

 M 2014

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

CONFIGURAÇÃO DA CADEIA LOGÍSTICA DE UM GROSSISTA FARMACÊUTICO

SARA SOFIA BALTAZAR MARTINS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL E GESTÃO

Configuração da cadeia logística de um grossista farmacêutico

Sara Sofia Baltazar Martins

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Almada-Lobo

Coorientador na FEUP: Prof. Pedro Amorim



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2014-07-11

“The best way to predict the future is create it”

(Peter Drucker)

Resumo

A presente dissertação apresenta o caso de estudo da configuração da cadeia de abastecimento de um grossista farmacêutico. As principais decisões aqui questionadas dizem respeito à localização, função e capacidade das atividades dos armazéns e à alocação dos clientes a estes. As diferentes configurações da cadeia de abastecimento são comparadas de acordo com os *trade-offs* envolvidos, como custos da operação, níveis de serviço, riscos e barreiras inerentes à implementação de cada solução.

O estudo é realizado com recurso a uma metodologia híbrida de otimização-simulação. Num modelo de programação matemática são otimizadas as principais decisões da configuração da cadeia, a um nível tático-estratégico, determinando-se as configurações ótimas de acordo com as direções estratégicas impostas. Posteriormente as melhores soluções são retratadas num modelo de simulação por eventos, para avaliar o comportamento da cadeia a nível operacional, complementando a solução com novos indicadores. A validação destes modelos face à configuração atual permite por um lado, confirmar que estes retratam a realidade com precisão e, por outro, determinar indicadores que servirão de *baseline* de comparação com novas configurações estudadas.

Os resultados obtidos demonstram que a otimização da configuração atual permite uma poupança de cerca de 3%, através de pequenos ajustes no funcionamento das atividades. Porém, se a empresa pretender alterar a composição dos seus armazéns, a solução mais vantajosa é alterar a função do armazém S2 para *cross-docking*. Esta mudança pode arrecadar poupanças de cerca de 4,4%, penalizando no entanto o nível de serviço prestado aos clientes dessa região, sendo apenas favorável se o risco vendas perdidas for inferior a 19%.

Configuration of the supply chain of a pharmaceutical wholesaler

Abstract

This dissertation focuses on a case study of a configuration of the supply chain of a pharmaceutical wholesaler. The main decisions challenged here concern the location, function and capacity of the warehouses activities and the allocation of customers. This analysis incorporates the trade-offs, as costs and service levels, risks and barriers inherent in each configuration.

The study is accomplish with support from two representative models, using a hybrid optimization-simulation methodology. In the mathematical programming model, the main decisions are optimized, on a tactic-strategic level, and the best solutions are depicted in the simulation model. This iteration allows to evaluate the solution found on an operation level with new indicators. The validation of the models is crucial to confirm that the supply chain was well represented and to determine indicators that are used as baseline for comparison.

The results show that the optimization of the current configuration allows for 3% savings, through small adjustments in the activities of the supply. However, if the company wants to change the current configuration, it can achieve savings of about 4,4% if the warehouse S2 switches to cross-docking. This change penalizes the customers' service levels, being only gainful if the potential sales losses in the region S2 are lower than 19%.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao Prof. Bernardo Almada-Lobo por me ter convidado a integrar este projeto desafiante, que me permitiu desenvolver diversas competências.

Agradeço ao Prof. Pedro Amorim pelos conhecimentos que partilhou comigo e pela sua disponibilidade em me ajudar, sempre que necessário.

Agradeço ao meu colega Gonçalo Figueira pela ajuda que me deu ao longo do projeto.

Agradeço aos meus colegas da Unidade de Gestão e Engenharia Industrial, do INESC Porto, por amigavelmente me terem acolhido e por todo o apoio que me deram.

Por último mas não menos importante, agradeço ao meu namorado e à minha família por todo o carinho que me deram e pela paciência que tiveram comigo ao longo desta etapa, tendo sido preciosa a confiança que depositaram em mim.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	O mercado farmacêutico	1
1.2	A empresa	1
1.3	O projeto	2
1.4	Metodologia.....	3
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Estado da arte	4
3	Cadeia de abastecimento da empresa	7
3.1	Atividades desempenhadas	7
a)	Compras	7
b)	Entrada da mercadoria no armazém	8
c)	<i>Picking</i>	8
d)	Distribuição	8
3.2	Condicionantes da atividade	9
3.3	Principais indicadores de performance	10
3.4	Oportunidades de melhoria.....	10
4	Modelo de programação matemática.....	12
4.1	Agregação dos dados	12
a)	Produtos	12
b)	<i>Clusters</i> de clientes	13
4.2	Níveis de atividade.....	14
a)	Conferência e <i>Picking</i>	14
b)	Transporte	15
4.3	Custos.....	16
4.4	<i>Inputs/outputs</i>	17
4.5	Descrição do modelo	17
a)	Índices	18
b)	Parâmetros	18
c)	Variáveis de decisão.....	19
d)	Função objetivo	19
e)	Armazéns.....	20
f)	Inventário.....	21
g)	Clientes.....	22
h)	Atividade de Conferência e <i>Picking</i>	22
i)	Atividade de transporte.....	23
j)	Restrições específicas da empresa em análise.....	23
k)	Restrições auxiliares.....	23
4.6	Validação do modelo.....	24
a)	Valores de monetários.....	24
b)	Valores operacionais	25
5	Modelo de simulação por eventos	27
5.1	<i>Inputs/outputs</i>	27
5.2	<i>Framework</i> de simulação	28

a) Compras	28
b) Descentralização de produtos	29
c) Encomendas dos clientes	29
5.3 Validação do modelo.....	30
a) Atividade de Conferência.....	30
d) Atividade de <i>Picking</i>	31
e) Inventário	31
f) Atividade de expedição.....	32
6 Análise de cenários	33
6.1 Cenário otimizado da rede atual	33
a) Resultados do modelo matemático.....	33
b) Barreiras	35
c) Riscos	35
6.2 Cenários alternativos usando a rede atual	36
a) Categoria Conservadora.....	36
b) Categoria Core	42
6.3 Cenários alternativos com novos armazéns.....	44
a) Resultados do modelo de programação matemática.....	45
b) Barreiras	47
c) Riscos	47
6.4 Análise sobre os armazéns avançados.....	48
7 Conclusões.....	49
Referências	50
ANEXO A: Fluxograma da atividade da empresa	51
ANEXO B: <i>Value Stream Mapping</i> da empresa	52
ANEXO C: Interface do simulador	53
ANEXO D: Resultados da atividade de <i>picking</i> do cenário Core 2	54

Siglas

C-D – *Cross-docking*

NA – Negócio da empresa armazenista do grupo

NF – Negócio de comercialização de produtos farmacêuticos

NR – Negócio de representação e comercialização de produtos de saúde

NT – Negócio da empresa transportadora

PVA – Preço de venda ao armazenista

Índice de Figuras

Figura 1 - Dispersão dos clientes e armazéns da empresa.....	2
Figura 2 - Interação dos modelos de programação matemática e simulação.....	3
Figura 3 - Esquema da cadeia de abastecimento da empresa.....	7
Figura 4 - Evolução do n.º de unidades e banheiras processadas.....	9
Figura 5 - Resumo das agregações efetuadas.....	14
Figura 6 - Cálculo da capacidade dos níveis de atividade de conferência e <i>picking</i>	15
Figura 7 - Cálculo do n.º de banheiras expedidas.....	16
Figura 8 - <i>Inputs</i> e <i>outputs</i> do modelo de programação matemática.....	17
Figura 9 - Comparação dos custos (real e modelo OPL).....	24
Figura 10 - Comparação do n.º de unidades conferidas (real e modelo OPL).....	25
Figura 11 - Comparação do n.º de unidades de <i>picking</i> (real e modelo OPL).....	25
Figura 12 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (real e modelo OPL).....	26
Figura 13 - Comparação do n.º de banheiras expedidas (real e modelo OPL).....	26
Figura 14 – Esquema representativo dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do simulador.....	27
Figura 15 - Eventos despoletados pelas compras aos fornecedores.....	28
Figura 16 - Eventos despoletados pela descentralização de produtos.....	29
Figura 17 - Eventos despoletados pelas encomendas dos clientes.....	29
Figura 18 - Eventos despoletados pelas ordens de expedição.....	29
Figura 19 - Comparação do n.º de linhas conferidas (real e modelo simulado).....	30
Figura 20 - Comparação do n.º de unidades conferidas (real e modelo simulado).....	30
Figura 21 - Comparação do n.º de unidades de <i>picking</i> (real e modelo simulado).....	31
Figura 22 - Comparação do nível de inventário médio (real e modelo simulado).....	32
Figura 23 - Comparação dos custos (Cenários Atual e Otimizado).....	33
Figura 24 - Comparação do n.º de unidades conferidas (Cenários Atual e Otimizado).....	34
Figura 25 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e n.º clusters alocados a cada armazém (b) (Cenários Atual e Otimizado).....	35
Figura 26 - Comparação de custos (Cenários Atual e Alternativos Conservadores).....	37
Figura 27 - Comparação do n.º de unidades conferidas (Cenários Atual e Alternativos Conservadores).....	37
Figura 28 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e na rede primária (b) (Cenários Atual e Alternativos Conservadores).....	38
Figura 29 - Percentagem de clientes com diferentes frequências de entrega.....	39
Figura 30 - Percentagem de vendas dos clientes com diferentes frequências de entrega.....	40
Figura 31 - Comparação do n.º médio de encomendas em espera para serem aviadas (a) e o tempo médio que estas ficam em espera (b) (Cenários Atual e Quadrado).....	41

Figura 32 - Comparação da percentagem de viagens com diferentes tipos de atraso (Cenários Atual e Quadrado)	42
Figura 33 - Comparação do tempo médio de atraso dos veículos (Cenários Atual e Quadrado)	42
Figura 34 – Comparação dos custos e perdas de vendas (Cenários Atual e Core)	42
Figura 35 - Comparação da percentagem de viagens com diferentes tipos de atraso (Cenários Atual e Core2).....	43
Figura 36 - Comparação do tempo médio de atraso dos veículos (Cenários Atual e Core 2)	43
Figura 37 - Localização dos armazéns atuais, <i>clusters</i> obtidos e armazéns sugeridos.....	44
Figura 38 - Comparação dos custos (Cenários Atual e Alternativos Novos).....	45
Figura 39 - Comparação do n.º de unidades conferidas nos armazéns atuais (a) e nos novos armazéns (b) (Cenários Atual e Alternativos Novos).....	46
Figura 40 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e na rede primária (b) (Cenários Atual e Alternativos Novos)	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Principais indicadores utilizados pela empresa	10
Tabela 2 – Custos incorporados no estudo	16
Tabela 3 – Outros indicadores da atividade de conferência simulados.....	31
Tabela 4 – Outros indicadores da atividade de <i>picking</i> simulados	31
Tabela 5 – Indicadores da atividade de expedição simulados	32
Tabela 6 – N.º pessoas a realocar às atividades face ao atual (Cenário Otimizado).....	34
Tabela 7 – N.º pessoas a realocar às atividades face ao atual (Cenários Alternativos Conservadores)	37
Tabela 8 – Percentagem de perdas admissíveis nos cenários alternativos conservadores	39
Tabela 9 – N.º pessoas a realocar às atividades (Cenários Alternativos Novos).....	46
Tabela 10 – Aumento percentual necessário para abertura de armazém de <i>stock</i>	48

1 Introdução

O projeto que originou esta dissertação diz respeito a um estudo da cadeia de abastecimento de um grossista farmacêutico. As principais decisões referentes à configuração, como a localização, função e capacidade das atividades dos armazéns e a alocação dos clientes a estes, são aqui questionadas, tendo em conta as condicionantes do mercado.

1.1 O mercado farmacêutico

O mercado farmacêutico é muito regulado sendo vários dos seus processos de trabalho impostos pelo Infarmed, entidade reguladora, deixando assim pouca flexibilidade ao modo de atuação das empresas distribuidoras, que têm de seguir as suas regras sob o risco de pagarem elevadas coimas. No documento Portaria n.º 348/98, de 15 de Junho – “Boas práticas de distribuição de medicamentos de uso humano e medicamentos veterinários”, emitido pelo Ministério da Saúde, podem-se ler algumas das linhas de atuação que os distribuidores farmacêuticos devem seguir.

Neste sector as margens máximas de cada um dos intervenientes da cadeia, desde os fornecedores dos medicamentos até às farmácias, também são estipuladas pelo Infarmed, tendo sido reformuladas recentemente a 1 de Abril deste ano. Atualmente os grossistas farmacêuticos têm apenas direito a cerca de 2% de margem sobre o preço de venda ao armazenista (PVA), em média, acrescido de um *fee* médio de 90 cêntimos por produto comercializado. Com estas margens apertadas e a pressão das farmácias em receberem as encomendas cada vez mais fracionadas, mais pequenas e mais frequentes, os distribuidores têm necessidade de otimizar as suas cadeias de abastecimento de modo a reduzirem os custos da operação, mantendo elevados padrões de serviço.

1.2 A empresa

A empresa envolvida no projeto atua no mercado da distribuição farmacêutica e é constituída por quatro subsidiárias que atuam em diferentes áreas do mercado: a NF que comercializa produtos farmacêuticos; a NR representa e distribui produtos de saúde; a NA que operacionaliza toda a logística interna do grupo e faz exportação para a Europa e a NT, transportadora especializada na distribuição de produtos de saúde.

O grupo opera assim como grossista farmacêutico, comprando e armazenando produtos para posterior venda aos seus clientes (maioritariamente farmácias). Apesar das dificuldades que o mercado enfrenta, havendo várias farmácias a encerrarem a sua atividade, o grupo tem conseguido aumentar a sua quota de mercado, tendo subido 6% nos últimos 9 anos.

Devido à fragilidade do setor, o foco da estratégia da empresa não é apostar num crescimento da quota de mercado, mas sim diferenciar-se dos seus concorrentes pela qualidade do seu serviço, mantendo um crescimento sustentável. Os principais fatores diferenciadores do serviço prestado são os diversos pontos de contato que fornece aos clientes (*gadget*, telefone, email, entre outros), a flexibilidade em preparar encomendas realizadas fora de horas e o fornecimento de um serviço pós-venda, mantendo uma média de duas entregas por dia por cliente e conseguindo um nível de serviço elevado. O serviço pós-venda corresponde ao tratamento de encomendas com produtos esgotados num determinado armazém, que são entregues ao cliente num prazo de 24h. O nível de serviço é medido através do indicador *faltas EP* que representa a percentagem de unidades de produto pedidas pelos clientes que não foram entregues, devido a falhas de *stock*. A empresa tem cerca de 4% de *faltas EP*.

Atualmente o grupo opera no mercado nacional através de cinco armazéns, dois de grande dimensão e automatizados, P1 e S1, sendo o primeiro o armazém principal da empresa, e três armazéns avançados, S2, S3 e S4, mais pequenos e manuais. Todos os armazéns detêm licença de armazenamento de produtos farmacêuticos, devendo possuir *stock* de todos produtos que comercializam. Na figura 1 é possível visualizar a dispersão dos atuais clientes da empresa (pontos a cinzento) e o posicionamento dos seus armazéns, assinalando-se a dimensão de cada um. Como é possível verificar, o armazém principal, P1, é o que tem uma maior procura alocada, possuindo uma posição de destaque na cadeia de abastecimento da empresa.

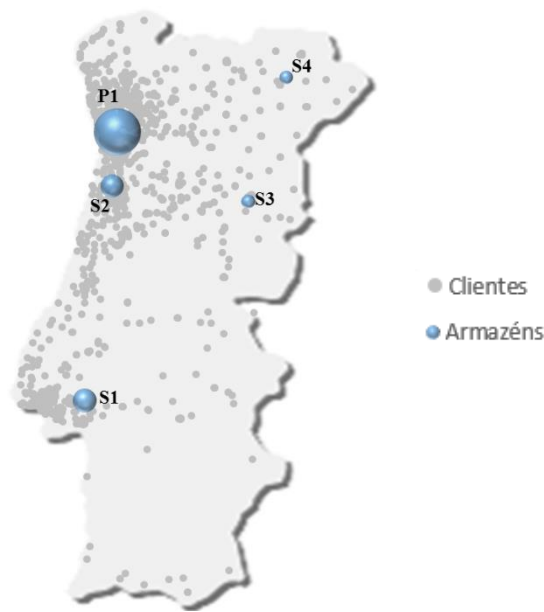


Figura 1 - Dispersão dos clientes e armazéns da empresa

1.3 O projeto

O projeto teve como objetivo a análise da cadeia de abastecimento de um grossista farmacêutico. A empresa pretendia questionar se a localização e atividade dos seus atuais armazéns de *stock* era ótima ou se existiria outra configuração da sua cadeia que pudesse reduzir os custos da operação, definindo-se os riscos inerentes a possíveis modificações. Para isso questionaram-se as principais dimensões que afetam os custos e nível de serviço da atividade designadamente:

- Função dos armazéns (*stock* ou *cross-docking*);
- Nível de inventário;
- Pessoal da logística interna (conferência e *picking*);
- Capacidade de transporte;
- Alocação da procura dos clientes.

Dado o problema ter várias dimensões, foi necessário realizar uma análise dos *trade-offs* envolvidos e perceber se existia alguma configuração da cadeia que permitisse à empresa reduzir os seus custos de operação, de acordo com as linhas estratégicas estabelecidas. A análise realizada sobre os diversos cenários, recorrendo a indicadores de performance e a análises de sensibilidade, teve como objetivo estabelecer *guidelines* de atuação para a empresa sobre as possíveis estratégias que esta pode adotar e os resultados que pode esperar.

1.4 Metodologia

O estudo da cadeia de abastecimento foi realizado usando uma metodologia híbrida, incorporando um modelo de otimização com um modelo de simulação. Segundo Figueira and Almada-Lobo (2014) existem vários métodos de simulação-otimização, que podem ser classificados de acordo com a interação entre os dois modelos e o algoritmo de pesquisa. Neste projeto o foco foi estruturar uma *framework* que, partindo de um modelo de programação matemática e utilizando um método exato de pesquisa, obtivesse uma solução que posteriormente seria analisada, noutra perspetiva, por um modelo de simulação por eventos.

A otimização foi implementada num modelo de programação inteira mista cujas variáveis de decisão representam as principais dimensões da configuração da cadeia de abastecimento, como a função e o nível de atividade dos armazéns e alocação da procura a estes, obtendo-se assim uma solução representativa das decisões de configuração.

A simulação por eventos foi construída no *software* Simio, onde foram representadas com detalhe todas as condicionantes do funcionamento da cadeia de abastecimento de modo a obter uma solução com indicadores da atividade mais finos, como os atrasos na hora de saída dos veículos, e permitir analisar a incerteza associada ao negócio.

De acordo com as classificações sugeridas por Figueira and Almada-Lobo (2014) o propósito da utilização da simulação neste projeto pode ser classificado como gerador de solução (SG), pois pretende-se complementar a solução obtida pela otimização, e a interação entre os modelos como sequencial (SSO), devido à simulação ser realizada após a otimização, como mostra a figura 2. No entanto, de acordo com os resultados obtidos no simulador poderia ser realizado um refinamento de alguns parâmetros do otimizador, como as capacidades máximas das atividades, caso fosse necessário. Na metodologia adotada o simulador apenas é chamado a avaliar algumas das soluções obtidas no otimizador, em vez de avaliar cada solução encontrada, como fazem os métodos habitualmente utilizados, designados de SE, pois o número de simulações iria disparar, assim como o tempo computacional, e o valor acrescentado seria baixo dada a simulação apenas ser utilizada para analisar a viabilidade da solução obtida.

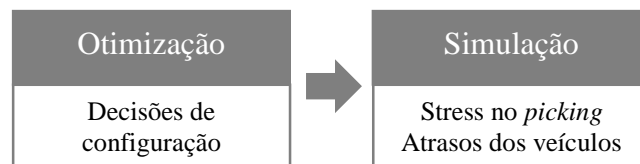


Figura 2 - Interação dos modelos de programação matemática e simulação

1.5 Estrutura da dissertação

Nos capítulos seguintes irão ser descritos e analisados os desenvolvimentos e conclusões do projeto aqui apresentado. Principiar-se-á com uma análise sobre o estado da arte dos métodos utilizados para estudar a configuração das cadeias de abastecimento. Seguidamente será apresentada a cadeia de abastecimento da empresa em estudo, descrevendo-se o seu modo de funcionamento, as condicionantes da atividade e oportunidades de melhoria identificadas. A explicação da metodologia adotada é explorada, após esta análise, em dois capítulos, correspondendo aos modelos de otimização e simulação utilizados neste estudo. Para finalizar, serão expostas e discutidas as conclusões retiradas da análise dos cenários testados, exibindo-se os resultados obtidos, representados em percentagem face ao cenário base definido, devido à confidencialidade da informação.

2 Estado da arte

O objetivo deste projeto é questionar e avaliar a configuração da cadeia de abastecimento de um grossista farmacêutico. Uma cadeia de abastecimento é um conjunto de instalações, fornecedores, consumidores, produtos e processos de controlo de inventário, compras e distribuição. Desde a montante até a jusante da cadeia, fornecedor e cliente final, respetivamente, existe um fluxo informacional e material transferido por diversos intermediários, que podem ou não ser instalações (Sabri and Beamon, 2000). O estudo da configuração da cadeia logística de uma empresa representa um problema de localização-alocação, no qual é necessário determinar o número e localização das instalações e alocar a procura dos clientes a estas.

Nas últimas duas décadas, os clientes têm vindo a alterar o seu comportamento de compra, querendo comprar em menores volumes, mais frequentemente e com um tempo de resposta mais curto. As empresas para se conseguirem ajustar a estas mudanças, sem penalizar o seu nível de serviço, são forçadas a aumentar o seu nível de inventário ou a reestruturar a sua cadeia de abastecimento de modo a encontrar um equilíbrio entre os custos e os níveis de serviço prestados. Muitas empresas, para reduzirem o seu inventário global, diminuíram o número de centros de distribuição, mantendo apenas os de grande dimensão sobrecarregando assim a distribuição. Dependendo da estrutura da empresa e dos *trade-offs* envolvidos na sua atividade, esta solução não é válida para todos os casos (van den Berg and Zijm, 1999).

Na análise de diferentes cenários possíveis para a configuração da cadeia de abastecimento, abrangendo diferentes estratégias que a empresa pode implementar, é essencial identificar quais as métricas de *performance* que se pretendem avaliar. Beamon (1998) apresenta uma revisão das diversas métricas de *performance* que podem e devem ser consideradas no estudo da configuração da cadeia de abastecimento, apontando como principais vetores a medir o nível de satisfação do cliente, antes, durante ou após a compra, a nível qualitativo e quantitativo, e a flexibilidade da cadeia em responder a flutuações na procura, incluindo a gestão do risco.

Os modelos de otimização das cadeias de abastecimento incorporam diversos componentes sobre os quais são realizados *trade-offs* e por isso é essencial identificar quais as métricas relevantes a incorporar na função objetivo e quais aquelas que devem ser calculadas posteriormente para comparação de soluções. Se, por um lado, a redução de custos motiva a centralização de inventário, por outro, a capacidade de resposta rápida aos consumidores promove a proximidade a estes e, por isso, um número maior de armazéns. Nozick and Turnquist (2001) apresentam um modelo que integra os custos de inventário, transporte e nível de serviço, contemplando uma relação linear entre o nível de inventário e o número de centros de distribuição que permite a integração deste componente no modelo de localização. A maioria dos estudos das cadeias de abastecimento retratam o problema do ponto de vista de uma empresa doméstica, que opera apenas num país, não considerando empresas globais. Em situações onde a cadeia envolve vários países é necessário identificar quais os melhores preços de transferência entre as possíveis subsidiárias e a melhor localização para estas, tendo em consideração outros componentes envolventes, tais como os impostos aplicados e a possibilidade de repatriar o capital angariado (Goetschalckx, Vidal, and Dogan, 2002). Eskigun et al. (2005) expõem uma solução, usando a heurística de Lagrangian, com métricas operacionais para medir a satisfação do cliente, como é o caso do *lead-time*, onde incorporam os tempos de viagem e de espera relativos ao carregamento dos veículos e congestionamento nas docas. Para evitar a alocação de demasiada procura a uma doca (o que provocaria um maior congestionamento) foi incorporada no modelo uma restrição de capacidade. Ao desenhar ou

redesenhar a configuração de uma cadeia de abastecimento é necessário ter em consideração os níveis estratégico, tático e operacional da empresa em questão, e as condicionantes da sua atividade e do ambiente onde se posiciona. A otimização de uma dimensão sem contabilizar as restrições e efeitos das restantes pode provocar problemas no futuro. A utilização de análises multiobjectivo permite incorporar condicionantes globais da cadeia de abastecido, como fatores de custo, nível de serviço e flexibilidade. Os modelos de otimização do planeamento estratégico da cadeia de abastecimento centram-se em qual deverá ser a configuração da cadeia, localização das instalações, fluxo de materiais e alocação de clientes a centros de distribuição tendo como objetivo reduzir os custos globais da operação. Posteriormente, a otimização do planeamento operacional preocupa-se em determinar o nível de inventário e serviço dos clientes, operacionalizando quando e quanto produzir e transportar (Sabri and Beamon, 2000).

