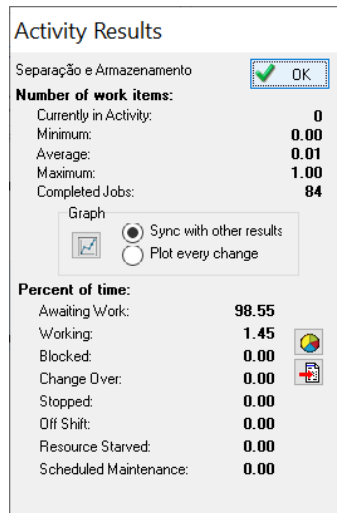


Figura 61 - Resultado das filas de espera que antecedem a secção de produção e que usa os recursos operário e empilhadora

### 4.3 Experiências e Discussão dos Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos após realizar algumas análises ao modelo de simulação. O recurso à análise de sensibilidade nesta secção é uma ferramenta interessante na medida em que é possível alterar os inputs do modelo, de forma a ver o seu efeito no output do sistema. Também é inserido nesta secção a estabilização do sistema, definindo o tempo de *warm up*, o tempo de simulação e o número de vezes que modelo é executado (número de runs) a considerar.

#### Inputs a corrigir

Como referido anteriormente, uma das principais razões dos constrangimentos obtidos deve-se à escassez da matéria prima Hidróxido de sódio. Analisando o gráfico do *stock* de hidróxido de sódio, é possível verificar durante a maior parte do tempo não existe matéria prima suficiente para a produção (figura 63). Dito isto, vai-se realizar uma análise de sensibilidade em relação ao número de encomendas previstas.

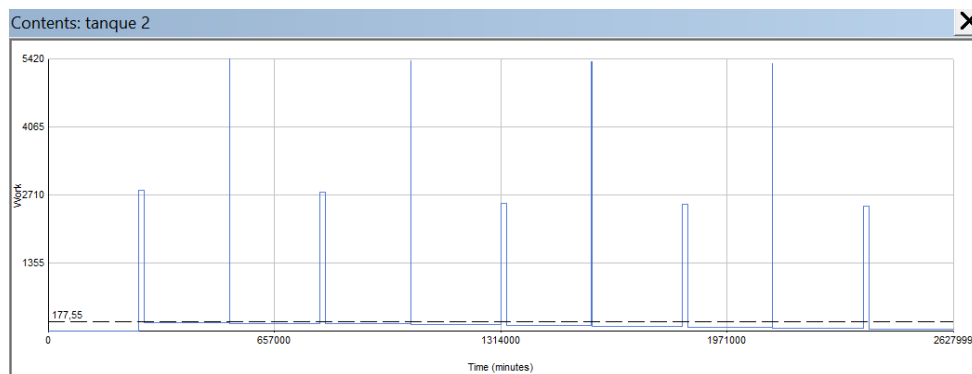


Figura 62 – Quantidade de stock de Hidróxido de sódio disponível

Apesar não terem sido apresentados limites de capacidade de armazenamento de stock para a fábrica, os números apresentados pela glucose e pelos sólidos são excessivos como se pode ver na figura 64 e 65. Esta espera pela produção, também afetou a quantidade produzida de produto final.

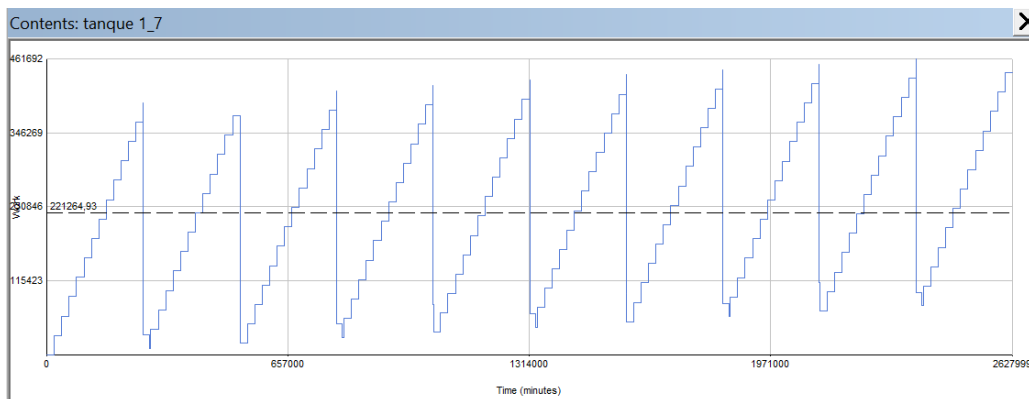


Figura 63 - Quantidade de stock de Glucose disponível ao longo do tempo

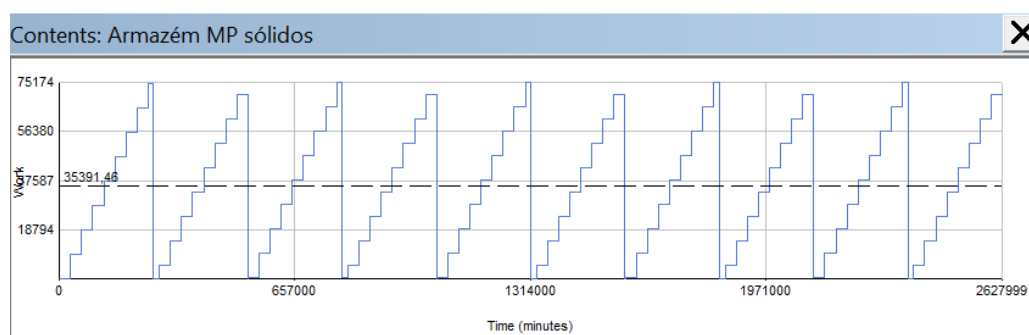


Figura 64 - Quantidade de stock de Sólidos disponível ao longo do tempo

#### 4.3.1 Análise da variação da taxa de entrada das matéria primas

Devido a não ser possível alterar a parte de produção devido às capacidades máximas predefinidas pela empresa e pelas máquinas, efetuou-se alterações às taxas de entrada das matérias primas. Previamente, os dados calculados com as condições referidas pela empresa eram os apresentados na tabela 8. Dito isto, vão ser calculados novos dados de forma a ultrapassar os constrangimentos.

