



Fábio Manuel Duarte Lopes

## FATORES DISRUPTIVOS E INCERTEZA NA GESTÃO DA CADEIA DE ABASTECIMENTO





Fábio Manuel Duarte Lopes

## **Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento**

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Gestão Empresarial**, realizada sob a orientação da Professora Doutora Ana Cristina dos Santos Amaro.

Coimbra, outubro de 2024

## **TERMO DE RESPONSABILIDADE**

Declaro ser o autor desta dissertação, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau académico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação da presente dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

Com o desenvolvimento da presente dissertação, bem como durante o percurso académico, tive a oportunidade de contar com o apoio e incentivo de diversas pessoas, às quais aproveito para expressar a minha gratidão.

O meu primeiro agradecimento é à minha orientadora, Professora Ana Cristina dos Santos Amaro, pelos conhecimentos partilhados, orientação sábia e disponibilidade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à minha família, pelo apoio, compreensão e suporte constantes. Dedico um agradecimento especial à memória da minha madrinha, Ana Isabel Pereira Lopes, que apesar de não ter a oportunidade de testemunhar a conclusão deste trabalho, foi uma pessoa fundamental na minha trajetória de vida e no meu desenvolvimento pessoal.

Por fim, agradeço aos meus amigos, pela camaradagem e os momentos partilhados.

## RESUMO

O presente trabalho explora o planeamento da cadeia de abastecimento, através do desenvolvimento de um modelo matemático de otimização, o artefacto, que compreende a análise do comportamento da cadeia de abastecimento para diferentes cenários de quebra ou disrupções no abastecimento e incerteza na procura ou no preço dos produtos. Para o efeito, criou-se a formulação matemática do problema que se implementou utilizando a linguagem *Python*. Para validar o modelo desenvolvido foi realizada a resolução de um caso prático, relativo ao fabrico de café em cápsula, para o qual são simulados vários cenários de operação da cadeia de abastecimento. Os cenários testados compreendem a operação nos principais elos da cadeia, ou seja, fornecedor, fabricante, distribuidor e retalhista e diferentes cenários de planeamento. Foi utilizada a metodologia *Design Science Research* na condução das várias etapas de investigação de forma a ser possível avaliar o impacto de fatores disruptivos (abastecimento, entregas, preços, etc.), suas amplitudes (quebras totais, parciais, outras) e durações da ocorrência. O presente trabalho pretende contribuir para um melhor entendimento da cadeia de abastecimento, nomeadamente ao nível da tomada de decisão, e do planeamento da sua operação, em vários contextos e perante diferentes fatores disruptivos.

**Palavras-chave:** Cadeia de Abastecimento, Planeamento, Disrupção, Incerteza, Modelo Matemático, Artefacto.

## **ABSTRACT**

Present work explores supply chain planning, through the development of a mathematical optimization model, the artifact, which comprises the analysis of supply chain behavior for different scenarios of breakdown, interruptions in the supply and in demand or price of the products. Therefore, a mathematical formulation of the problem was created and implemented using the Python language. To validate the developed model, a practical case was resolved, related to the manufacture of coffee in capsules, for which several supply chain operational scenarios are simulated. The tested scenarios comprise the operation in the supply chain main links, that is, supplier, manufacturer, distributor and retailer, and different planning scenarios. The *Design Science Research* methodology was used to conduct the various stages of research, in order to be able to evaluate the impact of disruptive factors (supplies, deliveries, prices, etc.), their amplitudes (total, partial breaks, others) and duration of the occurrence. This work aims to contribute to a better understanding of the supply chain, particularly in terms of decision-making and planning of its operation, in various contexts and in the face of different disruptive factors.

**Keywords:** Supply Chain, Planning, Disruption, Uncertainty, Mathematical Model, Artifact.

## ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO.....	1
Motivação e Justificação .....	2
Objetivos.....	2
Estrutura do Relatório.....	3
1 Enquadramento Teórico .....	5
1.1 Gestão da Cadeia de Abastecimento .....	7
1.2 Fatores de Incerteza e Disrupção.....	9
1.2.1 Riscos Operacionais .....	10
1.2.2 Riscos Financeiros .....	10
1.2.3 Riscos do negócio ou atividade .....	10
1.3 VUCA na Gestão da Cadeia de Abastecimento .....	11
1.4 Matriz de Kraljic.....	12
1.5 Matriz IPA ( <i>Importance-Performance Analysis</i> ) .....	13
1.6 Resiliência .....	15
1.7 Sustentabilidade na Cadeia de Abastecimento .....	16
1.8 Sistemas e tecnologias na Cadeia de Abastecimento .....	17
1.9 Sumário.....	18
2 Metodologia.....	19
2.1 Identificar Problema & Motivar .....	20
2.2 Definir Objetivos de uma Solução.....	20
2.3 Design & Desenvolvimento .....	21
2.4 Demonstração .....	21

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

2.5	Avaliação .....	21
2.6	Comunicação .....	22
2.7	Sumário.....	22
3	O problema de planeamento da cadeia de abastecimento .....	23
3.1	Identificação e Motivação .....	23
3.2	Definição dos Objetivos da Solução.....	24
3.3	Design e Desenvolvimento.....	24
3.3.1	Pressupostos e considerações assumidas.....	25
3.3.2	Notação adotada .....	25
3.3.3	Formulação matemática de otimização .....	27
3.4	Desenvolvimento & Implementação do modelo .....	30
3.5	Sumário.....	30
4	Cenários de Planeamento da Cadeia: <i>demonstração e avaliação</i> .....	31
4.1	Demonstração – <i>Contexto de aplicação</i> .....	31
4.1.1	Fornecedor .....	34
4.1.2	Fabricante .....	36
4.1.3	Distribuidor.....	40
4.1.4	Retalhista .....	41
4.2	Avaliação – <i>Planeamento da Cadeia: cenário Base</i> .....	43
4.2.1	Fornecedor .....	43
4.2.2	Fabricante .....	44
4.2.3	Distribuidor.....	44
4.2.4	Retalhista .....	45
4.3	Cenário de quebra no abastecimento de matérias-primas .....	45

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

4.3.1	<i>Demonstração</i> .....	46
4.3.2	<i>Avaliação</i> .....	51
4.4	Cenário de quebra na entrega de produtos acabados.....	51
4.4.1	<i>Demonstração</i> .....	51
4.4.2	<i>Avaliação</i> .....	56
4.5	Cenário de quebras nos materiais de embalagem.....	57
4.5.1	<i>Demonstração</i> .....	58
4.5.2	<i>Avaliação</i> .....	59
4.6	Cenário de variabilidade de preços.....	59
4.6.1	<i>Demonstração</i> .....	60
4.6.2	<i>Avaliação</i> .....	61
4.7	Sumário.....	62
	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
	APÊNDICES .....	68
	APÊNDICE A. ....	69
	Detalhes de Ilustração dos Cenários de Planeamento .....	69

## ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de fluxo em rede numa cadeia de abastecimento, a jusante do fabricante .....	6
Figura 2 - Representação gráfica das ocorrências obtidas na pesquisa na WOS .....	6
Figura 3 - Representação da Matriz de Kraljic.....	12
Figura 4 – Matriz IPA Original .....	13
Figura 5 – Reconfiguração da matriz IPA original.....	14
Figura 6. Ilustração de Cadeia de Abastecimento aplicável às cápsulas de café.....	32
Figura 7. Fluxograma das referências consideradas na elaboração do cenário prático.....	33
Figura 8 - Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor ....	46
Figura 9 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante .....	47
Figura 10 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor..	48
Figura 11 - Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante....	49
Figura 12 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	50
Figura 13 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	52
Figura 14 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	52
Figura 15 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	53
Figura 16 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	53
Figura 17 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	54

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Figura 18 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	55
Figura 19 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	55
Figura 20 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	56
Figura 21 - Evolução no tempo dos invólucros para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4 .....	58
Figura 22 – Evolução no tempo das caixas para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4 .....	59
Figura 23- Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante.....	60
Figura A 1 - Evolução dos produtos no elo do distribuidor .....	69
Figura A 2- Evolução dos materiais, grão 1 e 2, no elo do fornecedor .....	69
Figura A 3 - Evolução dos produtos acabados no elo do fabricante .....	70
Figura A 4 - Evolução das matérias-primas no elo do fabricante .....	70
Figura A 5- Evolução dos produtos no elo do retalhista .....	70
Figura A 6 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	71
Figura A 7 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	71
Figura A 8 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	71
Figura A 9 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	72

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Figura A 10 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	72
Figura A 11 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor .....	73
Figura A 12 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante	73
Figura A 13 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	73
Figura A 14 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante	74
Figura A 15 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante	74
Figura A 16 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor .....	75
Figura A 17 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante	75
Figura A 18 - Evolução no tempo dos invólucros para embalamento das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4 .....	76
Figura A 19 - Evolução no tempo das caixas para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4 .....	76
Figura A 20 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante	77
Figura A 21 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante .....	77
Figura A 22 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista .....	77
Figura A 23 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor .....	78
Tabela 1. Etapas da metodologia DSRM.....	19
Tabela 2 - Lista de conjuntos do modelo.....	26

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Tabela 3. Lista de parâmetros do modelo.....	26
Tabela 4. Lista de variáveis de decisão do modelo .....	27
Tabela 5 – Lista de fatores capacitivos (mínimos e máximos) do modelo.....	29
Tabela 6. Parâmetros associados ao elo do fornecedor .....	34
Tabela 7. Variáveis associadas ao elo do fornecedor .....	35
Tabela 8 – Valores ficcionados para os parâmetros associados ao fabricante .....	36
Tabela 9 - Variáveis associadas ao elo do fabricante .....	38
Tabela 10 - Parâmetros associados ao elo do distribuidor.....	40
Tabela 11 - Variáveis associadas ao elo do distribuidor .....	41
Tabela 12 - Parâmetros associados ao elo do retalhista .....	42
Tabela 13 - Variáveis associadas ao elo do retalhista .....	42
Tabela 14. Alterações de preço implementadas para efeitos da análise .....	60

## **Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas**

*APA* - American Psychological Association (sistema de citações)

*CA* – Cadeia de Abastecimento

*CSCMP* – Council of Supply Chain Management Professionals

*DSR* – Design Science Research

*DSRM* – Design Science Research Methodology

*ERP* – Enterprise Resource Planning

*ExW* – ExWorks (Incoterm)

*FCA* – Free Carrier (Incoterm)

*GCA* – Gestão da Cadeia de Abastecimento

*IoT* – Internet of Things

*PIB* – Produto Interno Bruto

*SCM* – Supply Chain Management

*VUCA* – Volatility, Uncertainty, Coplexity and Ambiguity

*VosViewer* – software de análise bibliométrica

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho de Dissertação, intitulado *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*, surge no âmbito da Componente Não Letiva do Mestrado em Gestão Empresarial do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra.

A modalidade de Dissertação foi eleita pois permite uma análise mais profunda e detalhada do problema em discussão. Sendo o tema *per si* bastante abrangente e complexo, a possibilidade de contribuir para o conhecimento científico nesta área torna-se mais difícil, mas também mais desafiante.

O objetivo da presente dissertação é, numa fase inicial, desenvolver uma investigação que permita um entendimento aprofundado da realidade dos eventos disruptivos numa cadeia de abastecimento, ao nível da sua origem, impacto e eventuais estratégias ou ferramentas que permitam minimizar os efeitos negativos causados por estes eventos. Posteriormente, pretende-se estabelecer um modelo de planeamento de operação que permita auxiliar a tomada de decisão em contexto de incerteza e possa facilitar a deteção de fatores disruptivos, impactantes na gestão da cadeia de abastecimento.

A relevância deste tema tem aumentado drasticamente nos últimos anos, em resultado de acontecimentos altamente inesperados, onde se podem destacar a pandemia COVID-19, o conflito entre a Rússia e a Ucrânia, entre outros. O mundo tem sofrido com crises, oscilações nos preços, quebras no fornecimento de materiais e matérias-primas necessárias ao bom funcionamento das mais diversas atividades de negócio. Estes acontecimentos mostram-se altamente impactantes no decurso da atividade das empresas e organizações, pelo que se torna fundamental a preparação e aquisição de conhecimentos e métodos que permitam aos responsáveis pela gestão dessas entidades minimizar os impactos.

## **Motivação e Justificação**

A motivação para desenvolver um trabalho de dissertação que aborda e aprofunda fatores disruptivos e incerteza na gestão da cadeia de abastecimento é originada pelo aumento da complexidade e relevância do tema no mundo dos negócios e nas ciências empresariais.

A globalização influencia largamente as cadeias de abastecimento, com interações entre entidades sediadas em diferentes países. Em períodos não disruptivos, o aumento do fluxo de bens e serviços, torna as cadeias de abastecimento mais eficientes (Kamalahmadi & Mellat Parast, 2015). No entanto, aumenta também a exposição das cadeias a fatores causadores de volatilidade, consequência da maior complexidade das operações, que se dispersam geograficamente consoante as oportunidades económicas. Tais fatores podem ser instabilidades geopolíticas, volatilidade dos mercados, desastres naturais, entre outros. Os seus resultados traduzem-se num aumento da incerteza e eventual disrupção do fluxo de abastecimento. Existem exemplos bastante recentes de situações com impacto bastante significativo no quotidiano de pessoas e empresas, onde se destacam a pandemia COVID-19, em que ocorreu disrupção de inúmeros produtos exportados pelos países asiáticos (principalmente a China), e cujos impactos ainda se verificam atualmente, com os atrasos nas entregas de componentes (com destaque para componentes eletrónicos). Tome-se como exemplo a indústria automóvel, em que os tempos de entrega estão bastante dilatados face ao período pré-pandemia. Destaca-se também o conflito entre Rússia e Ucrânia, com impacto bastante significativo no quotidiano, muito derivado da exportação de cereais, cuja oferta reduziu significativamente, o que por consequência tem gerado aumentos substanciais dos preços destes produtos e seus derivados.

A sobrevivência e o crescimento sustentável das entidades dependem cada vez mais de uma responsável e eficaz gestão da cadeia de abastecimento, pelo que este trabalho visa contribuir para aprofundar a compreensão e conhecimentos relacionados com o tema.

## **Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho passa por criar um modelo de planeamento da cadeia de abastecimento que permita otimizar a utilização dos recursos e facilitar a decisão perante fatores disruptivos, e geradores de incerteza na gestão da cadeia de abastecimento.

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Já em termos de objetivos específicos tem-se:

- Desenvolver um modelo matemático cujo âmbito seja o planeamento de operação de uma cadeia de abastecimento;
- Simulação e análise do impacto de fatores de disrupção e incerteza em contexto planeamento de uma cadeia de abastecimento;
- Auxiliar a tomada de decisão ao nível da gestão e planeamento da cadeia de abastecimento.

### **Questões de investigação**

Tal como já se referiu, nos últimos anos têm-se registado crises económicas, oscilações nos preços e quebras no fornecimento de materiais e matérias-primas necessárias ao bom funcionamento das mais diversas atividades de negócio têm acentuado a incerteza na cadeia de abastecimento.

Trata-se de fatores determinantes para a atividade das organizações e, como tal, é fundamental que os responsáveis na área de gestão estejam dotados de métodos e conhecimentos que lhes permitam minimizar o impacto desses fatores.

Assim, a investigação levada a cabo procura responder a três grandes questões:

**QI1.** Como são diferenciados os conceitos de disrupção e de incerteza na CA?

**QI2.** Que fatores têm uma ação disruptiva na operação da CA?

**QI3.** Que estratégias de decisão podem ajudar o planeamento da CA em ambiente de incerteza?

A resposta a estas questões procura guiar a linha de objetivos traçados para o trabalho.

### **Estrutura do Relatório**

Em termos de estrutura, este trabalho escrito encontra-se dividido em quatro capítulos. Após a introdução, no capítulo 1 encontra-se o Enquadramento Teórico, onde são expostos e explorados os principais conceitos relacionados com o tema da dissertação, por forma a robustecer o trabalho desenvolvido e a permitir uma correta compreensão de toda a dissertação. De seguida, expõe-se a metodologia implementada na realização do

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

trabalho, capítulo 2, que contempla a estruturação e implementação da investigação, bem como as principais fontes utilizadas. O capítulo 3 relaciona-se com o modelo, nomeadamente a sua proposta e desenvolvimento, onde se encontra com detalhe o seu método de funcionamento.

A apreciação dos resultados obtidos é realizada no capítulo 4, em que se discutem vários contextos de operação e se propõem respostas às questões de investigação.

Por fim, são expostas as conclusões retiradas do estudo, enumeram-se algumas das dificuldades enfrentadas e apresentam-se sugestões para futuros trabalhos.

## **1 Enquadramento Teórico**

A Cadeia de Abastecimento existe desde sempre, se se considerar, tal como Chopra & Meindl (2016), que esta é constituída por todos os elementos envolvidos (direta ou indiretamente) na realização de uma necessidade do cliente. No entanto, as organizações apenas se começaram a interessar pela Cadeia de Abastecimento e a sua gestão num passado mais recente, ao aperceberem-se do potencial impacto em termos de vantagem competitiva através de uma administração mais eficaz (Christopher, 2011). A sua popularidade e importância têm vindo a crescer (Pounder et al., 2013), com as organizações a focarem-se tendencialmente mais no sistema em que estão inseridas, ao invés de se focarem apenas no seu negócio de forma individual.

A composição de uma CA pode ser definida como uma rede de vários intervenientes, ou elos, em que ocorre um fluxo de um produto ou serviço, desde a sua génese (enquanto matéria-prima) até ao consumo pelo cliente final, passando por diversos processos de transformação, deslocação e negociação (Guedes, 2020). Este fluxo subentende uma série de operações e interações geradoras de valor, que, regra geral, se desenvolvem entre diferentes empresas, que podem ser consideradas interdependentes, ao longo do processo, ao contrário do conceito de logística, que para alguns autores se foca mais nas atividades desempenhadas dentro das fronteiras de uma organização (Guedes, 2020; Heizer et al., 2017; Hugos, 2011).

Apesar de o fluxo do produto ser o mais importante na cadeia de abastecimento, existem outros fluxos de elevada importância e que podem ocorrer no mesmo sentido ou em sentidos opostos, com destaque para o fluxo de informação e o fluxo monetário. É possível encontrar um exemplo de uma estrutura de cadeia de abastecimento na Figura 1, em que as ligações entre os diferentes protagonistas correspondem aos fluxos enumerados. Este conceito é muito abrangente, em que se englobam todos os intervenientes na colocação de um produto no mercado.



## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

---

Os inputs considerados correspondem aos resultados da pesquisa na base de dados científica *Web of Science (WOS)*, em que se efetuou uma pesquisa com base nas *keywords* “ALL=(*supply chain AND disruption AND uncertainty*)”. A análise implementada tem por base o critério de coocorrência da palavra-chave, tendo sido estabelecido três ocorrências como critério mínimo. Ao introduzir os resultados no *Vosviewer*, este gerou o seguinte mapeamento apresentado na

Como é possível verificar, as palavras-chave fundamentais para o presente trabalho, nomeadamente “*supply chain management*”, “*uncertainty*” e “*disruption*” apresentam a maioria dos trabalhos no período correspondente à crise pandémica da COVID-19, uma época de grandes desafios para a área da gestão da cadeia de abastecimento, com todos os obstáculos que se vivenciaram durante esse período.

Por outro lado, trabalhos mais recentes inserem, entre outros, os conceitos de resiliência, performance, flexibilidade, desafios e capacidades. Assim, este *output* é considerado como a base inicial para a construção do presente trabalho.

### 1.1 Gestão da Cadeia de Abastecimento

Uma das mais antigas definições de *Supply Chain Management* foi estabelecida por Oliver & Webber (1982), em que os autores estabelecem esta como sendo o fluxo de bens desde o fornecedor, passando pelas cadeias de produção e distribuição, até chegar ao consumidor final.

O *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2013<sup>1</sup>)* estabeleceu uma definição oficial para a *Supply Chain Management*, sendo esta uma atividade que envolve o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas no aprovisionamento e aquisições, conversões, gestão logística, e também a coordenação e colaboração com os parceiros (que podem ser fornecedores, intermediários, clientes e outros). A sua essência traduz-se na gestão da oferta e da procura intra e interorganizações.

---

<sup>1</sup> *The process of planning, implementing, and controlling procedures for the efficient and effective transportation and storage of goods including services, and related information from the point of origin to the point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements. This definition includes inbound, outbound, internal, and external movements.*

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

O principal objetivo da Cadeia de Abastecimento (e da sua gestão) prende-se com a génese de lucro através da operação, neste caso o lucro de toda a operação da cadeia de abastecimento, que é calculado pela diferença entre

*Valor do produto no cliente – Custos totais incorridos na supply chain*

sendo o valor do produto estimado pelo valor máximo que este está disposto a pagar pelo produto/serviço (o que varia consoante o cliente). Por forma a conseguir cumprir este objetivo, as decisões tomadas na cadeia de abastecimento devem ser assertivas. Importa referir as duas perspetivas possíveis para os processos desenvolvidos numa cadeia de abastecimento (Chopra & Meindl, 2016):

- *Cycle View* – define os processos envolvidos e os seus participantes. Tendo em conta as diferentes etapas expostas na Figura I, os processos podem ser divididos em quatro ciclos, sendo estes o ciclo de encomenda do cliente, ciclo de reabastecimento, ciclo de fabrico e ciclo de aprovisionamento. Esta vista é útil quando se consideram decisões operacionais, pois especifica o papel e responsabilidade de cada membro da cadeia de abastecimento, bem como o resultado esperado em cada processo. Nem sempre os ciclos estão claramente separados, podendo nalguns dos casos encontrar-se combinados. Cada ciclo decorre desde a colocação de um produto no mercado pelo fornecedor, passando por recebimento de encomendas de clientes, fornecimento destas e respetiva retribuição.
- *Push/Pull View* – os processos são divididos entre as categorias *Push* (caso ocorram em antecipação a encomendas, sendo também conhecidos como processos especulativos) e *Pull* (caso ocorram em resposta a encomendas, igualmente conhecidos como processos reativos). Tal como no caso dos ciclos, não é expectável uma cadeia de abastecimento ser totalmente reativa ou especulativa, existindo uma etapa até à qual ela se desenvolve de uma das duas formas e, a partir daí, se desenvolve de outra maneira. Regra geral, quanto mais próximo do consumidor final, mais tendencialmente a cadeia será *pull*, verificando-se o oposto na extremidade contrária (do fabricante). Considerando uma perspetiva de quantidades, num fluxo desde o primeiro fabricante até ao consumidor final, as quantidades consumidas vão diminuindo gradualmente, como tal, quanto mais recuados na cadeia de

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

abastecimento, maior a probabilidade de o processo ser *push*, devido à necessidade de um elevado nível de stock para conseguir responder às encomendas. Em contrapartida, o cliente final trabalha com pequenas quantidades, pelo que por norma se verifica uma vista *pull*, pois este adapta as compras em função das suas necessidades.

A relevância da gestão da cadeia de abastecimento é causada pela possibilidade de as empresas serem capazes de originar benefícios económicos através de eficazes interpretação e gestão da cadeia de abastecimento (New, 1996). Após esforços serem feitos ao nível da personalização dos produtos, melhoria na qualidade, redução de custos, entre outros, o foco das entidades está agora direcionado para a gestão da cadeia de abastecimento como veículo para a criação e exploração de vantagem competitiva (Heizer et al., 2017). Com a velocidade com que se desenvolvem e transformam os mercados na atualidade, as empresas tendem a focar-se nas suas principais competências e subcontratar tudo o que não é essencial. Antes, em mercados mais lentos da era industrial, a tendência passava pela verticalização das empresas, tornando-se mais eficientes ao conseguirem economias de escala. Atualmente, as empresas têm de ser flexíveis e reativas, bem como as cadeias de abastecimento em que estas se inserem. Um dos principais motivos que fomentam esta transformação prende-se com a mudança de consumo em massa de artigos homogéneos (*'one-size-fits-all'*) para um consumo mais variado, de artigos diferentes e diversificados. Neste cenário, as grandes cadeias de abastecimento perdiam a sua vantagem competitiva, pois não possuíam condições para dar resposta à procura do mercado, tendo sido obrigadas a transitar de uma realidade de produção em massa para uma realidade de resposta mais flexível.

### **1.2 Fatores de Incerteza e Disrupção**

A incerteza e disrupção na cadeia de abastecimento pode ser causada por vários fatores, tais como procura inconstante dos produtos (motivada por fatores como sazonalidade, mudanças nos hábitos de consumo), volatilidade nos preços das matérias-primas, alterações a nível legislativo, problemas ao nível produtivo, logístico, entre outros. Cada vez mais, as empresas têm de estar preparadas e conscientes destes riscos e trabalhar em direção a mitigar os mesmos. Quanto mais globalizada for a cadeia de abastecimento,

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

maior será a sua exposição a estes riscos, pelo que maior deverá ser a atenção dos responsáveis pela gestão das entidades, pois têm de lidar com operações mais complexas, tais como logística, diferentes regulamentações e barreiras comerciais. Existem inúmeros fatores possíveis de ocorrer e impactar a cadeia de abastecimento, pelo que se tentam destacar alguns dos principais grupos em que estes se inserem. Antes de enumerar alguns desses fatores, é importante estabelecer a distinção entre risco e incerteza, dois conceitos que muitas das vezes acabam por ser de certa forma confundidos. O risco representa uma probabilidade de ocorrer um evento prejudicial, estando relacionado sobretudo com o que ocorre jusante e que dá origem ao acontecimento. Por outro lado, a incerteza representa a dúvida, pelo que se debruça acima de tudo com o cenário após ocorrência do acontecimento.

### **1.2.1 Riscos Operacionais**

Fatores que impactam as atividades diárias da cadeia de abastecimento, tais como falhas em equipamentos, insuficiência de capacidade produtiva, problemas ao nível da qualidade, problemas logísticos, entre outros. A cadeia de abastecimento compreende fluxos do produto, de informação e financeiros, pelo que neste caso situações como exposições a ataques cibernéticos também devem ser considerados como um risco, principalmente na atualidade em que os negócios possuem uma imensidão de dados e transações em formato digital.

### **1.2.2 Riscos Financeiros**

Fatores relacionados com a tesouraria das entidades e consequentemente da cadeia de abastecimento, tais como variações nos preços das matérias-primas, de taxas de câmbio e outros custos, problemas com *cash-flows*, insuficiência de recursos para investimento, problemas com cobranças difíceis, oscilações das taxas de câmbio, etc.

### **1.2.3 Riscos do negócio ou atividade**

Fatores que dependem essencialmente de condições externas à entidade, como alterações legais, risco de continuidade do negócio, impactos ao nível do ambiente e

sustentabilidade, riscos de segurança cibernética e evolução tecnológica, possibilidade de obsolescência de artigos, etc.

### **1.3 VUCA na Gestão da Cadeia de Abastecimento**

O conceito *VUCA* (*volatility, uncertainty, complexity, ambiguity*) teve origem em contexto militar, no período do pós-Guerra Fria, e servia para caracterizar as transformações sociais que ocorriam no mundo. A primeira referência do conceito é feita no livro “*Leaders. The Strategies for Taking Charge*”, dos autores Warren Bennis e Burt Nanus, de 1985.

Em contexto de cadeia de abastecimento é importante ter em conta o cenário VUCA a todo o momento, pois este enquadra os desafios e riscos a que a cadeia se encontra exposta. De acordo com os princípios que compõem o VUCA (volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade), alguns dos principais desafios são:

- A volatilidade ao nível da oferta, da procura e do mercado em que a entidade se insere – alterações nos padrões de consumo, fatores socioeconómicos, entrada de novos operadores nos mercados;
- A incerteza do ambiente em que a entidade opera – evoluções regulamentares ou legais, instabilidade política, ocorrências disruptivas;
- A complexidade da respetiva operação (e da cadeia de abastecimento em que se insere) – múltiplos centros de distribuição, diversidade de produtos extensa, perecibilidade e/ou sazonalidade;
- A ambiguidade na interpretação dos eventos e informações que fluem ao longo da cadeia de abastecimento – desconexão entre a entidade e as tendências de consumo, barreiras à obtenção de feedback por parte do utilizador final.

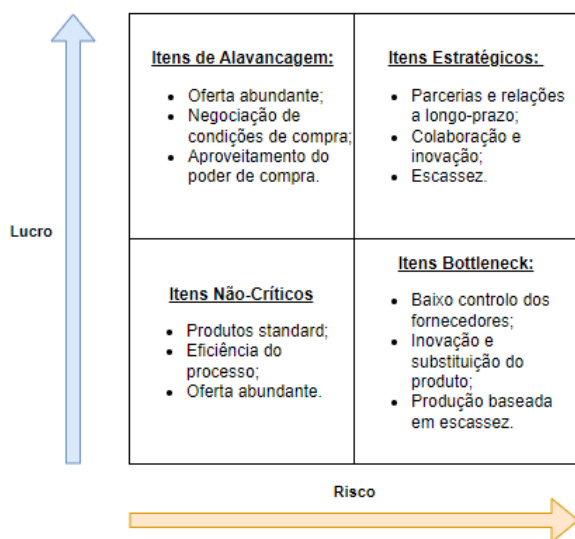
As entidades têm de apresentar capacidades de agilidade e adaptabilidade, num mundo em que a mudança ocorre de forma cada vez mais rápida. Assim, o *framework* VUCA representa uma ferramenta que contribui para as organizações definirem e entenderem os desafios que enfrentam e estabelecerem eventuais planos de resposta a esses desafios, o que por sua vez tem impacto na gestão da incerteza e mitiga os efeitos causados por eventuais eventos disruptivos na cadeia de abastecimento. Os gestores desta área devem

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

desenvolver as ferramentas e preparar os intervenientes no sentido de aprimorar a flexibilidade da operação, o fluxo de informações e capacidade de tomadas de decisão sustentadas, sistemas e processos operativos robustos e capacidades de antecipação e resposta a situações que afetem a operação da entidade ou a cadeia em que esta se insere.

**1.4 Matriz de Kraljic**

Tal como apresentado anteriormente, o risco é parte integrante do processo de gestão da cadeia de abastecimento. O autor Peter Kraljic estabeleceu em 1983 uma ferramenta de suporte à segmentação de produtos, através do confronto entre dois critérios, risco e rentabilidade. No caso, a rentabilidade refere-se ao potencial lucrativo do produto,



enquanto o risco representa a complexidade da operação de abastecimento. Assim, os produtos são divididos em quatro categorias diferentes, tal como demonstrado na figura abaixo.

Ao categorizar os produtos de acordo com a matriz de Kraljic (1983), as entidades obtêm uma ferramenta importante para categorizar e priorizar os seus recursos e esforços, melhorando a eficiência da operação e resiliência da cadeia de abastecimento. A

Figura 3 - Representação da Matriz de Kraljic

Fonte – Adaptado de Kraljic (1983).

implementação e utilização deste recurso compreende quatro etapas, sendo a primeira a classificação do portfólio (de acordo com os eixos considerados, distribuem-se os diversos artigos pelos quatro quadrantes da matriz). De seguida é avaliado o mercado em que a entidade opera, considerando o poder de compra da entidade face ao mercado abastecedor do(s) produto(s). Logo após, define-se o posicionamento estratégico da entidade face ao mercado, de acordo com a matriz desenhada e a avaliação do mercado efetuada, por forma a maximizar a vantagem que é possível obter a partir das condições correntes no mercado. Por fim, é definido o planeamento para cada um dos produtos

## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

considerados, que pode tender para três abordagens, sendo aposta em diversificação (ao trabalhar com produtos e/ou fornecedores alternativos, por forma a reduzir o risco de abastecimento associado à operação), tirar partido da capacidade de compra (ao aumentar a escala, é possível negociar melhores condições de compra, o que permite aumentar a vantagem obtida, contudo obriga a um maior esforço a jusante, nomeadamente ao nível comercial, pois pode ser necessário “forçar” o mercado a absorver o produto), ou um equilíbrio entre o aumento do volume e a diversificação de compra.

### 1.5 Matriz IPA (*Importance-Performance Analysis*)

A Matriz IPA é uma abordagem que se pode aplicar numa diversidade bastante ampla de realidades, onde se inclui a gestão da cadeia de abastecimento. A matriz original, apresentada por Martilla & James (1977), encontra-se dividida em quatro quadrantes, em que cada um compreende uma recomendação e abordagem diferente, consoante o posicionamento, sendo:

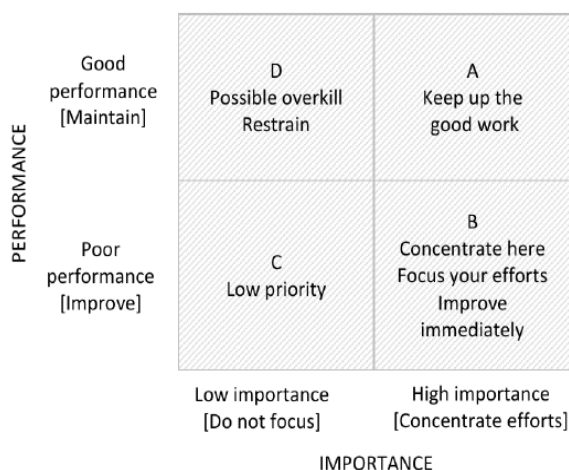


Figura 4 – Matriz IPA Original

Fonte: Adaptado de Martilla & James (1977).

- *Keep up with the good work* – elevadas performance e importância, onde se enquadram artigos relevantes para a atividade da entidade, que lhe conferem vantagem competitiva;
- *Concentrate here* – artigos de elevada importância e performance reduzida, enquadram-se artigos importantes para a atividade da entidade, que necessitam de intervenção por forma a melhorar a performance, pois representam fraquezas da atividade;
- *Low priority* – artigos de baixas performance e importância, que representam fraquezas irrelevantes, não sendo necessária atenção adicional;

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

- *Possible overkill* – artigos de elevada performance e baixa importância, representam artigos que consomem muitos recursos, sendo necessário avaliar a transferência dos recursos para outras áreas e suspensão ou exclusão do artigo em análise.

O foco principal da entidade deve estar focado em artigos que apresentam baixa performance e elevada importância, pois é nestes que reside o maior potencial para melhoria e alavancagem face aos restantes artigos (Eskildsen & Kristensen, 2006). Alguns autores têm proposto, ao longo do tempo, novas abordagens para a matriz IPA, tal como a apresentada por Wyród-Wróbel & Biesok (2017), em que consideram 6 áreas diferentes, sendo que incluem uma diagonal na matriz, que separa os artigos que necessitam de atenção e melhorias daqueles que não necessitam de intervenção adicional. A matriz engloba os seguintes critérios:

- A1 - *Keep up the good work*;
- A2 – *Warning*: importância e performance elevadas, no entanto encontra-se em situação de perigo pelo facto da possibilidade de quebra de performance, o que implicaria uma intervenção necessária para mitigar a baixa performance;
- C1 – *Low priority*: fatores que não apresentam necessidades de intervenção consideráveis;
- C2 – *Improve*: fatores que apresentam reduzidas performance e importância, indicando necessidade de intervenção, contudo não sendo prioritária;
- B e D equivalentes à matriz original.

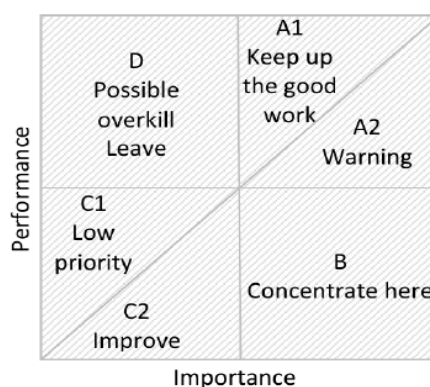


Figura 5 – Reconfiguração da matriz IPA original

Fonte: Adaptação de Wyród-Wróbel & Biesok, (2017), proposta a partir de Martilla & James (1977).

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Ao recorrer à matriz IPA, em contexto de gestão da cadeia de abastecimento, será possível categorizar e dividir diferentes áreas ou artigos em que seja necessária maior atenção, dando prioridade aos trabalhos em conformidade com a importância que estes representam, conseguindo assim maximizar os resultados de acordo com a avaliação dos impactos correspondentes. Uma avaliação constante com base nesta matriz permite monitorizar em tempo real os diferentes artigos/áreas consideradas, o que por sua vez servirá para uma intervenção *'just-in-time'*, conseguindo a entidade manter a sua vantagem competitiva e melhoria contínua das operações.