Sousa et al. (2011) abordam um problema de alocação/planeamento dinâmico que otimiza a cadeia de abastecimento global de uma companhia farmacêutica, produtora de fármacos, desde a produção dos princípios ativos até à distribuição do produto no mercado. O objetivo do modelo é maximizar o lucro após impostos, considerando os diferentes custos de cada localização. Para a resolução deste problema foram desenvolvidos dois algoritmos de decomposição, posteriormente repartidos e otimizados separadamente. A indústria farmacêutica tem uma elevada incerteza associada à procura devido ao facto de as farmácias muitas das vezes repetirem o seu pedido, quando existem faltas, criando um forte efeito *bullwhip*. Devido a esta incerteza é essencial complementar a otimização da cadeia de abastecimento com uma análise de risco. Izadi and Kimiagari (2014) apresentam um estudo realizado com um distribuidor farmacêutico do Irão onde se usou simulação de Monte Carlo para avaliar o risco do fator procura. Jung et al. (2004) utilizaram no seu modelo a simulação de Monte Carlo para incorporar a incerteza associada à procura, indicando que esta metodologia pode ser utilizada em outros parâmetros de incerteza como tempos de entrega, atrasos de produção entre outros, tendo como requisito a definição de uma função de distribuição para amostragem. A simulação de Monte Carlo realiza análises de risco efetuando várias simulações da mesma solução substituindo as variáveis com incerteza associada por diversos valores de acordo com a sua distribuição.

Um modelo de simulação por eventos permite recriar e visualizar em detalhe o comportamento de sistema a um dado evento despoletado. A sua utilização é vantajosa para análise dos possíveis impactos da adoção de uma dada estratégia, pois permite visualizar como o sistema reagiria às modificações impostas e identificar os possíveis ganhos e riscos que a empresa poderia incorrer caso implementasse essa estratégia. Muitas empresas já recorrem a este tipo de modelos para representar os seus sistemas utilizando-os como suporte para deteção de oportunidades de melhoria no fluxo de materiais e informação e teste de estratégias que pretendem adotar. Brown and Sturrock (2009) criaram um modelo de simulação para testar o impacto de quatro oportunidades de melhoria, na cadeia de abastecimento, com vantagens significativas para o funcionamento da empresa, melhorando o *throughput* em 41% e o *work in process (WIP)* em 36%. Buil, Piera, and Laserna (2010) pretendiam com o seu modelo de simulação otimizar a configuração da cadeia e ao mesmo tempo analisar a implementação de processos inovadores no funcionamento da atividade, nunca testados no sistema real devido aos riscos financeiros, identificando como o sistema se comportaria com essas modificações.

Nos últimos anos, o aumento da *performance* computacional permitiu a utilização de metodologias integrando modelos de otimização e simulação. O modelo de otimização, que pode ser formulado por diversos métodos, origina uma solução cujo *output* é utilizado como

input num modelo de simulação. De acordo com as respostas retiradas do simulador os parâmetros do otimizador são reformulados e cria-se um ciclo iterativo até se encontrar uma solução satisfatória (Fu, Glover, and April, 2005).

Hicks (1999) propõe uma metodologia com quatro passos de modo a incorporar as vantagens de várias técnicas, aqui já referidas, sendo que cada uma delas aborda o problema com uma visão diferente. O primeiro passo passa por encontrar uma cadeia eficiente que minimize os custos e cumpra com as restrições impostas, recorrendo a um modelo de programação inteira mista (MIP). O resultado obtido, configuração ótima da cadeia de abastecimento, é testado num modelo de simulação por eventos mostrando como a cadeia reage ao longo do tempo, sendo posteriormente realizadas várias corridas de simulação otimizando as políticas que regulam o funcionamento da cadeia. Por último, a robustez da solução a diversas situações é testada.

Uma empresa ao escolher uma estratégia a seguir, que pode resultar numa reestruturação da cadeia de abastecimento, tem de identificar o risco envolvido nessa escolha e delinear um plano de gestão. Existem diversas estratégias de mitigação do risco que conduzem a ações que a empresa toma antecipadamente, incorrendo em custos quer o evento ocorra ou não. Talluri et al. (2013) elaboraram uma *framework* teórica baseada na teoria da contingência, onde indica de acordo com o tipo de risco envolvido e configuração da cadeia de abastecimento quais as estratégias mais eficientes à mitigação do risco. As estratégias que apresentam melhores resultados perante todo o tipo de riscos são a agregação da procura e o aumento da capacidade de resposta, sendo as menos adequadas o aumento da capacidade e de inventário.

O presente projeto adotou uma metodologia similar à proposta por Hicks (1999), onde é definida uma configuração otimizada, posteriormente simulada para identificar como esta se comportaria na realidade, havendo a possibilidade de refinar parâmetros conforme fosse necessário, terminando com uma análise de sensibilidade das soluções obtidas. Os estudos das cadeias de abastecimento têm seguido uma tendência de incorporar os níveis estratégico e operacional da empresa, por forma a integrar os diversos fatores com impacto no seu funcionamento. O modelo matemático construído teve como objetivo otimizar a configuração de um ponto de vista estratégico, sendo no modelo de simulação estudado o impacto desta a nível operacional. Desta forma, foi possível estudar os *trade-offs* das várias componentes relativas à atividade da empresa, como os custos, o esforço do pessoal e os atrasos dos veículos. As análises de sensibilidade foram incorporadas no estudo para determinar o risco inerente a cada solução, associado a possíveis variações na procura, tal como Izadi and Kimiagari (2014) e Jung et al. (2004) fizeram utilizando a simulação de Monte Carlo.

É escassa a literatura que aborda a análise da configuração da cadeia de abastecimento do ponto de vista de uma empresa grossista, num dado mercado. Este projeto vem contribuir nesse sentido, explorando uma metodologia híbrida de otimização-simulação no estudo da configuração da cadeia logística de um grossista farmacêutico. A incorporação do modelo de simulação na análise efetuada foi importante na comparação de soluções alternativas. O mercado farmacêutico é um mercado altamente exigente, tendo sido essencial conseguir determinar o impacto que as diferentes configurações teriam no nível de serviço prestado ao cliente, principalmente referente a atrasos de entrega.

3 Cadeia de abastecimento da empresa

A cadeia de abastecimento da empresa contempla várias atividades, como pode ser visualizado na figura 3, desde a compra de um produto ao fornecedor, até à sua receção, conferência e arrumação para posterior venda aos clientes, despoletando o *picking*, expedição, transporte e entrega do produto no cliente final.



Figura 3 - Esquema da cadeia de abastecimento da empresa

Como referido anteriormente a empresa em estudo é composta por quatro subsidiárias, relacionando-se cada uma delas de modo diferente com a cadeia de abastecimento. Apesar de as empresas NF e NR comercializarem os produtos, toda a logística envolvente, desde a aquisição dos produtos junto dos fornecedores, armazenamento e preparação das encomendas para expedição está a cargo da empresa armazenista do grupo, NA, sendo que os produtos comercializados por cada uma das empresas são tratados separadamente. A transportadora NT, para além de realizar a distribuição para as empresas do grupo, também tem o seu próprio negócio de distribuição no qual transporta mercadoria para pré-grossistas.

3.1 Atividades desempenhadas

A operacionalização de cada uma das atividades da cadeia de abastecimento é apresentada resumidamente de seguida. No anexo A é apresentado um fluxograma que descreve em maior detalhe as várias etapas da atividade da cadeia de abastecimento da empresa, podendo-se verificar como todos os processos se relacionam entre si. As cores apresentadas representam os departamentos com mais influência nessa etapa: Lilás (*Marketing*); Azul (*Compras*); Verde (*Logística interna*); Laranja (*Distribuição*).

a) *Compras*

O Departamento de Compras executa todos os dias úteis um algoritmo de compras que determina quais os fornecedores que devem ser revistos no dia seguinte e as quantidades a encomendar de cada produto. Os fornecedores têm dias e periodicidade de revisão definidas, sendo apenas revistos nas datas programadas. No entanto, esta revisão pode ser antecipada por três razões: rutura de um produto do tipo “A”; mais de 30% dos produtos ou 20% dos produtos críticos desse fornecedor têm um nível de inventário abaixo do *stock* mínimo. Quando se dá uma revisão antecipada o fornecedor já não é revisto na próxima data programada. Nas revisões programadas os produtos são encomendados desde que o *stock* teórico ($stock\ real + stock$

encomendado) seja inferior ao nível máximo de stock. Os níveis mínimos e máximos de inventário são recalculados todos os dias tendo em conta o histórico da procura e o *lead time* dos fornecedores.

Além do processo de compra de produtos aos fornecedores, o departamento de compras também determina as quantidades de produtos a transferir entre armazéns, quer seja por motivo de descentralização de produtos, caso o produto seja comprado centralmente, quer seja por motivo de rutura no armazém de destino. Este processo também é assegurado por um algoritmo de transferências, executado todos os dias, que indica os produtos e as quantidades a serem transferidas.

b) Entrada da mercadoria no armazém

A mercadoria encomendada aos fornecedores é recebida todos os dias de manhã até às 12h, horário estipulado pela empresa para receção de mercadoria, de modo a ser dos primeiros clientes a recebê-la. Este horário foi definido pois caso a empresa permitisse entregas mais tarde haveria tendência para receber a mercadoria a seguir aos seus concorrentes, perdendo folga no abastecimento das farmácias.

A mercadoria é rececionada no cais de entrada, sendo posteriormente transportada até à zona de conferência, onde é conferida a quantidade entregue e o estado dos produtos, e inserido no sistema os dados relativos a essa entrada. Nesta fase a mercadoria não é conferida pelo método *first-in first-out* (FIFO), mas antes um algoritmo que determina a prioridade das encomendas de acordo com vários critérios, como por exemplo a falta do produto na prateleira. Após conferência os produtos são transportados para a zona onde vão ser armazenados.

c) Picking

Nos armazéns avançados, S2, S3 e S4, o *picking* é manual recorrendo ao uso de um *voice-picking*. Nestes armazéns existe a possibilidade das pessoas que estão a realizar esta tarefa processarem várias encomendas em simultâneo, chamado de múltiplas. Este processo acontece quando existem várias encomendas de pequenas quantidades de produtos armazenados na mesma zona.

Nos armazéns P1 e S1 o *picking* é parcialmente automatizado. Os armazéns têm implementado um sistema automático que gera o processamento das encomendas, fazendo com que as banheiras (objeto onde são transportados os produtos) se desloquem nas esteiras até aos locais onde estão armazenados os produtos pedidos.

d) Distribuição

As encomendas preparadas são enviadas para o cais de expedição onde são posteriormente carregadas em veículos que as entregarão aos clientes. Os clientes têm atribuídas rotas que asseguram os níveis de serviço acordados com a empresa, como a frequência de entregas e a janela horária definida para limite de pedido de encomenda e hora de entrega. No cais de saída, para além da expedição dos pedidos realizados pelas farmácias, é também realizada a desconsolidação da mercadoria relativa ao negócio externo da empresa NT, sendo esta entregue no armazém pelos próprios clientes pré-grossistas.

A distribuição é distinguida em duas redes: a distribuição capilar que corresponde às rotas de entregas aos clientes a partir dos armazéns, e a rede primária que representa a ligação entre os

armazéns do grupo, na qual é transferida mercadoria relativa a descentralização, falta de produtos e encomendas de serviço pós-venda.

3.2 Condicionantes da atividade

Como referido anteriormente, as farmácias cada vez mais colocam encomendas mais pequenas e frequentes, levando a que encomendas de um mesmo cliente fossem preparadas separadamente devido ao desfasamento temporal do pedido. Analisando a figura 4, referente ao número de unidades e volumes processados no armazém principal no ano passado, verifica-se uma tendência crescente no número de banheiras preparadas, apesar do número de produtos aviados se manter praticamente constante.

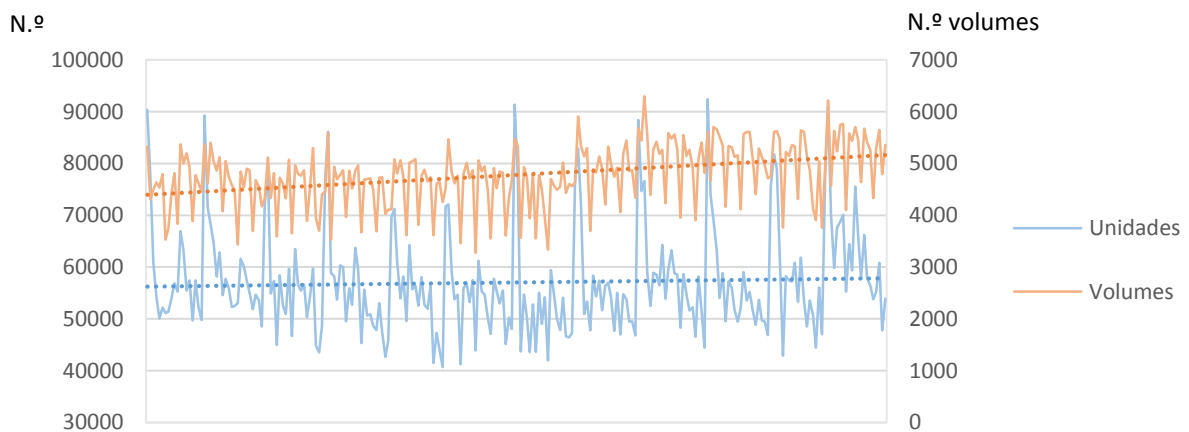


Figura 4 - Evolução do n.º de unidades e banheiras processadas

Este comportamento levou a que as esteiras de aviamento estivessem sob forte pressão, e os veículos perto de atingir as suas capacidades máximas. Face a esta situação a empresa decidiu adotar duas medidas corretivas: a) implementação de um algoritmo de agregação de encomendas, que agrega encomendas de um mesmo cliente a serem expedidas na mesma rota; b) introdução de banheiras mais pequenas para transportar as encomendas de menor volume, mesmo que agregadas. Isto levou a uma melhoria na utilização das capacidades de transporte, e na sobrelotação das esteiras de preparação de encomendas, tendo o *throughput* aumentado significativamente.

A importância de analisar as capacidades das atividades da cadeia de abastecimento é ilustrada neste caso. Este fator tem especial relevo na análise da atividade de *picking* nos armazéns automatizados, onde a cadência de encomendas processadas não depende apenas do número de pessoas alocadas, mas também do *buffer* que se cria nas esteiras. Atualmente o armazém principal atinge um nível de cadência máxima na hora de almoço, altura de pico da procura. De forma a evitar um maior congestionamento nas esteiras e conseqüente atraso na saída dos veículos, procura adicional realocada a este armazém terá de sofrer um desfasamento temporal na hora dos pedidos do almoço (altura crítica).

A empresa realizou recentemente um projeto de gestão de inventário, tendo obtido reduções significativas no nível de *stock* de cerca de 5 dias de cobertura. Devido a estas modificações os armazéns libertaram capacidade de armazenamento não havendo por isso restrições fortes referentes ao nível máximo de inventário que os armazéns conseguem suportar.

Atualmente a rede primária, de ligação entre armazéns, é percorrida uma vez por dia apenas entre o armazém principal (P1) e os restantes armazéns, tendo as transferências entre dois

armazéns avançados de passar por P1, estando por isso a mercadoria dois dias em trânsito. Na análise da cadeia de abastecimento atual pretendeu-se determinar a melhor configuração da rede primária, podendo-se criar novas ligações entre armazéns se a solução assim o aconselhasse. No entanto, foi preciso ter atenção que as ligações da rede atual necessitavam de ser mantidas pois o armazém P1 é o único operacional durante a noite, processando por isso todas as encomendas colocadas nesta altura. Outra razão para a manutenção da rede atual é o facto de a mercadoria dos negócios externos da empresa NT e NR estar sediada apenas nos armazéns P1 e S1, havendo necessidade de a transferir para os restantes armazéns.

3.3 Principais indicadores de performance

A empresa analisa a sua atividade através de indicadores de performance que permitem identificar a evolução do seu desempenho. Dado este projeto querer questionar a configuração atual da cadeia de abastecimento, estudando diferentes cenários, foi necessário definir quais os principais indicadores que a empresa emprega e utilizá-los no *benchmarking* dos cenários. Na tabela 1 são descritos os principais indicadores utilizados por cada departamento, proporcionando assim uma visão global do desempenho da cadeia.

Tabela 1 - Principais indicadores utilizados pela empresa

Departamento	Indicadores
Compras	<ul style="list-style-type: none"> • Faltas EP; • Dias de <i>stock</i>; • Custo de inventário empatado.
Logística interna	<ul style="list-style-type: none"> • Tempos de processamento das atividades; • Quantidades processadas; • Custos de funcionamento dos armazéns; • Custos de pessoal.
Distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Distâncias percorridas na distribuição capilar e rede primária; • Quantidades transportadas; • Atrasos na saída dos veículos; • Custos dos veículos; • Custos de pessoal.
Marketing	<ul style="list-style-type: none"> • Frequência e tempos de entrega; • Quantidades entregues/Quantidades pedidas.

3.4 Oportunidades de melhoria

No decorrer do levantamento dos processos da cadeia de abastecimento da empresa, identificaram-se oportunidades de melhorias, que poderiam trazer vantagens significativas. Foi sugerido à empresa o estudo destas oportunidades encontradas, sendo estas descritas de seguida mas não exploradas na presente dissertação.

De acordo com as informações recolhidas elaborou-se o *Value Stream Mapping* da empresa, apresentado no anexo B, representando o fluxo informacional e material da cadeia atual, onde é possível visualizar três pontos onde é acumulado inventário. Dado se tratar de um grossista farmacêutico e não ser possível ter uma atividade do tipo *Just-in-Time*, devido aos *lead times* de reposição dos produtos e à variabilidade da procura dos clientes, o *stock* intermédio, referente

aos produtos armazenados, é essencial. No entanto, este pode ser melhorado se se conseguir otimizar a configuração da cadeia. Os restantes dois *buffers* de produtos estão situados antes das atividades de conferência e *picking*. Estes *buffers* devem-se ao facto da cadência de entrada de mercadoria nas atividades ser superior à cadência de processamento destas, havendo necessidade de realizar ações corretivas no sentido de melhorar estas situações.

Atualmente, os produtos encomendados centralmente, no armazém P1, são rececionados, conferidos e arrumados em inventário para posteriormente o algoritmo de transferências despoletar o *picking* das unidades a serem descentralizadas. Devido a este processo, o cálculo do *stock* de segurança dos produtos tem em consideração o *lead time* dos fornecedores acrescido do *lead time* de arrumação do armazém, intervalo de tempo desde a receção do produto até este estar disponível em inventário. Se a atividade de conferência fosse modificada de modo a aumentar a sua cadência, este segundo *lead time* seria diminuído e isso refletir-se-ia no nível de inventário. No sentido de libertar recursos na conferência, ajudando assim na diminuição deste parâmetro, foi sugerido que o algoritmo de transferências fosse calculado de manhã, sendo feita a triagem dos produtos descentralizados no momento da receção, e implementada uma conferência menos exaustiva à mercadoria dos fornecedores cujas entregas têm uma elevada fiabilidade.

A adoção de um sistema *Vendor Management Inventory* também proporcionaria fortes reduções no nível de inventário da empresa, devido à diminuição do efeito *bullwhip* e conseqüentemente da variabilidade da procura. Para além da redução dos *stocks*, este sistema também poderia proporcionar uma forte redução nos custos da distribuição capilar pois a empresa é que controlaria o inventário do cliente e isso daria liberdade sobre a frequência com que este seria abastecido. Com a implementação deste sistema a empresa poderia remodelar o seu plano de distribuição, passando, no limite, a visitar o cliente uma vez por dia de modo a manter o inventário deste nos valores estipulados. No entanto, esta solução apenas seria vantajosa se o número de farmácias a aderir ao sistema fosse significativo pois caso contrário não seria possível obter poupanças na distribuição, devido à necessidade de manter a rede atual. A adoção deste sistema tem também as desvantagens de exigir um forte esforço administrativo e a necessidade de implementação de sistema de informação.

Como referido anteriormente, as rotas entre armazéns transportam mercadoria referente a descentralizações, faltas e encomendas aviadas noutros armazéns. Esta última situação acontece quando o armazém onde foram colocadas as encomendas não tem em *stock* os produtos pedidos. Este tipo de serviço demora pelo menos 24 horas a ser realizado, dada a rede primária apenas ser realizada uma vez por dia, de manhã. O Departamento de *Marketing* da empresa, atualmente, apenas tem visibilidade sobre o *stock* físico dos armazéns, unidades de produto que se encontram nas prateleiras, despoletando por isso o serviço pós-venda sempre que o produto pedido não exista na prateleira. Porém quando um cliente efetua um pedido, o seu *stock* físico nesse momento pode ser zero e momentos depois haver uma entrada em *stock* desse produto, por estar a ser conferido ou à espera de o ser. Se o departamento tivesse acesso ao *stock* teórico dos produtos, não necessitaria de despoletar o aviamento da encomenda noutro armazém, pois o produto estaria disponível no próprio armazém após algum tempo. Desta forma seriam reduzidas as transferências desnecessárias de mercadoria, libertando capacidade nos veículos para outros serviços.

4 Modelo de programação matemática

Neste capítulo será introduzido o modelo de programação matemática desenvolvido, identificando-se os pressupostos assumidos e as simplificações feitas, qual o seu objetivo e como funciona.

O modelo de programação matemática permite otimizar as possíveis configurações da cadeia de abastecimento, através de uma análise macro da atividade da empresa. O objetivo do modelo é encontrar uma configuração que reduza os custos atuais da empresa em conformidade com as direções estratégicas da mesma. Dado que os resultados obtidos nesta fase serão complementados com os resultados do modelo de simulação, criado para analisar em detalhe o nível operacional da cadeia, e as decisões em análise serem de alto nível, os dados utilizados nesta etapa foram agregados ao mês, tendo-se considerado outras agregações apresentadas posteriormente.

O problema foi formulado como um modelo de programação inteira mista. Dado a empresa ter uma cadeia de abastecimento de pequena dimensão, com poucos armazéns, e ter-se agregado os dados mensalmente e por categoria de produto, o número de variáveis de decisão é razoável para se conseguir uma solução ótima num curto espaço de tempo, não havendo necessidade da utilização de um método de solução aproximado.

O *software* utilizado para implementar o modelo foi o programa de modelação ILOG OPL da IBM, tendo-se recorrido ao solver CPLEX 12.4 na resolução do problema. O horizonte temporal considerado na análise foi um ano, principiado a 1 de Fevereiro de 2013 e terminado a 31 de Janeiro de 2014.

4.1 Agregação dos dados

Como referido anteriormente a empresa é constituída por quatro subsidiárias que, apesar de operarem no mesmo setor e partilharem sinergias entre si, têm os seus próprios negócios. O negócio NF é o negócio *core* do grupo e é o que mais influência tem nas decisões da configuração da cadeia de abastecimento. Toda a logística interna dos produtos NF é gerida pela empresa armazenista NA, que tem os produtos armazenados nos seus cinco armazéns e a distribuição realizada pela NT. Desta forma, as vendas NF têm impacto direto no *stock* de NA e nas atividades dos departamentos de Compras, Logística interna e Distribuição. Os negócios das empresas NR, NT e NA estão centralizados nos armazéns P1 e S1, tendo pessoal dedicado à sua logística interna, partilhando apenas a distribuição com o negócio NF. Deste modo, dadas as similaridades dos negócios face à influência destes nas atividades da cadeia de abastecimento, e por consequência na sua configuração desta, os dados referentes a produtos foram divididos em dois tipos: Farmácias e Externos. De realçar que a logística interna envolvida nos negócios paralelos à NF não foi inserida neste estudo pois considerou-se que, na maioria dos casos, havia uma operação dedicada.

a) Produtos

Como referido anteriormente os produtos foram diferenciados e agregados em dois tipos: produto Farmácia e produto Externo. A procura destes produtos foi calculada por mês e para cada cliente, sendo o produto Farmácia descrito em número de unidades e o produto Externo em número de volumes.