Tabela 6 – Dados anteriores de chegada de Matérias Primas

Glucose		Hidróxido de Sódio		Sólidos	
Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)
20215	29633	262800	46232	32850	9907



De forma a calcular os novos dados para se fazer análise, foi usado o rácio de consumo dado pela empresa (consultar anexo B). De referir que os dados apresentados na tabela 9 não correspondem a uma solução ótima e servem só de caminho para um melhoramento de resultados a obter.

De forma a escolher o número de encomendas para o Hidróxido de sódio, foi criado um gráfico a partir do rácio correspondente à quantidade por ano de matéria prima de desejada pela empresa. Dito isto, de forma a reduzir custos, os cálculos foram feitos apenas para um número reduzido de encomendas. Na figura 66, é possível verificar que a empresa regista um maior número de envio de camiões com produto finalizado quando o número de encomendas de hidróxido de sódio é 5.

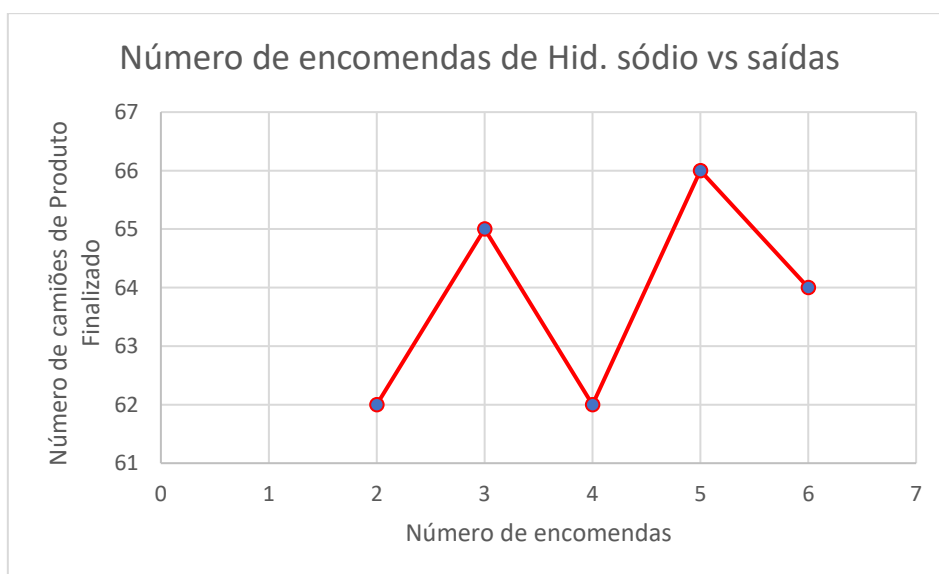


Figura 65 - Número de encomendas de Hid. sódio vs saídas

Dito isto, vai-se proceder à análise de resultados de acordo com a tabela 9 com a alteração para cinco encomendas em vez das duas anteriores para o Hidróxido de Carbono.

Tabela 7 – Dados novos das chegadas de Matérias Primas

Glucose		Hidróxido de Sódio		Sólidos	
Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)	Tempo de entrada no sistema (minutos)	Quantidade (unidades)
57524	29632,65308	113688	7200	86139	9905,644375

## Warm up

O período de *warm up* é necessário visto que no início da simulação, como o modelo não se encontra estabilizado, existe alguma inconsistência nos resultados. Posto isto, o *warm up* é o intervalo de tempo em que o software não contabiliza os resultados, de forma a que o modelo entre em estabilidade previamente à análise dos resultados.

A grande razão para o sistema precisar de *warm up* reside na diferença de intervalos de tempo entre a chegada das matérias primas. Sendo assim, de forma a escolher o tempo ideal de *warm up*, foi analisado a atividade a seguir à produção e embalamento sendo aqui que o sistema começa a produzir e consequentemente a usar recursos.

Na figura 63 é possível verificar que o sistema só começa a produzir aproximadamente aos 3 meses. Dessa forma, antes de fazer qualquer alteração aos dados de entrada no sistema, foi escolhido um intervalo de tempo de 3 meses para o *warm up*.

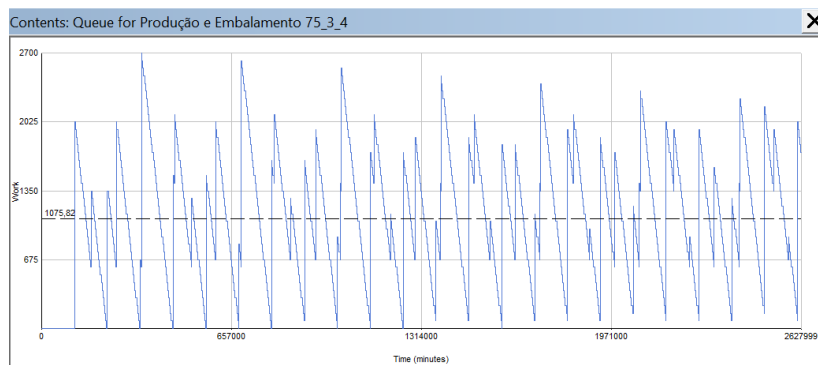


Figura 67 – Evolução da fila de espera para produção e embalamento 75\_3 sem *warm up*

## Tempo de simulação

De forma a determinar o tempo de simulação, foi efetuado o mesmo procedimento que foi utilizado no *warm up*. Foi executada uma corrida (*run*) mas agora com o tempo de *warm up* definido anteriormente. Para registar a sua evolução, o tempo de simulação foi variando para verificar o momento onde o sistema começa a estabilizar, ou seja, que os indicadores de desempenho estabilizam. Na figura 67 é possível verificar que o sistema começa a estabilizar aos 5 anos sendo esse o tempo definido para simulação.