### **1.6 Resiliência**

A resiliência é um conceito que tem ganho cada vez mais popularidade. Em contexto de cadeia de abastecimento tem-se tornado também mais importante, principalmente dados os mais recentes cenários de inconsistência e desafios, motivados por recentes acontecimentos, tais como a pandemia COVID-19 e o conflito entre a Rússia e a Ucrânia. Neste contexto, a resiliência diz respeito à capacidade de adaptação e resposta eficaz da cadeia de abastecimento a alterações e ocorrências imprevistas, o que implica uma rápida reação face à identificação e mitigação de riscos, tornando-se assim um fator essencial para o bom funcionamento da cadeia de abastecimento. Ponomarov & Holcomb, (2009) abordam o contexto de resiliência na CA como sendo um conceito que lida com vários fatores de risco, em diferentes etapas do processo de gestão de risco na cadeia de abastecimento. O trabalho é um dos mais populares no tema, e os autores definem o conceito como sendo a capacidade de adaptação da CA, no sentido de se preparar para eventos inesperados, responder a disrupções e recuperar destas ao garantir a continuidade das operações. Kamalahmadi & Mellat Parast (2015), após analisarem e identificarem os principais autores no tema, apresentaram a sua definição como sendo “a capacidade adaptativa de uma CA reduzir a probabilidade de enfrentar distúrbios súbitos, resistir à sua propagação ao manter o controlo sobre as estruturas e funções, e recuperar e responder através de planos de reação efetivos e imediatos que transcendam o distúrbio e restaurem a cadeia de abastecimento a um estado operacional robusto. Sendo a resiliência um conceito tão abrangente, é possível definir que a sua existência em contexto de gestão da cadeia de abastecimento está relacionada com dois grandes fatores. Por um lado, a

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

capacidade de a entidade, ou a cadeia como um todo, garantir a manutenção da operação em cenários de disrupção sem ser impactada. Por outro lado, caso o evento disruptivo impacte a operação, a capacidade desta se reestruturar e recomeçar a operação. Idealmente deverá existir um plano de ação que contemple estes cenários e quais as respostas respetivas.

Uma entidade que não dedique atenção à monitorização e melhoria da resiliência no contexto da cadeia de abastecimento em que está inserida, coloca-se numa situação de perigo, pois não terá um plano de resposta preparado e definido no caso de ocorrer algum tipo de disrupção, eventualmente colocando em causa a sua própria continuidade.

### **1.7 Sustentabilidade na Cadeia de Abastecimento**

O tema da sustentabilidade tem ganho cada vez mais importância, num crescimento praticamente exponencial. Desde 2012 que se nota um aumento das publicações relacionadas com este tema, motivadas por fatores como escassez de recursos naturais, aquecimento global, poluição, entre outros (Flores-Sigenza et al., 2021). O sucesso das organizações precisa de incorporar a longo-prazo a sua contribuição para o bem-estar do planeta e da humanidade (Bubicz et al., 2019). Para os *stakeholders* das organizações não é suficiente a performance financeira, sendo que o fator social e ambiental tem um peso cada vez maior na tomada de decisão. Tal como enunciado por Medne et al. (2022), a interação com os *stakeholders* mostra-se fundamental no desenvolvimento e implementação da estratégia da organização. A entidade tem de corresponder às expectativas dos seus *stakeholders*, por forma a manter-se atraente e interessante, garantindo a continuidade da operação. Além disso, as políticas e diretivas legais são cada vez mais vocacionadas para práticas mais sustentáveis e amigas do ambiente, tais como a transição de produtos de plástico para papel, utilização de papéis produzidos a partir de matérias 100% recicladas, ao invés de celulose virgem, incentivos à incorporação de energias renováveis (tais como painéis solares) e veículos movidos a energia elétrica, entre outras medidas.

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

No contexto de cadeia de abastecimento, a sustentabilidade é um tema também cada vez mais abordado, não só pelo posicionamento das entidades como exposto no parágrafo anterior, mas também nas ligações entre os diferentes elos da cadeia. A operação logística tem um impacto elevado, derivada da necessidade de transportes de grandes distâncias. Apesar de estarem a ser feitos esforços no sentido da eletrificação e apresentação de soluções alternativas menos poluentes que os atuais combustíveis fósseis, tais como o recurso a hidrogénio, ainda se encontram numa fase embrionária ao nível logístico, pelo que os custos são bastante elevados face aos métodos tradicionais. Consequentemente, é necessário analisar o equilíbrio entre performance financeira e ambiental, pois por mais que o segundo fator seja cada vez mais valorizado, imputar os custos de uma operação mais “verde” aos produtos muitas das vezes não é possível, pois o produto perde a sua competitividade e interesse.

### **1.8 Sistemas e tecnologias na Cadeia de Abastecimento**

Com os constantes desenvolvimentos tecnológicos, a velocidades cada vez mais rápidas, torna-se necessário abordar também os sistemas e tecnologias na cadeia de abastecimento. O investimento em tecnologia é muito significativo, as entidades apostam cada vez mais em ter informações disponíveis ‘*just-in-time*’, por forma a melhorar a performance e competitividade. A implementação de sistemas informatizados e automáticos permite um controlo mais eficaz e reduz a intervenção manual, melhorando os timings e disponibilizando tempos para outras tarefas. Existem entidades que optam por desenvolver os seus softwares dentro de portas, e existem outras que optam por integrar sistemas de software, implementando fluxos de informação entre eles, tais como por exemplo a integração em um sistema de gestão integrada (ERP) de informações registadas noutro programa, tal como registo de horas, ou software de controlo de produção. Além disso, ao nível de hardware, também se fazem investimentos cada vez mais significativos em automação e maquinaria conectada (IoT).

Com a digitalização dos processos, é possível acompanhar a atividade da entidade e saber ao momento em que fase do processo se encontra o produto. De acordo com Sawik (2020), na atualidade, uma cadeia de abastecimento é uma rede cyber-física, constituída por múltiplos fornecedores distribuídos globalmente, múltiplas fábricas e centros de

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

distribuição, onde se montam as peças fornecidas e se enviam os produtos para os clientes. De acordo com a tendência atual de outsourcing, offshoring e globalização, a coordenação da tomada de decisões tem um impacto positivo na performance de redes de cadeias de abastecimento de vários níveis em risco de disrupção.

## **1.9 Sumário**

A cadeia de abastecimento representa todas as etapas do processo de um produto, desde a sua criação até ao seu consumo. A gestão da cadeia de abastecimento procura integrar a gestão da oferta e da procura intraempresas e interempresas (Chopra & Meindl, 2016) Uma gestão eficaz permite ganhos significativos e aumento na competitividade da entidade.

Para estabelecer um plano de resposta à incerteza em contexto de cadeia de abastecimento, é necessário ter um amplo e profundo conhecimento dos riscos a que a entidade e a operação estão expostas. É, desta forma, importante implementar uma boa gestão do risco. Mullai (2009) define um modelo de sistema de gestão de risco subdividido em três fases, que compreendem a análise (caracterização dos riscos e estabelecimento de procedimentos a aplicar na etapa seguinte), ponderação (implementação de procedimentos de análise e categorização dos riscos, de modo a hierarquizá-los) e gestão do risco (estabelecimento de estratégias alternativas, análise da possível operação associada, implementação das estratégias, seguimento e monitorização dos resultados). Com a gestão do risco em contexto de GCA, procura-se equilibrar a flexibilidade, redundância e resiliência da operação da entidade (Guedes, 2020).

Com a globalização, as cadeias de abastecimento expandiram-se, o que aumentou também a exposição a fatores de incerteza e disrupção. Estes, muitas das vezes, não são totalmente considerados pelos responsáveis da gestão derivado da baixa probabilidade de ocorrência, contudo o potencial impacto dos mesmos é bastante significativo, pelo que a tendência é de maior alerta, após ocorrências trágicas como as anteriormente expostas.

## 2 Metodologia

A metodologia *Design Science Research* (DSR) é uma abordagem de investigação que tem como objetivo o desenvolvimento e validação de artefactos tecnológicos com a finalidade de dar resposta a problemas reais. Vários autores apresentaram as suas publicações acerca deste tema, de onde resultaram diferentes abordagens em contexto de DSR (Pries-Heje et al., 2017).

*Tabela 1. Etapas da metodologia DSRM*

<b>Etapa de Investigação</b>	<b>Desafios</b>	<b>Resultados para a Etapa Seguinte</b>	<b>Justificativa de Iniciação</b>
<b>1. Identificar Problema &amp; Motivar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir problema</li> <li>• Mostrar importância</li> </ul>	Inferência	baseada no problema
<b>2. Definir objetivos de uma solução</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O que é que um bom artefacto realizaria?</li> </ul>	Teoria	baseada no objetivo
<b>3. Design &amp; Desenvolvimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artefacto</li> </ul>	Conhecimento de como fazer	centrada em design e desenvolvimento
<b>4. Demonstração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontre o contexto adequado</li> <li>• Use o artefacto para resolver o problema</li> </ul>	Métricas, Análise de Conhecimento	Cliente/Contexto Iniciado
<b>5. Avaliação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observe quão eficaz, eficiente</li> <li>• Retorne ao design</li> </ul>	Conhecimento	
<b>6. Comunicação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Publicações Académica/ Científicas</li> <li>• Publicações Profissionais</li> </ul>		

*Fonte: Adaptado de Venable, Pries-Heje, & Baskerville (2017)*

Para o presente trabalho, foram equacionadas a metodologia DSRM e a *Action Design Research*, desenvolvida por Sein et al. (2011). Esta última combina o método *Action-Research* com DSR, procurando responder, por um lado, a problemas de um determinado contexto organizacional através de intervenção e avaliação; e por outro, construir e interpretar um artefacto que analise a classe de problemas tipificados na situação considerada.

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Embora conceptualmente a ADR seja o ciclo de: i.) Modelagem recíproca, ii.) Intervenções mutuamente influenciáveis e iii.) Avaliação autêntica e simultânea; requer um contexto de efetiva implementação do artefacto em tempo real.

Assim, como a lógica de partida para o desenvolvimento da investigação e para a criação do artefacto é centrada no problema como um todo e não na especificidade de um caso organizacional concreto, entendeu-se mais adequada a metodologia DSRM.

A DSRM está organizada em seis etapas, Tabela 1, com diferentes desafios e princípios a respeitar para garantir o sucesso do estabelecimento desta abordagem. O DSRM prevê uma estrutura cíclica de retorno, nomeadamente, a partir das atividades de Avaliação (5) ou de Comunicação (6) retornar à Definição de Objetivos (2) ou ao Design e Desenvolvimento (3), dependendo do motivo do retorno.

### **2.1 Identificar Problema & Motivar**

A motivação para o problema a investigar é encontrada na perceção de um problema identificado em contexto real, ou antecipado através de investigações anteriores. A justificação da investigação é centrada no problema, no desafio que o define e na sua importância.

O problema representa assim uma oportunidade de investigação e de contribuição para o conhecimento que nesta etapa deve ser motivada pela prova da sua importância.

### **2.2 Definir Objetivos de uma Solução**

A investigação, inspirada em problemas reais ou com base teórica, é guiada pela definição daqueles que são os objetivos da solução a propor para o problema, por forma a auxiliar a direcionar o processo de design do artefacto.

As principais atividades prendem-se com o estabelecimento dos objetivos a que o artefacto deve obedecer e responder, das características e parâmetros funcionais e garantir que os objetivos estão alinhados com as expectativas dos *stakeholders* e necessidades da organização.

### **2.3 Design & Desenvolvimento**

A terceira etapa tem por base o enquadramento do problema e as premissas teóricas adotadas na fase anterior, por forma a criar o design inicial do artefacto, que é posteriormente melhorado num processo iterativo. Durante esta etapa, o problema e o artefacto estão em constante avaliação, e os princípios de design são adaptados de acordo com a classe de sistemas escolhida.

As principais atividades prendem-se com o estabelecimento dos princípios e guidelines aplicáveis, desenvolvimento de versões protótipo do artefacto e, se aplicável, obter feedback dos *stakeholders*, por forma a iterar e adequar o artefacto às necessidades da organização.

### **2.4 Demonstração**

Esta etapa compreende desafios como a pesquisa de um contexto ou área de aplicação compatível com o artefacto criado e ainda a utilização do mesmo para resolução do problema identificado (etapa 1).

Assim, a Demonstração deve gerar métricas e implementar uma análise de conhecimento que possa ser depois usada no decurso da avaliação.

Quando o problema identificado reflete uma realidade organizacional, a relevância da demonstração permite criar sinergias entre os participantes. Os investigadores contribuem com os seus conhecimentos e avanços tecnológicos, e os profissionais com os pressupostos reais e experiência. A etapa envolve a construção do artefacto, desenvolvimento de experiências ou implementação prática, documentação de cenários ilustrativos da sua aplicabilidade e registo e avaliação da sua performance e efetividade.

### **2.5 Avaliação**

A etapa de avaliação compreende a transição entre a criação de uma solução aplicável a um problema definido e identificado, para a sua aplicação a uma classe mais abrangente de problemas. O artefacto em avaliação reflete o design inicial dos investigadores e incorpora a demonstração, possivelmente, em contexto organizacional.

Esta etapa é responsável por validar a eficácia e a eficiência do artefacto desenvolvido e, sempre que entendido como necessário, retomar a etapa de *Design &* desenvolvimento, para incorporar novas melhorias ou alterações

## **2.6 Comunicação**

A última etapa tem como objetivo sistematizar o conhecimento que foi criado e desenvolvido, através da divulgação dos resultados do artefacto e organizacionais, que podem ser definidos como princípios e melhorias nessa área de conhecimento.

As tarefas desta última fase são comunicar e resumir aprendizagens em conceitos aplicáveis à classe de problemas identificados e motivados (etapa 1).

Os resultados obtidos representam uma solução para um problema, e devem ser comunicados através de publicações *académicas* (neste caso a dissertação), *científicas* (i.e., publicação de artigo científico com o propósito de divulgar e, se possível, generalizar os resultados) e *profissionais*, caso o artefacto tenha sido demonstrado e avaliado em contexto organizacional (i.e., cliente, etapas 4 e 5).

## **2.7 Sumário**

Em suma, com a metodologia aplicada pretende-se combinar práticas de investigação académica com abordagens práticas, de forma a permitir desenvolver soluções para problemas reais, além de criar valor na vertente do conhecimento académico e em contexto profissional.

Esta metodologia permite, assim, desenvolver um trabalho que procure não só identificar os desafios e problemas relacionados com disrupção e incerteza no contexto de gestão da CA, mas também apresentar soluções que possam ser implementadas em contexto real.

### 3 O problema de planeamento da cadeia de abastecimento

Ao presente capítulo cabe a identificação e motivação do problema de planeamento da cadeia de abastecimento, a definição dos objetivos de uma solução para esse problema e a criação e desenvolvimento de um artefacto para efetuar a respetiva resolução.

No âmbito do tema em investigação foi realizado um enquadramento teórico (capítulo 1) com o objetivo de, em termos gerais, justificar e motivar o estudo dos problemas de planeamento da cadeia de abastecimento em contexto de incerteza e de disrupção.

Assim, neste capítulo são conduzidas as três primeiras etapas da metodologia adotada DSRM e que correspondem a: 1) Identificação da estrutura de cadeia a ser modelada e motivação para o interesse da mesma; 2) definição do que se pretende da solução a propor; e 3) formulação matemática do problema de planeamento ótimo da CA em contexto de incerteza, ou seja, a criação do artefacto e respetivo desenvolvimento (i.e., Design e Desenvolvimento).

#### 3.1 Identificação e Motivação

Numa proposta inicial, o modelo considera quatro elos, que correspondem, respetivamente, ao *fornecedor*, *fabricante*, *distribuidor* e *retalhista*. Cada um destes elos está sujeito a várias restrições que resultam de requisitos de operação, económicos ou de recursos de natureza diversa. Existem também parâmetros cujos valores afetam diretamente o resultado obtido, nomeadamente constantes associadas aos custos e proveitos da operação em cada elo, cujo impacto se reflete no resultado global de planeamento obtido para a cadeia de abastecimento.

#### Características gerais da Cadeia

- **Estrutura:** Numa primeira fase, desenvolveu-se o modelo no sentido de representar os quatro elos acima referenciados, e com o objetivo de construir e analisar algumas características do modelo, que permitissem concluir quanto à sua capacidade e adaptabilidade à representação de diferentes cenários de operação.

## *Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

- **Tempo:** São testados diferentes referenciais de tempo, representativos de problemas de planeamento que possam ir desde o operacional, ao tático ou mesmo ao estratégico.
- **Abastecimentos & Parcerias:** Assume-se que os diferentes elos são abastecidos e fornecem entidades dentro e fora da cadeia de abastecimento (i.e., parceiros e clientes externos), com exceção do centro de distribuição, que se considerou possível ser abastecido por entidades dentro e fora da cadeia (i.e., parceiros e fornecedores externos), mas abastecendo apenas os retalhistas que integram a lista de parceiros da cadeia de abastecimento (numa lógica de comparabilidade à operação de uma central de compras).
- **Processamento & Fabrico:** Neste caso, considerou-se a implementação de um modelo de cadeia de abastecimento que envolvesse transformação de matérias-primas em produtos acabados. Para o efeito, gerou-se um caso ficcionado que envolve o fabrico de dois produtos a partir de duas matérias-primas distintas, com diferentes fatores de conversão e de desperdício, para cada operação de fabrico.
- **Logística inversa:** Considerou-se também a inclusão de retorno do produto (i.e., devoluções ou *backorders*) e a possibilidade de reintrodução do mesmo na cadeia de abastecimento, após reprocessamento.

### **3.2 Definição dos Objetivos da Solução**

Os principais objetivos para a solução do problema acima exposto compreendem o desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio ao planeamento da cadeia de abastecimento, com foco no contributo ao nível da avaliação da incerteza e impacto de eventuais disrupções. Adicionalmente, pretende-se simular a operação da CA, de modo a avaliar a efetividade e a sua capacidade de resposta a diferentes cenários de operação.

### **3.3 Design e Desenvolvimento**

Para o modelo desenvolvido, apresentam-se em seguida as principais considerações.

### 3.3.1 Pressupostos e considerações assumidas

Sendo um modelo inserido no âmbito da gestão da cadeia de abastecimento, as principais considerações assumidas são as seguintes:

- **Stocks:**

O stock,  $S$  está definido para cada um dos materiais em uso,  $s$  (i.e., matérias-primas, produtos auxiliar, intermédios e acabados), e para cada *slot* de tempo,  $t$ , ou seja,  $R_{s,t}$ ,  $\forall s \in S$ ;  $\forall t \in H$ . Assim, assume-se que:

- É definido um valor para o stock inicial  $S_{s,t=0} = S_s^0$ ;
- em todo o *slot* de tempo  $t$ , o *stock* deve obedecer a requisitos mínimos,  $S_{s,t}^{min}$  e/ou máximos,  $S_{s,t}^{max}$ , para qualquer dos materiais em uso,  $s$ .