Sabe-se que os produtos Farmácia, agrupados por encomendas, são expedidos em banheiras de dimensão *standard*, podendo ser pequenas ou grandes com aproximadamente 25 e 40 litros

cada, respetivamente, e que os produtos Externos são transportados em caixas de vários tamanhos. Para ser possível analisar as capacidades de transporte da cadeia, identificando-se a dimensão da frota ideal, é necessário perceber qual o volume que se pretende transportar, sendo por isso necessário identificar um volume médio para os produtos Externos. A empresa disponibilizou dados sobre a quantidade de volumes Farmácia e Externos que foram transportados em cada rota ao longo do ano. Através desses dados determinou-se o volume de produtos Externos transportados calculando-se para cada transporte realizado a diferença entre a carga do veículo, considerada sempre 90% da sua capacidade, e o volume total de produtos Farmácia. Sabendo-se o volume ocupado e o número de volumes de produtos Externos transportados foi possível determinar o volume cúbico médio por produto (o valor médio considerado foi 500 litros).

b) Clusters de clientes

Dado a empresa deter diversos clientes, de todos os negócios considerados, e existir uma proximidade grande entre os clientes de uma dada região, decidiu-se agrupar os clientes em *clusters*, de modo a diminuir o número de variáveis de decisão do modelo e aumentar a compreensão dos resultados.

A agregação foi realizada usando apenas os clientes do negócio NF, tendo-se criado 100 *clusters* através do método de *clustering k-means*, com *k* igual a 100. Este método de *clustering* tem como objetivo a minimização da soma das distâncias dos centróides dos *clusters* a cada um dos elementos que os constitui, agrupando elementos com atributos similares. A medida utilizada para calcular estas distâncias foi a distância Euclidiana quadrada, que aumenta progressivamente o peso dos elementos mais afastados. O *software* utilizado para realizar esta análise foi o programa de *data mining* RapidMiner, onde foram identificados como atributos de cada cliente a sua distância real a cada armazém e o armazém pelo qual é mais vezes abastecido, discriminando as entregas ao fim-de-semana e feriados. As distâncias entre os clientes e os armazéns foram calculadas através da aplicação GoogleMaps, correspondendo por isso a distâncias de um trajeto real de automóvel e não distâncias lineares.

Como os *clusters* criados consideraram apenas os clientes de NF, a procura de cada *cluster* referente a produtos do tipo Farmácia é diretamente calculada a partir dos clientes que este integra. No entanto era necessário incluir na análise a procura dos produtos Externos e por isso decidiu-se repartir pelos *clusters* criados a procura destes produtos. Apesar de esta alocação não ser real, pois os clientes NF, em geral, não compram produtos do tipo externo, estes são distribuídos na mesma rede de distribuição que os clientes NF, indicando que são das mesmas regiões. Assim, a simplificação realizada assume que os clientes dos outros negócios estão repartidos pelos *clusters* do negócio NF. Uma atribuição mais específica não foi possível dada a volatilidade dos clientes relacionados com os restantes negócios.

A procura associada ao produto Farmácia foi determinada somando as quantidades enviadas para os clientes de cada *cluster*. A utilização das quantidades enviadas em prol das quantidades pedidas prendeu-se com o facto de nas quantidades pedidas estarem consideradas duplicações de pedidos e encomendas de produtos rateados, que a empresa não consegue satisfazer devido à falta de fornecimento. A procura de produtos Externos, contabilizada em número de volumes, foi repartida igualmente pelos *clusters* obtidos, tendo sido determinada somando todos os volumes transportados por mês com a designação do negócio NR, NA ou NT.

Na figura 5 resumem-se as agregações realizadas.

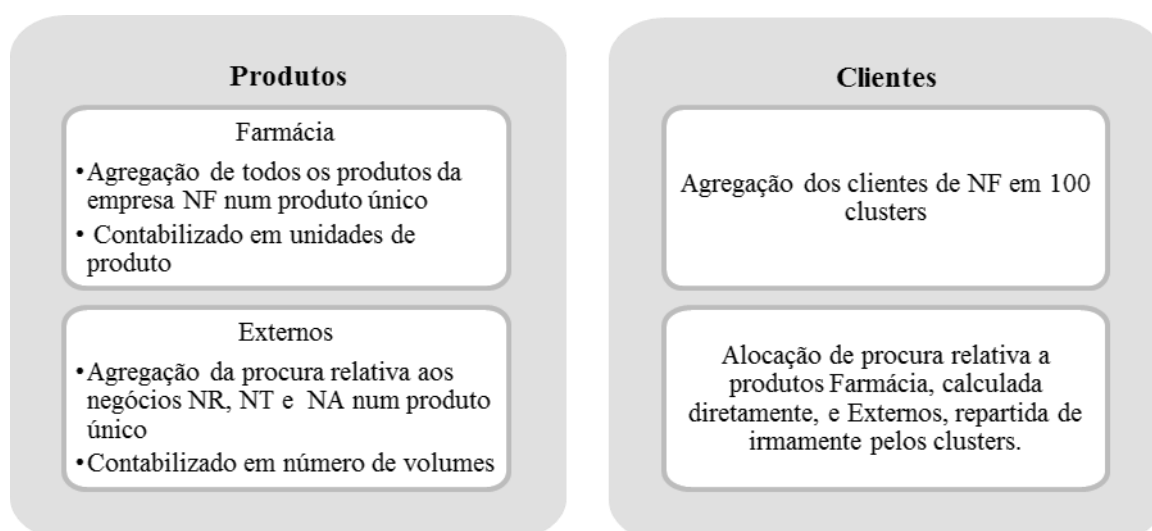


Figura 5 - Resumo das agregações efetuadas

4.2 Níveis de atividade

As atividades da cadeia de abastecimento consideradas neste modelo foram a conferência, o *picking* e o transporte, sendo o nível de atividade de cada uma variável de decisão que se pretendeu otimizar. Os níveis que a variável pode tomar foram previamente determinados tendo em conta o histórico da empresa do último ano, definindo-se um nível base correspondente à capacidade atual da empresa e níveis superiores e inferiores, aos quais é adicionada e retirada, respetivamente, uma capacidade individual base.

a) Conferência e Picking

Nestas atividades utilizou-se o histórico de dados para determinar quantas unidades e linhas cada pessoa processou em cada armazém e mês do ano em análise. Enquanto os armazéns P1 e S1 têm pessoal dedicado a cada uma das atividades, podendo eventualmente uma pessoa ajudar noutra atividade se houver necessidade para tal, nos armazéns avançados, S2, S3 e S4, o pessoal é transversal e pode num mesmo dia trabalhar em ambas as atividades. Estas trocas entre atividades e situações ocasionais, onde uma pessoa ajuda no processamento de outra atividade por ser uma altura do dia mais crítica, por exemplo, faz com que os dados tenham entradas onde uma pessoa num dado mês processou um número muito baixo de unidades e linhas, face ao normal. Como se pretendia determinar quanto é que, em média, uma pessoa consegue processar por mês em cada uma das atividades, nos diferentes armazéns, foi necessário considerar como *outliers* os valores demasiado baixos e retirá-los da análise, pois a sua inclusão iria influenciar indesejavelmente a média pretendida. Com os dados sem *outliers* calculou-se para cada mês e colaborador o número médio de unidades por dia, dividindo o total de unidades no mês pelo número de dias alocado à atividade. Para determinar quanto cada colaborador teria feito se tivesse trabalhado a tempo inteiro nessa atividade, multiplicou-se o valor encontrado pelo número de dias úteis de cada mês. A capacidade máxima mensal individual foi estimada através da média dos vários utilizadores para cada mês, utilizando-se a média mensal máxima. A utilização do valor máximo encontrado prendeu-se com o facto de se pretender estimar a

capacidade para um pico de atividade, ou seja, para o máximo que esta consegue atingir. Os passos aqui descritos podem ser visualizados de forma resumida no esquema da figura 6.

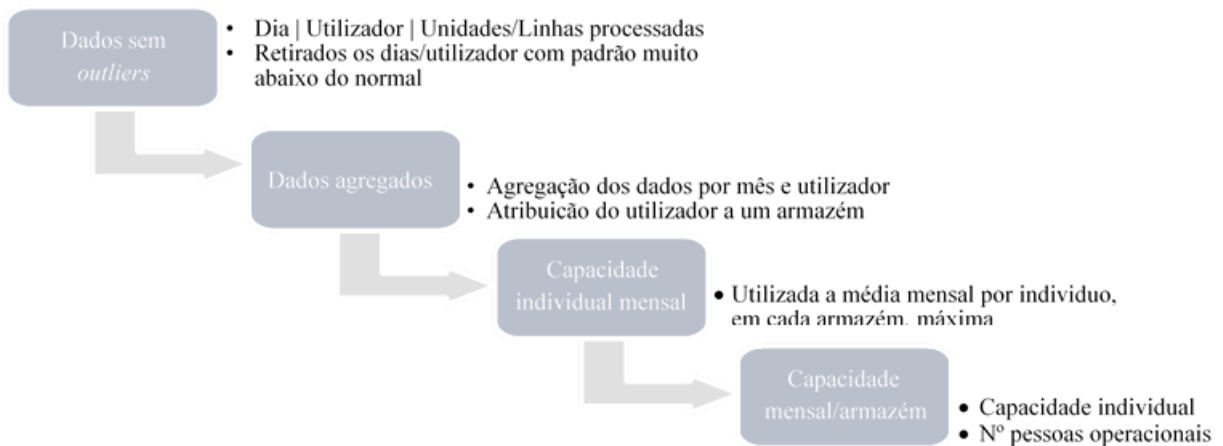


Figura 6 - Cálculo da capacidade dos níveis de atividade de conferência e picking

A capacidade mensal individual foi definida para cada armazém dado estes operarem em diferentes condições, no entanto considerou-se que os armazéns avançados têm condições para atingir os mesmos níveis de atividade e por isso os níveis destes foram definidos com o máximo de entre os três armazéns, quer para a atividade de conferência quer para o *picking*. Estas capacidades individuais foram posteriormente multiplicadas pelo número de pessoas efetivas durante todo o mês, obtendo-se assim a capacidade mensal de cada armazém utilizada como nível base da atividade.

Dado os armazéns P1 e S1 terem a atividade de *picking* integrada com um sistema automático que influencia a capacidade de *picking* humana, devido à cadência do processamento de uma encomenda estar limitada pela cadência das esteiras, o nível base (atual) foi definido como o máximo de unidades processadas num mês. Os níveis superiores e inferiores foram definidos considerando a capacidade individual calculada anteriormente.

b) Transporte

Na atividade de transporte foi necessário identificar qual a capacidade de transporte que cada armazém tem atualmente para posteriormente se determinar os níveis de atividade alterando o número de veículos.

Tal como nas atividades de conferência e *picking* os níveis de transporte correspondem a capacidades mensais, medidas em metros cúbicos, tendo sido determinado como nível base os volumes reais transportados no mês de Janeiro. Utilizando o volume médio para cada tipo de produto, indicado na secção anterior aquando da agregação dos produtos, foi possível converter o número de volumes transportados em Janeiro para metros cúbicos, determinando-se a capacidade de transporte de cada armazém. Os níveis da atividade foram discriminados por armazém e por tipologia de veículo, classificada de acordo com a carga em três classes: menor que 6m³, entre 6.5 e 8.7m³ e 15m³. Os níveis superiores da atividade foram calculados considerando a aquisição de mais um veículo, aumentando a capacidade de acordo com a sua carga. O nível inferior corresponde a não ter veículos dessa tipologia no armazém indicado.

A atividade de transporte é a única atividade que envolve os dois tipos de produtos definidos, sendo a capacidade da distribuição partilhada por ambos. A capacidade de transporte foi determinada, como já referido, em metros cúbicos estando a procura de produtos Externos

contabilizada em número de volumes e a de produtos Farmácia em unidades de produtos. Desta forma, foi necessário converter os três parâmetros para a mesma dimensão, tendo-se utilizado como medida os metros cúbicos. Sabe-se que os produtos Farmácias são expedidos em banheiras pequenas ou grandes, cujo volume é *standard* e conhecido, e que os produtos Externos dizem respeito a caixas que podiam ter várias dimensões, para os quais foi determinado um volume médio.

Um pedido de cliente pode ser entregue apenas em banheiras pequenas, grandes ou em ambas, tendo-se determinado qual a probabilidade do pedido ser satisfeito por cada uma das três hipóteses, diferenciada para cada armazém devido às condições de funcionamento serem distintas. Para cada uma das hipóteses foi também calculado o número médio de produtos em cada banheira, permitindo a conversão de unidades para número de banheiras, sobre o qual se sabe o volume. De realçar que foi calculado o número médio de produtos entregues numa banheira e não quantos produtos podem ser expedidos em média numa banheira, pois o pretendido é identificar o número de banheiras expedidas independentemente da utilização da sua capacidade. Na figura 7 é apresentado um resumo de como foi realizado este cálculo.

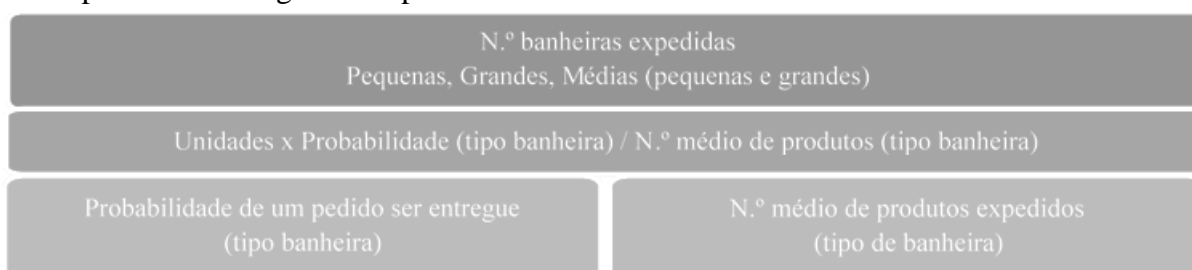


Figura 7 - Cálculo do n.º de banheiras expedidas

4.3 Custos

O objetivo do modelo desenhado é otimizar a cadeia de abastecimento reduzindo os seus custos operacionais, tendo em consideração também o nível de serviço pretendido. Na tabela 2 estão discriminados os custos considerados nesta análise.

Tabela 2 - Custos incorporados no estudo

CUSTO	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Valor financeiro de inventário empatado	6% do custo médio dos produtos (valor anual).	O custo médio dos produtos foi calculado considerando apenas os produtos que foram vendidos no ano em análise.
Funcionamento dos armazéns	Retirado do relatório de contas da Empresa. Corresponde às rubricas de fornecimento de serviços externos e outros gastos e perdas.	Assumiu-se que um armazém em <i>cross-docking</i> tem um custo igual a 40% dos custos de um armazém de <i>stock</i> .
Recursos Humanos da Conferência e <i>Picking</i>	Definido por níveis de atividade. O nível base corresponde ao nível atual. Os níveis superiores e inferiores ao nível base contabilizam mais ou menos um salário, respetivamente, por cada pessoa adicional alocada.	O nível base foi calculado usando o valor da rubrica de gastos com pessoal (excluindo serviços partilhados) e repartindo-o pelas duas atividades, tendo em conta a percentagem de pessoal alocado.

Transporte (Fixo)	Definido por níveis de atividade. O nível base de transporte tem custo zero. O nível superior tem um custo associado a uma renda mensal, com amortização em 36 meses.	Assumiu-se que o nível base tem custo zero pois os custos relativos aos veículos já estão incorporados nos custos variáveis.
Transporte (Variável)	Definido por quilómetro e caracterizado em duas classes: • Capilar (entregas aos clientes); • Primário (transferências entre armazéns).	O custo foi calculado dividindo o custo total obtido no mês de Janeiro pelo número de quilómetros realizado, para cada classe de custo.
Procura não satisfeita	Valor atribuído a cada unidade procurada pelo cliente que não foi entregue.	Este custo não representa apenas a perda da venda do produto mas as possíveis perdas que daí possam surgir.

4.4 Inputs/outputs

O modelo foi alimentado com dados recolhidos diretamente da base de dados, nomeadamente a procura e os níveis de inventário iniciais, e outros parâmetros, como a capacidade dos níveis de atividade e custos envolvidos, previamente calculados usando dados recolhidos em vários departamentos e em aplicações externas, como o GoogleMaps para cálculo das distâncias.

Considerando os *inputs* fornecidos, a função objetivo definida e as restrições impostas, o *solver* retorna a solução ótima, indicando a configuração da cadeia e os custos e níveis de atividade inerentes a esta. A figura 8 apresenta um esquema ilustrativo dos *inputs* e *outputs* deste modelo.

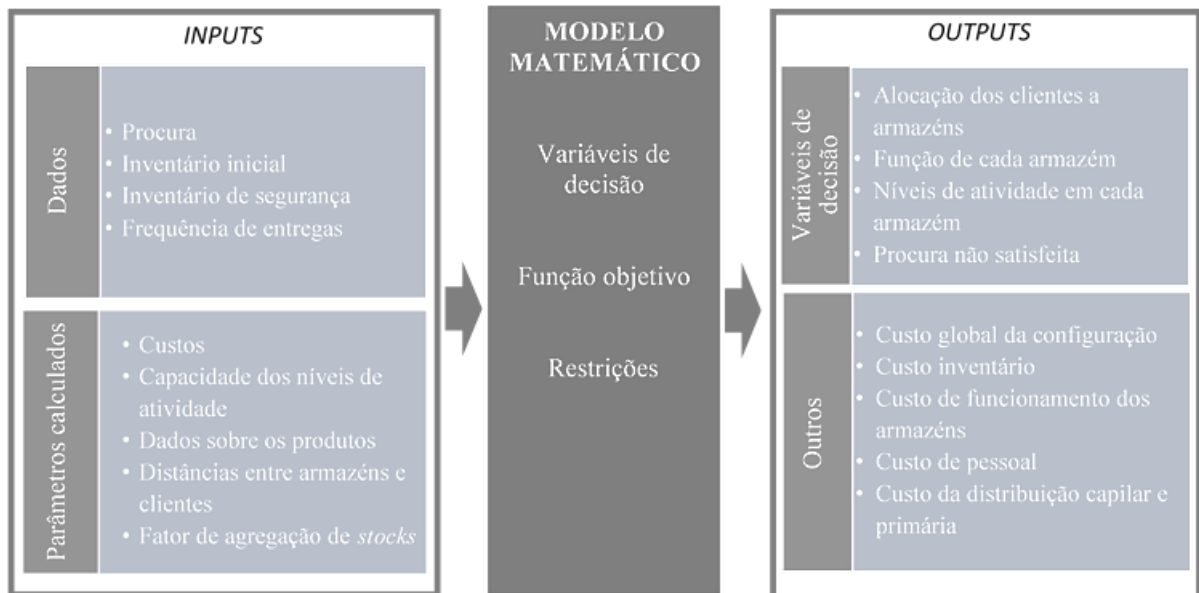


Figura 8 - Inputs e outputs do modelo de programação matemática

4.5 Descrição do modelo

Com o modelo de programação matemática pretende-se otimizar as principais variáveis de decisão da cadeia de abastecimento da empresa em estudo, considerando os custos que a sua configuração acarreta e o nível do serviço prestado, não descurando das decisões estratégicas impostas.

A configuração da cadeia de abastecimento é definida através dos J armazéns que a empresa tem ativos, cuja função M pode ser de *stock* ou *cross-docking*, e o nível de atividade N com que estes realizam cada atividade. A procura dos C clientes, relativa aos P produtos, deve ser totalmente satisfeita pelos armazéns da empresa, ao longo do horizonte temporal T , de forma a minimizar os custos totais da operação. Os índices, parâmetros e variáveis de decisão definidos no modelo são descritos de seguida.

a) Índices

$t \in T$	Período de tempo (granularidade mensal)
$p \in P_j$	Produtos (produto Farmácia $p = 1$, produto externo $p = 2$) alocados ao armazém j
$j, i \in J$	Armazéns
$m \in M$	Tipos de função dos armazéns (<i>cross-docking</i> $m = 1$, <i>stock</i> $m = 2$)
$c \in C$	Clientes
$w \in W$	Tipologias dos veículos de transporte
$n \in N$	Níveis de atividade
$v \in V$	Tipos de volumes transportados

b) Parâmetros

$I_{inicial\ j}$	Inventário inicial do armazém j
$I_{seg\ j}$	Inventário de segurança do armazém j
k	Coefficiente de agregação de <i>stocks</i>
D_{cp}^t	Procura do cliente c relativa ao produto p , no período t
PN_j	Percentagem da procura do armazém j que é processada à noite
FC_{jp}	Fator de consumo de capacidade nas atividades Conferência e <i>Picking</i> do produto p no armazém j , $\in \{0; 1\}$
qR_{jn}	Capacidade do nível n da atividade de Conferência no armazém j
qPk_{jn}	Capacidade do nível n da atividade de <i>Picking</i> no armazém j
qT_{jwn}	Capacidade do nível n da atividade de Transporte da tipologia w , no armazém j
fR_{jn}	Custo fixo do nível de atividade n da atividade de Conferência, no armazém j
fPk_{jn}	Custo fixo do nível de atividade n da atividade de <i>Picking</i> , no armazém j
fT_{jwn}	Custo fixo do nível de atividade n da atividade de Transporte, referente à tipologia w , no armazém j
$percV_{jpv}$	Percentagem de unidades do produto p transportadas no tipo de volume v , no armazém j
nP_{jpv}	Número médio de produtos p no tipo de volume v , no armazém j
Vol_{pv}	Volume cúbico médio do tipo de volume v do produto p

$eFreq_c$	Frequência de entregas diárias do cliente c
$iFreq_m$	Frequência de entregas diárias a um armazém com função m
eKm_{jc}	Distância entre o armazém j e o cliente c (kms)
iKm_{ji}	Distância entre o armazém j e o armazém i (kms)
uT_j	Custo por quilómetro percorrido na distribuição capilar do armazém j
uRP_j	Custo por quilómetro percorrido na rede primária do armazém j
$Disp_c$	Dispersão do <i>cluster</i> correspondente ao cliente c
aC_{jm}	Custo de funcionamento do armazém j , quando em função m
uS_p	Custo empatado de cada unidade de produto p em <i>stock</i> , em cada período de tempo
uD	Custo unitário de procura não satisfeita
M	Número elevado

c) Variáveis de decisão

X_{jm}	Igual a 1 se o armazém j estiver operacional com a função m (0 caso contrário)
Y_{ji}^m	Igual a 1 se o armazém j abastecer o armazém i , com função m (0 caso contrário)
Z_{jc}	Igual a 1 se o armazém j abastecer o cliente c (0 caso contrário)
eQ_{jcpw}^t	Quantidade transportada de produto p do armazém j para o cliente c , em veículos do tipo w , no período t
iQ_{jipw}^t	Quantidade transportada de produto p do armazém j para o armazém i , em veículos do tipo w , no período t
I_{jp}^t	Inventário de produto p no armazém j , no período t
Cmp_{jp}^t	Quantidade de produto p que deu entrada no armazém j , proveniente do exterior da cadeia, no período t
R_{jn}	Igual a 1 se o armazém j realizar a atividade de Conferência no nível n (0 caso contrário)
Pk_{jn}	Igual a 1 se o armazém j realizar a atividade de <i>Picking</i> no nível n (0 caso contrário)
T_{jwn}	Igual a 1 se o armazém j realizar a atividade de Transporte, da tipologia w , no nível n (0 caso contrário)
nD	Procura não satisfeita, em unidades de produtos

d) Variáveis de decisão auxiliares

cR_j	Custo da atividade de Conferência no armazém j em cada período de tempo
cPk_j	Custo da atividade de <i>Picking</i> no armazém j em cada período de tempo
cT_j	Custo da atividade de Transporte no armazém j em cada período de tempo

e) Função objetivo

O objetivo deste modelo é determinar os valores ótimos das variáveis de decisão apresentadas anteriormente, cumprindo com as restrições de funcionamento da cadeia e com as imposições dos cenários testados, de modo a minimizar os custos globais da operação. Os custos incorporados na função objetivo dizem respeito às principais rúbricas de custos da empresa intimamente relacionadas com o tipo de configuração que esta possui, não se considerando na análise custos transversais a toda a cadeia que não são alterados com as decisões do modelo. As rúbricas de custos incorporadas já foram anteriormente descritas na secção 4.3, tendo-se assumido, nos cenários testados, um custo de procura não satisfeita elevado para maximizar a satisfação da procura atual da empresa. A razão deste valor prende-se com o facto de a empresa pretender manter o seu nível de serviço atual e não querer perder clientes.

$$\begin{aligned}
\text{Minimizar} \quad & \sum_{j \in J, m \in M} X_{jm} \cdot aC_{jm} \\
& + \sum_{j \in P, p \in P, t \in T} I_{jp}^t \cdot uS_p \\
& + T \sum_{j \in J} cR_j + cPk_j + cT_j \\
& + \sum_{j \in J, c \in C, t \in T} eKm_{jc} \cdot Disp_c \cdot eFreq_c \cdot uT_j \cdot \frac{\sum_{p \in P, w \in W} eQ_{jcpw}^t}{D_{cp}^t} \\
& + T \sum_{j, i \in J} (iFreq_1 \cdot Y_{ji}^1 + iFreq_2 \cdot Y_{ji}^2) iKm_{ji} \cdot uRP_j \\
& + nD \cdot uD
\end{aligned} \tag{1}$$