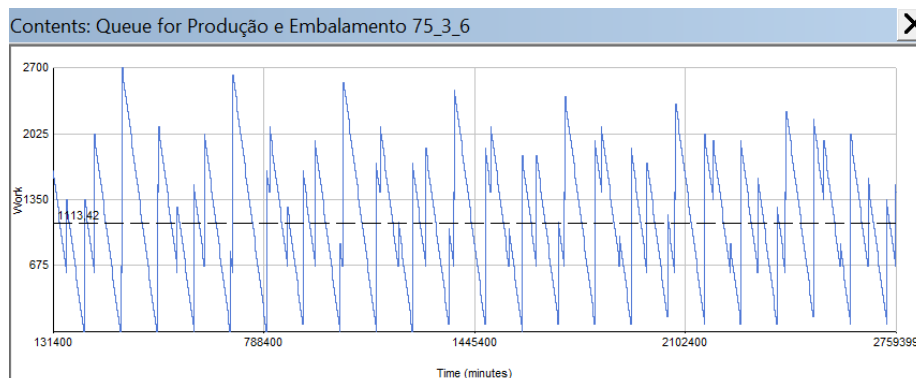


Figura 68 - Evolução da fila de espera para produção e embalamento 75\_3 com *warm up*

## Análise da variação da taxa de entrada das matérias primas

Após uma *run* com um tempo predefinido de 5 anos, com as novas taxas de entradas, verificou-se uma enorme melhoria no modelo como se pode ver na figura 68.

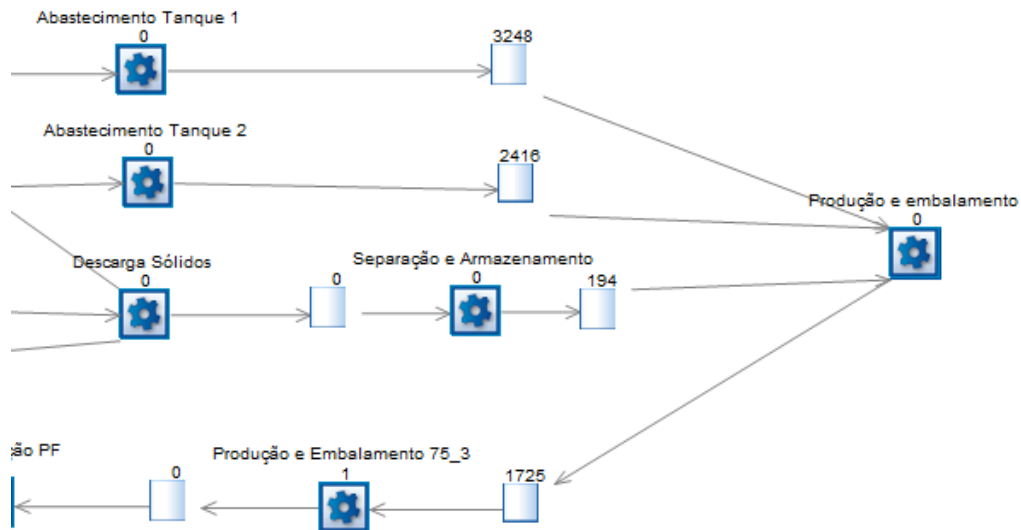


Figura 66 – Verificação dos constrangimentos após mudança das taxas de entrada das MP.

## Número de *runs* a considerar na experiência

De forma a testar uma solução, é necessário realizar uma experiência com vários *runs*, recorrendo a séries de número pseudoaleatórios e independentes entre si, com o objetivo de assegurar resultados com intervalos de confiança mais estreitos. Através da ferramenta do SIMUL8, Trial Calculator, foi possível chegar a um número recomendado de *runs*, ilustrado na figura 69. Visto que o sistema apresenta uma grande variabilidade foi introduzido um intervalo de confiança de 5%.

A leitura dos resultados permite concluir que a o tempo médio de permanência no sistema é a medida de desempenho que mais variabilidade tem dado o elevado número de *runs* recomendados. Por conseguinte, concluiu-se que 31 é o número de *runs* mais adequado para o modelo.

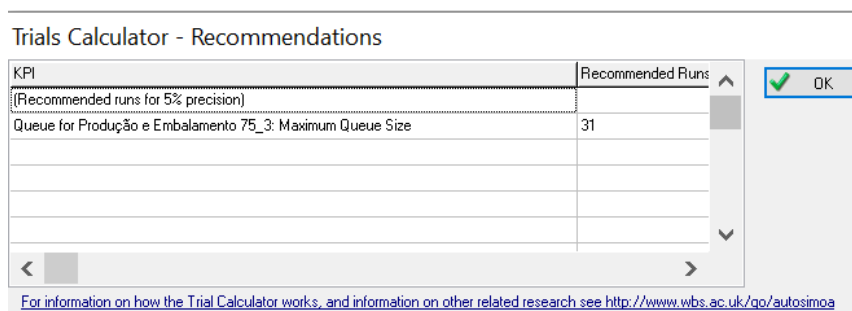


Figura 67 - Número de *runs* recomendado pelo *trials calculator*

## Correção dos inputs

De forma a verificar a máxima capacidade armazenada de cada matéria prima, são apresentados os gráficos que demonstram a quantidade de matéria prima ao longo do tempo (figura 69, 70 e 71). Estes demonstram uma maior coerência de resultados verificando-se assim que as novas taxas de entradas registam um melhoramento notável no modelo sendo assim esta a solução escolhida.