- **Abastecimento Externo ou Receção**

O abastecimento,  $R_{s,t}$ ,  $\forall s \in S$ ;  $\forall t \in H$  por parte dos fornecedores está sujeito a restrições de limite máximo, tendo sido implementada uma solução de variabilidade cíclica, corresponde a um abastecimento com características periódicas.

- **Expedições ou Entregas**

Para as quantidades expedidas aplica-se uma lógica semelhante à da receção de materiais, nomeadamente através do estabelecimento de limites mínimos e/ou máximos para as unidades expedidas.

### 3.3.2 Notação adotada

#### Índices

$i$ , tarefas  $i = 1, \dots, I$

$j$ , equipamento ou facilidade,  $j=1, \dots, J$

$s$ , materiais em uso, compreende matérias-primas, produtos intermédios e produtos acabados,  $s=1, \dots, NS$ , sendo  $NS = NMP + NPI + NPA$ ;

$t$ , *slot* de tempo,  $t=0, \dots, H+1$

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

• Conjuntos

Tabela 2 - Lista de conjuntos do modelo

$S^{mp} =$	{s: s é materia – prima, NMP}	$J_{j,s}^{in}   J_{j,s}^{out}$	{j: j é uma facilidade que produz consome material s}
$S^{pi} =$	{s: s é materia – prima, NPI}	$V_{v,s}^{in}   V_{v,s}^{out}$	{v: v é um veículo que entrega  recebe material s}
$S^p =$	{s: s é materia – prima, NPA}	$W_k =$	{s: s é viável no armazém k}
$S = S^{mp} \cup S^{pi} \cup S^p$			

Fonte: Elaboração Própria.

• Parâmetros

Tabela 3. Lista de parâmetros do modelo

$CV_v$	–capacidade de carga do veículo v
$CF_j$	–capacidade de fabrico do equipamento ou facilidade j
$CW_k$	–apacidade do armazém k
$TO_v^{min}$	–quantidade mínima de expedição de material do veículo v
$TF_j^{min}$	–quantidade mínima de expedição de material do equipamento ou facilidade j
$R_{s,t}^{min} / R_{s,t}^{max}$	–quantias mínima e máxima de material s recebida no tempo t
$D_{s,t}^{min} / D_{s,t}^{max}$	–quantias mínima e máxima de material s expedida no tempo t
$S_{s,t}^{min} / S_{s,t}^{max}$	–quantias mínima e máxima de stock s no tempo t
$pv_s$	–preço de venda do material s
$Ca_s$	–custo de aquisição do material s
$Cw_s$	–custo de armazenamento do material s
$Ct_s$	–custo de transporte do material s
$Cd_s$	–custo de devolução (e eventual reinserção)do material s
$r_s^T$	- Medida de ocupação do material s (volume, peso, número de unidades etc.)
$r_s^P$	- Taxa de consumo/ produção do material s (% , rácio, etc.)
$\%W_s^{min} / W_s^{max}$	– percentagens mínima e máxima de material s em armazém

Fonte: Elaboração Própria.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

• **Variáveis de Decisão**

As variáveis atribuídas ao modelo de otimização são as quantias em *stocks*, as quantidades rececionadas, fabricadas, expedidas/entregues e as transportadas (entre elos da cadeia de abastecimento), em cada *slot* de tempo  $t$ .

Tabela 4. Lista de variáveis de decisão do modelo

$S_{s,t}$	–quantia de material $s$ em stock no tempo $t$
$R_{s,t}$	–quantia de material $s$ recebida no tempo $t$
$D_{s,t}$	–quantia de material $s$ expedida no tempo $t$
$F_{s,t}$	–quantia de material $s$ fabricada no tempo $t$
$T_{s,v,t}$	–quantia de material $s$ , transportada, no veículo $v$ , no tempo $t$
$Qp_{s,j,t}$	–quantia de material $s$ produzida no tempo $t$
$Qd_{s,t}$	–quantia de material $s$ devolvida no tempo $t$

Fonte: Elaboração Própria

**3.3.3 Formulação matemática de otimização**

Após divulgação dos diferentes componentes do modelo matemático dá-se a exposição da sua combinação, através da formulação do modelo, com o objetivo anteriormente exposto de maximização dos proveitos da operação.

• **Função Objetivo**

A função objetivo tem na sua génese a maximização de proveitos associados à operação da cadeia de abastecimento. O seu cálculo traduz-se no somatório de todos os proveitos obtidos para cada um dos materiais, na suas localizações e instantes de tempo. A esse valor há que deduzir os vários custos ocorridos nesses mesmos períodos, que compreendem essencialmente custos de aquisição das matérias-primas, transporte, armazenamento, entre outros aplicáveis ao contexto da análise pormenorizada, e ainda às

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

variações nas quantias em posse dos vários materiais nos instantes inicial e final. A função objetivo poderá ser traduzida da seguinte forma, considerando os parâmetros e variáveis acima descritos:

$$\begin{aligned}
 Max\ z: z = & \sum_t \sum_s p v_s D_{s,t} + \sum_s p v_s (S_{s,H} - S_{s,0}) - \\
 & \sum_t \sum_s C a_s R_{s,t} - \sum_t \sum_s C w_s S_{s,t} - \sum_t \sum_v \sum_s C t_s T_{s,v,t} \\
 & \sum_t \sum_j \sum_s C p_s Q p_{s,j,t} - \sum_t \sum_s C d_s Q d_{s,t}
 \end{aligned} \tag{1}$$

- **Restrições**

No caso em discussão, há características de flexibilidade e potencial de adaptabilidade a diferentes cenários de operação, que se desejam para o modelo. Por outro lado, considera-se fabrico de produtos, uma vez que se considera um elo de transformação na cadeia de abastecimento.

$$\begin{aligned}
 S_{s,t} = S_{s,t-1} + R_{s,t} + \sum_{v \in V_{v,s}^{in}} r_s^T T_{s,v,t} + \sum_{j \in J_{j,s}^{in}} r_s^P Q p_{s,j,t} - D_{s,t} - \sum_{v \in V_{v,s}^{out}} r_s^T T_{s,v,t} \\
 - \sum_{j \in J_{j,s}^{out}} r_s^P Q p_{s,j,t}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$\forall s \in S; \forall t = 1, \dots, H + 1$

Assim, para réplica de contexto realista, consideram-se limites diversos para as diferentes variáveis do modelo, nomeadamente ao nível das capacidades de armazenamento de material em cada equipamento ou facilidade, limitações de transporte de materiais (expedições, receções, capacidade de veículos), e ainda de capacidade produtiva, para os elos em que se verifique fabrico de produtos.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

- **Capacidade**

Tabela 5 – Lista de fatores capacitivos (mínimos e máximos) do modelo

○ <b><u>Stocks</u></b>		
$\sum_{s \in W_k} S_{s,t} \leq CW_k$	$\forall t; \forall k \in K; \forall t$	(3)
Estas condições traduzem o facto de em cada <i>slot</i> de tempo, <i>t</i> , o total de materiais armazenáveis no armazém <i>k</i> , $W_k$ , não poder ultrapassar a capacidade desse armazém, $CW_k$ .		
$\%W_s^{min} CW_k \leq S_{s,t} \leq \%W_s^{max} CW_k$	$\forall k \in K; \forall s \in W_k; \forall t$	(4)
Estas condições representam os limites mínimo e máximo, em cada <i>slot</i> de tempo, <i>t</i> , e para cada material, <i>s</i> , de acordo com a proporção de materiais armazenáveis no armazém <i>k</i> , $W_k$ , em função da sua capacidade, $CW_k$ .		
○ <b><u>Abastecimento Externo ou Receção</u></b>		
$R_{s,t}^{min} \leq R_{s,t} \leq R_{s,t}^{max}$	$\forall s \in S; \forall t$	(5)
Estas condições representam, em cada <i>slot</i> de tempo, <i>t</i> , e para cada material, <i>s</i> , o total de materiais recebidos, sujeitos às quantidades mínimas, $R_{s,t}^{min}$ , e máximas, $R_{s,t}^{max}$ .		
○ <b><u>Expedições ou Entregas</u></b>		
$D_{s,t}^{min} \leq D_{s,t} \leq D_{s,t}^{max}$	$\forall s \in S; \forall t$	(6)
Estas condições representam, em cada <i>slot</i> de tempo, <i>t</i> , e para cada material, <i>s</i> , o total de materiais expedidos, sujeitos às quantidades mínimas, $D_{s,t}^{min}$ , e máximas, $D_{s,t}^{max}$ .		
○ <b><u>Processamento / Fabrico</u></b>		
$CF_{s,j,t}^{min} \leq Qp_{s,j,t} \leq CF_{s,j,t}^{max}$	$\forall s \in S; j \in J_s^{out}; \forall t$	(7)

Estas condições representam, em cada <i>slot</i> de tempo, $t$ , para cada equipamento ou facilidade, $j$ , e para cada material, $s$ , a capacidade de fabrico, ou processamento, sujeitos às quantidades mínimas, $CF_{s,j,t}^{min}$ , e máximas, $CF_{s,j,t}^{max}$ .		
○ <b><u>Transporte</u></b>		
$T_{s,v,t}^{min} \leq T_{s,v,t} \leq T_{s,v,t}^{max}$	$\forall s \in S; \forall v \in V; \forall t$	<b>(8)</b>
Estas condições representam, em cada <i>slot</i> de tempo, $t$ , para cada veículo, $v$ , e para cada material, $s$ , a capacidade de transporte do veículo, sujeitos às quantidades mínimas, $T_{s,t}^{min}$ , e máximas, $T_{s,t}^{max}$ .		

Fonte: Elaboração Própria

### 3.4 Desenvolvimento & Implementação do modelo

O modelo desenvolvido para a análise foi elaborado com recurso à linguagem de programação *Python*. O recurso à linguagem de programação confere ao modelo um elevado grau de personalização e adaptabilidade a diferentes realidades que se queiram analisar, seja através da inclusão de novos elos, variabilidade de custos e proveitos da operação, limites/referências para as quantidades trabalhadas em cada um dos elos, entre muitas outras opções. Através das bibliotecas da linguagem é possível ter acesso a diferentes bases de dados, por forma a contribuir para a resolução de modelos de otimização.

### 3.5 Sumário

Em suma, pretende-se com o modelo formalizar e contextualizar uma ferramenta cuja aplicabilidade se reflita no dia-a-dia de uma entidade, através da análise de incerteza e fatores disruptivos.

Acontecimentos recentes, tais como a pandemia e os conflitos entre a Rússia e a Ucrânia, ou no Médio-Oriente, têm fragilizado as cadeias de abastecimento, expondo problemas que, até então, não teriam sido tão explorados. Com os desenvolvimentos à escala global, ganham importância ferramentas que permitam aos *stakeholders* de uma entidade uma tomada de decisão mais fundamentada e assertiva.

## **4 Cenários de Planeamento da Cadeia: demonstração e avaliação**

Para efeitos de implementação do modelo apresentado na secção anterior, considera-se um contexto ficcionado, na área da indústria de fabrico de café embalado em cápsula. Assim, na primeira secção caracteriza-se o contexto de aplicação e a sua parametrização, enquanto as seguintes centram-se na caracterização industrial do caso de estudo e implementação do modelo.

### **4.1 Demonstração – Contexto de aplicação**

Nesta etapa da metodologia é realizada a caracterização do contexto de uso do artefacto, neste caso, trata-se de um contexto ficcionado, na área da indústria de fabrico de café embalado em cápsula. Assim, em termos do contexto de uso, a demonstração é conduzida em duas etapas, a de (i) dimensão e características gerais do contexto e a de (ii) caracterização e parametrização do caso industrial.

#### **I. Características gerais do contexto**

Em termos características gerais, o contexto de implementação do modelo considera uma CA compreendendo quatro elos, que correspondem, respetivamente, ao fornecedor, fabricante ou transformador, distribuidor e retalhista. Cada um destes elos está sujeito a uma série de restrições que resultam de requisitos de operação, económicos ou de recursos de natureza diversa, e também dos valores de parâmetros, que afetam diretamente o resultado obtido, nomeadamente constantes associadas aos custos e proveitos da operação em cada elo, cujo impacto se refletirá no resultado global do planeamento da cadeia de abastecimento.

Numa primeira fase, o modelo foi estruturado para representar os quatro elos acima descritos, e com o objetivo de permitir construir e analisar os resultados obtidos para diferentes referenciais temporais.

Para o efeito, o contexto de uso compreende o fabrico de dois produtos acabados, a partir de duas matérias-primas distintas, em que os fatores de conversão da matéria-prima diferem de acordo com o produto final.

## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Em termos dos pressupostos do modelo, assume-se que os diferentes elos são abastecidos e fornecem entidades dentro e fora da cadeia de abastecimento, à exceção do retalhista. O abastecimento do retalhista deve ser realizado exclusivamente pelo elo de distribuição dentro da cadeia de abastecimento (numa lógica de comparabilidade a operação de central de compras).

A demonstração é realizada numa lógica de cenários de operação, que pretende analisar diferentes valências do modelo.

O planeamento é conduzido numa escala de tempo agregada sobre a qual se desenvolvem os cenários, bem como o racional considerado no desenvolvimento e implementação do modelo baseado em inputs e outputs, com inventário a montante e jusante de cada nó da cadeia de abastecimento, e os próprios montantes associados a cada unidade (de ordem de grandeza reduzida).

Considera-se ainda a inclusão de retorno do produto acabado e a reintrodução do mesmo na cadeia de abastecimento.

### II. Caracterização e parametrização do caso industrial

A indústria eleita para análise do modelo foi a indústria da produção de café, nomeadamente produção de café em cápsulas.

O motivo da escolha prende-se com diversos fatores, entre eles a análise de um produto com o qual a população em geral se encontra familiarizada, bem como a própria indústria que se insere num mercado com bastante informação e com relativa facilidade de acesso aos preços praticados e respetiva construção de racional de custeio com base nos mesmos.

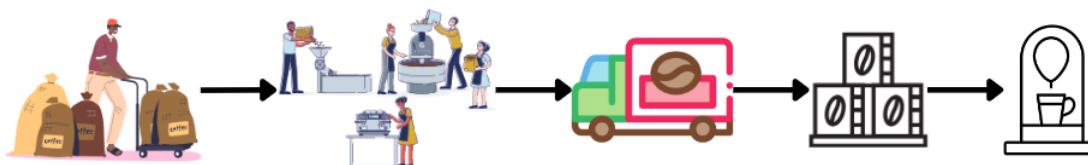


Figura 6. Ilustração de Cadeia de Abastecimento aplicável às cápsulas de café

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

O processo de fabrico das cápsulas de café implica várias etapas, nomeadamente a mistura dos diferentes tipos de grãos de café, a moagem de grãos de café, o enchimento das cápsulas (preparação/fabrico das cápsulas, enchimento e selagem das mesmas), e ainda a embalagem e rotulagem.

Para o cenário construído consideram-se duas misturas de café, fabricadas a partir de dois tipos de grãos de café distintos, e fazendo-se variar as percentagens de cada grão na mistura, como exposto infra.

O modelo, tal como anteriormente exposto, considera quatro diferentes elos. Os produtos circulam dentro da cadeia de abastecimento da seguinte forma:

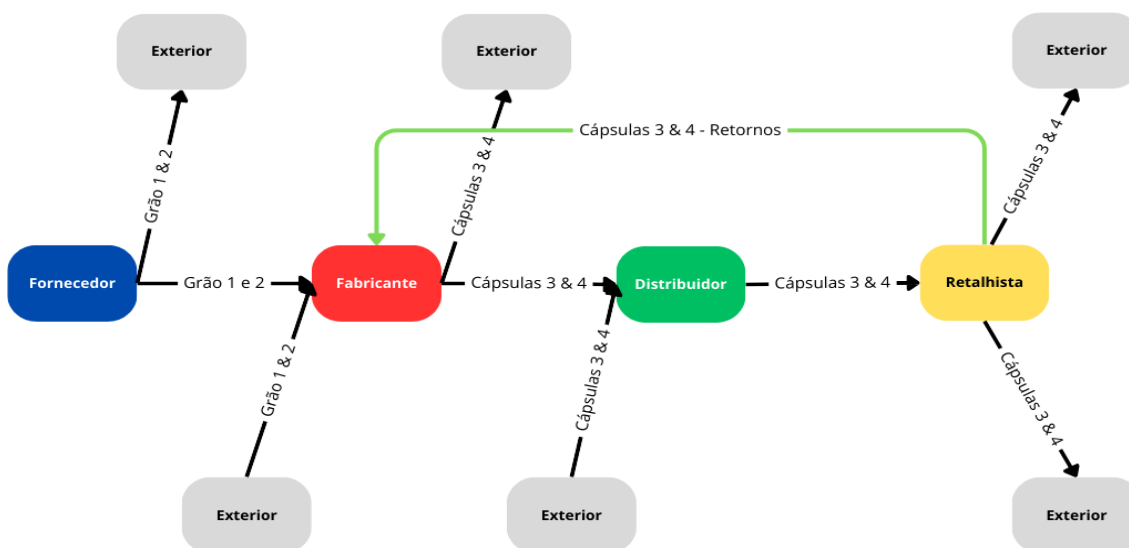


Figura 7. Fluxograma das referências consideradas na elaboração do cenário prático

Fonte: Elaboração Própria

Como é possível verificar, nos diversos elos foram considerados abastecimentos e expedições internas (produto a circular dentro da cadeia de abastecimento) e externas (produto com origem/destino externo à cadeia de abastecimento).

## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Para a análise do comportamento, considera-se um racional de escala de tempo agregada, refletindo-se no modelo ao considerar 54 *slots* de tempo, o que corresponde a um referencial temporal de um ano, 52 semanas, acrescido de duas semanas adicionais (i.e., a semana que antecede o início do ano, e a semana que inicia o ano seguinte), por forma a analisar os comportamentos numa perspetiva de continuidade, reduzindo-se na análise o efeito do *cut-off* de operações.

Relativamente aos parâmetros do modelo considera-se:

### 4.1.1 Fornecedor

Representa o primeiro elo da CA e compreende a receção e a expedição de café em grão em quilogramas.

#### ✓ Parâmetros

Dizem essencialmente respeito aos valores de custos e proveitos associados a cada um dos produtos. No caso do fornecedor, as unidades são expressas em quilogramas, sendo considerados os preços unitários de venda em unidades monetárias/kg (doravante u.m./kg).