A equação (1) representa a função objetivo definida, impondo a minimização dos custos incorporados. Os primeiros três componentes referem-se aos custos de funcionamento dos armazéns, de acordo com a função que desempenham, custo de *stock* empatado e custos fixos dos níveis de atividade definidos para a conferência, *picking* e transporte. Os dois componentes seguintes dizem respeito aos custos variáveis da distribuição capilar e rede primária, respetivamente, considerando o custo por quilómetro e a frequência com que são realizados os abastecimentos.

f) Armazéns

$$\sum_{m \in M} X_{jm} \leq 1 \quad \forall j \in J \tag{2}$$

$$\sum_{j \in J: j \neq i, m \in M} Y_{ji}^m \leq (|J| - 1) \cdot \sum_{m \in M} X_{im} \quad \forall i \in J \tag{3}$$

$$\sum_{j \in J: j \neq i} Y_{ji}^1 \geq X_{i1} \quad \forall i \in J \tag{4}$$

$$\sum_{i \in J: i \neq j, m \in M} Y_{ji}^m \leq (|J| - 1) \cdot X_{j2} \quad \forall j \in J \tag{5}$$

$$\sum_{m \in M} Y_{ji}^m \leq 1 \quad \forall j, i \in J: j \neq i \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J: j \neq i} Y_{ji}^1 \leq (|J| - 1) \cdot X_{i1} \quad \forall i \in J \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P, w \in W, t \in T} iQ_{jipw}^t \leq M \cdot \sum_m Y_{ji}^m \quad \forall j, i \in J: j \neq i \quad (8)$$

As equações (2) – (8) indicam as condições de funcionamento dos armazéns. As restrições (2) – (3) impõem que apenas um armazém ativo pode receber mercadoria por transferência de outros armazéns, tendo de ter apenas uma função definida. As restrições (4) – (7) impõem que o tipo de transferência (frequência de abastecimentos) que um armazém recebe depende da sua função, tendo os armazéns em *cross-docking* obrigatoriamente de ser abastecidos mais do que uma vez por dia, por pelo menos um armazém de *stock*, os únicos que podem realizar abastecimentos. A transferência de mercadoria entre armazéns apenas pode ser realizada se a ligação entre eles existir, como demonstra a equação (8).

g) Inventário

$$\sum_{p \in P, t \in T} I_{jp}^t \leq M \cdot X_{j2} \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$I_{jp}^0 = I_{inicial j} \cdot X_{j2} \quad \forall j \in J, p \in P: p = 1 \quad (10)$$

$$I_{jp}^t = 0 \quad \forall j \in J, t \in T, p \in P: p = 2 \quad (11)$$

$$I_{jp}^t \geq X_{j2} \cdot I_{seg j} + \sum_{i \in J: i \neq j} I_{seg i} \cdot Y_{ji}^1 k \quad \forall j \in J, t \in T, p \in P: p = 1 \quad (12)$$

O modelo teve de ser alimentado com o nível de *stock* que a empresa apresentava no período referente ao início da análise de modo ao modelo identificar quais as quantidades que a cadeia detinha na altura e calcular as compras que seriam necessárias. A restrição (9) estabelece que apenas armazéns de *stock* podem deter inventário ao longo do período. As restrições (10) – (11) forçam a que o inventário dos produtos Farmácia, no período $t = 0$, corresponda ao inventário inicial determinado e que não seja retido em inventário nenhum produto do tipo Externo ($p = 2$), ao longo do tempo. Esta segunda condição prende-se com o facto de neste estudo não ser considerada a logística interna dos produtos Externos, assumindo-se que estes entram e saem da cadeia no mesmo período.

Um armazém que desempenhe funções de *cross-docking* é abastecido por um armazém de *stock*, cujo nível de inventário de segurança terá de ser aumentado para acomodar a procura do armazém que vai abastecer. No entanto, ao agregar a procura dos dois armazéns, a variabilidade global da procura da empresa diminui. A restrição (12) determina que o armazém de *stock* deve manter, ao longo do tempo, um nível de inventário suficiente para acomodar a variabilidade da procura dos clientes e armazéns que abastece.

h) Clientes

$$\sum_{c \in C} Z_{jc} \leq M \cdot \sum_m X_{jm} \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$\sum_{p \in P, w \in W, t \in T} eQ_{jcpw}^t \leq M \cdot Z_{jc} \quad \forall j \in J, c \in C \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J, w \in W, t \in T} eQ_{jcpw}^t \leq D_{cp}^t \quad \forall c \in C, p \in P, t \in T \quad (15)$$

As equações (13) – (14) impõem que os clientes apenas recebam mercadoria dos armazéns a que estão alocados, tendo esses de estar operacionais. A restrição (15) indica que as quantidades enviadas do armazém para o cliente não podem ser superiores à procura deste.

i) Atividade de Conferência e Picking

$$\sum_{n \in N} R_{jn} = 1 \quad \forall j \in J \quad (16)$$

$$\sum_{n \in N} Pk_{jn} = 1 \quad \forall j \in J \quad (17)$$

$$\sum_{p \in P, t \in T} Cmp_{jp}^t \leq M \cdot X_{j2} \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{p \notin P_j} Cmp_{jp}^t = 0 \quad \forall j \in J, t \in T \quad (19)$$

$$\sum_{p \in P} Cmp_{jp}^t \cdot FC_{jp} \leq \sum_{n \in N} qR_{jn} \cdot R_{jn} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in J, p \in P, w \in W} iQ_{jipw}^t \cdot FC_{jp} + \sum_{c \in C, p \in P, w \in W} eQ_{jipw}^t \cdot FC_{jp} \\ \leq \sum_{n \in N} qPk_{jn} \cdot Pk_{jn} + M \cdot X_{j1} \quad \forall j \in J, t \in T \end{aligned} \quad (21)$$

As condições de funcionamento das atividades de conferência e *picking* foram definidas nas restrições (16) – (21). Estas atividades apenas podem ser operacionalizadas de acordo com o nível de atividade estabelecido, que deve ser único e estável, não dependendo do período em questão, como indicado nas restrições (16) – (17). Um armazém de *stock* pode receber, do exterior da cadeia da empresa, os seus produtos através de compras a fornecedores, ou, no caso do negócio externo da NT, de entregas dos pré-grossistas no armazém. A restrição (18) impõe que apenas armazéns de *stock* podem receber mercadoria do exterior e que esta tem de ser de produtos que o armazém detenha, caso contrário não pode receber, como indicado em (19).

As equações (20) – (21) estabelecem que a quantidade de produtos processados, na atividade de conferência e de *picking*, não pode exceder a capacidade do nível de atividade definido para

cada uma. O fator de consumo (FC) foi utilizado nestas restrições para as quantidades de produtos Externo não serem contabilizadas no consumo da atividade, pois apenas está em análise a logística interna dos produtos Farmácia.

j) Atividade de transporte

$$\sum_{n \in N} T_{jwn} = 1 \quad \forall j \in J, w \in W \quad (22)$$

$$\sum_{c \in C, p \in P, v \in V} \frac{eQ_{jcpw}^t \cdot percV_{jpv} \cdot Vol_{pv}}{nP_{jpv}} + \sum_{i \in J, p \in P, v \in V} \frac{iQ_{jipw}^t \cdot percV_{jpv} \cdot Vol_{pv}}{nP_{jpv}} \leq \sum_{n \in N} T_{jwn} \cdot qT_{jwn} \quad \forall j \in J, w \in W, t \in T \quad (23)$$

As restrições (22) – (23) expõem as imposições da atividade de transporte, referindo que apenas pode ser definido um nível de atividade para cada tipologia de veículo, w , em cada armazém, e que o volume transportado não pode exceder a capacidade desse nível estabelecido.

k) Restrições específicas da empresa em análise

As restrições apresentadas até então foram todas desenvolvidas de um modo geral que poderia ser aplicado na análise de configuração de outra empresa grossista. No entanto, houve necessidade de impor valores a certas variáveis de decisão definidas, de modo a garantir que a solução obtida no modelo cumpria com condições de funcionamento específicas da empresa em estudo.

$$\sum_{p \in P, w \in W} iQ_{jipw}^t \leq PN_i \cdot \sum_{c \in C, p \in P} Z_{ic} \cdot D_{cp}^t + M \cdot X_{i1} \quad \forall t \in T, i \in J \setminus \{P1\}, j = P1 \quad (24)$$

$$\sum_{p \in P, w \in W} iQ_{jipw}^t \geq PN_i \cdot \sum_{c \in C, p \in P} Z_{ic} \cdot D_{cp}^t - M \cdot X_{i1} \quad \forall t \in T, i \in J \setminus \{P1\}, j = P1 \quad (25)$$

Na empresa em estudo a procura noturna de todos os armazéns é processada no armazém principal, P1, e transferida de manhã para os respetivos armazéns onde é posteriormente encaminhada para os clientes. As restrições (24) – (25) impõem que a percentagem da procura referente à procura noturna deve ser transferida do armazém P1 para os restantes, caso estes funcionem como *stock*.

l) Restrições auxiliares

$$Cmp_{jp}^t + \sum_{i \in J, w \in W} iQ_{ijpw}^t + I_{jp}^{t-1} = \sum_{i \in J, w \in W} iQ_{jipw}^t + \sum_{c \in C, w \in W} eQ_{jcpw}^t + I_{jp}^t \quad \forall j \in J, p \in P, t \in T \quad (26)$$

$$cR_j \geq \sum_{n \in N} fR_{jn} \cdot R_{jn} \quad \forall j \in J \quad (27)$$

$$cPk_j \geq \sum_{n \in N} fPk_{jn} \cdot Pk_{jn} \quad \forall j \in J \quad (28)$$

$$cT_j \geq \sum_{w \in W, n \in N} fT_{jwn} \cdot T_{jwn} \quad \forall j \in J \tag{29}$$

$$nD = \sum_{j \in J, c \in C, p \in P, w \in W, t \in T} eQ_{jcpw}^t - \sum_{c \in C, p \in P, t \in T} D_{cp}^t \tag{30}$$

$$X_{jm}, Y_{ji}^m, Z_{jc}, R_{jn}, Pk_{jn}, T_{jwn} \in \{0,1\} \quad ;$$

$$eQ_{jcpw}^t, iQ_{jipw}^t, I_{jp}^t, Cmp_{jp}^t, cR_j, cPk_j, cT_j, nD \geq 0$$

$$(j, i) \in J, p \in P, c \in C, m \in M, t \in T, w \in W, n \in N \tag{31}$$

As equações (26) – (31) foram criadas para auxiliar os cálculos necessários à implementação da configuração da cadeia de abastecimento. A restrição (26) impõe que seja mantido um equilíbrio no fluxo material de cada armazém, ao longo do tempo. O custo, por período de tempo, das atividades de conferência, *picking* e transporte foram determinados nas restrições (27) – (29) e dependem do nível de atividade definido. A restrição (30) define o valor da procura que não foi satisfeita identificando o nível de serviço prestado pela empresa. A restrição (31) indica o domínio das variáveis de decisão definidas.

4.6 Validação do modelo

Antes de se iniciar a análise de cenários alternativos à configuração da cadeia de abastecimento da empresa utilizando o modelo construído, foi necessário validar que este consegue retratar a configuração da cadeia atual. Assim, bloquearam-se as principais variáveis de decisão que definem a configuração da cadeia, como os armazéns que abastecem cada cliente e os níveis de atividade, para os seus valores atuais e comparou-se o output das variáveis livres, valores operacionais e de custos, com os valores obtidos na realidade.

a) Valores de monetários

De seguida são apresentados, na figura 9, os custos reais que a empresa teve durante o ano em análise comparados com os custos obtidos no modelo matemático.

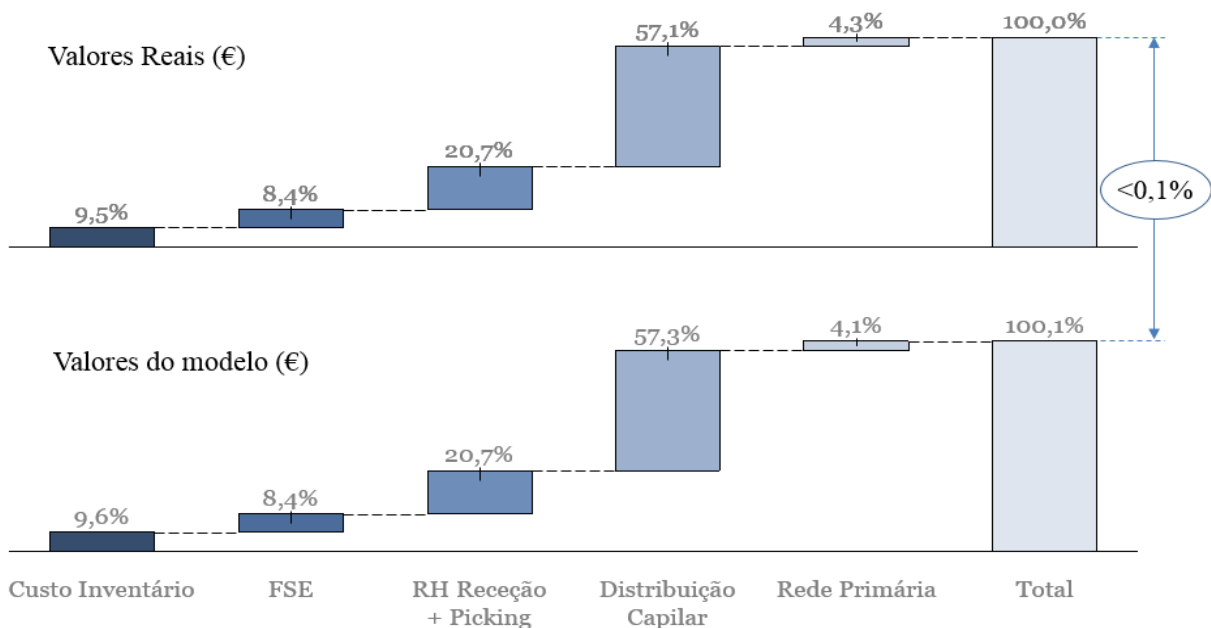


Figura 9 - Comparação dos custos (real e modelo OPL)

Os resultados demonstram que o modelo obteve um custo total muito próximo do real, com cerca de 0,1% de diferença. Analisando cada categoria de custo individualmente constata-se que os custos referentes ao funcionamento dos armazéns (FSE) e às atividades de conferência e *picking* (RH Receção + *Picking*) coincidem com os custos reais, o que seria de esperar visto ambos serem custos de variáveis fixadas por função e nível, respetivamente.

b) Valores operacionais

Os valores operacionais das atividades também foram comparados para validar o modelo. Para além dos custos, é necessário determinar se há correspondência com a realidade a nível operacional.

Os gráficos apresentados nesta secção têm a seguinte legenda: Real Atual

Atividade de Conferência e *Picking*

Nas figuras 10 e 11 são apresentados os valores operacionais das atividades de conferência e *picking*, respetivamente, medidos em unidades de produtos Farmácia rececionados e aviados em cada armazém.

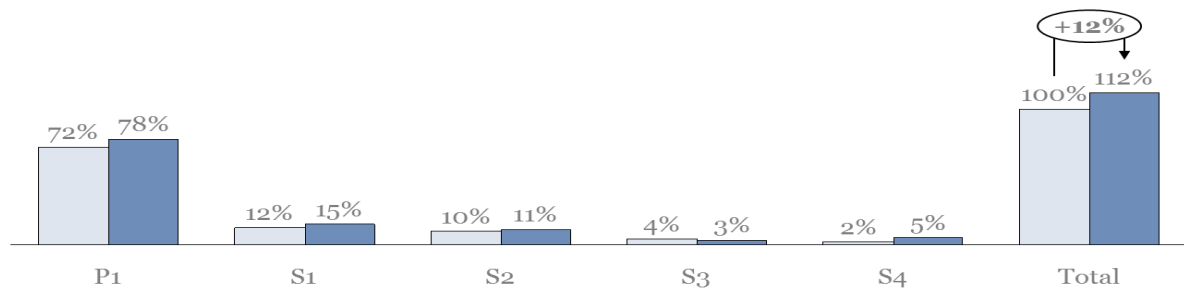


Figura 10 - Comparação do n.º de unidades conferidas (real e modelo OPL)

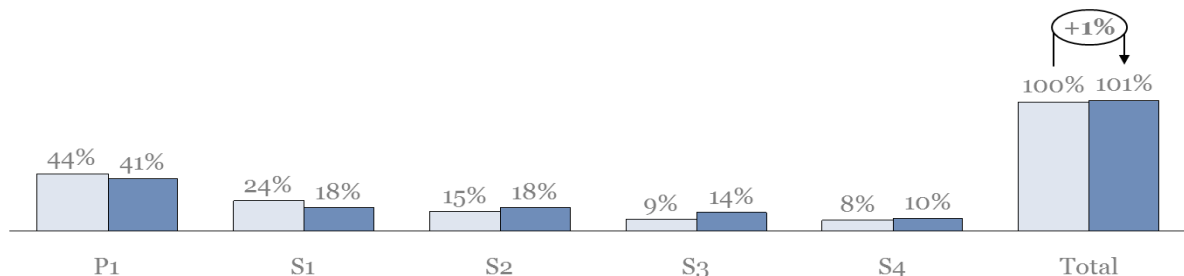


Figura 11- Comparação do n.º de unidades de *picking* (real e modelo OPL)

Os resultados mostram que os valores operacionais de ambas as atividades, obtidos pelo modelo, são globalmente similares aos valores reais, apresentando a atividade de conferência uma diferença de cerca de 12% e a atividade de *picking* de 1%. A diferença nas unidades conferidas prende-se com o facto de o modelo considerar a procura de vendas diretas, tendo de rececionar mais unidades, que não são contabilizadas como conferências na realidade. O termo vendas diretas corresponde à passagem, pela cadeia de abastecimento da empresa, de mercadoria vendida diretamente do fornecedor ao cliente final, tomando esta um papel de intermediária na transação.

Transporte

Os valores operacionais da atividade de distribuição foram medidos através do número de quilómetros realizados pela frota da empresa, na distribuição capilar, com origem em cada armazém, figura 12, e pelo número de banheiras expedidas, figura 13. Este segundo indicador

foi calculado para determinar se a conversão dos produtos Farmácias em banheiras estava próxima da realidade ou não.

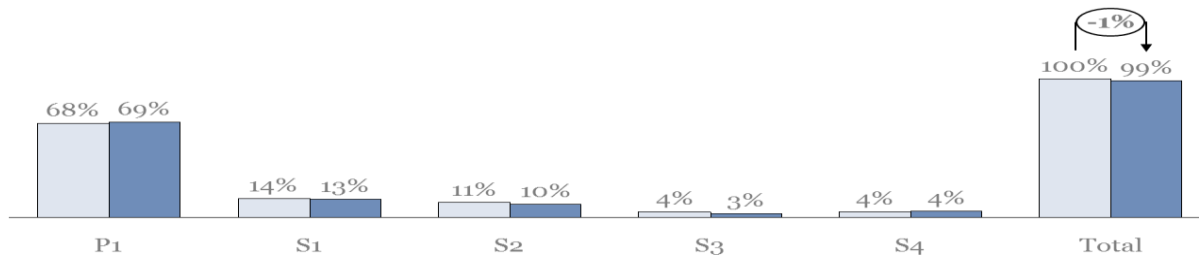


Figura 12 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (real e modelo OPL)

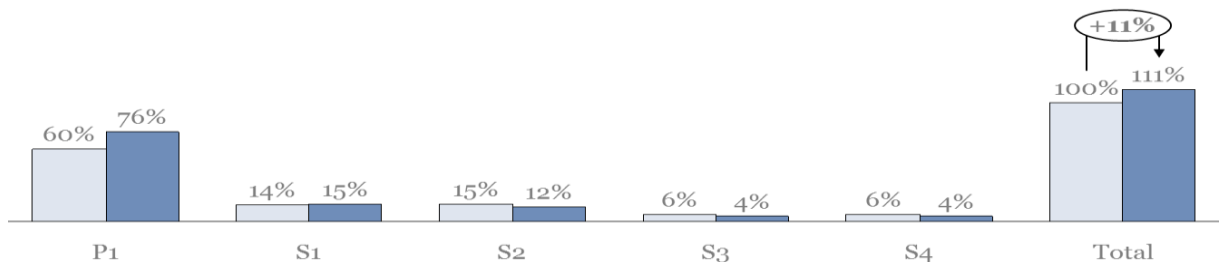


Figura 13 - Comparação do n.º de banheiras expedidas (real e modelo OPL)

Os valores operacionais da distribuição também apresentam resultados globais similares aos valores reais, com uma diferença de apenas 1% relativa aos quilómetros percorridos e de 11% sobre o número de banheiras transportadas. Dado o número de banheiras transportadas ter sido calculado usando um método de conversão, no qual se tentou incorporar todas as condicionantes do seu valor, como a utilização das banheiras e o número de produtos por banheira, a diferença de 11% mais unidades de banheiras do que o real é uma boa aproximação.

Os resultados obtidos no modelo de programação matemática estão muito próximos dos valores conseguidos na realidade, quando fixadas as condições atuais da cadeia. Assim, é possível concluir que o modelo construído tem um bom *fit* com a cadeia de abastecimento atual podendo ser utilizado para análise de cenários alternativos.

5 Modelo de simulação por eventos

O modelo de simulação por eventos foi criado para complementar a análise realizada com o modelo de programação matemática, permitindo estudar em detalhe as atividades operacionais da cadeia de abastecimento. Neste modelo estão representados os cinco armazéns da empresa e detalhadas todas as atividades e fluxo de materiais, desde as compras aos fornecedores até ao carregamento e saída dos veículos do cais de expedição.

O simulador foi construído à medida do negócio da empresa em estudo, incorporando todas as suas especificidades, no programa de simulação Simio, podendo ser visualizada no anexo C a interface deste. Dado retratar todos os eventos da atividade da empresa, sendo possível verificar em detalhe como os diferentes processos reagem a modificações na configuração da cadeia, não foi simulado todo o ano em estudo, pois não o era possível fazer num tempo aceitável que permitisse várias iterações. Assim, de modo a reduzir o tempo de simulação sem descurar do objetivo pretendido – o de analisar os comportamentos das atividades – a atividade da cadeia de abastecimento foi simulada para um mês, tendo-se optado pelo mês de Janeiro, altura do ano onde a procura é mais elevada.

5.1 Inputs/outputs

Dado se tratar de um modelo de simulação por eventos, os dados fornecidos que despoletam esses eventos são cruciais para o desenvolvimento dos processos recriados. Por forma a retratar o mais fielmente possível a realidade da cadeia de abastecimento da empresa foi necessário realizar um vasto tratamento dos dados recolhidos, pois uma ligeira diferença face à realidade nos eventos provocados, como aviamento de encomendas num dado armazém em vez de outro, pode influenciar o desencadeamento dos restantes eventos. Os dados foram recolhidos e tratados a partir do *software* SQL Server Management Studio, onde foram realizadas *queries* de forma a se obter os dados pretendidos, e do Excel.

Na figura 14 é possível visualizar um esquema representativo dos *inputs* fornecidos ao simulador e dos *outputs* que este retornava.