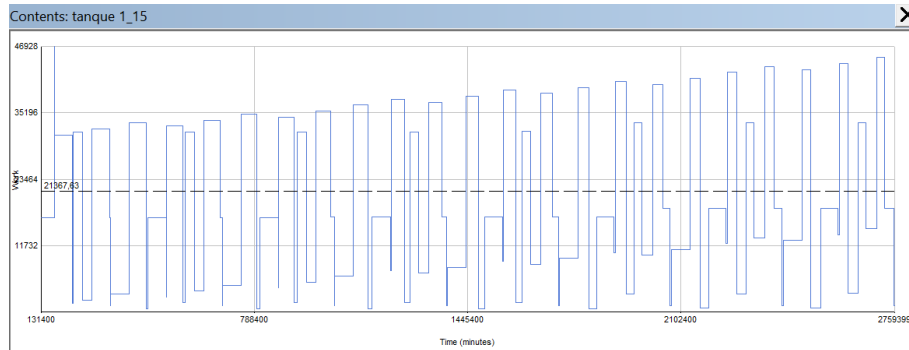


Figura 68 – Nova quantidade de stock de Glucose disponível ao longo do tempo

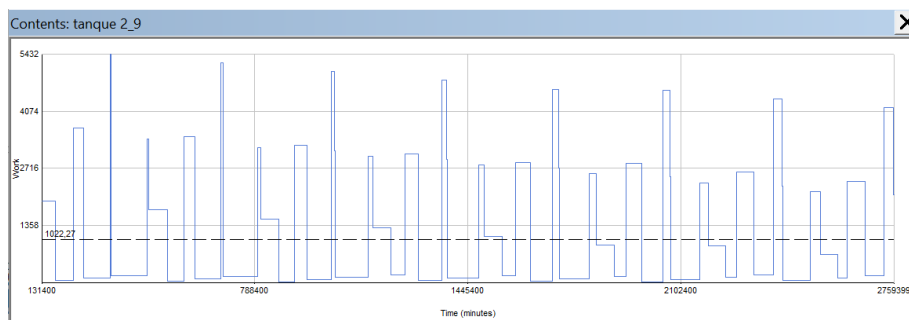


Figura 69 – Nova quantidade de stock de Hidróxido de Sódio disponível ao longo do tempo

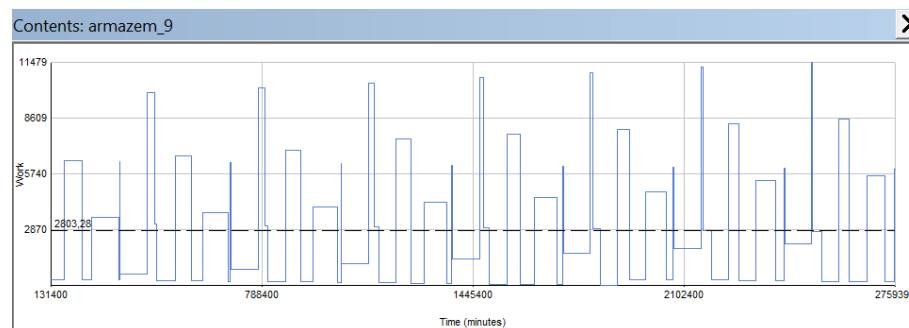


Figura 70 – Nova quantidade de stock de Sólidos disponível ao longo do tempo

É possível também verificar que, em relação à quantidade de produto final obtido, houve uma melhoria considerável, produzindo-se assim 882 *drumbags* de 25kg (figura 73) verificando-se uma melhoria de aproximadamente 11,1% face aos 794 *drumbags* produzidos anteriormente.

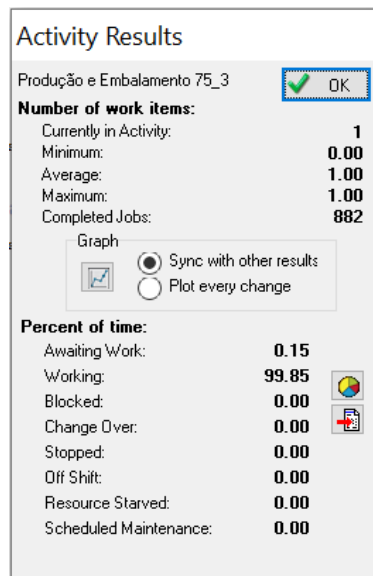


Figura 71 - Resultados atividade Produção e embalagem 75\_3 / Quantidade produzida

Em relação ao número de recursos estudados, verifica-se que os mínimos propostos pela empresa (2 seguranças, 1 empilhadora e 1 operador) registam uma quantia aproximadamente de 0% de utilização devido ao tempo que estão parados na unidade fabril.

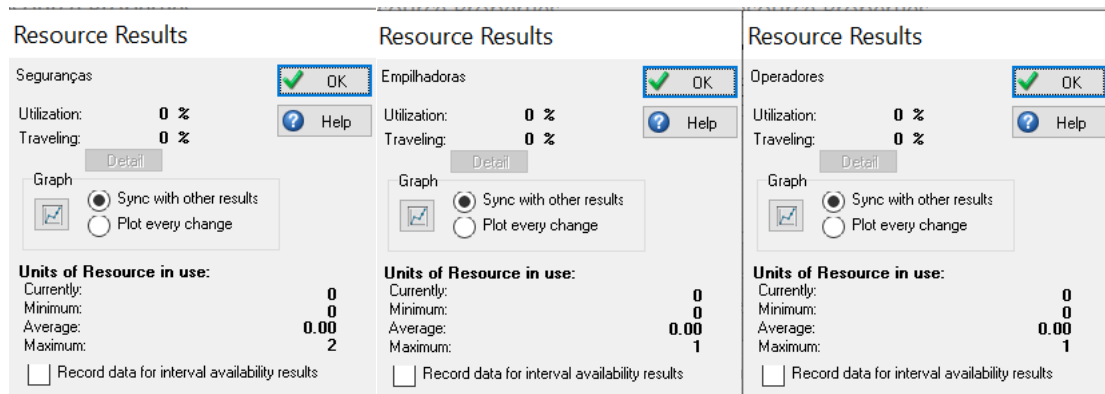


Figura 72 – Utilização dos recursos Seguranças, Empilhadoras e Operadores

Em relação aos operários, foi feito um estudo para saber qual era o número de operários necessário para que a taxa de utilização não estivesse a 100% de forma a evitar grandes filas de espera. Dessa forma verificou-se a alteração de 100% (figura 74), quando o número de operários é de 5, para 83% (figura 75), quando a quantidade é alterada para 6 operários.