Tabela 6. Parâmetros associados ao elo do fornecedor

Constante	Valor [u.m./kg]	Descrição
$pv_{grão\ 1}$	6.00	Preço de venda/KG de <i>grão</i> 1
$pv_{grão\ 2}$	4.00	Preço de venda/KG de <i>grão</i> 2
$ca_{grão\ 1}$	1.00	Custo de Aquisição/KG de <i>grão</i> 1
$ca_{grão\ 2}$	1.00	Custo de Aquisição/KG de <i>grão</i> 2
$cw_{grão\ 1}$	0.20	Custo de Armazenamento/KG de <i>grão</i> 1
$cw_{grão\ 2}$	0.20	Custo de Armazenamento/KG de <i>grão</i> 2
$ct_{grão\ 1}$	0.20	Custo de Transporte/KG de <i>grão</i> 1
$ct_{grão\ 2}$	0.20	Custo de Transporte/KG de <i>grão</i> 2

Fonte. Elaboração própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

✓ Variáveis

Tabela 7. Variáveis associadas ao elo do fornecedor

Variável	Descrição
$S_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de <i>grão 1</i> , em cada tempo $t$
$S_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de <i>grão 2</i> , em cada tempo $t$
$R_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de <i>grão 1</i> , em cada tempo $t$
$R_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de <i>grão 2</i> , em cada tempo $t$
$E_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de <i>grão 1 para o exterior</i> , em cada tempo $t$
$E_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de <i>grão 2 para o exterior</i> , em cada tempo $t$
$T_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de <i>grão 1</i> para o elo seguinte, em cada $t$
$T_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de <i>grão 2</i> para o elo seguinte, em cada $t$

Fonte. Elaboração própria

As variáveis atribuídas ao modelo para otimização são os stocks de grão 1 e de grão 2, bem como as quantidades recebidas, expedidas/entregues (para clientes fora da cadeia de abastecimento) e as transportadas (para o elo seguinte ou parceiro da cadeia de abastecimento).

✓ Restrições Gerais

O *stock* está definido para cada um dos produtos da seguinte forma:

- Grão 1: stock inicial de 2000kg, sendo que em todo o momento o stock terá de ser igual ou superior a 1000kg.
- Grão 2: stock inicial de 3000kg, sujeito à restrição de stock igual ou superior a 1000kg em todas as iterações.
- As quantidades recebidas estão sujeitas a uma restrição de limite máximo, tendo sido implementada uma solução de variabilidade cíclica para essa quantia. Para o grão 1 o limite varia entre 2000kg e 3000kg, já no caso do grão 2 assumiu-se que a capacidade de fornecimento é de 6000kg, variando a cada 2 *slots* de tempo (i.e., 2 semanas) entre 0kg e 6000kg.
- Para as quantidades expedidas aplicou-se uma lógica semelhante, no entanto a restrição atua sobre os valores mínimos de quantidade a transportar (para o elo do fabricante). No caso do grão 1, as quantidades mínimas oscilam entre 1000kg e 1500kg. Já no grão 2 assume-se a quantidade mínima como 1250kg para todas os *slots*

## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

de tempos (i.e., semanas do ano). Adicionalmente, a quantidade expedida para fora da cadeia de abastecimento ('entregue') estabeleceu-se com um valor semanal mínimo de 500kg, em todos os *slots* de tempo (i.e., semanas do ano).

### 4.1.2 Fabricante

Para efeitos do modelo, assume-se que cada embalagem ou caixa tem capacidade para 10 cápsulas. Neste nó da cadeia de abastecimento coexistem duas unidades de medida distintas, nomeadamente o kg (aplicável às matérias-primas) a cápsula, e ainda, a caixa, como anteriormente referido.

#### ✓ Parâmetros

No caso do fabricante, coexistem dois referenciais unitários, sendo kg e unidade (cápsula), com os respetivos parâmetros associados escritos em função da unidade de referência. Neste elo ocorre a transformação de produtos, e ainda o respetivo embalamento, que compreende cápsulas e caixas, conforme anteriormente exposto.

Tabela 8 – Valores ficcionados para os parâmetros associados ao fabricante

Constante	Valor [u.m./kg]	Descrição
$pv_{caps\ 3}$	0.12	Preço de venda/KG de cápsula 3
$pv_{caps\ 4}$	0.14	Preço de venda/KG de cápsula 4
$ca_{grão\ 1}$	6.00	Custo de Aquisição/KG de grão 1
$ca_{grão\ 2}$	4.00	Custo de Aquisição/KG de grão 2
$cw_{grão\ 1}$	0.50	Custo de Armazenamento/KG de grão 1
$cw_{grão\ 2}$	0.50	Custo de Armazenamento/KG de grão 2
$cw_{caps\ 3}$	0.50	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 3
$cw_{caps\ 4}$	0.50	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 4
$ct_{caps\ 3}$	0.20	Custo de Transporte/unid de cápsula 3
$ct_{caps\ 4}$	0.20	Custo de Transporte/unid de cápsula 4
$ca_{emb\ 3.1 - forn\ A}$	0.0005	Custo de Aquisição/unid do invólucro (cápsula 3) via fornecedor A
$ca_{emb\ 4.1 - forn\ A}$	0.0005	Custo de Aquisição/unid do invólucro (cápsula 4) via fornecedor A
$ca_{emb\ 3.2 - forn\ B}$	0.0008	Custo de Aquisição/unid do invólucro (cápsula 3) via fornecedor B
$ca_{emb\ 4.2 - forn\ B}$	0.0008	Custo de Aquisição/unid do invólucro (cápsula 4) via fornecedor B
$ca_{box\ 3.1 - forn\ A}$	0.0010	Custo de Aquisição/unid da caixa (cápsula 3) via fornecedor A

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

$ca_{box\ 4.1 - forn\ A}$	0.0010	Custo de Aquisição/unid da <i>caixa</i> (cápsula 4) via fornecedor A
$ca_{box\ 3.2 - forn\ B}$	0.0012	Custo de Aquisição/unid da <i>caixa</i> (cápsula 3) via fornecedor B
$ca_{box\ 4.2 - forn\ B}$	0.0012	Custo de Aquisição/unid da <i>caixa</i> (cápsula 4) via fornecedor B
$cd_{caps\ 3}$	0.0060	Custo de devolução e reinserção de cápsula 3
$cd_{caps\ 4}$	0.0060	Custo de devolução e reinserção de cápsula 4

Fonte. Elaboração própria

Consideram-se também o efeito dos desperdícios, que ascendem a 3% para a produção de cápsulas 3 (97% de aproveitamento / produção líquida) e 1% para a produção de cápsulas 4 (99% de aproveitamento / produção líquida). Adicionalmente, existe o efeito das devoluções, que também é considerado no modelo. Este incide sobre o total de quantidades comercializadas pelo retalhista, e assume-se que ascendem a 10% das mesmas. Ao que foi possível apurar, na indústria do café quando ocorrem reclamações e devoluções, estas são analisadas pelo departamento de qualidade, que conclui acerca do problema e decide se o mesmo poderá ser, ou não, reinserido na produção. A motivação para a implementação é justificada pelo facto de a devolução e reinserção do produto ser uma realidade existente na maioria das cadeias de abastecimento sustentáveis.

Para efeitos da produção das cápsulas de café (conversão de kg em cápsulas ou unidades), assume-se que cada cápsula tem um peso de 0.005kg (5 gramas). Cada cápsula de C compreende uma mistura de 50% de A + 50% de B, por sua vez cada cápsula de D é constituída por 33.3% de A + 66.7% de B. Ao nível dos materiais de embalagem, considerou-se a própria cápsula, que é consumida 1 cápsula por cada unidade produzida, bem como uma segunda embalagem, no caso considerada como caixa, que tem capacidade para 10 cápsulas, ocorrendo consumo a cada 10 unidades produzidas.

✓ **Variáveis**

As variáveis atribuídas ao modelo para otimização são os stocks de café em grão e em cápsula, e de embalagens, nomeadamente cápsulas e caixas, bem como as quantidades recebidas, expedidas/entregues (para clientes fora da cadeia de abastecimento) e as transportadas (para o elo seguinte ou parceiro da cadeia de abastecimento).

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Tabela 9 - Variáveis associadas ao elo do fabricante

Variável	Descrição
$S_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade em stock de grão 1, em cada tempo $t$
$S_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade em stock de grão 2, em cada tempo $t$
$R_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade recebida de grão 1 do exterior, em cada tempo $t$
$R_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade recebida de grão 2 do exterior, em cada tempo $t$
$T_{gr\tilde{a}o\ 1,t}$	Quantidade recebida de grão 1 desde o fornecedor, em cada $t$
$T_{gr\tilde{a}o\ 2,t}$	Quantidade recebida de grão 2 desde o fornecedor, em cada $t$
$S_{caps\ 3,t}$	Quantidade em stock de cápsula 3, em cada tempo $t$
$S_{caps\ 4,t}$	Quantidade em stock de cápsula 4, em cada tempo $t$
$E_{caps\ 3,t}$	Quantidade expedida de cápsula 3 para o exterior, em cada $t$
$E_{caps\ 4,t}$	Quantidade expedida de cápsula 4 para o exterior, em cada $t$
$T_{caps\ 3,t}$	Quantidade expedida de cápsula 3 para o elo seguinte, em cada $t$
$T_{caps\ 4,t}$	Quantidade expedida de cápsula 4 para o elo seguinte, em cada $t$
$S_{emb\ 3.1 - forn\ A,t}$	Quantidade em stock de invólucro (cápsula 3) via fornecedor A, em cada $t$
$S_{emb\ 4.1 - forn\ A,t}$	Quantidade em stock de invólucro (cápsula 4) via fornecedor A, em cada $t$
$S_{emb\ 3.2 - forn\ B,t}$	Quantidade em stock de invólucro (cápsula 3) via fornecedor B, em cada $t$
$S_{emb\ 4.2 - forn\ B,t}$	Quantidade em stock de invólucro (cápsula 4) via fornecedor B, em cada $t$
$S_{box\ 3.1 - forn\ A,t}$	Quantidade em stock de embalagem (caixa 3) via fornecedor A, em cada $t$
$S_{box\ 4.1 - forn\ A,t}$	Quantidade em stock de embalagem (caixa 4) via fornecedor A, em cada $t$
$S_{box\ 3.2 - forn\ B,t}$	Quantidade em stock de embalagem (caixa 3) via fornecedor B, em cada $t$
$S_{box\ 4.2 - forn\ B,t}$	Quantidade em stock de embalagem (caixa 4) via fornecedor B, em cada $t$
$R_{emb\ 3.1 - forn\ A,t}$	Quantidade recebida de invólucro (cápsula 3) via fornecedor A, em cada $t$
$R_{emb\ 3.2 - forn\ A,t}$	Quantidade recebida de invólucro (cápsula 4) via fornecedor A, em cada $t$
$R_{emb\ 4.1 - forn\ B,t}$	Quantidade recebida de invólucro (cápsula 3) via fornecedor B, em cada $t$
$R_{emb\ 4.2 - forn\ B,t}$	Quantidade recebida de invólucro (cápsula 4) via fornecedor B, em cada $t$
$R_{box\ 3.1 - forn\ A,t}$	Quantidade recebida de embalagem (caixa 3) via fornecedor A, em cada $t$
$R_{box\ 3.2 - forn\ A,t}$	Quantidade recebida de embalagem (caixa 4) via fornecedor A, em cada $t$
$R_{box\ 4.1 - forn\ B,t}$	Quantidade recebida de embalagem (caixa 3) via fornecedor B, em cada $t$
$R_{box\ 4.2 - forn\ B,t}$	Quantidade recebida de embalagem (caixa 4) via fornecedor B, em cada $t$
$Qf_{caps\ 3,f1,t}$	Quantidade fabricada de cápsula 3, no fabricante $f1$ , em cada tempo $t$
$Qf_{caps\ 4,f1,t}$	Quantidade fabricada de cápsula 4, no fabricante $f1$ , em cada tempo $t$
$Qd_{caps\ 3,t}$	Quantidade devolvida de cápsula 3, em cada tempo $t$
$Qd_{caps\ 4,t}$	Quantidade devolvida de cápsula 4, em cada tempo $t$

Fonte. Elaboração própria

### ✓ Restrições Gerais

O stock está definido para cada um dos produtos da seguinte forma:

- Grão 1: stock inicial de 250 kg, sendo que em todo o momento o stock terá de se situar entre 100kg e 3000kg;
  - Grão 2: stock inicial de 400kg, sujeito à restrição de stock igual ou superior a 100kg e não ultrapassar 3000kg em todas as iterações;
  - Cápsulas 3: stock inicial de 100000 cápsulas, e nas restantes iterações situar-se entre 90000 e 600000 cápsulas;
  - Cápsulas 4: stock inicial de 100000 cápsulas, nas restantes iterações obrigatoriamente entre 90000 e 6000000 cápsulas;
  - Cápsulas 3 e 4: stock inicial de 300000 invólucros (para cada um dos produtos), correspondente também à quantidade mínima de stock em todas os slots de tempo ou semanas do ano;
  - Caixas para Cápsulas 3 e 4: stock inicial de 30000 caixas (para cada um dos produtos), sendo também esta a quantidade mínima de stock nas restantes iterações.
- As quantidades recebidas têm origem no elo anterior do fabricante, e também origem externa. Para o produto que se desloca dentro da cadeia de abastecimento, este encontra-se sujeito às restrições inerentes à expedição do nó anterior. Por sua vez, as quantidades resultantes de abastecimento externo possuem uma variabilidade constante ou cíclica, sendo respetivamente, limite máximo de 500kg por semana para grão 1 e oscilando semanalmente entre 500kg e 1000kg para o grão 2 (i.e., por slot de tempo t). Foram de forma similar definidas restrições ao nível dos invólucros e caixas necessárias para a produção de cápsulas 3 e 4, tal como definidas no código desenvolvido.
- Para as quantidades expedidas definiram-se quantidades mínimas, nomeadamente 150000 cápsulas 3 e 150000 cápsulas 4 expedidas para o nó do distribuidor pertencente à cadeia de abastecimento, bem como expedição para fora da cadeia de abastecimento com mínimos de 50000 cápsulas para cada um dos produtos cápsulas 3 e 4. Definiu-

## Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

se também que a quantidade de cápsulas produzida terá de ser sempre superior a 200000 cápsulas de cada produto, sendo a capacidade máxima produtiva de 2000000 de cápsulas para cada produto.

### 4.1.3 Distribuidor

No elo do centro de distribuição, ou distribuidor, as unidades de referência são apenas cápsulas, onde ocorre novamente receção de mercadorias oriundas do fabricante dentro da cadeia de abastecimento, por transporte, bem como receção de mercadorias vindas do exterior. Por outro lado, ao nível da expedição, considera-se apenas existir expedição para o retalhista, replicando uma lógica de central de compras.

#### ✓ Parâmetros

Os valores unitários associados ao preço de venda são por 0.22 u.m. para os preços de venda unitários de cápsula 3 e 4, já os custos de aquisição correspondem aos preços de venda tabelados pelo fabricante. Existem ainda custos de armazenamento e de transporte, de 0.01 u.m. para cada um dos produtos.

Tabela 10 - Parâmetros associados ao elo do distribuidor

Constante	Valor [u.m./unid]	Descrição
$pv_{caps\ 3}$	0.22	Preço de venda/unid de cápsula 3
$pv_{caps\ 4}$	0.22	Preço de venda/unid de cápsula 4
$ca_{caps\ 3}$	0.12	Custo de Aquisição/unid de cápsula 3
$ca_{caps\ 4}$	0.14	Custo de Aquisição/unid de cápsula 4
$cw_{caps\ 3}$	0.01	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 3
$cw_{caps\ 4}$	0.01	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 4
$ct_{caps\ 3}$	0.01	Custo de Transporte/unid de cápsula 3
$ct_{caps\ 4}$	0.01	Custo de Transporte/unid de cápsula 4

Fonte: Elaboração própria

#### ✓ Variáveis

Por sua vez, as variáveis associadas ao elo de distribuição são o *stock* de cápsulas 3 e 4 em cada semana (t), bem como as quantidades recebidas (oriundas do exterior da cadeia de abastecimento), quantidades transportadas (com origem no fabricante) e quantidades entregues (apenas existe expedição para o retalhista, como acima exposto).

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Tabela 11 - Variáveis associadas ao elo do distribuidor

Variável	Descrição
$S_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de cápsula 3, em cada tempo $t$
$S_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de cápsula 4, em cada tempo $t$
$R_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 3, em cada tempo $t$
$R_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 4, em cada tempo $t$
$T_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 3 via fabricante, em cada $t$
$T_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 4 via fabricante, em cada $t$
$E_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de cápsula 3 para o retalhista, em cada $t$
$E_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de cápsula 4 para o retalhista, em cada $t$

Fonte: Elaboração própria

✓ **Restrições Gerais**

Ao nível dos stocks de cada produto, definiram-se regras idênticas para os produtos cápsulas 3 e 4. Inicialmente considerando-se um stock inicial de 50000 unidades de cápsulas 3 e 30000 de 4, estando estes sujeitos a valores entre 25000 e 2000000 de cápsulas. Tal como nos elos anteriores, também se considera uma solução de variabilidade cíclica, para entradas e saídas de produto. No caso das receções, considera-se que as quantidades de cápsulas 3 recebidas externas à cadeia de abastecimento com um valor máximo a oscilar entre 20000 e 40000 unidades, já as quantidades de cápsulas 4 recebidas assumem um valor constante de 30000 unidades. A expedição está sujeita a um valor mínimo que oscila entre 60000 e 90000 para cápsulas 3, mantendo-se sempre como mínimo de 75000 unidades de cápsulas 4.

**4.1.4 Retalhista**

Por fim, o elo do retalhista, onde novamente apenas existem como unidades de referência as cápsulas.

✓ **Parâmetros**

Neste elo verifica-se a menor capacidade de armazenamento, bem como os valores associados mais elevados, para cada uma das referências.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Tabela 12 - Parâmetros associados ao elo do retalhista

Constante	Valor [u.m./unid]	Descrição
$pv_{caps\ 3}$	0.35	Preço de venda/unid de cápsula 3
$pv_{caps\ 4}$	0.35	Preço de venda/unid de cápsula 4
$ca_{caps\ 3}$	0.22	Custo de Aquisição/unid de cápsula 3
$ca_{caps\ 4}$	0.22	Custo de Aquisição/unid de cápsula 4
$cw_{caps\ 3}$	0.01	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 3
$cw_{caps\ 4}$	0.01	Custo de Armazenamento/unid de cápsula 4
$ct_{caps\ 3}$	0.02	Custo de Transporte/unid de cápsula 3
$ct_{caps\ 4}$	0.02	Custo de Transporte/unid de cápsula 4

Fonte: Elaboração própria

✓ Variáveis

As variáveis para efeitos de cálculo da função objetivo são os stocks de cápsulas 3 e 4 em cada momento, bem como as quantidades recebidas, transportadas e entregues, de ambas as referências.