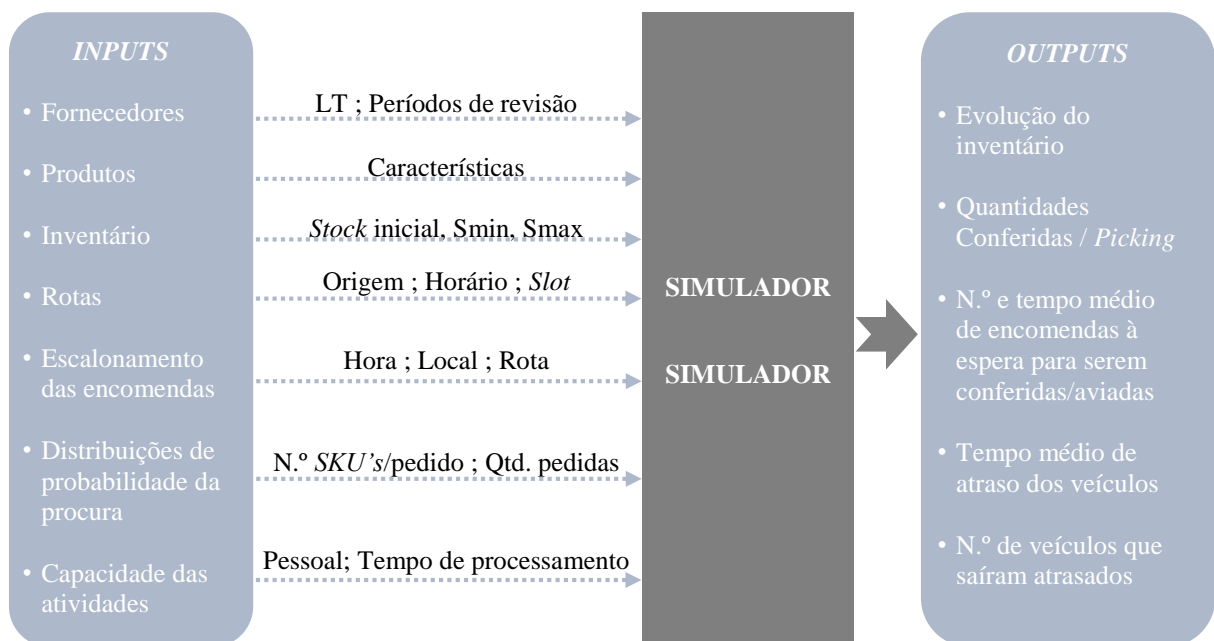


Figura 14 – Esquema representativo dos *inputs* e *outputs* do simulador

O simulador foi alimentado por dois tipos de dados:

- Parâmetros relativos ao modo de funcionamento da cadeia, que se mantiveram estáticos nas várias iterações, como as características dos produtos e fornecedores;
- Variáveis que tomaram diferentes valores consoante a solução obtida no modelo de programação matemática, como a capacidade de processamento de encomendas na conferência e *picking*.

5.2 Framework de simulação

No simulador foram consideradas apenas as atividades da logística interna pelas quais passam os produtos do negócio NF, referidos anteriormente como produtos Farmácia. Ao contrário do que foi implementado no modelo matemático, neste modelo os vários produtos Farmácia foram discriminados individualmente, sendo calculado o inventário de cada um deles em cada armazém da empresa.

No anexo B pode ser encontrado o *Value Stream Mapping* da empresa, onde estão evidenciadas as atividades que foram retratadas no simulador e as ações que despoletam os eventos na cadeia. Estas ações podem ser agrupadas em três categorias com foco no inventário: as compras a fornecedores, as descentralizações de produtos e as encomendas dos clientes. As encomendas dos clientes despoletam o *picking* dos produtos, diminuindo o inventário, que é posteriormente repostado devido ao despoletar das compras e descentralizações. O simulador foi desenhado de modo ao fluxo material ser idêntico ao que acontece na realidade, passando por diversas fases de acordo com as relações de causalidade criadas pelas diferentes ações. Os eventos gerados pelas três categorias de ação definidas são apresentadas de seguida, indicando-se os processos macro executados, podendo ser analisado com maior detalhe a relação entre as atividades no fluxograma apresentado no anexo A.

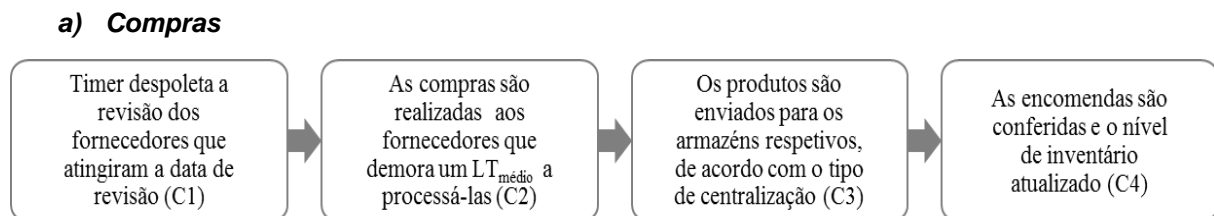


Figura 15 - Eventos despoletados pelas compras aos fornecedores

A figura 15 demonstra os eventos que ocorrem no simulador quando as compras aos fornecedores são acionadas. Estes eventos são originados através da ação de compra que é realizada todos os dias de manhã para os fornecedores que atingiram o seu dia de revisão. Para estes fornecedores são analisados os níveis de inventário de cada um dos seus produtos e calculadas as quantidades a encomendar. Estas encomendas são efetuadas para todos os armazéns, de acordo com o tipo de centralização dos produtos, sendo feitas encomendas dos produtos cujo *stock* teórico seja inferior ao *stock* máximo, correspondendo a diferença à quantidade encomendada. Quando a mercadoria é rececionada no armazém é realizada a conferência desta, pelo método FIFO, sendo o tempo de processamento estocástico.

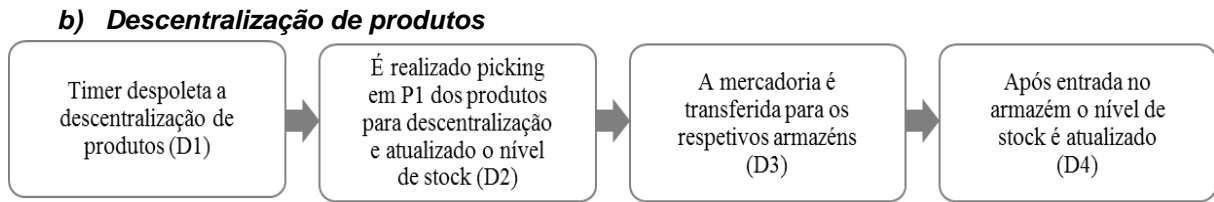


Figura 16 - Eventos despoletados pela descentralização de produtos

A descentralização dos produtos, figura 16, também é despoletada todos os dias de manhã, sendo os produtos a descentralizar aviados no armazém principal P1 e enviados para os restantes armazéns de acordo com as suas necessidades. No armazém de destino foi considerado que estes dão imediatamente entrada em inventário, sem passarem pela conferência.

c) Encomendas dos clientes

Aviamento das encomendas

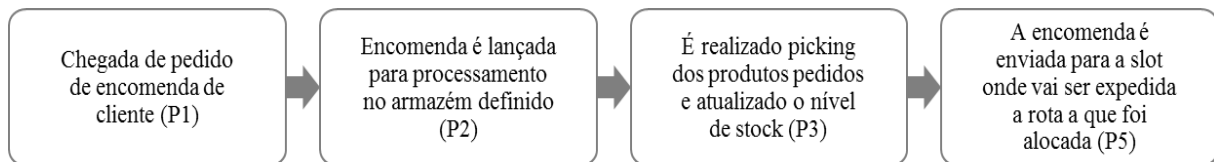


Figura 17 - Eventos despoletados pelas encomendas dos clientes

O aviamento das encomendas é despoletado pela chegada de um pedido, como indica a figura 17, sendo este enviado para processamento no momento em que é efetuado. As encomendas são aviadas pelo método FIFO, correspondendo cada encomenda a uma banheira, com um tempo de processamento estocástico. O aviamento da encomenda é realizado no armazém aonde é alocada e expedida na rota definida. Assumiu-se que caso a encomenda fosse realizada após a hora de saída da sua rota esta era automaticamente transferida para a rota seguinte do respetivo cliente.

O número de produtos pedidos em cada encomenda e a respetiva quantidade foram determinados através de distribuições de probabilidade, sendo os produtos escolhidos de forma aleatória, considerando a probabilidade de seleção de cada um. Estas distribuições de probabilidade foram definidas, para cada armazém e produto, através de testes de aproximação de distribuições que foram realizados recorrendo ao histórico da procura do último ano.

Expedição das encomendas

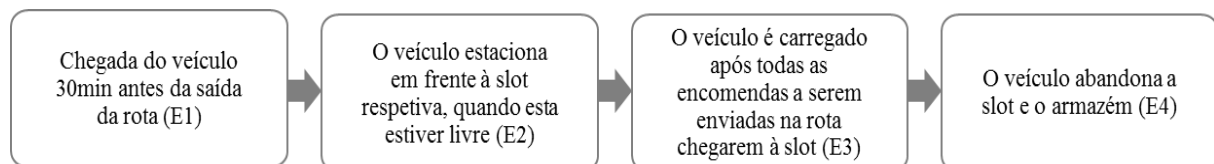


Figura 18 - Eventos despoletados pelas ordens de expedição

A figura 18 indica os eventos despoletados na expedição das encomendas. Quando um veículo chega ao armazém este aguarda até que a *slot*, para onde estão a ser encaminhadas as encomendas da sua rota, esteja livre. A atribuição dos pares rota-*slot* foi realizada de modo a não estarem veículos à espera para entrar no cais de expedição quando existia uma *slot* livre, assumindo a saída das rotas sem atrasos.

Dado os veículos esperarem por todas as encomendas efetuadas antes da hora de saída pré-definida da rota, estes podem sair depois da hora, caso as respetivas encomendas se atrasem a ser processadas, devido a congestionamento no *picking*.

5.3 Validação do modelo

O simulador foi construído de acordo com os procedimentos de cada atividade da cadeia de abastecimento da empresa, desde as compras ao fornecedor até à expedição das encomendas dos clientes. No entanto, antes de se terem iniciado os testes de cenários alternativos, foi necessário validar que os resultados obtidos usando a configuração atual correspondiam aos valores reais. Assim, foi realizado um teste de validação, usando os parâmetros da cadeia atual, estando a comparação dos resultados obtidos apresentada de seguida.

Os gráficos apresentados nesta secção têm a seguinte legenda: Real Atual

a) Atividade de Conferência

O simulador foi programado para, tal como na realidade, efetuar compras aos fornecedores de acordo com períodos de revisão definidos, tendo em conta a posição de inventário teórico dos produtos. O modelo foi alimentado com os níveis mínimos e máximos de inventário de cada produto, em cada armazém, e o inventário físico relativo ao dia de início da simulação. No entanto, não foi possível identificar o valor de inventário teórico, não se sabendo assim quantas unidades se estariam à espera de receber nos primeiros dias do mês em análise. Este facto influenciou o comportamento do simulador, fazendo este realizar mais encomendas do que aquelas que eram necessárias na realidade.

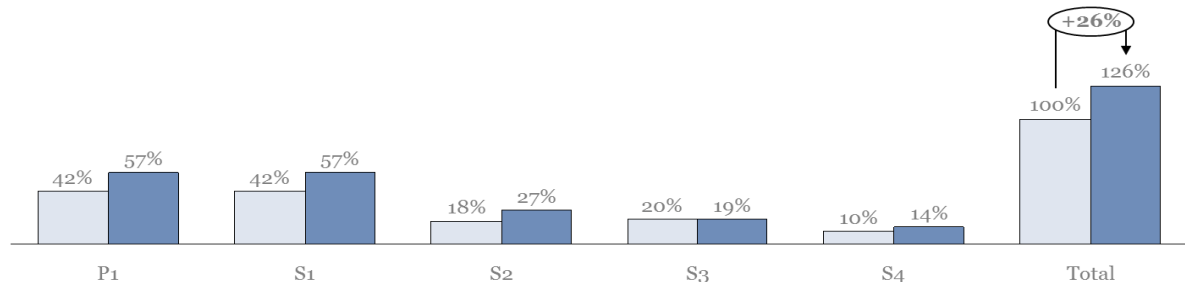


Figura 19 - Comparação do n.º de linhas conferidas (real e modelo simulado)

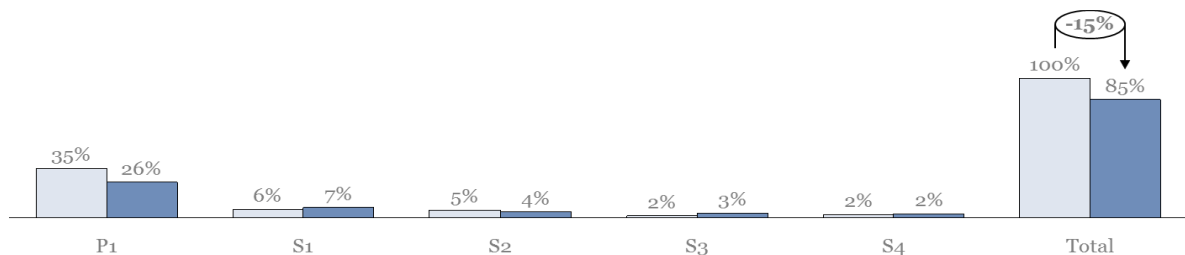


Figura 20 - Comparação do n.º de unidades conferidas (real e modelo simulado)

Analisando os resultados apresentados, nas figuras 19 e 20, verifica-se que o simulador conferiu no global 26% mais linhas face à realidade, indicando que fez mais encomendas do que na realidade foram feitas, como era esperado. No entanto, como o tempo de processamento de uma encomenda na conferência era dependente do número de linhas desta, como houve mais linhas a conferir a atividade ocupou mais tempo com cada encomenda, não conseguindo rececionar, no global, o mesmo número de unidades, daí a diferença de 15%.

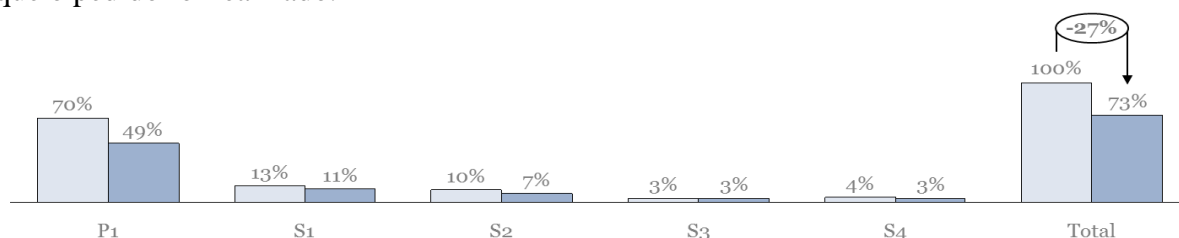
Tabela 3 – Outros indicadores da atividade de conferência simulados

Indicadores	Resultados
N.º médio de encomendas em espera para serem conferidas	71,7
Tempo médio que uma encomenda fica em espera para ser conferida (dias)	3,5
Tempo médio de conferência de uma encomenda (horas)	1,9

Na tabela 3 é possível analisar outros indicadores operacionais, respeitantes à performance da atividade. Analisando o tempo médio que cada encomenda esteve à espera para ser conferida, a média global dos armazéns, de 3,5 dias, está próxima do valor médio parametrizado pela empresa em sistema de 2 dias, apesar dos atrasos relativos ao excesso de linhas a conferir.

d) Atividade de Picking

Na atividade de *picking* as encomendas são processadas assim que chegam ao armazém, tendo-se por isso usado como *input* a hora a que foram aviadas as encomendas em prol da hora em que o pedido foi realizado.

**Figura 21 - Comparação do n.º de unidades de picking (real e modelo simulado)**

Os resultados, expostos na figura 21, demonstram uma diferença de *picking* global de menos 27% unidades que a realidade, sendo grande parte desta diferença relativa ao armazém de P1. Dado na atividade de conferência se ter obtido uma diferença de 15% menos unidades conferidas, já seria de esperar que a atividade de *picking* fosse refletir também uma diferença negativa, pois não havendo produtos em inventário não é possível realizar *picking*. Outro fator que pode ter contribuído também para esta diferença é o facto de as quantidades pedidas nas encomendas terem sido determinadas estocasticamente. Na tabela 4 verifica-se que o número médio de encomendas em espera e o tempo médio que cada uma espera é bastante reduzido no cenário atual simulado.

Tabela 4 – Outros indicadores da atividade de picking simulados

Indicadores	Resultados
N.º médio de encomendas em espera para serem aviadas	0,5
Tempo médio que uma encomenda fica em espera para ser aviada (minutos)	1,1
Tempo médio de <i>picking</i> de uma encomenda (minutos)	16,4

e) Inventário

Neste modelo, ao contrário do modelo de programação matemática, os produtos foram discriminados individualmente para cada armazém, tendo sido contabilizada ao longo da simulação a posição de inventário físico e teórico de cada um. A comparação entre a média do inventário simulado e do inventário real, ao longo do ano em análise, apresentada na figura 22, indica uma boa aproximação dos níveis de inventário, com uma diferença de apenas 4%.

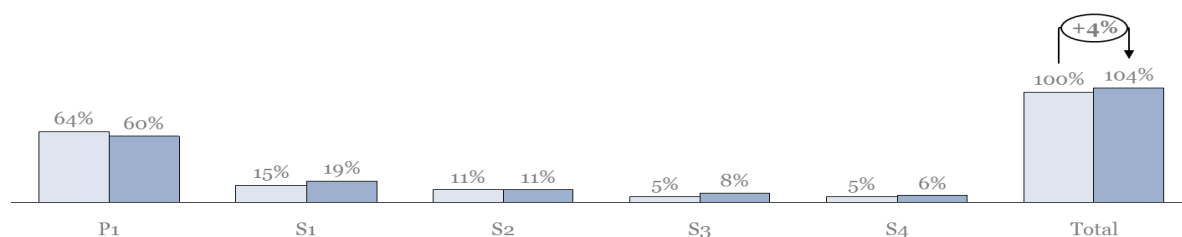


Figura 22 - Comparação do nível de inventário médio (real e modelo simulado)

f) Atividade de expedição

Sobre a atividade de expedição, os principais indicadores medidos foram os tempos médios de atraso dos veículos, influenciados por atrasos na preparação das encomendas, e o número de veículos que saíram atrasados. Na tabela 5 estão identificados os valores obtidos para os indicadores descritos, tendo-se apenas considerado nos cálculos os veículos com atrasos superiores a um minuto.

Tabela 5 - Indicadores da atividade de expedição simulados

Indicadores	P1	S1	S2	S3	S4	Média
Tempo médio de atraso (minutos)	12,0	12,4	9,0	11,1	20,9	13,1
% Mensal de viagens com atraso de 10 a 20 minutos	17%	19%	16%	15%	16%	17%
% Mensal de viagens com atraso superior a 20 minutos	3%	7%	0%	5%	24%	8%

Tendo em consideração os valores indicados pela empresa distribuidora NT, um veículo pode sair entre 10 a 20 minutos atrasado do armazém, sem com isso interferir no horário de entrega estabelecido com os clientes, sendo por isso natural existirem veículos com atrasos nesta grandeza. Analisando os resultados obtidos no simulador verifica-se que num mês, no global, cerca de 30% dos veículos saem atrasados dos armazéns com uma média de 13 minutos de atraso, valor próximo da realidade.

O Departamento de Distribuição informou que os veículos têm folga para saírem com atrasos até 20 minutos, sem interferirem na hora de entrega estipulada com os clientes. Desta forma, o indicador relativo à percentagem mensal de viagens com atrasos superiores a 20 minutos é um dos indicadores mais importantes na análise desta atividade, assim como o tempo médio global de atraso. Estes dois indicadores indicarão como o nível de serviço prestado ao cliente é afetado a um nível mais operacional.

De acordo com a análise efetuada nesta secção de validação, os indicadores obtidos pelo simulador estão, no global, próximos da realidade, havendo apenas um desfasamento relativo às atividades de conferência e *picking*, explicado pela diferença de valores de *stock* teórico no início da simulação. No entanto, apesar das ligeiras diferenças detetadas foi possível afirmar que o simulador estava a reagir aos eventos de modo similar à realidade, mantendo o seu fluxo material equilibrado e de acordo com o funcionamento atual da cadeia de abastecimento da empresa. Assim, utilizou-se os valores dos indicadores obtidos nesta validação como *baseline* do cenário atual, tendo-se comparado os cenários testados com estes valores.

6 Análise de cenários

Com os modelos de suporte construídos e validados, designadamente os modelos de programação matemática e de simulação por eventos, a fase seguinte recorreu a esses modelos para testar cenários alternativos à configuração atual da cadeia de abastecimento.

Neste capítulo é feita a descrição de cada cenário testado seguida dos resultados obtidos, para cada um, no modelo matemático. Através da análise destes resultados e ponderando as condicionantes do setor são identificadas as barreiras e riscos inerentes à implementação de cada cenário. O melhor cenário encontrado é posteriormente analisado através dos resultados obtidos no modelo de simulação, onde o comportamento da cadeia foi testado com a configuração correspondente, determinando-se outros indicadores operacionais.

De acordo com as sessões de trabalho realizadas com os diversos departamentos da empresa, desde as Compras até à Distribuição, onde se tentou perceber quais as configurações da cadeia que pretendiam ver analisadas e tendo em conta as análises efetuadas até então, foram elaborados diversos cenários à configuração da cadeia de abastecimento a serem testados. Todos os cenários aqui apresentados serão comparados com os valores obtidos para o cenário atual, o qual já foi anteriormente validado, que servirá de *baseline* à análise.

6.1 Cenário otimizado da rede atual

Antes de se testar cenários alternativos à configuração atual da cadeia decidiu-se estudar a possibilidade de otimizar a configuração da cadeia de abastecimento atual, mantendo as funções de cada armazém e permitindo a alteração dos níveis de atividade e da alocação da procura pelos armazéns.

a) Resultados do modelo matemático

Custos da configuração

Na figura 23 comparam-se os custos obtidos no modelo de programação matemática para o cenário atual, anteriormente apresentado, e a solução da otimização do cenário atual.

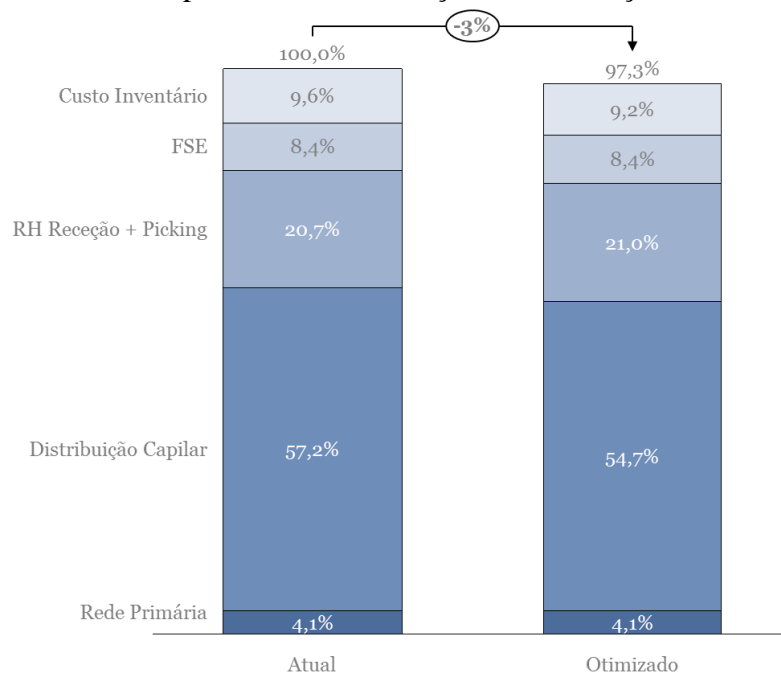


Figura 23 - Comparação dos custos (Cenários Atual e Otimizado)

Os resultados mostram que, otimizando o funcionamento da cadeia de abastecimento atual, é possível obter ganhos anuais na ordem dos 3% face aos custos atuais da operação. É visível que com um pequeno aumento nos custos de pessoal é possível diminuir os custos de inventário, quase na mesma proporção, sendo a distribuição capilar a rubrica que aparenta proporcionar maior poupança, possivelmente devido a realocação de clientes a armazéns. Os custos relativos a fornecimento de serviços externos e rede primária mantêm-se inalterados pois os armazéns mantêm a sua função atual, consumindo os mesmos serviços e mantendo as ligações primárias já existentes.

Atividade de Conferência e *Picking*

A figura seguinte (Figura 24) apresenta a percentagem de unidades processadas em cada armazém sobre o total do grupo, nas atividades de conferência e *picking*. Os valores percentuais de ambas as atividades são idênticos, dado apenas ser realizado *picking* sobre unidades conferidas, que por sua vez só o são de modo a responder à procura dos clientes.

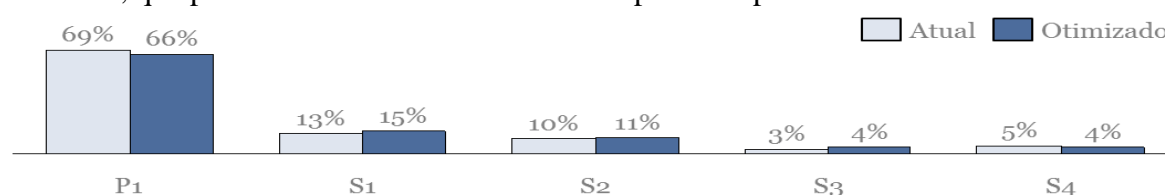


Figura 24 - Comparação do n.º de unidades conferidas (Cenários Atual e Otimizado)

Apesar das diferenças entre as unidades processadas no cenário atual e otimizado serem ligeiras, estas diferenças traduzem-se numa realocação de pessoal pelas atividades. Isto deve-se ao facto de o nível de atividade ser determinado pelo número de pessoas e capacidade média de processamento por pessoa que pode ser otimizada pela cadeia, de modo a não existir sobrecapacidade. Assumindo que o pessoal pode ser realocado entre os armazéns, a análise da tabela 6 indica que no total é aconselhada a contratação de mais duas pessoas.