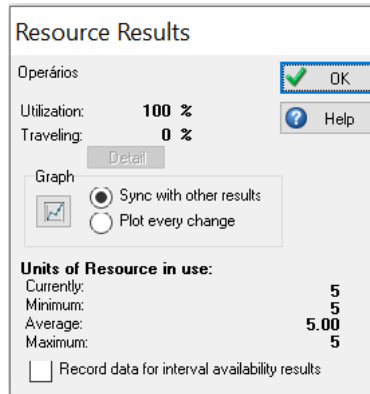


Figura 73 - Utilização recurso operários (quantidade 5)

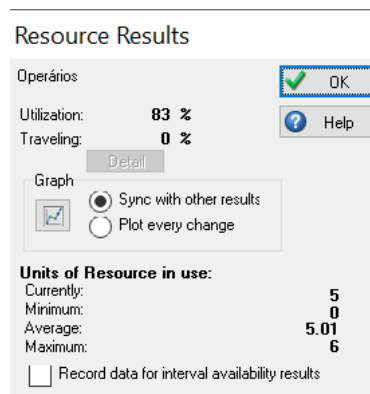


Figura 74 - Utilização recuso operários (quandidade 6)



## 5. Conclusões Finais

Com o ressurgimento do interesse pela L-Fucose (monossacarídeo raro com disponibilidade natural limitada) face aos 30 anos anteriores e conseqüente crescimento (exponencial) do mercado, a empresa 73100 viu a oportunidade, sendo a área desta, de fabricar o monossacárido. A principal dificuldade no mercado da L-fucose é que apenas é produzida em pequena escala, na ordem das dezenas de gramas até alguns quilos. Não existem, até ao momento, processos de produção viáveis que permitam satisfazer a procura em larga escala, resultante de futuras aplicações nos mercados alimentar e farmacêutico devido à dificuldade dos processos de obtenção de L-fucose. De forma a ser viável a produção do monossacarídeo, é necessário ter redução de custos e aumentos de eficiência em todas as operações que a envolvem. Dito isto, foi necessário explicar os conceitos envolventes no fabrico dos monossacarídeos e referir os dados relevantes para o problema.

De seguida foi efetuada uma revisão de literatura relativamente aos conceitos e definições relevantes para a análise do problema, nomeadamente a Gestão logística, gestão de armazéns e a simulação. De forma a se compreender a razão de ter escolhido os métodos da simulação para o desenvolvimento deste estudo, foram analisados vários pontos de vista de acordo com vários autores que promovem o uso de técnicas de simulação, mais concretamente a simulação discreta baseada em eventos.

Seguidamente, foi apresentado o sistema referente ao caso em estudo, o complexo industrial onde serão feitos todos os processos de fabrico onde são mencionadas todas as questões a serem estudadas, assim como a forma de obtenção de dados para o estudo. Foi também identificada a simulação de eventos discretos, utilizando o software SIMUL8, como uma ferramenta capaz de auxiliar a análise do presente estudo.

Devido à fábrica em estudo pertencer a uma empresa *start up*, surgiram algumas dificuldades durante a fase de desenvolvimento. A falta de existência de dados de comparação e a criação de um modelo sem as atividades em funcionamento na fábrica foram um obstáculo que acompanhou durante todo o desenvolvimento do documento. No entanto a decomposição do modelo de simulação em várias partes permitiu ajudar tanto na construção como na verificação, analisando os processos de modo a evitar a complexidade de analisar um sistema desta dimensão como um todo.

O modelo de simulação desenvolvido permitiu prever os vários pontos de estrangulamento que possam existir quando a fábrica iniciar a sua produção, testar as taxas de utilização dos recursos. e por fim, analisar a taxa de entrada dos inputs.

Através das análises realizadas foi possível concluir que os recursos mínimos escolhidos pela empresa 73100 não se verificaram um problema. Dito isto, como a taxa de utilização destes era muito baixa, aconselha-se a um planeamento sob o requisito de recursos humanos, sendo estes talvez só chamados na sua eventual necessidade e não a tempo inteiro. Em relação à quantidade



de operários, registou-se que o mínimo necessário de forma a não haver filas de espera e que a produção estivesse de forma contínua sem interrupções seria a utilização de seis operários.

A implementação de uma taxa de entrada com o mínimo de encomendas possíveis tornou-se inviável registando-se grandes constrangimentos a nível de gestão de stock e de produção. Sendo assim, foram calculadas novas taxas de entrada de matéria prima, e uma nova quantidade de produto a entrar de cada vez da matéria prima Hidróxido de Sódio. Estes cálculos tiveram como base o tempo e quantidade de produção da fábrica de forma a obter um maior nível de equilíbrio ao longo do sistema. Concluindo o estudo, verificou-se que cinco seria o número indicado de encomendas para o Hidróxido de Sódio, registando um maior número de encomendas.

Os resultados permitem concluir uma grande diferença no armazenamento de matéria prima, diminuindo significativamente a quantidade máxima de armazenamento das matérias primas, assim como um equilíbrio, não registado anteriormente, da matéria prima Hidróxido de Sódio acabando com a sua escassez para a produção. Foi também possível verificar um aumento no produto final obtido devido a uma produção contínua ao longo do tempo.

Embora tenha sido possível retirar algumas conclusões interessantes a respeito do modelo de simulação desenvolvido no âmbito deste trabalho, sugerem-se algumas recomendações para trabalhos futuros. Como os resultados obtidos definem só um melhoramento do sistema, sugere-se a utilização de outra ferramenta com cálculo algébrico e otimização matemática que consiga formular problemas de otimização complexos de forma a calcular melhores resultados para as taxas de entrada de matéria prima com o intuito de estabilizar de uma forma ótima o problema enfrentado. Seria interessante também utilizar uma taxa de entrada de matéria prima inconstante (nomeadamente outro tipo de distribuição) de forma a se calcular um limite de stock de segurança que deixasse a fábrica sempre em processo contínuo.