Tabela 13 - Variáveis associadas ao elo do retalhista

Variável	Descrição
$S_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de cápsula 3, em cada tempo $t$
$S_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>em stock</i> de cápsula 4, em cada tempo $t$
$R_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 3, em cada tempo $t$
$R_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>recebida</i> de cápsula 4, em cada tempo $t$
$T_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>transportada</i> de cápsula 3 para o exterior, em cada $t$
$T_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>transportada</i> de cápsula 4 para o exterior, em cada $t$
$E_{caps\ 3,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de cápsula 3 para o exterior, em cada $t$
$E_{caps\ 4,t}$	Quantidade <i>expedida</i> de cápsula 4 para o exterior, em cada $t$

Fonte: Elaboração própria

✓ Restrições Gerais

Neste caso, os *stocks* iniciais assumem-se como 20000 e 12000 unidades de cápsulas 3 e 4, respetivamente. Os *stocks* de ambos os produtos estão sujeitos a um mínimo de 5000 unidades e máximo de 800000 unidades.

A quantidade entregue (via distribuidor) possui um plano de abastecimento de cápsulas, como anteriormente exposto. Em contrapartida, a quantidade transportada está também

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

sujeita a um mínimo de 40.000 unidades, para as cápsulas 3 e 4, e tem um limite máximo cíclico definido, que oscila entre 60.000 e 80.000 unidades, para cada um dos produtos.

As quantidades devolvidas ao fabricante incidem sobre o total de cápsulas expedidas (entregues + transportadas) em cada semana (i.e., em cada iteração de tempo).

## **4.2 Avaliação – Planeamento da Cadeia: cenário Base**

Numa primeira fase, construiu-se um contexto de avaliação sem implementar momentos de disrupção ou incerteza. Este cenário surge de forma a melhor entender o modelo, e a sua aplicação ao caso industrial descrito. Os resultados apresentados em seguida representam a operação em ‘cenário ideal’, para os vários elos da cadeia de abastecimento.

### **4.2.1 Fornecedor**

O stock tendencialmente mantém-se nos níveis mínimos possíveis no caso do grão 1, já no grão 2 oscila entre 1000kg e 4000kg, derivado do abastecimento ser considerado de periodicidade quinzenal. Por sua vez, os abastecimentos apresentam-se no máximo possível face às restrições anteriormente explanadas, tal como se pode constatar na Figura A 2, enquadrada no Apêndice A a este trabalho.

Ao nível das quantidades expedidas para o fabricante e também entregues para fora da *supply chain*, a quantidade expedida para o exterior toma o valor mínimo para o grão 2 e varia entre 500 e 1000 para o grão 1 (como o proveito associado é superior, o modelo tende a expedir maior quantidade deste material), sendo que as quantidades fornecidas ao elo seguinte da cadeia oscilam geralmente entre 1500kg e 1800kg de A e cerca de 2500kg de B, sendo que na primeira iteração o valor é superior motivado pelas existências iniciais consideradas. Adicionalmente, verifica-se que no último instante ocorre uma expedição de material superior ao padrão. Este fenómeno é gerado pelo facto de o último instante corresponder ao momento final, em que deixa de existir a necessidade de salvaguardar mais produto até ao abastecimento seguinte para continuar a dar resposta às necessidades de consumo a jusante, maximizando assim os proveitos possíveis para o instante.

#### **4.2.2 Fabricante**

No elo de fabrico ou produção, é onde ocorre a transformação de café em grão para cápsulas. Do ponto de vista operacional, é o elo mais complexo, pois compreende as operações de mistura, moagem, embalagem e rotulagem.

Ao nível das matérias-primas, as provenientes do fornecedor encontram-se descritas no tópico anterior. Adicionalmente, verifica-se que o fabricante recorre também à disponibilidade externa à CA (apresentam-se graficamente as evoluções de cada componente na Figura A 4).

Verifica-se uma tendência de aumento de *stock* nos últimos períodos do ano (momentos finais do planeamento), não só na matéria-prima do fabricante, mas também nos *elos* seguintes, em resultado do fecho da operação anual, sendo que se verifica em todos os elos maiores taxas de atividade, relacionadas com a contabilização do valor afeto às existências (i.e., diferença entre as existências iniciais e finais de planeamento, para cada um dos estados de material), conforme estabelecido no próprio modelo de otimização. Para efeitos de majoração do lucro, há mitigando os custos com *stocks* e criado valor para o período de fim de necessidade de acumular stocks para suprir necessidades dos momentos seguintes, entre outros. Ao nível dos produtos fabricados, os valores de expedição oscilam de acordo com as necessidades a jusante da cadeia de abastecimento, sendo que alguns apresentam-se, em todos os instantes de tempo, pelo mínimo estabelecido, nomeadamente 90000 unidades de *stock* e 50000 unidades expedidas para o exterior da cadeia de abastecimento (Apêndice A, Figura A 3).

#### **4.2.3 Distribuidor**

No caso do distribuidor, apenas existe fluxo de materiais, verificando-se que em todos os instantes está a ser expedido o máximo possível de unidades de cápsulas 3 e 4. O stock é mantido sempre no menor número possível de unidades, de acordo com as necessidades da operação (ilustração gráfica na Figura A 1).

#### **4.2.4 Retalhista**

No caso do retalhista, a quantidade de produto entregue acaba por ser privilegiada face à quantidade transportada, pelo facto de a primeira não ter associados custos de entrega, revelando-se uma situação mais vantajosa para a entidade. Os *stocks* são mantidos pelo seu valor mínimo, e as quantidades de retorno oscilam consoante as respetivas entregas (conforme se apresenta na Figura A 5, no Apêndice A).

Tal como anteriormente exposto, nas últimas iterações verifica-se uma variação no comportamento do modelo, em resultado da maior atividade nos momentos de fecho do período de planeamento.

### **4.3 Cenário de quebra no abastecimento de matérias-primas**

Tal como tivemos oportunidade de referir, nos últimos anos, as ocorrências de disrupção nas cadeias de abastecimento têm sido bastante frequentes, com impactos à escala mundial, e cuja origem se justifica com a pandemia COVID-19 e, mais recentemente, com conflitos tais como a guerra entre a Rússia e a Ucrânia, conflitos no Médio Oriente, entre outros. Com a globalização, a ocorrência destes fatores disruptivos e de incerteza tornam-se cada vez mais frequentes.

Neste cenário de planeamento, pretende-se analisar, em cada um dos elos da cadeia de abastecimento, o impacto de quebras, quando estas ocorrem ao nível do abastecimento, comparando-se depois os comportamentos em cada um destes cenários com o cenário de operação estável, anteriormente exposto (cenário 1).

Serão testadas quebras de abastecimento que ocorrem num período pré-determinado de tempo e que levam à total ausência de abastecimento (i.e., zero). Para tanto, implementaram-se cenários de quebra de fornecimento em cada um dos elos da cadeia em análise. Tendo em conta a existência de abastecimentos e expedições com origem em fornecedor/clientes externos à cadeia, considera-se para efeitos de análise que estes parceiros continuam a apresentar capacidade de resposta durante a quebra de abastecimento, por forma a analisar se essas quebras permitem dar continuidade à atividade dos diferentes elos da cadeia de abastecimento.

### 4.3.1 Demonstração

Para efeito de cálculo e análise, considera-se a ocorrência de quebra de abastecimento em cada um dos elos, durante oito semanas (oito *slots* de tempo  $t$ ), entre as semanas 29 e a 37, através do estabelecimento de quantidades recebidas/expedidas nulas (i.e., quantias com origem interna na cadeia de abastecimento, parceiros).

No caso do fluxo a montante do fornecedor e a jusante do retalhista, os elos anteriores e posteriores, respetivamente, não se inserem no âmbito da cadeia de abastecimento.

#### 4.3.1.1 Quebra de Matéria-Prima no Fornecedor

Numa primeira iteração impactam-se os abastecimentos no fornecedor, sendo expectável que este seja um elo de grande impacto pelo facto de estar totalmente dependente da matéria-prima, grão 1 e grão 2. Como é possível observar nos gráficos infra, em ambos os produtos o modelo tende a acumular *stock* até ao momento da interrupção no abastecimento, por forma a conseguir dar resposta às necessidades durante a quebra e a jusante dela. Importa mencionar que, para o efeito do estudo dos diferentes cenários são eliminados os limites mínimos de expedições para os clientes externos à cadeia de abastecimento, uma vez que se está a representar um cenário de instabilidade, mantendo-se depois inalteradas as restantes restrições.

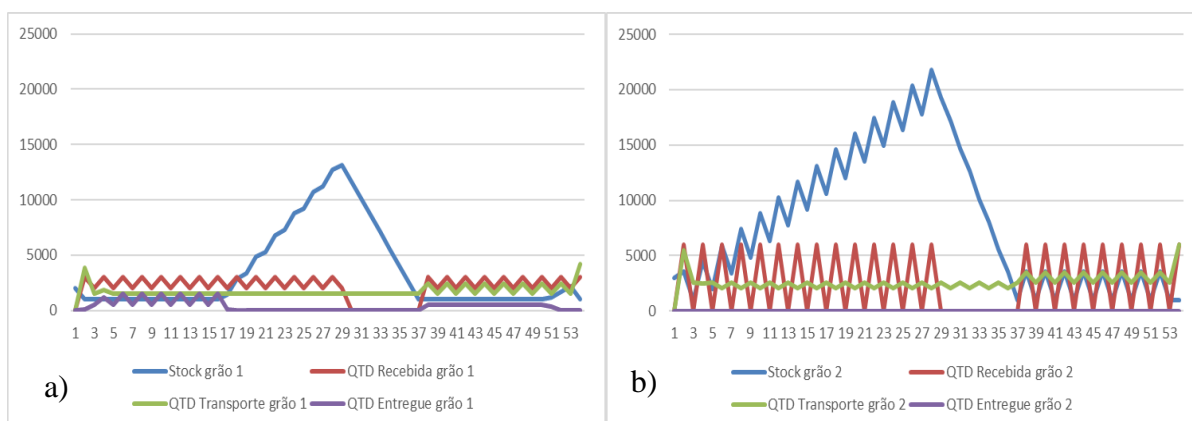


Figura 8 - Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor

Fonte: Elaboração Própria

Importa desde logo notar que o modelo está a programar o planeamento tendo por base o conhecimento *a priori* da existência de quebras futuras no abastecimento. Exatamente por haver essa informação prévia de quebra no abastecimento, o modelo de planeamento

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

ótimo responde com um crescente de *stock* que em situação de estabilidade não acontece, pois significaria aumentar os custos afetos às existências. De acordo com a Figura A 7, verifica-se que, para o grão 2, o modelo começa a acumular *stock* numa fase mais inicial que para o grão 1, pelo facto de as condições de abastecimento serem mais restritivas. A capacidade de armazenamento dos produtos mostra-se fundamental para que seja possível manter os compromissos de entrega durante o período de quebra.

Adicionalmente conclui-se que, caso se tratasse de um evento imprevisto (i.e., efetiva disrupção) a empresa necessitaria de um tempo de resposta de cerca de 14 e 29 semanas para fazer face a um período de carência, de cerca de dois meses (i.e., 8 *slots* de tempo), de grão 1 e 2, respetivamente.

A partir do instante 37 retomam-se as expedições, pois volta a haver disponibilidade de matérias-primas. Ao nível do grão 2, de acordo com a solução apresentada pelo modelo, não existe expedição para fora da cadeia de abastecimento, sendo toda a disponibilidade dedicada ao parceiro, o fabricante ou transformador. Contrariamente ao grão 2, verifica-se que o modelo tende a suspender as entregas de grão 1 entre os instantes 15 e 37, optando por acumular *stock* de grão 1 nesse período, sendo igualmente retomada a normal atividade a partir da semana 37. Em ambos, a partir do final da quebra, verifica-se um aumento das quantidades expedidas.

No caso do fabricante, verifica-se o impacto das reduções nos abastecimentos, estabelecidos pelo fornecedor. Assim que a montante a atividade é retomada, as quantidades trabalhadas aumentam significativamente.

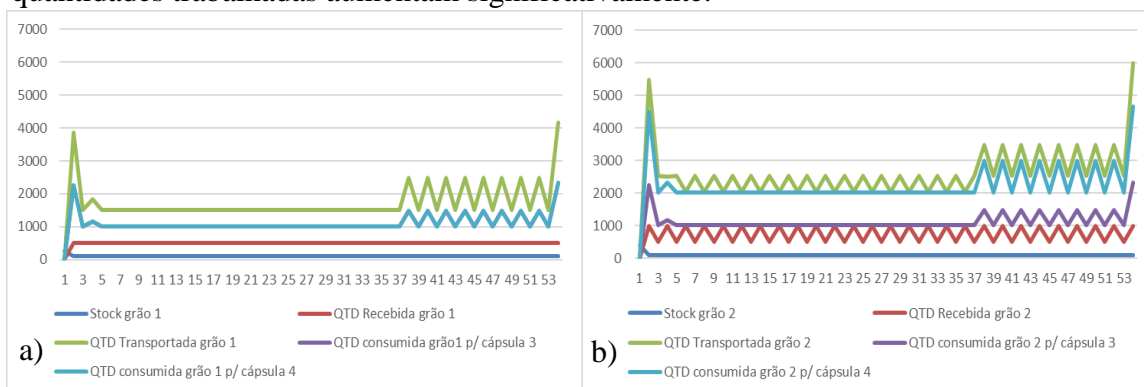


Figura 9 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

Como anteriormente exposto, no fabricante ocorre produção de cápsulas 3 e 4, a partir das matérias-primas grão 1 e grão 2. A evolução da produção é um reflexo do que ocorre antes desta etapa. Deste modo, logo que volta a haver disponibilidade de matérias-primas, a atividade produtiva aumenta, sendo fomentado o consumo por forma a mitigar os impactos observados nessas semanas. A evolução gráfica encontra-se na Figura A 7, no Apêndice A.

O centro de distribuição e o retalhista apresentam uma particularidade face aos restantes elos. Nestes, apenas existe expedição de material do centro de distribuição para o retalhista, não ocorrendo expedição do centro para clientes externos à cadeia, e no retalhista não há entradas de material de fornecedores externos à cadeia de abastecimento.

Em ambos os elos, o comportamento é bastante semelhante, ocorrendo um período de menor atividade quando o fabricante retrai as suas entregas, por forma a mitigar o impacto da quebra no abastecimento, existindo um aumento significativo da atividade assim que este volta a possuir disponibilidade para produzir e entregar material, levando à resposta do mercado de aumento de consumo. Os comportamentos encontram-se expostos graficamente no Apêndice A, nas Figura A 6 e Figura A 8.

Entre o distribuidor e o retalhista verifica-se uma elevada similaridade, fruto da dependência entre estes dois elos.

**4.3.1.2 Quebra de Matéria-Prima no Fabricante**

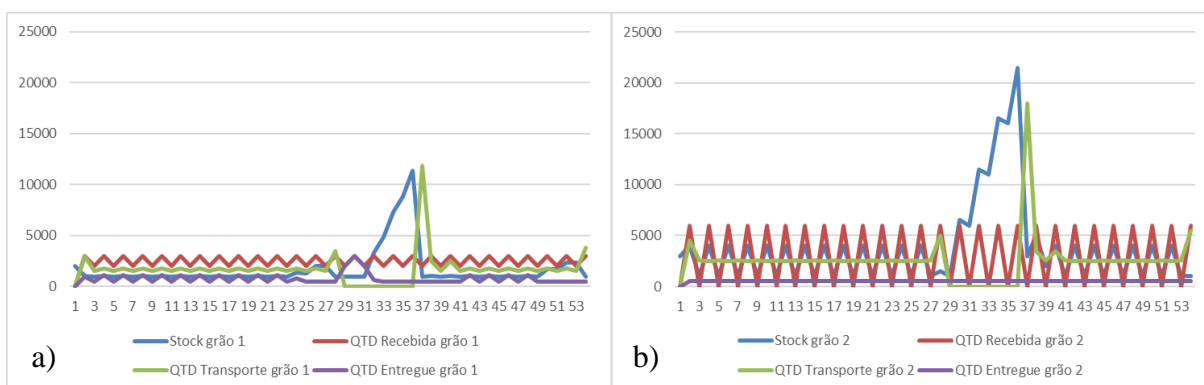


Figura 10 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

Desta vez, o cenário implica uma quebra entre os nós do fornecedor (expedição) e do fabricante ou transformador (abastecimento), nomeadamente entre os momentos 28 e 35 (i.e., nessas semanas).

De forma a não tornar inviável a obtenção de uma solução de planeamento, considerou-se que, durante a interrupção do fornecimento de matérias-primas ao fabricante, não existe limite mínimo de produção de cápsulas 3 e 4. É possível verificar que existe no fornecedor um aumento das quantidades expedidas para fora da cadeia de abastecimento numa fase inicial da quebra, no entanto a tendência inverte-se assim que se identifica a necessidade de aumentar os stocks para dar resposta às necessidades do fabricante, assim que termina a quebra no abastecimento.

No fabricante, as quantidades recebidas do exterior da cadeia de abastecimento são manifestamente pequenas, pelo que o seu impacto não é significativo o suficiente para se apresentar como uma solução de abastecimento alternativa. Assim que termina a quebra, ocorre um grande consumo de matérias-primas, com o objetivo de recuperar encomendas não cumpridas durante o período de quebra bem como recuperar do impacto sofrido durante essas semanas.