Tabela 6 – N.º pessoas a realocar às atividades face ao atual (Cenário Otimizado)

Armazém	Conferência	<i>Picking</i>
P1	+1	-2
S1	+1	0
S2	0	+3
S3	0	-1
S4	0	0

O aumento do pessoal na conferência dos armazéns P1 e S1 prende-se com o facto de serem os dois maiores armazéns do grupo onde um aumento na cadência de conferência tem um impacto considerável nos níveis de inventário, pois diminui o *lead time* de entrada dos produtos. No *picking* é sugerido alocar mais três pessoas ao armazém S2, pois é um armazém posicionado entre P1 e S1 e tem a equipa mais eficiente do grupo, cujas capacidades individuais de *picking* são superiores às encontradas nos restantes armazéns, podendo assim receber e processar mais rapidamente procura que atualmente pertença aos outros armazéns.

De salientar que, apesar das percentagens de ambas as atividades serem idênticas, o número de pessoas a realocar não é o mesmo pois cada atividade desempenha funções diferentes, sendo as capacidades de cada indivíduo alocado e os tempos de processamento de cada unidade distintas nos dois casos.

Atividade de Transporte

Como os armazéns mantêm a sua função atual (armazenagem) e a ligação entre estes permanece inalterada, a rede primária não sofreu qualquer alteração com esta otimização, havendo apenas diferenças na distribuição capilar, relativa à realocação de procura. Os quilómetros percorridos pela distribuição capilar, associados a cada armazém, e a percentagem de *clusters* que cada armazém abastece estão apresentados de seguida, nos gráficos da figura 25, salientando-se que um cliente pode ser abastecido por mais do que um armazém.

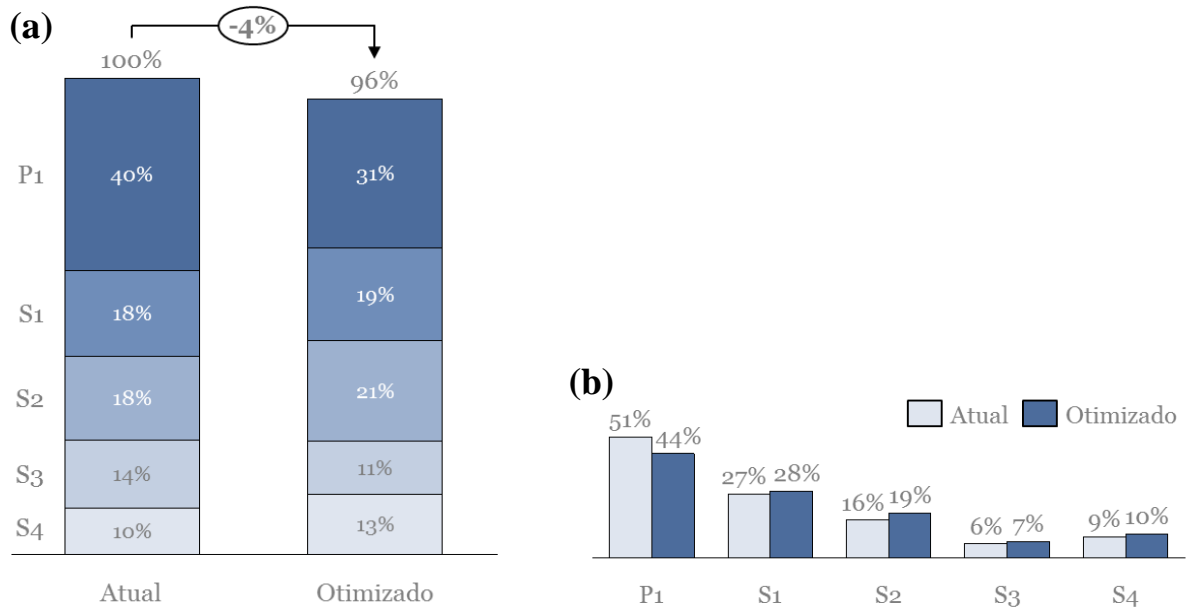


Figura 25 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e n.º clusters alocados a cada armazém (b) (Cenários Atual e Otimizado)

A análise dos dois gráficos evidencia a relação que existe entre os quilómetros percorridos e o número de clientes alocados ao armazém, verificando-se o que foi previsto na análise anterior: houve uma realocação da procura no sentido de aumentar a operação de S2 e diminuir a de P1.

b) Barreiras

A solução obtida aconselha a um reforço do armazém S2 que atualmente não tem condições para o processamento e expedição de um nível de procura superior ao atual, apesar de em termos de armazenamento ainda possuir capacidade para armazenar mais *stock*. Trata-se, assim, de um armazém cujas condições técnicas não são favoráveis a um reforço da sua atividade e por isso seria necessário mudar de instalações, tendo-se de obter uma licença da entidade reguladora para tal fim.

c) Riscos

Os resultados obtidos para este cenário demonstram que existem pequenos ajustes que podem ser feitos no funcionamento da atividade da empresa, como a contratação de mais duas pessoas e uma possível realocação de clientes, que trarão poupanças na ordem dos 3% sem com isso causar disrupção no serviço percebido pelo cliente. Como os armazéns atuais mantêm as suas funções, a otimização da cadeia permite garantir o mesmo nível de serviço, frequência e tempos de entregas aos clientes, não existindo assim riscos significativos associados à implementação desta solução.

6.2 Cenários alternativos usando a rede atual

Os cenários deste grupo pretendem analisar se a função atual de cada armazém é a mais indicada, ou se caso desempenhasse outra função, a empresa conseguiria manter o seu nível de serviço com menores custos. Estes cenários consideram que nenhum dos armazéns atuais é fechado, podendo apenas passar a ter uma função de *cross-docking*, sendo divididos em duas categorias apresentadas de seguida:

Categoria Conservadora

- Cenário Litoral: Admite que os armazéns mais pequenos da empresa, S3 e S4, são usados em *cross-docking*, sendo a procura do interior satisfeita a partir dos armazéns localizados no litoral, P1, S1 e S2;
- Cenário Triângulo: Reforço do cenário Litoral com o armazém interior S4 também com função de *stock*, para ajudar a satisfazer a região interior norte;
- Cenário Quadrado: Utilização do quadrado desenhado pelos armazéns P1, S1, S3 e S4 para satisfazer toda a procura dos clientes, passando o armazém S3 a *cross-docking*;
- Cenário Livre: Permitir que o modelo determine a configuração que proporciona um menor custo global, sem imposição de nenhuma das variáveis de decisão.

Categoria Core

- Cenário Core 2: Cenário no qual é focada toda a atividade logística nos dois armazéns de maior dimensão da empresa, P1 e S1, estando os restantes armazém em *cross-docking*;
- Cenário Core 1: Apenas o armazém principal, P1, teria *stock* passando os restantes armazéns a *cross-docking*.

A divisão nestas duas categorias deveu-se ao facto de os cenários Core 1 e 2 resultarem em mudanças mais radicais na cadeia de abastecimento que implicariam investimentos nos armazéns de *stock* em questão, de modo a reforçar o processamento das encomendas e conseguir acomodar toda a procura dos clientes. O estudo destes cenários é realizado apenas para testar e identificar como a cadeia reagiria caso a empresa decidisse atuar no mercado apenas com um ou dois armazéns, determinando o impacto e esforço inerentes. Assim, para esta categoria será apenas analisado o impacto global da configuração em termos de custos e impacto nos clientes, através dos resultados da simulação de um dos cenários.

a) Categoria Conservadora

Resultados do modelo de programação matemática

Custos da configuração

Dos cenários alternativos apresentados o que proporciona uma maior poupança anual é o cenário Quadrado com uma redução de cerca de 4% dos custos de operação da empresa (Figura 26). Aparentemente, os cenários Litoral e Triângulo não conseguem maiores poupanças que o cenário Atual Otimizado, havendo uma diferença de 0,1% face ao segundo. As rúbricas onde os cenários mais se distinguem dizem respeito à distribuição capilar e rede primária, sendo que nas restantes a diferença não ultrapassa 1%.

O cenário Livre não aparece identificado, no gráfico seguinte, pois a solução obtida corresponde ao cenário Quadrado, já representado.

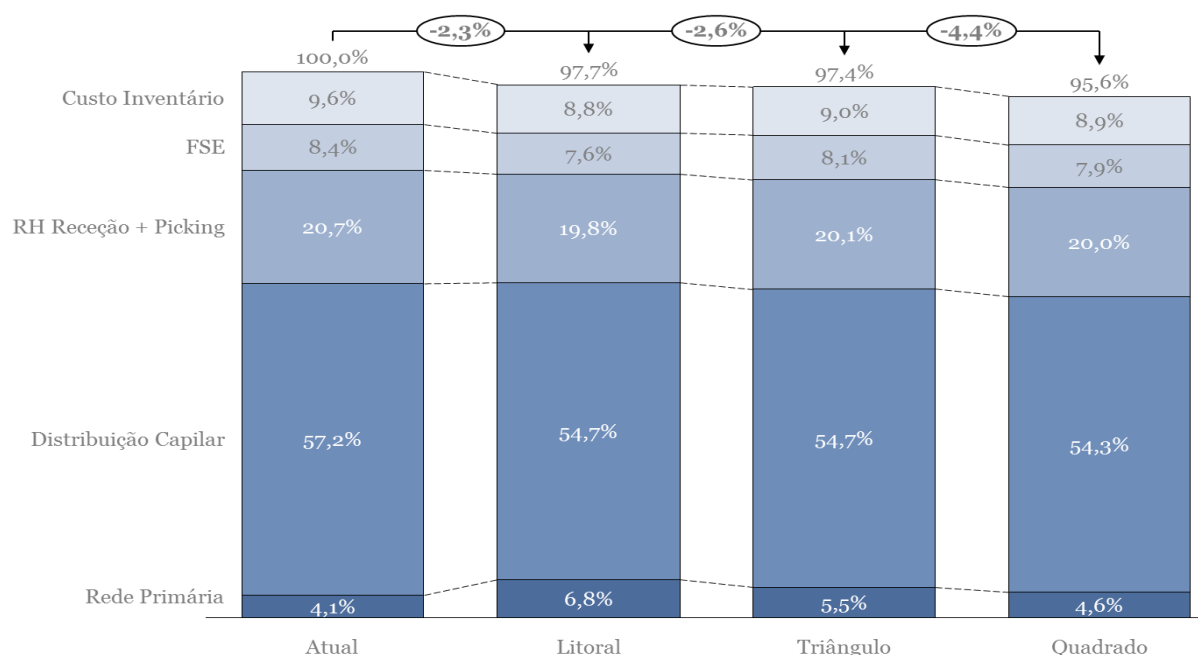


Figura 26 - Comparação de custos (Cenários Atual e Alternativos Conservadores)

Atividade de Conferência e Picking

Os valores das unidades processadas na conferência e *picking* têm apenas uma diferença percentual de cerca de 0,2%, sendo por isso apresentados na figura 27 somente os resultados da atividade de conferência. Na tabela 7 é evidenciada qual deverá ser a realocação de pessoal, nos armazéns, pelas duas atividades, indicando a sigla “C-D” que o armazém em questão opera em *cross-docking* no respetivo cenário.

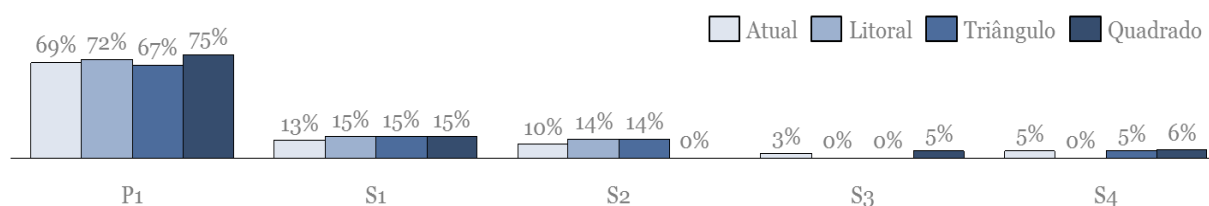


Figura 27 - Comparação do n.º de unidades conferidas (Cenários Atual e Alternativos Conservadores)

Tabela 7 – N.º pessoas a realocar às atividades face ao atual (Cenários Alternativos Conservadores)

Armazém	Conferência			Picking		
	Litoral	Triângulo	Quadrado	Litoral	Triângulo	Quadrado
P1	+ 1	+1	+ 1	+ 3	-2	+ 3
S1	+ 1	+1	+ 1	0	0	0
S2	+ 1	+1	C-D	+ 3	+3	C-D
S3	C-D	C-D	0	C-D	C-D	+1
S4	C-D	0	+ 1	C-D	0	+ 1

Nos três cenários em análise foi atribuído ao armazém P1 o papel de abastecer os armazéns que se encontram em *cross-docking*. Este facto leva a que nos cenários Litoral e Quadrado o nível de atividade deste armazém seja reforçado para permitir processar toda a procura alocada. Já

no cenário Triângulo, este nível desce devido ao armazém em *cross-docking* ser de pequena dimensão e haver uma realocação da procura, não havendo por isso necessidade de reforçar a atividade de *picking* de P1.

Atividade de Transporte

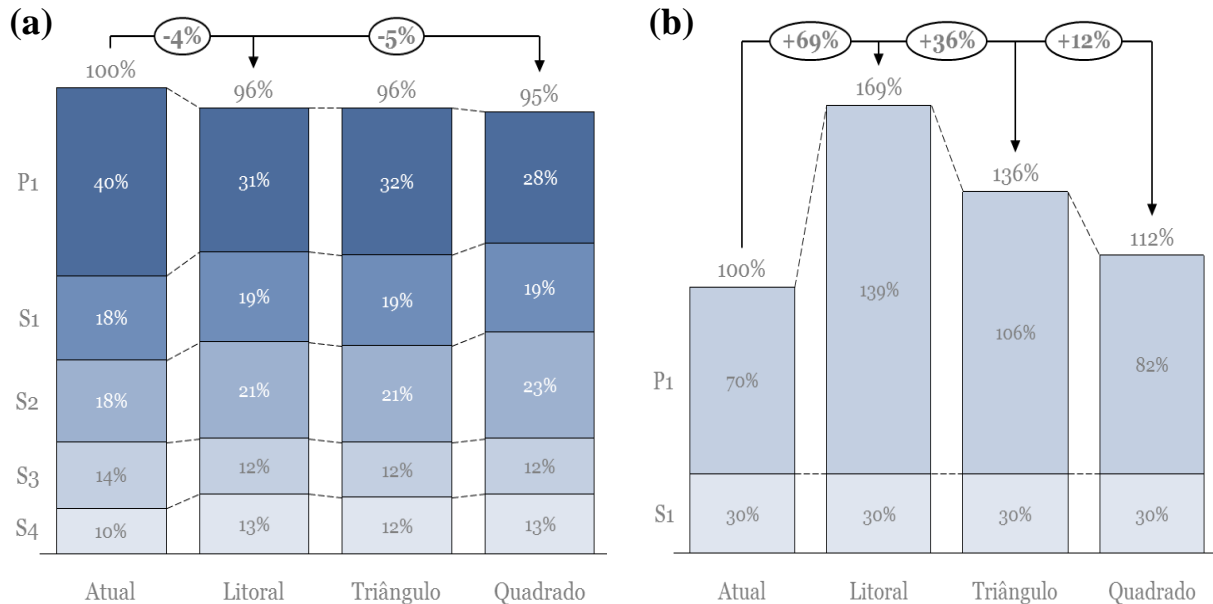


Figura 28 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e na rede primária (b) (Cenários Atual e Alternativos Conservadores)

A figura 28 (a) confirma a realocação de procura do armazém P1 para os restantes armazéns, verificando-se que é possível atingir uma redução de cerca de 5% nos quilómetros percorridos na distribuição capilar no cenário Quadrado.

Os resultados da figura 28 (b) demonstram o forte impacto da utilização de armazéns em *cross-docking* nos quilómetros percorridos na rede primária pois, enquanto atualmente cada armazém avançado é visitado uma vez por dia, nestes cenários são realizadas três visitas a estes armazéns para cumprir com 3 entregas aos clientes da região. Este aumento é apenas alocado ao armazém P1 pois é este que abastece os armazéns em *cross-docking*.

Barreiras

Em todos os cenários em análise é necessário alterar a licença de atividade do armazém cuja função é alterada. Atualmente os armazéns têm a sua operação em instalações de grande dimensão, devido à função de armazenagem que desempenham. Um posto de *cross-docking* requer apenas um pequeno armazém que cumpra com as condições de expedição impostas pelo Infarmed. Conseguir uma licença de *cross-docking* para um armazém que atualmente já possui uma licença de armazenagem será fácil, pois este já apresenta as condições exigidas. O mesmo não se sucede quando se trata de obter uma licença para uma nova instalação, sendo necessário um período de preparação e avaliação para garantir essas mesmas condições.

Os cenários Litoral e Triângulo, onde o armazém S2 permanece como *stock* sendo aconselhado o reforço da sua atividade, têm também inerente a barreira, já referida, do armazém não deter condições para esse reforço, sendo necessária uma mudança de instalações.

Risco

Esta análise do risco pretende determinar em que condições é que as soluções obtidas deixam de originar uma poupança para a empresa, face à situação atual, sendo determinada a percentagem de vendas perdidas a partir da qual a solução deixa de ser favorável. Esta percentagem foi calculada usando a poupança média que a solução origina, correspondendo à média entre a poupança obtida no modelo e a poupança mínima admitida, solução onde os custos referentes à distribuição capilar não se alteram, ou seja, a alocação da procura não é alterada. Dada a possibilidade de a realocação da procura sugerida pelo modelo poder não ser executada, devido a questões relativas ao negócio da empresa transportadora NT, decidiu-se incorporar nesta análise de risco a poupança mínima que seria possível alcançar de modo a obter um resultado mais conservador. A equação (32) apresenta a fórmula utilizada neste cálculo, onde foi utilizada a margem média líquida por produto para converter a poupança em unidades de produto e assim obter a percentagem de vendas perdidas, em unidades.

$$Risco_{cenário} = (Poupança\ média_{cenário} \times Margem\ média) / Procura\ região \quad (32)$$

Quando um cliente não recebe todos os produtos pedidos a empresa que o fornece pode não perder apenas a venda dos produtos não entregues, mas também as potenciais compras que o cliente poderia fazer no futuro. Deste modo, as percentagens apresentadas na tabela 8 correspondem apenas à procura direta não satisfeita, não incluindo as potenciais perdas que daí possam advir, correspondendo ao risco mínimo que a empresa enfrenta.

Tabela 8 - Percentagem de perdas admissíveis nos cenários alternativos conservadores

Cenário	Litoral	Triângulo	Quadrado
Risco	8,2 % (região S3 e S4)	20 % (região de S3)	19,5 % (região de S2)

Tendo em consideração os resultados obtidos é necessário o departamento de *marketing* e comercial determinar se a probabilidade de estes valores se concretizarem é elevada ou não. Se a percentagem de vendas perdidas for superior à indicada o cenário deixa de originar poupanças face ao atual. Perder 20% da procura numa dada região pode ser mais ou menos provável dependendo da quota de mercado nessa região, do tipo de compra de cada cliente e do nível de serviço que este exige.

Quando um armazém passa a desempenhar função de *cross-docking* o serviço prestado aos clientes é alterado pois, não incluindo os possíveis atrasos que possam existir nas entregas, a frequência de entregas irá baixar para um máximo de três. Na figura 29 é possível visualizar que cerca de 23% dos clientes dos armazéns avançados recebem mais de três entregas diárias. Estes clientes correspondem, atualmente, a cerca de 34% das unidades vendidas nesses armazéns, como se pode analisar na figura 30.

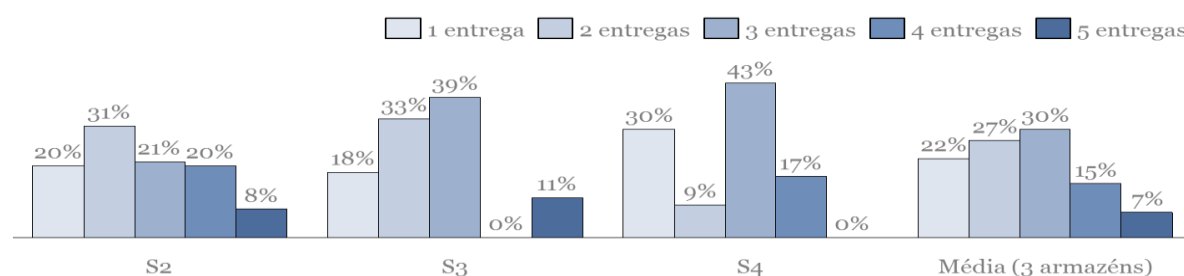


Figura 29 - Percentagem de clientes com diferentes frequências de entrega

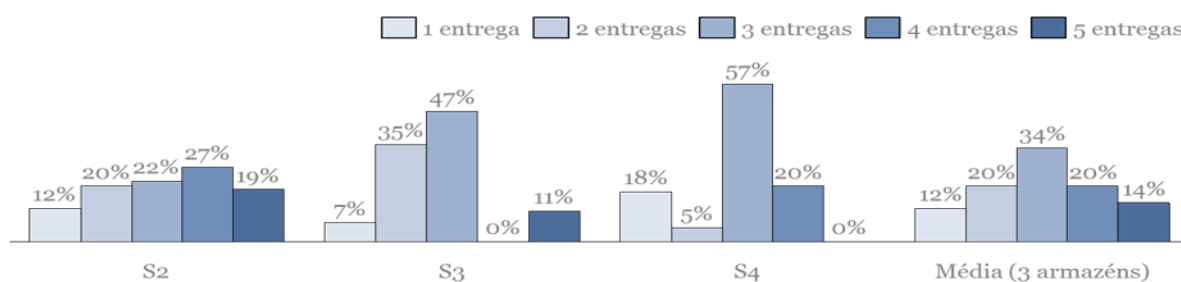


Figura 30 - Percentagem de vendas dos clientes com diferentes frequências de entrega

Estes valores demonstram que nos cenários onde estes armazéns passam a *cross-docking* existem clientes, com um peso significativo nas vendas, que ficarão com um nível de serviço inferior ao atual. Como se pode verificar, o cenário que proporciona a maior poupança, cenário Quadrado, é o que provoca um maior impacto no nível de serviço dos clientes, baixando o número de entregas a cerca de 15% dos seus clientes. Este valor corresponde aos clientes da região S2 com mais de três entregas, cuja percentagem de unidades vendidas é de 46%, mais do dobro do risco envolvido. Isto significa que, caso estes clientes deixem de comprar à empresa, devido à redução da qualidade do serviço, a probabilidade desta solução atingir as perdas máximas admissíveis é elevada. Confirmando-se esta probabilidade, o cenário Quadrado não deve ser implementado ou então implementado conjuntamente com um esforço comercial para conseguir manter esses clientes.

Para além da frequência de entrega ser alterada, as janelas horárias dos clientes também sofrerão alterações com esta mudança na configuração. Como já referido anteriormente, os clientes têm janelas horárias definidas para colocar as encomendas, existindo horas limite para realizar os pedidos e fazer as entregas. As encomendas dos clientes dos armazéns alterados para *cross-docking* terão de passar a ser preparadas no armazém de aviamento, transferidas e depois desconsolidadas. Todo este processo demora, no mínimo, o tempo de viagem entre os armazéns mais cerca de meia hora para realizar a desconsolidação, significando que as janelas horárias dos clientes terão de ser alargadas para abarcar este tempo. No cenário Triângulo, onde o armazém S3 está em *cross-docking*, o tempo mínimo do processo é de 2h30, sendo no cenário Quadrado de 1h15 para o armazém S2. Estas mudanças serão percecionadas pelos clientes como uma diminuição no nível de serviço.

Resultados do modelo de simulação

Como referido anteriormente, apenas o melhor cenário encontrado foi estudado no simulador, de modo a evidenciar como a cadeia de abastecimento se comportaria com a sua implementação, analisando-se indicadores mais pormenorizados e operacionais. O melhor cenário obtido foi o cenário Quadrado, com uma poupança de 4,4%, cerca de 2% mais que o segundo melhor cenário.

Para ser possível analisar no simulador construído a nova configuração da cadeia foi necessário configurar as condições de funcionamento desta de acordo com os *outputs* obtidos no modelo de programação matemática.