Na eventual inauguração da fábrica e início da produção, seria interessante voltar a estudar as diferentes atividades da fábrica e compará-las com os resultados obtidos neste documento. Se fosse possível, era também interessante a recolha de novos dados para análise.



## Referências

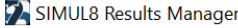
- Banks, J. et al., 2014. Discrete-Event System Simulation 5th ed., Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education Limited.
- Basole, R. C., & Bodner, D. A. (2015). Computational Modeling of Complex Enterprise Systems: A Multi-Level Approach, Springer London
- Carvalho, J.C. de et al., 2010. Logística e Gestão Logística. In J. C. de Carvalho, ed. Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento. Lisboa: Edições Sílabo, p. 722.
- Dong, M. (2001). Process modeling, performance analysis and configuration simulation in integrated supply chain network design, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponível em: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/28779> (data da consulta: 20/10/20)
- Emmett, S. (2005). Excellence in Warehouse Management: How to Minimise Costs and Maximise Value, John Wiley & Sons
- Ericsson, H. M. (1999). Managing construction supply chain by simulation. Licentiate Thesis, Helsinki University of Technology, 1–6. Disponível em: <http://itc.scix.net/data/works/att/ecce-2001-8.content.pdf> (data da consulta: 18/10/20).
- European Commission. (2008). Commission Regulation (Regulamento (CE)) N.º 1272/2008 de 16 de dezembro de 2008 relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas. Jornal Oficial Da União Europeia, L353/1-L353/1355
- Ferreira, B.L.S., 2012. A Aprendizagem da Simulação Através dos Diagramas Ciclo de Atividades – Uma Ferramenta de Modelação. Universidade do Minho. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/25823>.
- Globerson, S. (2014). Logistics Management and Supply Chain Management: A Critical Evaluation. International Journal of Business and Economics Research, 3(2), 82.
- GoldSim Technology Group LLC. (2016). Dynamic Simulation and Supply Chain Management. Disponível em: <http://www.goldsim.com/downloads/whitepapers/scmpaper.pdf> (data da consulta: 20/10/20).
- Harrell, C., Ghosh, B.K. & Bowden, R.O., (2012). Simulation Basics. Simulation Using ProModel, pp.57–85.
- Swain, J.J., 2011, Discrete event simulation software tools: Back to the future, OR/MS Today
- Kent Jr., J.L., Flint, D.J., (1997). Perspectives on the evolution of logistics thought, Journal of Business Logistics, Vol. 18 (No. 2)
- Kieran, C., Mark, E., Jillian, T., & Stanley, T. (2007). Simulation Modeling with SIMUL8. Visual Thinking International.
- Law, A.M., (2007). Simulation Modeling & Analysis Fourth., McGraw-Hill International.
- Lucas, Ana. (1980). Actas do 1º Congresso Português de Informática, vol.2, p.140-156, API., Lisboa.
- Membros, E. (2017). Decreto Lei 132/2017 - Finanças, Trabalho, Solidariedade E Segurança Social E Agricultura , Florestas E Desenvolvimento Rural. 5638–5647.


- Morgan, C. B., Banks, J., & Carson, J. S. (1984). Discrete-Event System Simulation. *Technometrics*, 26(2), 195.
- News, M. (2020). Os riscos do armazenamento de produtos químicos em âmbito industrial Segurança, prioridade para o armazenamento de produtos químicos. 1–11. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/armazenamento-produtos-quimicos> (data da consulta: 28/09/20).
- Nova, Acácio M. de O. Porta Nova (2008). Apontamentos de Simulação, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia e Gestão.
- Okagbue, H.I. et al., 2014. Using the Average of the Extreme Values of a Triangular Distribution for a Transformation, and Its Approximant via the Continuous Uniform Distribution 2 The Basic Concepts of the Probability Distributions, H. M. Srivastava, Department of Mathematics and Statistics University of Victoria, Canada.
- Oliveira, R., 2014. Simulação. Apontamentos da unidade curricular Simulação de Processos e Operações. Instituto Superior Técnico.
- Paul, R.J., 1993. Activity Cycle Diagrams and the Three Phase Method. Proceedings of the 1993 - Winter Simulation Conference, p.9.
- Reniers, G. L. L., Šorensen, K., & Vrancken, K. (2013). Management Principles of Sustainable Industrial Chemistry 1st Edition, Kindle Edition
- Richards, G., (2011). Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse, Kogan Page.
- Robinson, S., 2005. Discrete-event simulation: From the pioneers to the present, what next? *Journal of the Operational Research Society* 56 (6), 619–629.
- Robinson, S. et al., 2010. Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation 1st ed., Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Sarjoughian, H. S.; Huang, D. P.; Godding, G. W.; Wang, W.; Rivera, D. E.; Kempf, K. G.; Mittelmann, H. D. (2005). Hybrid discrete event simulation with model predictive control for semiconductor supply-chain manufacturing, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 256-265.
- S.A., S. P. (2017). Flexitank e Liner Bag como uma opção para o transporte global de mercadorias. Disponível em: <https://www.sgs.pt/~media/Local/Portugal/Documents/Brochures/SGSTRAFLEXITANKA4PT17.pdf> (data da consulta: 03/11/20).
- Setenta e Três Mil e Cem, Lda (2020). Unidade Industrial Açucares Raros Business Plan.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2004). Managing the Supply Chain: The Definitive Guide for the Business Professional, Pvt Limited.
- Smiley, R. A., & Jackson, H. L. (Harold L. (2002). Chemistry and the chemical industry : a practical guide for non-chemists, CRC Press.
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2010). Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 784–794.