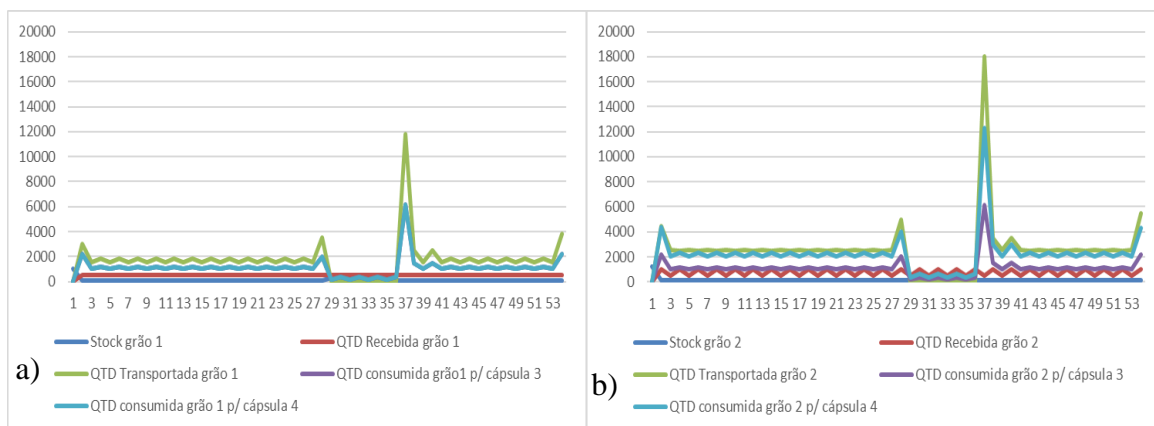


Figura 11 - Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Ao nível dos produtos acabados, verifica-se uma tendência de expedir menores quantidades, e acumular *stock* até aos momentos de quebra, por forma a dar resposta durante estas semanas. Logo que o fabricante apresenta novamente disponibilidade de

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

matérias-primas, existe um fabrico significativo de produto, passando a partir desse momento a trabalhar com quantidades superiores àquelas anteriormente verificadas. Caso se restrinja o limite superior de capacidade de produção e de transporte, o modelo mantém por um maior número de semanas o comportamento variável, ainda que em torno de valores acima das 20000 cápsulas, para qualquer dos produtos.

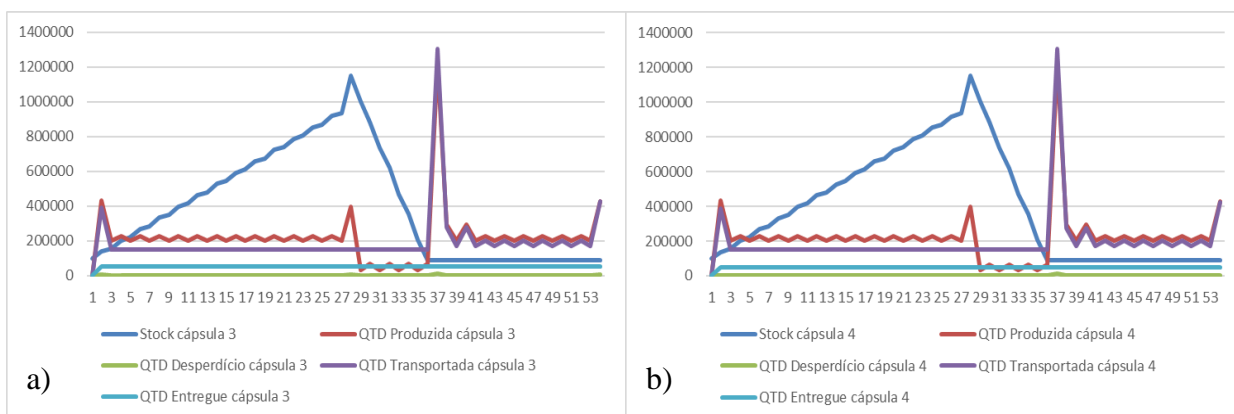


Figura 12 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Nos elos correspondentes ao distribuidor e ao retalhista, verifica-se que antes da ocorrência dessa interrupção no abastecimento ao fabricante, as quantidades trabalhadas são ligeiramente inferiores, existindo um pico correspondente à ocorrência no fabricante, estabilizando de aí em diante para o comportamento normal, com quantidades superiores às trabalhadas antes da quebra. Para o distribuidor e o retalhista, ambos os comportamentos são bastante similares, verificando-se que até ao *terminus* da quebra as quantidades trabalhadas são relativamente baixas, por forma a garantir a continuidade da operação, existindo um pico de absorção aquando da retoma da atividade por parte do fabricante, na semana 37, bem como um aumento da quantidade de cápsulas comercializada a partir da semana 37, conforme exposto nas Figura A 9 e Figura A 10, no Apêndice A.

### **4.3.2 Avaliação**

Como é possível verificar através dos resultados obtidos, e apresentados nas respetivas figuras representativas do comportamento no elo da CA, verifica-se que, de uma forma transversal aos cenários implementados, nos períodos que antecedem a quebra no abastecimento existe tendência de acumulação de *stock*, por forma a conseguir dar resposta ao período de interrupção no fornecimento e assim evitar quebras na atividade. O cenário virtual, derivado da sua própria natureza, é capaz de prever as quebras e ajustar o seu comportamento em conformidade, pelo que é necessário ter presente esse juízo de valor ao transpor para a realidade, em que os acontecimentos disruptivos, ou de quebra, são de tempestividade e magnitude incertas.

## **4.4 Cenário de quebra na entrega de produtos acabados**

### **4.4.1 Demonstração**

Conforme o racional seguido nos cenários anteriormente apresentados, impactaram-se alterações nas quantidades de cápsulas 3 e 4, entregues nos elos de distribuição, retalho e consumo final.

#### **4.4.1.1 Quebra na entrega de cápsulas no distribuidor**

As quantidades de cápsulas 3 e 4 recebidos no elo do distribuidor, nomeadamente com origem no fabricante da cadeia de abastecimento são sujeitas a quebra. Desta feita, nos elos do fornecedor e do fabricante ou transformador não se verifica um impacto significativo face ao cenário inicialmente ilustrado (Apêndice A, Figura A 11, Figura A 12 e Figura A 13).

Por outro lado, ao nível das expedições, ao implementar o corte destas, verifica-se que tendencialmente o modelo continua a produzir para *stock*, em ambos os produtos, sendo este absorvido aquando da retoma da atividade.

No próprio distribuidor, existe alguma acumulação de *stock* nos momentos anteriores à quebra, no entanto com a retoma da atividade verifica-se num momento inicial um grande

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

esforço para comercialização de maior quantidade de produto face ao comportamento padronizado.

O retalhista, novamente, tende a refletir o desenvolvimento da atividade por parte do distribuidor. Após o fim da quebra, força uma quantidade grande de abastecimento ao mercado.

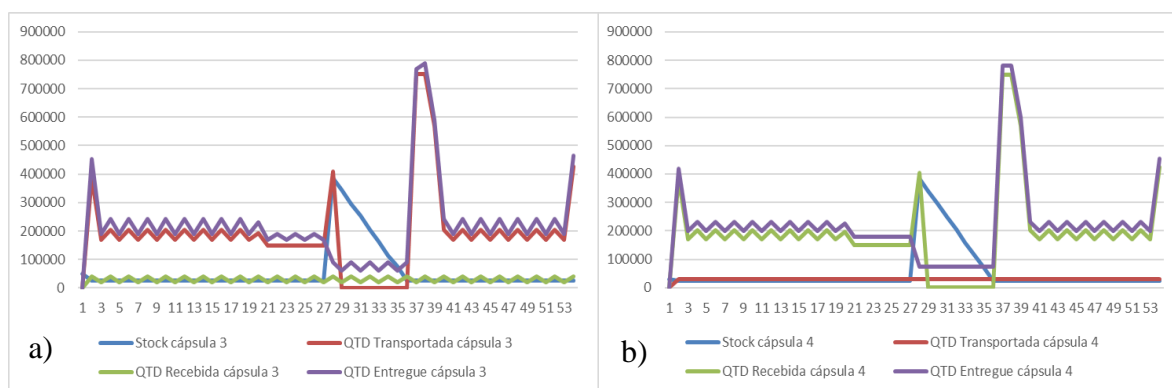


Figura 13 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor

Fonte: Elaboração Própria

**4.4.1.2 Quebra na entrega de cápsulas no Retalhista**

Implementando-se uma quebra à saída do distribuidor (ou à entrada do retalhista), representa o corte total de abastecimento no retalhista, pois este não apresenta mais alternativas para obtenção de produto, nem o próprio distribuidor trabalha com mais

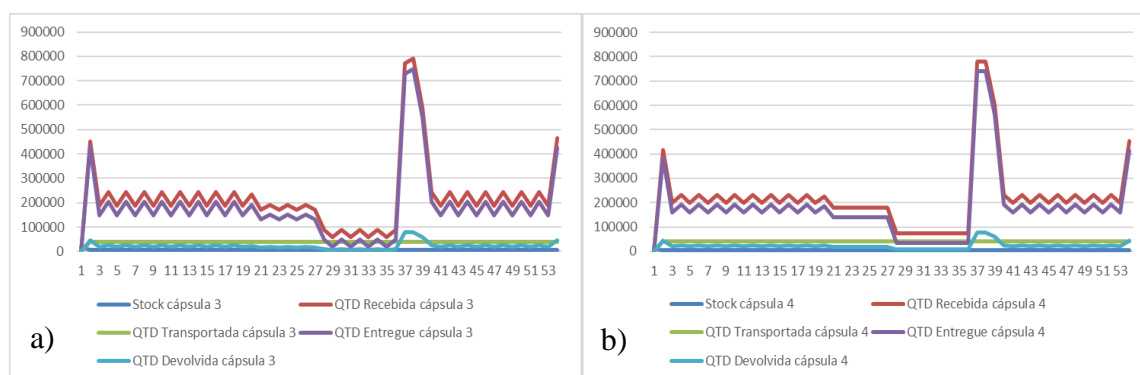


Figura 14 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

entidades, pelo que a sua quantidade expedida estará dependente da absorção do retalhista dentro da cadeia de abastecimento. Ao nível do fornecedor, mais uma vez não se verifica um impacto material face ao cenário inicialmente estabelecido.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Por outro lado, ao nível do fabricante verificam-se já algumas oscilações, o que ocorre, pois, apesar de o fabricante poder expedir material para fora da cadeia de abastecimento, as quantidades são reduzidas face àquelas com que trabalha dentro da cadeia de abastecimento, por forma a privilegiar os elos parceiros, tal como ilustrado nas Figura A 14 e Figura A 15, no Apêndice A.

As matérias-primas apresentam-se coerentes com o cenário inicial. O maior impacto verifica-se ao nível dos produtos acabados. Nestes, as variações ocorrem essencialmente ao nível dos stocks e de expedições para o distribuidor, ocorrendo dois picos, no início e no fim da quebra implementada.

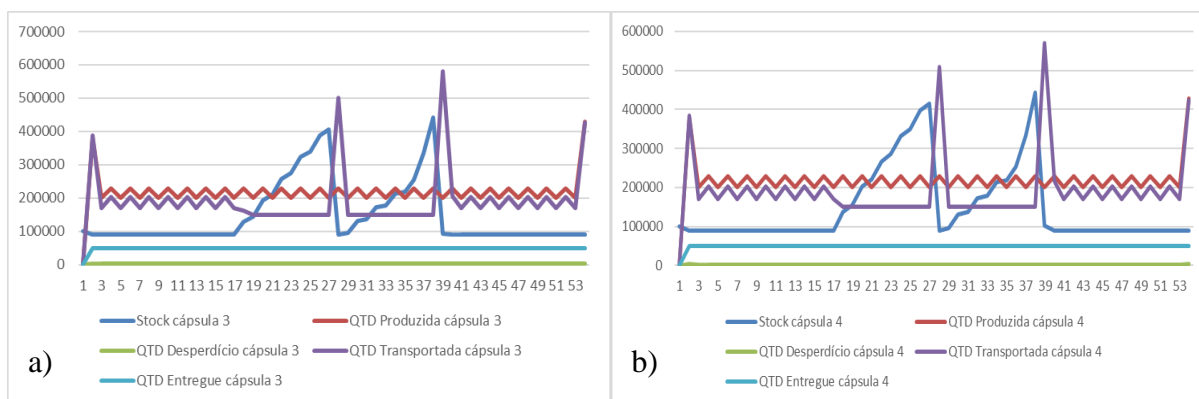


Figura 15 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor  
Figura 15 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Durante a quebra, o distribuidor acumula maior quantidade de stock, existindo uma reação de maior consumo pelo mercado após o final da quebra, sendo posteriormente regularizado.

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

No retalhista, durante a quebra, as quantidades expedidas tomam os valores mínimos. Antes da quebra, existe uma acumulação maior de stock, para dar resposta aos compromissos a jusante, sendo que após a retoma da atividade existe um pico de consumo tal como anteriormente detetado no distribuidor.

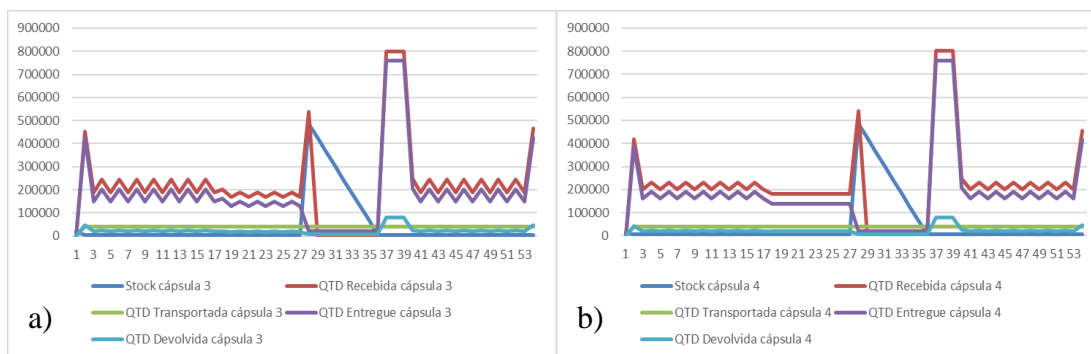


Figura 17 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.4.1.3 Quebra na entrega de cápsulas no Consumidor Final

Importa também considerar quais os efeitos de uma quebra a jusante dos nós que estamos a considerar pertencer à cadeia de abastecimento. Para efeitos do problema em discussão, assume-se que os clientes do retalhista sejam os consumidores finais do café em cápsulas produzido e comercializado. Assim, tal como para os restantes cenários, implementou-se para o elo do retalhista uma quebra na expedição. Como anteriormente exposto, o retalhista apresenta dois tipos de expedição, nomeadamente quantidades transportadas e quantidades entregues, pelo que para o efeito considerou-se quebra de expedição de quantidade entregue, mantendo-se a quantidade transportada (toma valores de ordem de grandeza reduzida face aos restantes valores associados).

No caso do fornecedor, verifica-se um comportamento bastante similar ao cenário inicial, exposto nas secções 4.1 e 4.2. A ilustração gráfica encontra-se na Figura A 16, no Apêndice A.

Igualmente, no caso do fabricante verificamos estabilidade ao nível das matérias-primas, no entanto o consumo do produto acabado é impactado pelas restrições de consumo a jusante (Apêndice A, Figura A 17).

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

Ainda que não seja interrompido, existe uma redução das quantidades trabalhadas durante a quebra. Após a retoma da atividade dá-se um pico de consumo, sendo a partir deste instante novamente estabilizado o padrão de consumo.

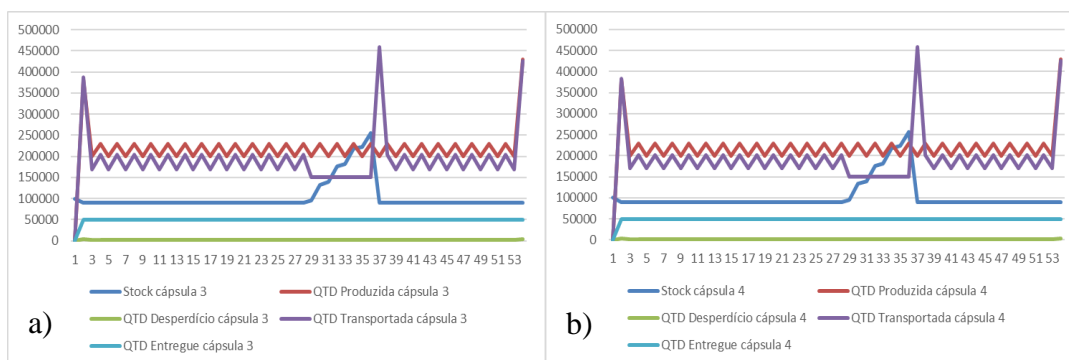


Figura 18 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Similarmente se verifica a evolução do distribuidor, conforme é possível verificar nos gráficos abaixo. Existe por alguns instantes redução do consumo por parte do retalhista, que em seguida é compensada pelo grande consumo que ocorre aquando da retoma da atividade.

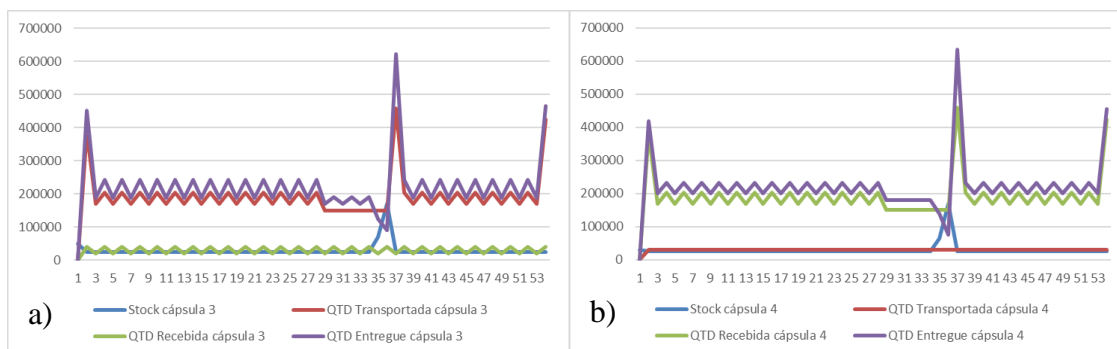


Figura 19 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor

Fonte: Elaboração Própria

No retalhista é onde se verifica o maior impacto, pois é diretamente afetado pela quebra. Numa fase inicial, até ao momento de quebra geralmente o modelo comporta-se de forma similar à idealmente desenhada, havendo após a retoma da atividade uma maior transação de unidades. No início da retoma verifica-se um aumento do consumo, o que impacta

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

também os parceiros a montante, nomeadamente o distribuidor e o próprio fabricante, ainda que quanto mais acima se encontra na cadeia, menos sentido é o impacto da quebra.