As atividades de conferência e *picking* foram alteradas de acordo com a realocação de pessoal obtida. No simulador, a capacidade destas atividades corresponde ao número de encomendas que podem ser processadas em simultâneo, sendo o cálculo da capacidade de *picking* nos armazéns unicamente manuais diferente daqueles que possuem um sistema automatizado. Assim, nos armazéns P1 e S1, automatizados, cada pessoa nova alocada ao *picking* corresponde

a mais uma encomenda e nos restantes armazéns, por cada pessoa nova, são acrescentadas seis encomendas, devido ao processamento de múltiplas encomendas em simultâneo. A capacidade da atividade de conferência foi aumentada, em todos os armazéns, na mesma dimensão do número de pessoas novas alocadas.

Neste cenário, as encomendas dos clientes alocados ao armazém S2 terão de ser processadas pelo armazém P1 e posteriormente transferidas para o armazém de *cross-docking* nas rotas de transferências programadas. Desta forma, todas as encomendas referentes ao armazém S2 são encaminhadas para P1, mantendo o padrão de procura (função de distribuição) da região S2, e alocadas a rotas de transferências. Como referido anteriormente, as janelas horárias dos clientes teriam de ser alteradas, podendo ser antecipadas as encomendas, atrasadas as entregas ou ambas. Foram testadas duas hipóteses no simulador: a) encomendas realizadas às mesmas horas, havendo uma sobreposição do pico da procura na hora de almoço em P1; b) encomendas da hora de almoço antecipadas uma hora, por forma a deslocar o pico. A diferença dos resultados dos dois testes não foi significativa, sendo apresentados de seguida os resultados do pior cenário, sobreposição da hora de pico. Estas condições levam a que haja um maior esforço na atividade de *picking* para processar todas as encomendas atempadamente e não atrasar a saída dos veículos. Assim, os principais indicadores a avaliar para complementar as conclusões tiradas anteriormente são os tempos de processamento das encomendas, atividade de *picking*, e os atrasos na expedição destas, atividade de transporte.

Atividade de Picking

Os resultados apresentados confirmam o maior esforço necessário no armazém P1, tendo o número médio de encomendas em espera para serem processadas, no *picking*, aumentado drasticamente, figura 31 (a), assim como o tempo médio em espera, figura 31 (b). Por outro lado é evidenciado que as novas capacidades de *picking* dos restantes armazéns trouxeram vantagens, sendo as encomendas aviadas mais rapidamente.

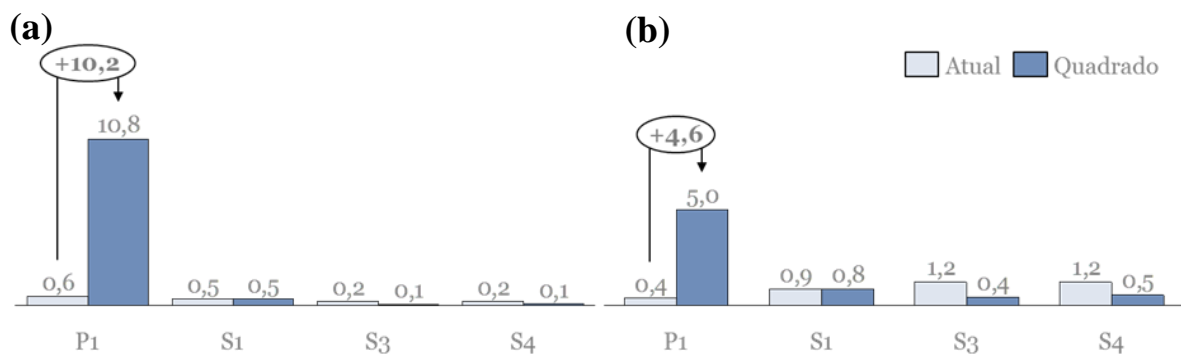


Figura 31 - Comparação do n.º médio de encomendas em espera para serem aviadas (a) e o tempo médio que estas ficam em espera (b) (Cenários Atual e Quadrado)

Atividade de Transporte

Os resultados referentes aos atrasos dos veículos (Figuras 32 e 33) estão alinhados com os anteriormente analisados para a atividade de *picking*, pois se as encomendas demoram mais ou menos tempo a serem preparadas, os veículos sairão mais ou menos atrasados, respetivamente. Conclui-se assim que não são apenas os clientes do armazém S2 que vão ver o seu nível de serviço afetado, relativamente aos tempos de entrega, mas também os clientes do armazém P1. Os veículos que transportam as encomendas dos clientes abastecidos por P1 receberão as suas

encomendas, em média, seis minutos mais tarde, havendo 17% das viagens que poderão ter atrasos superiores a vinte minutos.

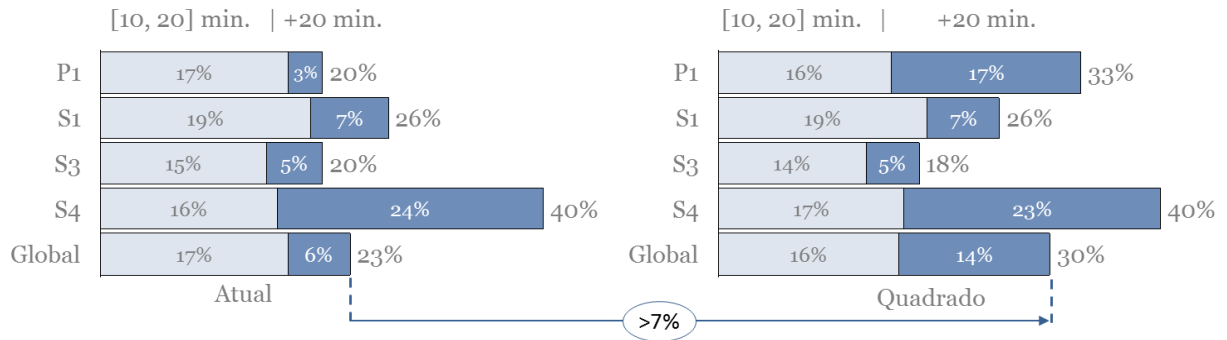


Figura 32- Comparação da percentagem de viagens com diferentes tipos de atraso (Cenários Atual e Quadrado)

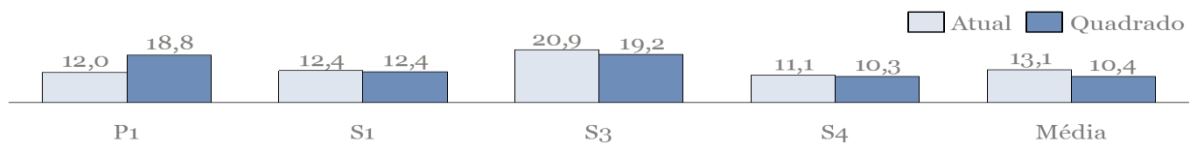


Figura 33 - Comparação do tempo médio de atraso dos veículos (Cenários Atual e Quadrado)

b) Categoria Core

De seguida serão apresentados os principais indicadores referentes à implementação dos cenários mais disruptivos face à atividade atual, os cenários Core.

Resultados do modelo matemático

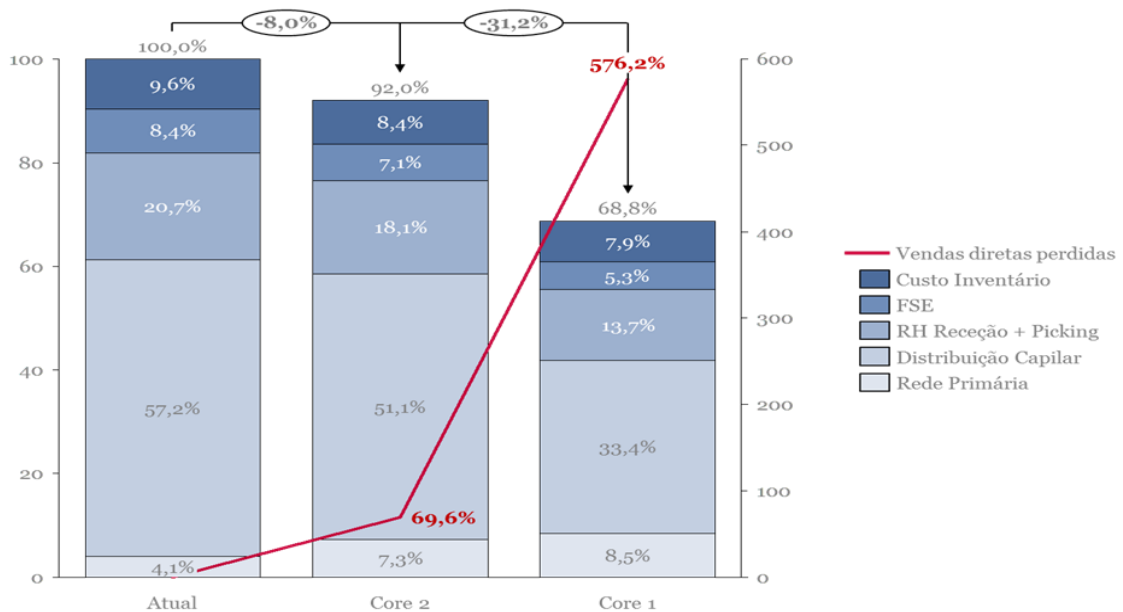


Figura 34 – Comparação dos custos e perdas de vendas (Cenários Atual e Core)

Na figura 34, para além da representação das rúbricas de custos dos dois cenários Core, é possível visualizar também a percentagem de vendas perdidas que estes cenários acarretam,

valor monetário de vendas perdidas face aos custos totais atuais da operação da empresa. Apesar de os custos demonstrarem poupanças significativas, podendo no mínimo alcançar-se os 8% de redução de custos, o volume de vendas perdidas em cada cenário também é elevado. Estes valores confirmam o que foi dito anteriormente sobre a necessidade de existir um investimento na reestruturação destes armazéns, tornando-os mais automáticos e aumentando o *throughput* de encomendas, de modo a poderem acomodar toda a procura atual.

Para além da perda de vendas associada a estes cenários existe também a diminuição do nível de serviço prestado aos clientes. Três ou quatro dos armazéns atuais, consoante o cenário, passariam a desempenhar funções de *cross-docking*, provocando atrasos e diminuição do número de entregas. Tendo em consideração os valores já apresentados, sobre a percentagem de clientes com mais de três entregas e o valor das suas vendas, conclui-se que no cenário mais conservador, *Core 2*, os clientes que correspondem a cerca de 34% das vendas anuais, nos armazéns avançados, perderão entre uma a duas entregas diárias.

Resultados do modelo de simulação

Na categoria anterior analisada, categoria conservadora, verificou-se uma relação direta entre o aumento dos tempos de aviamento e os atrasos dos veículos, sendo que o segundo aumenta ou diminui se o primeiro aumentar ou diminuir, respetivamente. Tendo presente essa relação, nesta categoria apenas são apresentados os resultados obtidos para a atividade de transporte, estando os da atividade de *picking* no anexo D, para o cenário *Core 2*, o menos disruptivo dos dois em estudo.

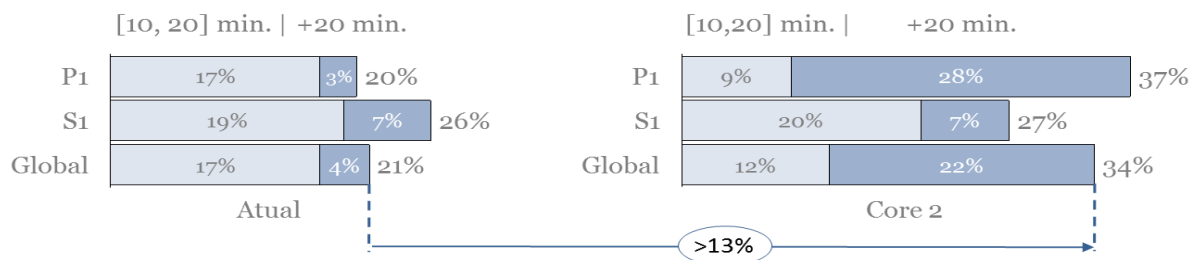


Figura 35 - Comparação da percentagem de viagens com diferentes tipos de atraso (Cenários Atual e Core2)

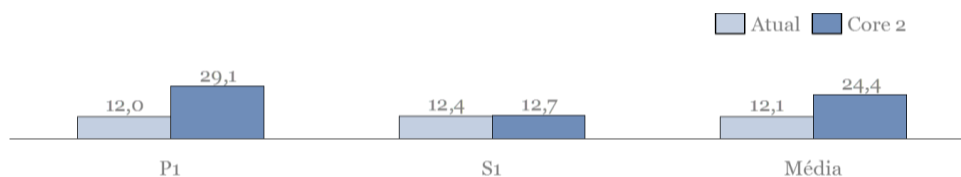


Figura 36 - Comparação do tempo médio de atraso dos veículos (Cenários Atual e Core 2)

Através dos resultados da figura 35 verifica-se que a implementação do cenário *Core 2* implicaria um aumento de 13% no número de viagens atrasadas, com origem nos armazéns de *stock*, sendo a maioria destas referentes a atrasos superiores a vinte minutos. Os valores obtidos na figura 36 mostram o forte esforço que seria necessário no armazém P1, cujo tempo médio de atraso aumentou 17 minutos, para processar as encomendas mais rapidamente. O armazém principal é o que sofre maior impacto neste cenário pois é aquele que tem de abastecer os três armazéns de *cross-docking*, tendo o armazém S1 ficado apenas com parte da procura de S2, não sofrendo por isso alterações significativas no seu funcionamento.

6.3 Cenários alternativos com novos armazéns

Os cenários anteriormente testados estavam limitados à configuração atual da empresa, utilizando apenas os armazéns que a empresa detém atualmente, alterando-se a função dos mesmos. Nesta secção pretende-se analisar como a cadeia de abastecimento da empresa seria otimizada se fosse permitido relocalizar os armazéns, permitindo o fecho dos atuais. Os novos pontos considerados foram definidos através de uma análise da dispersão dos clientes e também por sugestão dos responsáveis dos departamentos da empresa.

Utilizando a localização geográfica dos clientes do negócio NF, negócio *core* do grupo cujos clientes são os que mais influenciam a configuração da cadeia, recorreu-se ao método de *clustering k-means*, usado anteriormente para criação dos clusters de clientes, para agregação dos clientes em cinco *clusters* ($K=5$). Os centróides destes cinco *clusters* representam a localização ideal para os cinco armazéns atuais, se apenas se considerasse a minimização das distâncias percorridas entre os armazéns e os clientes que estes servem, e se os armazéns tivessem a mesma dimensão.

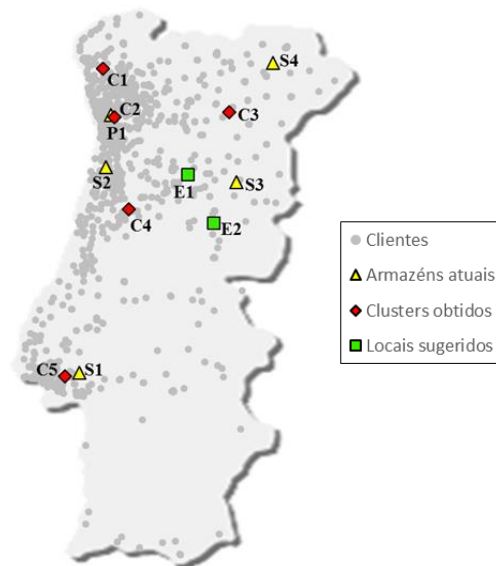


Figura 37 - Localização dos armazéns atuais, *clusters* obtidos e armazéns sugeridos

Na figura 37 é possível visualizar a dispersão dos clientes pelo mapa de Portugal, a localização atual dos armazéns, dos cinco *clusters* obtidos e dos dois armazéns sugeridos pela empresa para análise. Como se pode verificar, os centróides dos *clusters* C2 e C5 estão muito próximos dos armazéns P1 e S1, respetivamente, indicando que estes armazéns já estão posicionados numa localização ideal para a redução das distâncias percorridas. O centróide do *cluster* C4 encontra-se numa região onde a empresa já tinha ponderado relocalizar o armazém S2, sendo por isso uma localização a analisar nesta secção. Já os centróides dos *clusters* C1 e C3 não serão incluídos nos cenários alternativos: o primeiro porque está muito próximo de P1 e a quota dessa região já é elevada, não podendo trazer grandes vantagens a sua implementação; o segundo porque apenas faria sentido se o armazém S4 fosse fechado, e essa não é uma opção válida, pois o armazém S4 é propriedade da empresa e há compromissos que foram assumidos que inviabilizam essa solução. Os cenários testados nesta secção são então os seguintes:

- Cenário E2: O armazém S3 é deslocado para a região E2 desempenhando funções de *cross-docking* e recebendo a mercadoria a partir do armazém S1, por forma a rentabilizar esse armazém.
- Cenário C4: Deslocação do armazém S2 para C4;

- Cenário E1: Os armazéns S2 e S3 deixam de desempenhar função de armazenamento, podendo o primeiro passar a *cross-docking*, e uma nova unidade é criada na região E1 para abarcar com a procura que pertencia a esses armazéns.

a) Resultados do modelo de programação matemática

Como referido anteriormente, no cenário E2 o novo armazém é abastecido pelo armazém S1, sendo que no cenário E1 a solução obtida indica que o armazém S2 deve ser mantido em *cross-docking*, abastecido por P1.

Custos da configuração

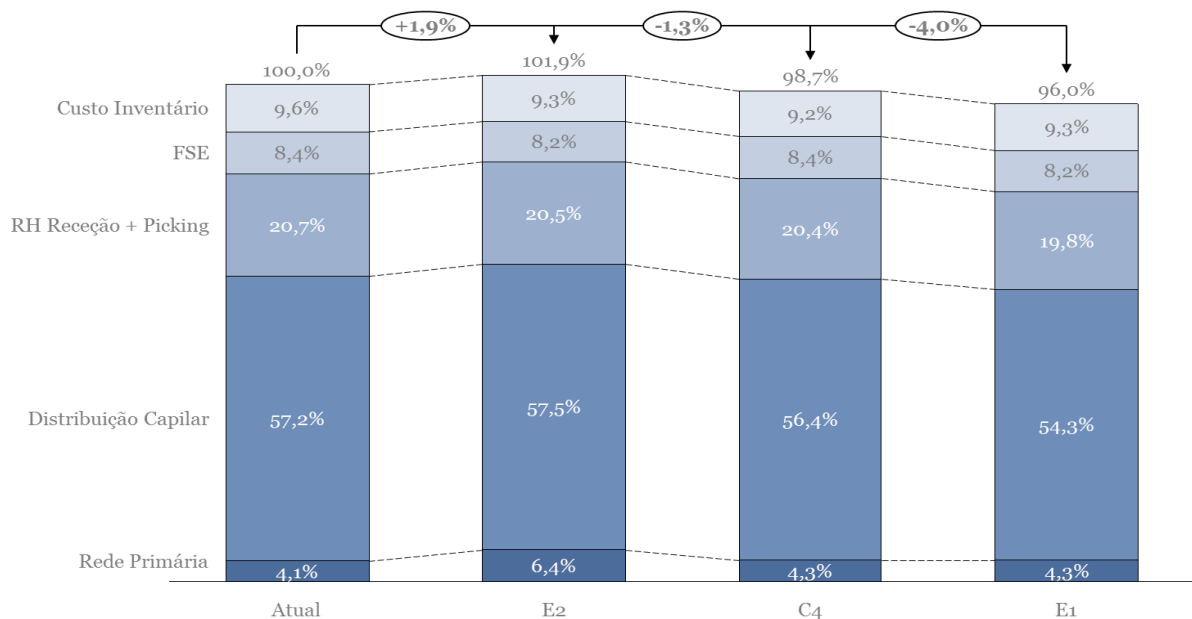


Figura 38 - Comparação dos custos (Cenários Atual e Alternativos Novos)

Os resultados da figura 38 demonstram que o cenário para rentabilizar o armazém S1, no qual houve um forte investimento para aumentar sua atividade mas a procura alocada não foi a esperada, tendo por isso neste momento excesso de capacidade, acarreta custos de operação superiores aos atuais. Este excesso de custos deve-se essencialmente ao reforço da rede primária, cujo aumento foi de 2,3%, referente à criação da ligação entre os armazéns S1 e E2. O cenário E1, onde é posicionado um armazém de *stock* entre as regiões S2 e S3, é o que apresenta poupanças mais elevadas, de entre os cenários em análise, atingindo poupanças de 1% e 2% nas rúbricas de pessoal e distribuição capilar, respetivamente, e ligeiras diferenças nas restantes.

Atividade de Conferência e Picking

Os resultados da atividade de conferência referentes aos armazéns atuais da empresa estão apresentados na figura 39 (a), sendo a atividade de *picking* similar. Dado os armazéns C4 e E1 apenas terem atividade nos cenários com a sua configuração os valores relativos à sua atividade serão apresentados separadamente, na figura 39 (b), dos restantes armazéns que vêm a sua atividade alterada nos três cenários testados. De realçar que o armazém E2 não aparece nestes resultados devido tratar-se de um armazém de *cross-docking* e por isso não ter atividade de conferência e *picking*. Na tabela 9 são expostas as realocações de pessoal obtidas para as duas atividades.

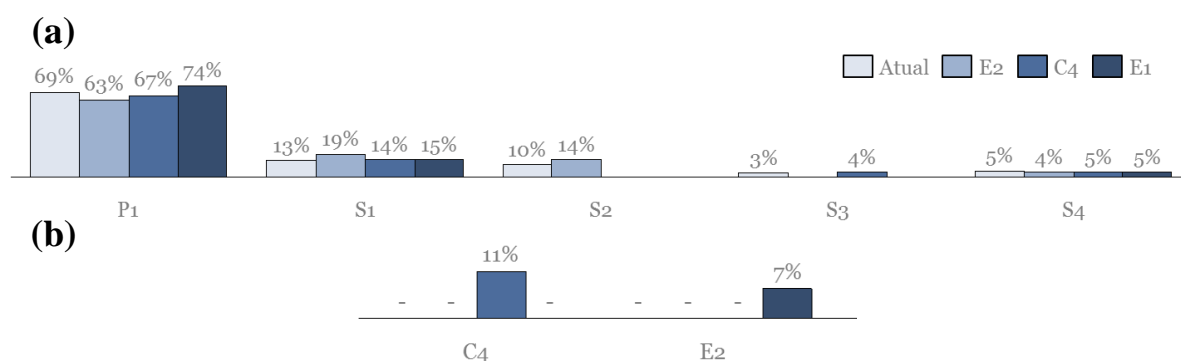


Figura 39 - Comparação do n.º de unidades conferidas nos armazéns atuais (a) e nos novos armazéns (b) (Cenários Atual e Alternativos Novos)

Tabela 9 – N.º pessoas a realocar às atividades (Cenários Alternativos Novos)

Armazém	Conferência			Picking		
	Cenário E2	Cenário C4	Cenário E1	Cenário E2	Cenário C4	Cenário E1
P1	0	+1	+1	-2	-2	+2
S1	+2	+1	+1	+3	-1	0
S2	+1	C-D	C-D	+3	C-D	C-D
S3	-	0	-	-	-1	-
S4	0	0	0	0	0	0
E2	C-D	-	-	C-D	-	-
C4	-	S2 atual	-	-	S2 atual	-
E1	-	-	S2 atual	-	-	-2 S2 atual

Os resultados apresentados permitem concluir que o nível das atividades dos armazéns S3 e S4 não sofre grandes alterações face ao cenário atual, quando estes têm função de *stock*. O nível de atividade do armazém S1 necessita de ser aumentado devido ao abastecimento que este tem de fazer a E2, que satisfaz a procura de S4. O armazém P1 apenas necessita de ser reforçado no cenário E1 pois carece de capacidade para responder à procura do armazém S2, que passa a *cross-docking*. O armazém C4, no cenário correspondente, atinge um nível de atividade idêntico ao atual de S2 pois fica com a alocação de praticamente toda a procura deste armazém, podendo ainda abastecer mais alguns clientes do interior devido à maior proximidade. Em E1, o novo armazém necessita de uma capacidade próxima do armazém S2 devido à alocação de toda a procura de S3 e parte de S2.

Atividade de Transporte

A figura 40 indica os quilómetros percorridos na distribuição capilar e rede primária, estando apenas discriminado no primeiro os quilómetros com origem em P1, S1 e S4, que correspondem aos únicos armazéns operacionais em todos os cenários apresentados.

É possível confirmar através da figura 40 (b) o maior esforço da rede primária no cenário E2, onde o número de quilómetros percorridos aumenta mais de 50% face aos atuais, mantendo-se idêntico na distribuição capilar apesar da realocação da procura. Os valores correspondentes ao cenário E1 confirmam que o armazém P1 ficou com menos procura alocada, dado a distribuição capilar ter baixado cerca de 10%, por forma a poder abarcar a procura proveniente do armazém S2.