- Tsekeris, T., & Ntemoli, P. (2011). Simulation-based Design of Large-Scale Supply Chain Networks: The Case of Automobile Industry. *Scientific Journal of Maritime Research*, 1–16.
- Wu, Y.; Frizelle, G.; Ayrat, L.; Marsein, J.; Van de Merwe, E.; Zhou, D. A. (2002) *Simulation Study on Supply Chain Complexity in Manufacturing Industry*, Cambridge University Press.
- Wang, Q., & Ingham, N. (2008). A discrete event modelling approach for supply chain simulation, *International Journal of Simulation Modelling*, 7(3), 124–134. Disponível em [https://doi.org/10.2507/IJSIMM07\(3\)2.100](https://doi.org/10.2507/IJSIMM07(3)2.100) (data da consulta: 29/09/20).

# Anexos

Anexo A – Dados recolhidos sobre os indicadores de desempenho críticos para o sistema através da opção Results Manager do Simul8

 SIMUL8 Results Manager



KPIs KPI History Scenarios All Object Results Custom Reports

Display KPI Comparison Chart KPI Comparison Data

	Base Run			
	Run 02:49:50 31/07/2021	Run 02:44:46 31/07/2021	Run 01:29:51 31/07/2021	Run 01:22:43 31/07/2021
Saida de camiões Average Time in System	116.17182	115.26809	115.92972	118.1441
Abastecimento Tanque 1.Waiting %	99.82489	99.82432	99.82456	99.88233
Abastecimento Tanque 1.Working %	0.17256	0.17314	0.17256	0.11172
Abastecimento Tanque 1.Blocked %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Stopped %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Change Over %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Off Shift %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Resource Starved %	0.00255	0.00255	0.00287	0.00047
Abastecimento Tanque 1.Maintenance %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Number Completed Jobs	129	130	129	88
Abastecimento Tanque 1.Minimum Use	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 1.Average Use	0.00177	0.00177	0.00173	0.00118
Abastecimento Tanque 1.Maximum Use	1	1	1	1
Abastecimento Tanque 1.Current Contents	1	0	1	0
Abastecimento Tanque 2.Waiting %	99.60508	99.60058	99.60508	99.68818
Abastecimento Tanque 2.Working %	0.01199	0.01332	0.01199	0.01199
Abastecimento Tanque 2.Blocked %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Stopped %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Change Over %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Off Shift %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Resource Starved %	0.38293	0.3861	0.38293	0.23884
Abastecimento Tanque 2.Maintenance %	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Number Completed Jobs	9	10	9	9
Abastecimento Tanque 2.Minimum Use	0	0	0	0
Abastecimento Tanque 2.Average Use	0.00012	0.00014	0.00012	0.00011
Abastecimento Tanque 2.Maximum Use	1	1	1	1
Abastecimento Tanque 2.Current Contents	0	0	0	0
armazem drumbags.Minimum Queue Size	0	0	0	0
armazem drumbags.Average Queue Size	0	0	0	0
armazem drumbags.Maximum Queue Size	1	1	1	1
armazem drumbags.Minimum Queuing Time	0	0	0	0
armazem drumbags.Minimum (Non-zero) Queuing Time	2.224	2.224	2.224	2.224
armazem drumbags.Average Queuing Time	0.05941	0.08767	0.05941	0.05575
armazem drumbags.Average (Non-zero) Queuing Time	2.49511	2.4839	2.49511	2.34159
armazem drumbags.Maximum Queuing Time	2.76623	2.76623	2.76623	2.45918
armazem drumbags.Number of Non-zero Queuing Times	2	3	2	2
armazem drumbags.% Queued Less Than Time Limit	100	100	100	100
armazem drumbags."Queued Less Than" Time	10	10	10	10
armazem drumbags.St Dev of Queuing Time	0	0.46236	0	0
armazem drumbags.Current Contents	0	0	0	0
armazem drumbags.Items Entered	84	85	84	84
camiao descarregamento.Waiting %	99.96804	99.96766	99.96804	99.96804
camiao descarregamento.Working %	0.03196	0.03234	0.03196	0.03196
camiao descarregamento.Blocked %	0	0	0	0
camiao descarregamento.Stopped %	0	0	0	0
camiao descarregamento.Change Over %	0	0	0	0

	Base Run				
camiao descarregamento.Off Shift %	0	0	0	0	0
camiao descarregamento.Resource Starved %	0	0	0	0	0
camiao descarregamento.Maintenance %	0	0	0	0	0
camiao descarregamento.Number Completed Jobs	84	85	84	84	163
camiao descarregamento.Minimum Use	0	0	0	0	0
camiao descarregamento.Average Use	0.00032	0.00033	0.00034	0.00036	0.00071
camiao descarregamento.Maximum Use	1	1	1	1	1
camiao descarregamento.Current Contents	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Waiting %	99.75722	99.7549	99.75722	99.75722	99.44225
Descarga Sólidos.Working %	0.24278	0.2451	0.24278	0.24278	0.47575
Descarga Sólidos.Blocked %	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Stopped %	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Change Over %	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Off Shift %	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Resource Starved %	0	0	0	0	0.082
Descarga Sólidos.Maintenance %	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Number Completed Jobs	84	85	84	84	163
Descarga Sólidos.Minimum Use	0	0	0	0	0
Descarga Sólidos.Average Use	0.00247	0.00249	0.0024	0.0024	0.00475
Descarga Sólidos.Maximum Use	1	1	1	1	1
Descarga Sólidos.Current Contents	0	0	0	0	0
Empilhadoras.Utilization %	0.24278	0.2451	0.24278	0.24278	0.47575
Empilhadoras.Minimum Use	0	0	0	0	0
Empilhadoras.Current Use	0	0	0	0	0
Empilhadoras.Average Use	0.00243	0.00245	0.00243	0.00243	0.00476
Empilhadoras.Maximum Use	1	1	1	1	1
Empilhadoras.Traveling %	0	0	0	0	0
Formação.Waiting %	99.78304	99.7817	99.78293	99.81603	99.75844
Formação.Working %	0.21037	0.21297	0.21037	0.18164	0.23633
Formação.Blocked %	0	0	0	0	0
Formação.Stopped %	0	0	0	0	0
Formação.Change Over %	0	0	0	0	0
Formação.Off Shift %	0	0	0	0	0
Formação.Resource Starved %	0.00659	0.00534	0.0067	0.00234	0.00523
Formação.Maintenance %	0	0	0	0	0
Formação.Number Completed Jobs	302	305	302	260	339
Formação.Minimum Use	0	0	0	0	0
Formação.Average Use	0.00224	0.00228	0.00214	0.0018	0.00229
Formação.Maximum Use	1	1	1	1	1
Formação.Current Contents	0	0	0	0	0
Formação.Waiting %	99.96085	99.9626	99.96085	99.96085	99.96085
Formação.Working %	0.03915	0.0374	0.03915	0.03915	0.03915
Formação.Blocked %	0	0	0	0	0
Formação.Stopped %	0	0	0	0	0
Formação.Change Over %	0	0	0	0	0
Formação.Off Shift %	0	0	0	0	0
Formação.Resource Starved %	0	0	0	0	0

	Base Run				
Formação 2.Maintenance %	0	0	0	0	0
Formação 2.Number Completed Jobs	58	55	58	58	58
Formação 2.Minimum Use	0	0	0	0	0
Formação 2.Average Use	0.00034	0.00033	0.00034	0.00034	0.00034
Formação 2.Maximum Use	1	1	1	1	1
Formação 2.Current Contents	0	0	0	0	0
Glucose.Number Entered	130	130	130	88	88
Glucose.Number Lost	0	0	0	0	0
Glucose.Net Number Entered	130	130	130	88	88
Hid Sodio.Number Entered	9	10	9	9	9
Hid Sodio.Number Lost	0	0	0	0	0
Hid Sodio.Net Number Entered	9	10	9	9	9
Operadores.Utilization %	0.39492	0.39442	0.39492	0.31082	0.36551
Operadores.Minimum Use	0	0	0	0	0
Operadores.Current Use	1	0	1	0	0
Operadores.Average Use	0.00395	0.00399	0.00395	0.00311	0.00366
Operadores.Maximum Use	1	1	1	1	1
Operadores.Traveling %	0	0	0	0	0
Operários.Utilization %	81.62033	83.40485	81.62036	81.62209	81.89162
Operários.Minimum Use	0	0	0	0	0
Operários.Current Use	5	5	5	5	5
Operários.Average Use	4.89722	5.00429	4.89722	4.89733	4.9135
Operários.Maximum Use	6	6	6	6	6
Operários.Traveling %	0	0	0	0	0
Pesagem.Waiting %	99.84668	99.84477	99.84668	99.87057	99.82455
Pesagem.Working %	0.15332	0.15523	0.15332	0.12943	0.17545
Pesagem.Blocked %	0	0	0	0	0
Pesagem.Stopped %	0	0	0	0	0
Pesagem.Change Over %	0	0	0	0	0
Pesagem.Off Shift %	0	0	0	0	0
Pesagem.Resource Starved %	0	0	0	0	0
Pesagem.Maintenance %	0	0	0	0	0
Pesagem.Number Completed Jobs	524	524	524	441	599
Pesagem.Minimum Use	0	0	0	0	0
Pesagem.Average Use	0.00122	0.00122	0.00154	0.00133	0.00185
Pesagem.Maximum Use	1	1	1	1	1
Pesagem.Current Contents	0	0	0	0	0
Pesagem.Waiting %	99.98308	99.984	99.98308	99.98308	99.98308
Pesagem 2.Working %	0.01692	0.016	0.01692	0.01692	0.01692
Pesagem 2.Blocked %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Stopped %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Change Over %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Off Shift %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Resource Starved %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Maintenance %	0	0	0	0	0
Pesagem 2.Number Completed Jobs	58	55	58	58	58
Pesagem 2.Minimum Use	0	0	0	0	0

## Anexo B – Cálculo dos novos dados para análise

Este anexo destina-se à demonstração do cálculo dos novos dados para análise.

Tabela 8 – Tabela auxiliar para cálculo dos novos dados

Entidade	quantity	nr collects	%	collect	total MP	production time
Glucose	30240	19,33504	75%	1564	2074	2975,09434
Hid sódio	7200	38,29787	9%	188		
Sólidos	9323	28,95342	16%	322		

### Glucose:

$$\text{Taxa de entrada Glucose (min)} = \frac{\text{Quantidade Glucose (kg)} * \text{Tempo de produção (min)}}{\text{Quantidade requisitada de glucose por lote (kg)}} \quad (14)$$

$$\text{Taxa de entrada Glucose (min)} = \frac{30\,240 * 2975}{1564} \approx 57\,524 \text{ min}$$

### Hidróxido de Sódio:

$$\text{Taxa de entrada Hid. Sódio (min)} = \frac{\text{Quantidade Glucose (kg)} * \text{Tempo de produção (min)}}{\text{Quantidade requisitada de glucose por lote (kg)}} \quad (15)$$

$$\text{Taxa de entrada Hid. Sódio (min)} = \frac{7\,200 * 2975}{188} \approx 113\,940 \text{ min}$$

### Sólidos:

$$\text{Taxa de entrada Sólidos (min)} = \frac{\text{Quantidade Glucose (kg)} * \text{Tempo de produção (min)}}{\text{Quantidade requisitada de glucose por lote (kg)}} \quad (16)$$

$$\text{Taxa de entrada Sólidos (min)} = \frac{9\,323 * 2975}{322} \approx 86\,139 \text{ min}$$

Nota: A taxa de entrada do hidróxido de sódio é referente a uma nova quantidade por encomenda. Esta foi mudada devido ao enorme intervalo de tempo sem o sistema receber as quantidades necessárias.



## Anexo C – Dados confidenciais