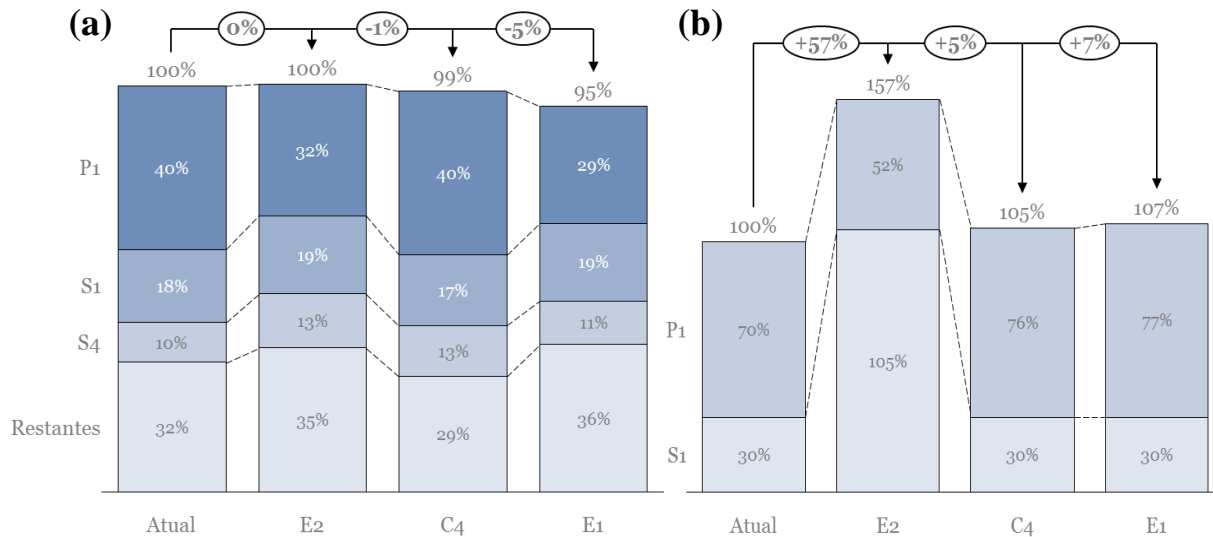


Figura 40 - Comparação do n.º kms percorridos na distribuição capilar (a) e na rede primária (b) (Cenários Atual e Alternativos Novos)

b) Barreiras

A implementação do cenário E2 tem o mesmo inconveniente que os cenários analisados nas secções anteriores relativamente à necessidade de licenciar uma nova instalação para *cross-docking*. Nos cenários C4 e E1 também é necessário obter uma licença, nestes casos de armazenagem, e haver um investimento para colocar as instalações aptas para a operação da atividade. A implementação do cenário E1 pode ser realizada de forma suave e faseada passando por um estado intermédio. Numa primeira fase fecha-se o armazém S3 e transfere-se as suas infraestruturas para o novo armazém, mantendo o armazém S2 com a operação normal e S3 como posto de *cross-docking*, criando-se assim uma configuração idêntica ao do cenário Triângulo. Após obtida a licença de E1, passava-se o armazém S2 a *cross-docking* de forma gradual, analisando-se como o mercado responde às alterações realizadas. Deste modo, se em alguma das fases se verificar que os clientes não estão satisfeitos com as modificações e se justificar voltar ao cenário atual será possível fazê-lo. Em contrapartida, a implementação do cenário C4 necessitaria obrigatoriamente de um investimento em infraestruturas ou um longo período de inatividade de ambos os armazéns envolvidos, S2 e C4. Como neste caso apenas um armazém será fechado a solução de implementação mais suave é investir num novo armazém, mantendo a atividade de S2 até à obtenção da licença para C4, ou então parar a atividade de S2, transferir as suas infraestruturas para C4 e aguardar pela validação da nova licença, que poderá ocorrer imediatamente após a conclusão das instalações ou não.

c) Riscos

Os riscos inerentes à implementação destes cenários dizem respeito à resposta que o mercado poderá dar às alterações realizadas. O cenário E2 acarreta o risco de possíveis perdas de vendas na região S3, devido ao fecho do armazém nessa localização. No caso de C4 o risco é referente à região de S2 e possivelmente P1, devido aos atrasos que provoca na saída dos veículos. O cenário E1 tem inerentes os dois riscos referidos.

6.4 Análise sobre os armazéns avançados

Todos os cenários aqui apresentados foram desenvolvidos tendo em consideração a configuração atual da empresa e o posicionamento desta no mercado, sendo os riscos de possíveis vendas perdidas consideráveis nas regiões dos armazéns, devido ao nível de serviço que foi proporcionado aos clientes dessas zonas. Nesta secção é apresentada uma análise de sensibilidade que determina quais deveriam ser as condições do mercado para abrir cada um dos armazéns avançados, como *stock*, considerando que eles não existiam até então.

Para realizar esta análise otimizou-se para cada armazém avançado a variável de decisão relativa à sua função, individualmente, fixando-se as dos restantes armazéns com função de *stock*. A procura da região do armazém em estudo foi aumentada em cada corrida até a solução indicar a abertura para *stock*. De seguida são apresentados, na tabela 10, os resultados obtidos, indicando qual deveria ser o aumento percentual da procura na região do armazém para compensar ter *stock* nessa localização, assumindo-se que toda a procura deve ser satisfeita.

Tabela 10 - Aumento percentual necessário para abertura de armazém de *stock*

Armazém	S2	S3	S4
Limite (aumento da procura na região)	60 %	170 %	230 %

Os resultados demonstram que, caso os armazéns não existissem atualmente, se a empresa quisesse posicionar um novo armazém numa das regiões apresentadas, essa solução só seria vantajosa se se conseguisse aumentar a procura em 60% na região de S2 e 230% em S4. Considerando a quota de mercado que a empresa possui atualmente nestas regiões, verifica-se que estes valores são demasiado elevados, principalmente na região S4 onde seria necessário conquistar todo o mercado da região para compensar a abertura de um armazém de *stock*.

A análise do armazém S3 teve a particularidade de se ter assumido que os seus custos de *cross-docking* seriam zero e não 40% dos custos atuais, devido ao facto da diferença de custos entre *cross-docking* e *stock* ser reduzida, dado os custos atuais deste armazém serem muito inferiores aos dos restantes armazéns e o modelo optar, nas condições inicialmente definidas, por o abrir como *stock* com a quota atual de mercado.

É necessário salientar que esta análise considera que o armazém ainda não existe e está-se a estudar a possibilidade de o criar. Estes valores não indicam que estes armazéns devem ser fechados, pois como já foi analisado anteriormente fechar um dos armazéns provoca um forte impacto no nível de serviço atual dos clientes e, possivelmente, perda de vendas. Estes resultados servem apenas para indicar à empresa que deve ser feito um esforço a nível comercial para tentar aumentar a quota nestas regiões de modo a rentabilizar os armazéns de proximidade.

7 Conclusões

O objetivo do projeto era estudar a cadeia de abastecimento de um grossista farmacêutico, analisando as decisões de configuração da cadeia, tendo em consideração as condicionantes do setor. Para apoiar esta análise foram criados dois modelos representativos, recorrendo a uma metodologia híbrida de otimização-simulação. Num modelo de programação matemática foram otimizadas as principais decisões da configuração da cadeia, a um nível tático-estratégico, através de uma análise macro da atividade, sendo posteriormente testados os melhores cenários num modelo de simulação por eventos, para identificação do comportamento da cadeia a nível operacional. Antes de se iniciar a fase de testes os modelos foram validados face ao cenário atual, comprovando-se que retratavam o cenário atual com precisão, tendo-se utilizado os indicadores obtidos como *baseline* de comparação na fase de testes.

Principiou-se a análise com a otimização da cadeia atual, onde se verificou que se poderia conseguir uma poupança de cerca de 3% se se fizessem pequenos ajustes no seu funcionamento. A solução encontrada apontou que o armazém de S2 poderia ganhar uma maior relevância na satisfação da procura, dada a elevada performance da sua equipa, havendo uma realocação de clientes e pessoal de P1 para S2. Em todos os cenários testados foi evidenciado que é necessário um reforço na atividade de conferência, de modo a diminuir os níveis de inventário.

O cenário alternativo estudado que proporcionou uma maior poupança foi o cenário Quadrado, onde o armazém S2 passa a desempenhar funções de *cross-docking*, conseguindo uma diminuição de 4,4% nos custos da operação. Neste cenário seria necessário reforçar as atividades do armazém P1, que ficaria encarregue de abastecer S2 três vezes por dia, aproveitando-se o retorno dos veículos para realizar entregas a clientes. Apesar dos bons resultados em termos de custos, os indicadores obtidos pelo simulador indicam que esta mudança iria trazer grande stress à operação do armazém P1, aumentando os atrasos dos veículos em média 4 a 7 minutos, dependendo do desfasamento que existir na hora de colocação das encomendas. Estes resultados aliados ao facto de o tempo de resposta aumentar pelo menos 1h15 minutos para os clientes da região de S2 e o número máximo de entregas passar a ser três, demonstram que o nível de serviço prestado a esta região seria fortemente afetado. A aplicação destas alterações pode incorrer num risco de perda de vendas, tendo-se determinado que esta solução apenas é vantajosa se as perdas potenciais não forem superiores a 19% das vendas da região.

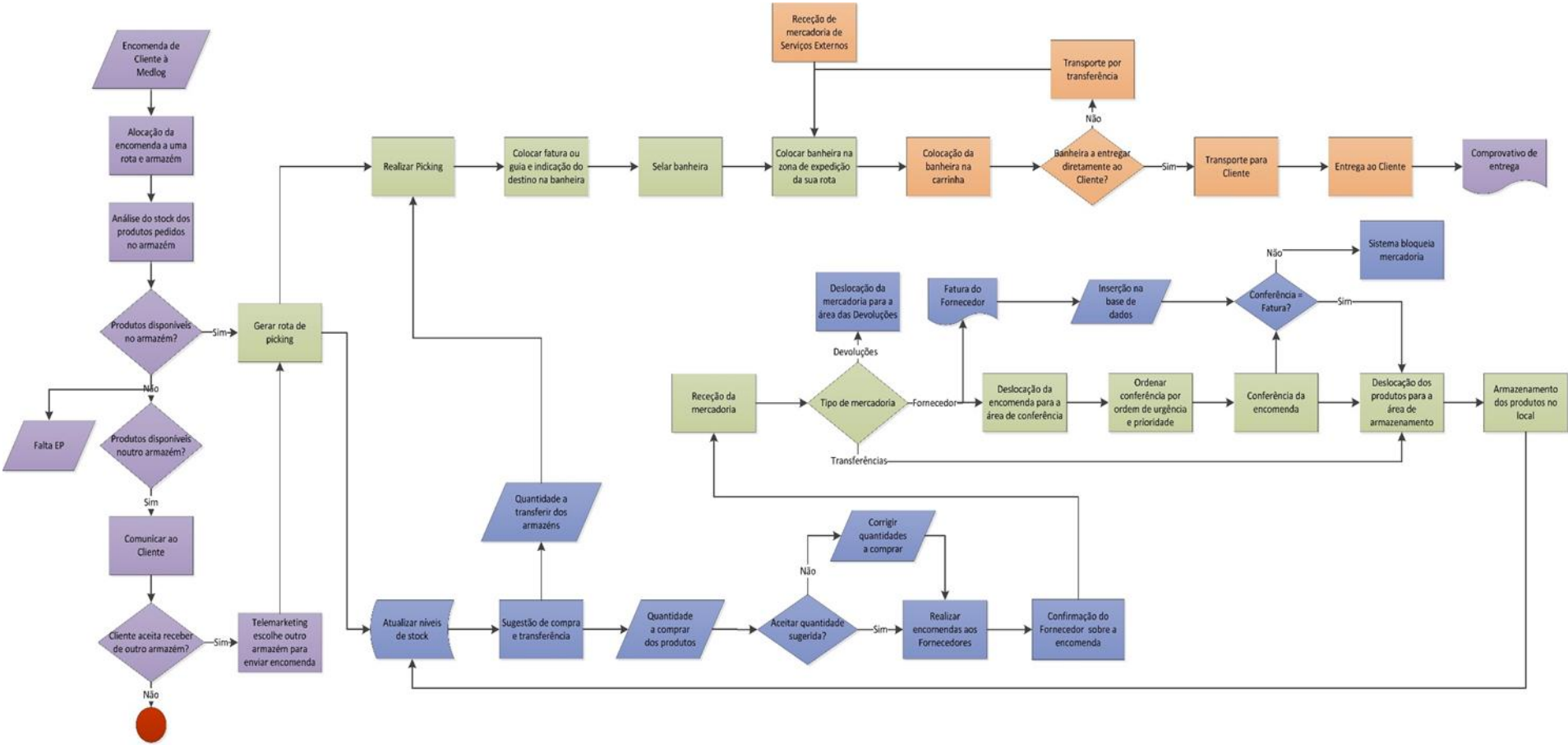
Ambos os modelos foram executados num computador com Intel(R) Core i7 CPU com 3.4 GHz e 32 GB RAM e tiveram uma performance de tempo dentro do esperado. No modelo matemático foi possível encontrar uma solução ótima em menos de vinte minutos, dependendo do número de variáveis de decisão a otimizar face ao cenário em análise, e o modelo de simulação por eventos recriou a atividade da cadeia de abastecimento, relativa a um mês, num espaço de três horas. De acordo com a metodologia adotada utilizando o otimizador e simulador de forma sequencial, sendo o segundo corrido apenas para as melhores soluções encontradas, permitiu realizar um estudo abrangente da cadeia de abastecimento da empresa, testando-se vários cenários alternativos, num período de tempo significativamente pequeno.

Durante a análise do funcionamento da cadeia de abastecimento foram detetadas várias oportunidades de melhoria que poderiam ser estudadas em trabalhos futuros. Através do *Value Stream Mapping* da empresa (anexo B) percebe-se que existem três pontos da cadeia onde existem *buffers* de produtos. As oportunidades encontradas dizem respeito a mudanças nos processos das atividades de conferência e *picking* de modo a aumentar o *throughput* destas e assim diminuir ou possivelmente eliminar os *buffers* existentes.

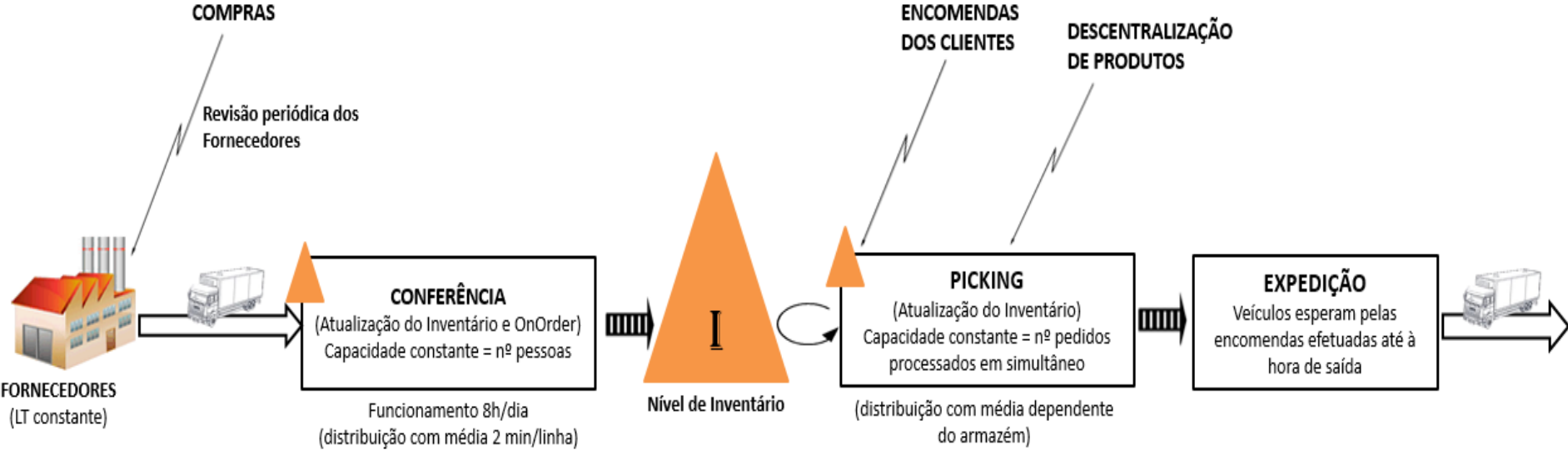
Referências

- Beamon, Benita M. 1998. "Supply chain design and analysis: Models and methods." *International journal of production economics* no. 55 (3):281-294.
- Brown, J Ethan, and David Sturrock. 2009. Identifying cost reduction and performance improvement opportunities through simulation. Proceedings of the 41th Winter Simulation Conference.
- Buil, Roman, Miquel Angel Piera, and Toni Laserna. 2010. "Operational and strategic supply model redesign for an optical chain company using digital simulation." *Simulation* no. 87 (8):668-679.
- Eskigun, Erdem, Reha Uzsoy, Paul V Preckel, George Beaujon, Subramanian Krishnan, and Jeffrey D Tew. 2005. "Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers." *European Journal of Operational Research* no. 165 (1):182-206.
- Figueira, Gonçalo, and Bernardo Almada-Lobo. 2014. "Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion." *Simulation Modelling Practice and Theory* no. 46:118-134.
- Fu, Michael C, Fred W Glover, and Jay April. 2005. Simulation optimization: a review, new developments, and applications. Proceedings of the 37th Winter Simulation Conference.
- Goetschalckx, Marc, Carlos J Vidal, and Koray Dogan. 2002. "Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms." *European journal of operational research* no. 143 (1):1-18.
- Hicks, Donald A. 1999. A four step methodology for using simulation and optimization technologies in strategic supply chain planning. Proceedings of the 31th Winter Simulation Conference Proceedings.
- Izadi, Arman, and Ali Mohammad Kimiagari. 2014. "Distribution network design under demand uncertainty using genetic algorithm and Monte Carlo simulation approach: a case study in pharmaceutical industry." *Journal of Industrial Engineering International* no. 10 (2):1-9.
- Jung, June Young, Gary Blau, Joseph F Pekny, Gintaras V Reklaitis, and David Eversdyk. 2004. "A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty." *Computers & chemical engineering* no. 28 (10):2087-2106.
- Nozick, Linda K, and Mark A Turnquist. 2001. "Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers." *European Journal of Operational Research* no. 129 (2):362-371.
- Sabri, Ehap H, and Benita M Beamon. 2000. "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design." *Omega* no. 28 (5):581-598.
- Sousa, Rui T, Songsong Liu, Lazaros G Papageorgiou, and Nilay Shah. 2011. "Global supply chain planning for pharmaceuticals." *Chemical Engineering Research and Design* no. 89 (11):2396-2409.
- Talluri, Srinivas Sri, Thomas J Kull, Hakan Yildiz, and Jiho Yoon. 2013. "Assessing the efficiency of risk mitigation strategies in supply chains." *Journal of Business Logistics* no. 34 (4):253-269.
- van den Berg, Jeroen P, and WHM Zijm. 1999. "Models for warehouse management: Classification and examples." *International Journal of Production Economics* no. 59 (1):519-528.

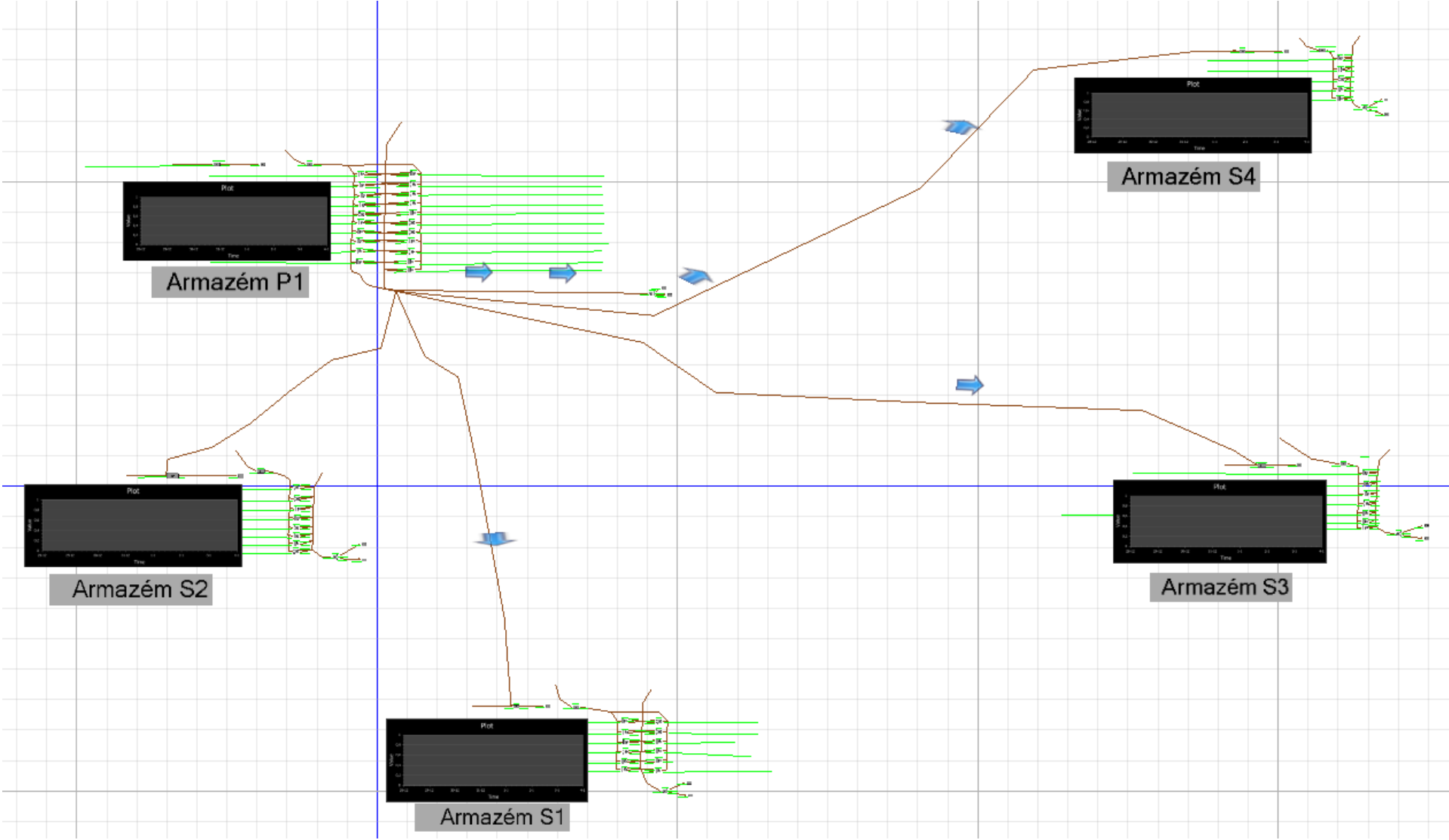
ANEXO A: Fluxograma da atividade da empresa



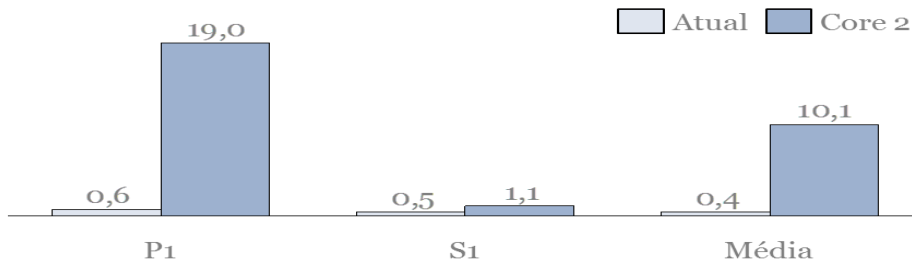
ANEXO B: Value Stream Mapping da empresa



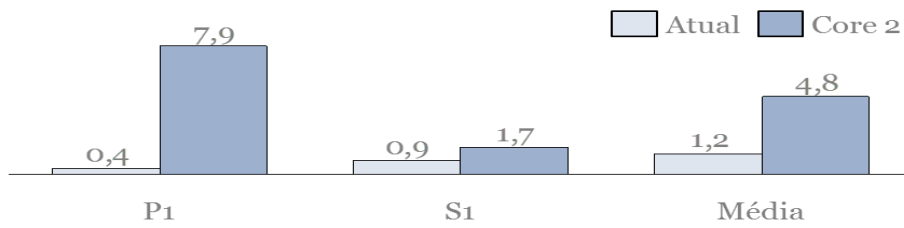
ANEXO C: Interface do simulador



ANEXO D: Resultados da atividade de *picking* do cenário Core 2



N.º médio de encomendas em espera para serem aviadas



Tempo médio que as encomendas ficam em espera para serem aviadas