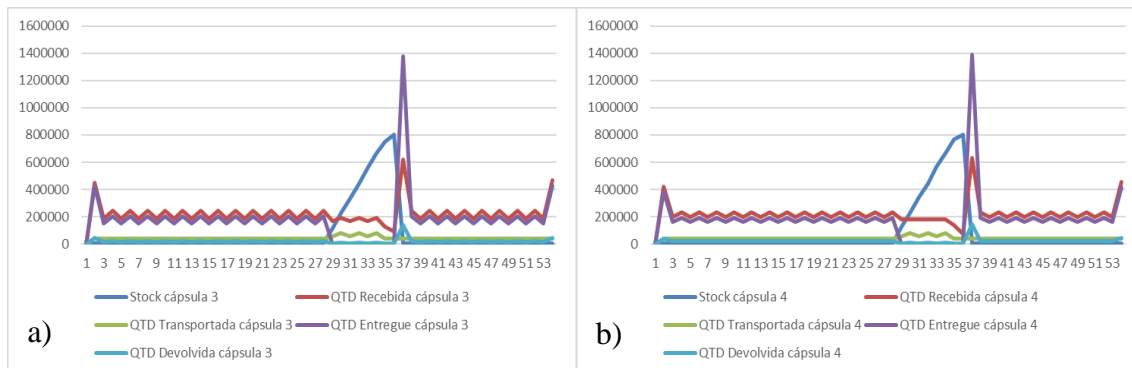


Figura 20 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.4.2 Avaliação

Como é possível verificar através dos resultados obtidos, e apresentados nos gráficos 13 a 20, verifica-se que, de uma forma transversal aos cenários implementados, nos períodos que antecedem a quebra no abastecimento existe tendência de acumulação de *stock*, por forma a conseguir dar resposta ao período de interrupção no fornecimento e assim evitar quebras na atividade.

Assim, tendo em consideração que o efeito de acumulação ocorre progressivamente ao longo de várias semanas, de acordo com as condicionantes de cada abastecimento, pode concluir-se que esse seria o tempo de resposta necessário para a cadeia “responder”, ou sejam, se se tratar de uma disrupção (i.e., evento não integrante da previsão) a cadeia poderá não ter capacidade de resposta a essa ocorrência imprevista.

Posteriormente, logo que termina o período de quebra, é retomado o normal desenvolvimento da atividade, com quantidades trabalhadas superiores, por forma a recuperar do impacto sofrido. Nas primeiras semanas após a quebra existe um consumo de material bastante superior face ao geralmente transacionado, resultado do reajustamento do mercado e da recuperação face ao período de quebra ultrapassado.

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Verifica-se também que, tendencialmente a produção de cápsulas de café representa de certa forma uma barreira de impacto da disrupção, pois geralmente o maior impacto verifica-se quando se comparam nos diferentes elos os comportamentos dos mesmos produtos ou matérias-primas. A título de exemplo, considerem-se os cenários de disrupção no retalhista ou distribuidor. O efeito chicote (que compreende a ampliação do efeito de um aumento da procura desde o consumidor final em direção a montante da cadeia de abastecimento), na solução apresentada pelo modelo, é verificado essencialmente desde o retalhista até ao fabricante, principalmente ao nível do produto acabado. O facto de ser conhecido o momento da quebra ou disrupção permite ao modelo de otimizar atender a essa ocorrência, antecipando ações que permitam mitigar o efeito da quebra.

Em teoria, a alteração sentida a jusante causa um efeito de chicote nos elos anteriores, cuja amplitude aumenta de acordo com o distanciamento entre o consumidor final e o elo em foco. Como o elo não possui toda a informação necessária para a alteração da procura, propaga o efeito ao elo anterior, e assim sucessivamente.

#### **4.5 Cenário de quebras nos materiais de embalagem**

Na grande maioria das cadeias de abastecimento, existe a necessidade de embalamento do produto fabricado, seja através de garrafas, caixas, embalagens de plástico diversas, entre muitos outros. Atualmente, o aumento da preocupação com o impacto ambiental e a sustentabilidade, por parte da sociedade civil, verifica-se uma maior tendência para o aumento da utilização de materiais biodegradáveis, mais sustentáveis e que permitam um impacto menos adverso ao meio-ambiente.

No modelo em análise, foram considerados dois tipos de embalagem, nomeadamente a cápsula de café, e a caixa em que as cápsulas são embaladas. Cada caixa apresenta capacidade para dez cápsulas. O consumo de cápsulas e caixas, em cada instante, está relacionado com a quantidade produzida de cápsulas 3 e 4, no elo do fabricante. Por forma a replicar um contexto real, consideram-se para cada um dos tipos de embalagem, dois fornecedores possíveis, com diferentes preços e capacidades associados.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Por forma a estudar o impacto de uma eventual disrupção nas embalagens, geraram-se dois cenários, em que se implementou quebra de quantidades fornecidas de cápsulas e caixas.

4.5.1 Demonstração

No cenário ideal, é possível verificar que o modelo assume que o fabricante apenas trabalha com os fornecedores 1 e 3, em prol dos fornecedores 2 e 4, para as cápsulas e caixas, respetivamente, pois são os que praticam preços mais competitivos, sendo o comportamento estável durante todo o período em análise. (Apêndice A, Figura A 18 e Figura A 19).

Para efeitos de estudo de disrupção, implementaram-se dois cenários, em que ocorre quebra de fornecimento de invólucros e de caixas, nomeadamente nas semanas compreendidas entre os slots 28 e 35.

No caso da disrupção ao nível dos invólucros para cápsulas, numa fase prévia à quebra, o modelo assume que existe acumulação de stock, no entanto com as restrições implementadas, este não é suficiente para dar resposta a todo o período de quebra, pelo que existe recurso ao fornecedor alternativo para que a produção não seja impactada.

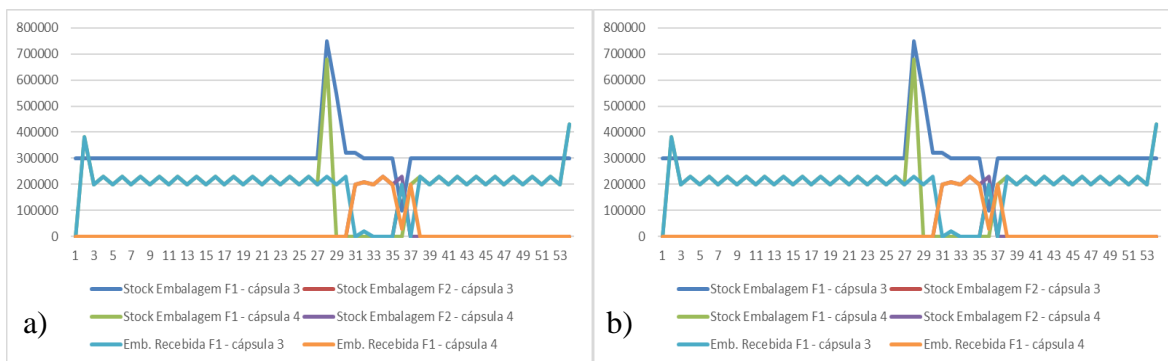


Figura 21 - Evolução no tempo dos invólucros para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4

Fonte: Elaboração Própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Ao nível das caixas, os resultados apurados estão ilustrados na Figura 22. O comportamento do modelo no caso de quebra de fornecimento de caixas também prima por tentar acumular o máximo possível de caixas fornecidas pelo fornecedor 3 (mais económico), recorrendo ao fornecedor 4 em último recurso.

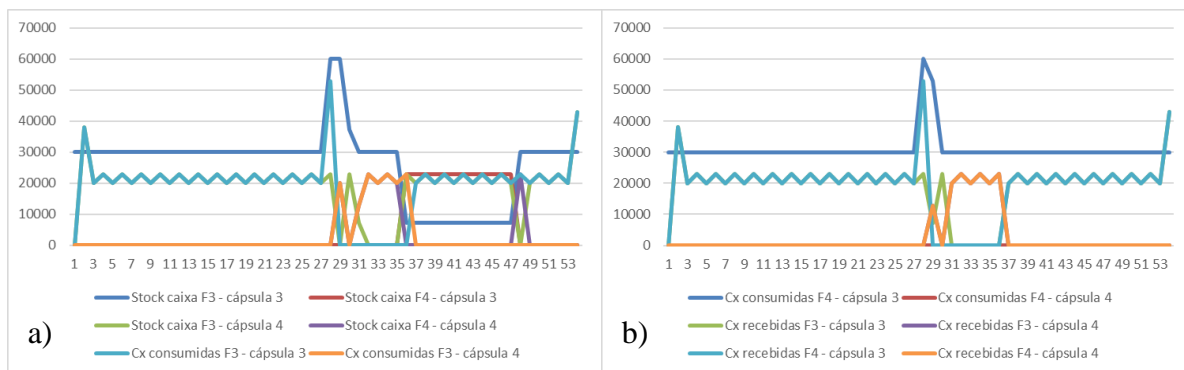


Figura 22 – Evolução no tempo das caixas para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.5.2 Avaliação

Tendencialmente, o modelo tenta, sempre que possível, privilegiar a utilização de embalagens provenientes dos fornecedores com menores custos associados. Recorre aos fornecedores alternativos apenas em último recurso, em situações que essa é a única opção.

Importa mencionar que, para a implementação de ambos os cenários se consideram toda a restante operação como decorrendo de igual forma ao cenário inicial, sendo apenas impactados os componentes de embalagem contemplados no modelo.

#### 4.6 Cenário de variabilidade de preços

Os preços estão associados a variabilidade. Em cenários de disrupção é bastante comum a ocorrência de aumentos de preços, consequência de oscilações entre o equilíbrio da oferta e da procura, ou motivado por outros fatores, tais como práticas anti concorrenciais, como por exemplo cartel de preços ou *hub-and-spoke*.

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

Tabela 14. Alterações de preço implementadas para efeitos da análise

Elo da CA	Artigo	Preço Inicial u.m./kg	Preço Pós- Disrupção	Semana da Ocorrência
<b>Fornecedor</b>	grão 1	1 u.m./kg	1,5 u.m./kg	17
	grão 2	1 u.m./kg	1,5 u.m./kg	
<b>Fabricante</b>	grão 1	6 u.m./kg	6 u.m./kg	26
	grão 2	4 u.m./kg	9 u.m./kg	
	cápsulas 3	0,12 u.m./unid	0,14 u.m./unid	
	cápsulas 4	0,18 u.m./unid	0,21 u.m./unid	
<b>Distribuidor</b>	cápsulas 3	0,22 u.m./unid	0,33 u.m./unid	35
	cápsulas 4	0,22 u.m./unid	0,33 u.m./unid	
<b>Retalhista</b>	cápsulas 3	0,33 u.m./unid	0,33 u.m./unid	----
	cápsulas 4	0,33 u.m./unid	0,33 u.m./unid	

Fonte: Elaboração Própria

### 4.6.1 Demonstração

Os comportamentos de reação ao cenário implementado, para cada um dos elos em análise, encontram-se espelhados nos gráficos seguintes.

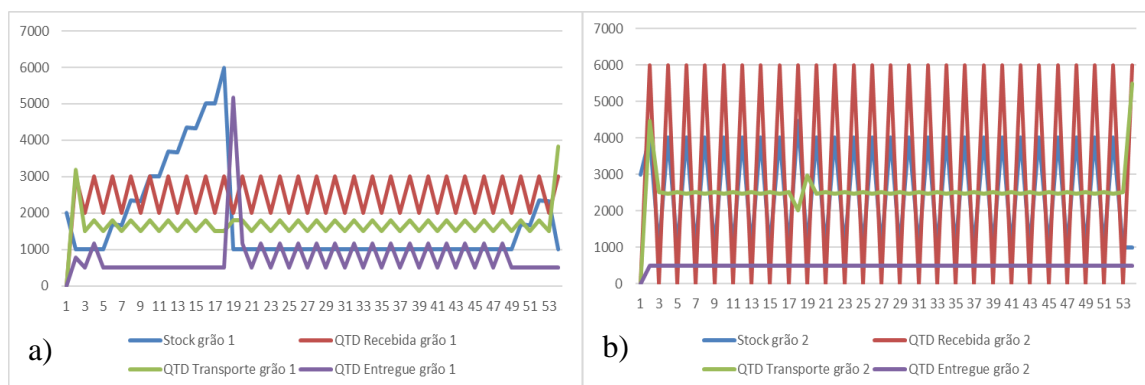


Figura 23- Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Ao nível das matérias-primas, bem como dos produtos acabados não se registaram alterações significativas, mantendo-se o comportamento estável ao longo das várias semanas, similar ao já exposto nas secções **4.1** e **4.2** (Apêndice A, Figura A 20 e Figura A 21).

Tal como no fabricante, o distribuidor não apresenta variação significativa de comportamento, mesmo após o aumento dos preços, situação similar à verificada no retalhista. A ilustração de resultados para estes elos encontra-se no Apêndice A, Figura A 23 e Figura A 22.

#### **4.6.2 Avaliação**

Verifica-se, para ambos os produtos, que no fabricante há uma tendência de acumulação de *stock* antes do momento de atualização dos preços. Assim que os preços são atualizados, o *stock* é expedido, privilegiadamente, para o exterior da cadeia pelo facto de, ao invés da entrega ao fabricante, não apresentar custos de transporte associado. Os envios para fora da cadeia de abastecimento configuram o levantamento por parte do cliente nas instalações do elo da cadeia – *incoterms ExW*. Nos elos seguintes não ocorrem variações resultantes do aumento dos preços. O motivo prende-se essencialmente com o facto de não existir aumento de procura a jusante – tendo em conta que o retalhista não aumenta os preços, não aumenta as quantidades trabalhadas com os seus clientes, o que impacta diretamente o distribuidor, pois tem como único canal de distribuição o próprio retalhista. O fabricante é impactado a montante pelo maior interesse do fabricante enviar o produto para fora, bem como a jusante pela ausência de aumento do incentivo ao consumo, não ocorrendo variação significativa após a atualização das tabelas de preços.

## **4.7 Sumário**

No âmbito do cenário abordado implementaram-se diferentes possibilidades de disrupção e incerteza, através de abordagens a fatores tais como quebras no fornecimento de matérias-primas ou consumíveis necessários à atividade, variabilidade de preços ou recurso a fornecedores alternativos. O desenho e implementação do modelo matemático em ambiente de programação (no caso através da linguagem *Python*) permite um elevado grau de customização e desenvolvimento de ferramenta adequada ao negócio em análise, com as respetivas atualizações e mudanças de acordo com o desenvolvimento da atividade das entidades, tendo em conta o foco último de servir como ferramenta de e análise da cadeia de abastecimento e suporte à tomada de decisão.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho de dissertação, no âmbito da componente não letiva do mestrado em Gestão Empresarial, teve como principal objetivo a criação de um artefacto, através da metodologia *Design Science Research*, com a finalidade de analisar os impactos de eventos disruptivos e também de quebras e incerteza associadas à normal atividade de uma cadeia de abastecimento. Para o efeito, o ponto de partida prendeu-se com a elaboração de um modelo matemático de otimização, desenvolvido para uma cadeia de abastecimento genérica, e implementado em *Python*. Posteriormente, considerou-se uma cadeia de abastecimento específica, nomeadamente associada à produção de café em cápsulas, para a qual foram testados e desenvolvidos diferentes cenários, executados no programa desenvolvido em *Python*. De acordo com as capacidades determinadas, foram considerados alguns cenários com eventos disruptivos, ou variações de componentes por forma a avaliar os efeitos dessas ocorrências, e efetuada a análise dos resultados e respetiva comparação face ao cenário de normal atividade da cadeia de abastecimento.

Os resultados obtidos permitem analisar o comportamento dos diferentes elos da cadeia de abastecimento em resposta a eventos disruptivos ou causadores de incerteza. A aplicabilidade da ferramenta tem como propósito o auxílio à tomada de decisão na gestão da cadeia de abastecimento, sendo a sua utilidade associada ao acompanhamento do plano de operação para os diferentes parceiros da cadeia. A sua adaptabilidade permite uma simples integração em diferentes setores de atividade. Para uma eficaz gestão da cadeia de abastecimento, é fundamental um plano de operação eficaz e capaz de responder a eventos que afetem o normal decurso da atividade ao longo da cadeia.

Relativamente às questões de investigação importa referir, em resposta à **‘QII. Como são diferenciados os conceitos de disrupção e de incerteza na CA?’**, que os conceitos se diferenciam através da diversidade de causas e/ou ocorrências que podem promover a incerteza na CA, resultando numa maior probabilidade de ocorrência de eventos na cadeia, desde situações de risco até contextos de quebra ou disrupção, tal como exposto na secção **1.2**. A capacidade de antecipar a variabilidade e incerteza dos eventos permite à cadeia criar mecanismos de resposta para mitigar os efeitos desses eventos, conforme foi possível percecionar nos diferentes cenários testados. Considerando o panorama de

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

globalização da CA, que amplia a complexidade operacional e aumenta a exposição a eventos desfavoráveis, e em resposta à *'Q12. Que fatores têm uma ação disruptiva na operação da CA?'*, conclui-se que as diferentes dimensões de sustentabilidade económica, ambiental, social, bem como o contexto geopolítico e cultural, podem gerar ocorrências de diferentes tipologias de ação sobre a cadeia, com efeitos disruptivos na sua operação. Por fim, e em resposta à *'Q13. Que estratégias de decisão podem ajudar o planeamento da CA em ambiente de incerteza?'*, os modelos de otimização desenvolvidos permitem, em vários contextos e em linha com o exposto na secção **1.6**, apoiar e melhorar a tomada de decisão dos vários elos da cadeia, pelo que o investimento em soluções que permitam tomar decisões mais fundamentadas no contexto do planeamento da CA revela ser importante para uma adequada estratégia de decisão em ambiente de incerteza.

As sugestões para trabalhos futuros passam pela implementação do modelo em casos de estudo reais, por forma a analisar e avaliar dados obtidos em contexto de efetiva atividade. A elaboração deste trabalho permitiu conciliar e consolidar competências adquiridas ao longo do percurso académico, nomeadamente através da licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial e Mestrado em Gestão Empresarial. Cada vez mais as entidades necessitam de tomar decisões informadas, em tempo real ou *just-in-time*, pelo que a implementação de ferramentas de gestão operacional e de gestão financeira é fundamental para a tomada de decisão assertiva e adequada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bubicz, M. E., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D., & Carvalho, A. (2019). Incorporating social aspects in sustainable supply chains: Trends and future directions. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 237). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.331>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (6<sup>a</sup> ed.). Pearson Education. files/131/Chopra e Meindl - 2016 - Supply Chain Management Strategy, Planning and Op.pdf
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management* (4. ed). Financial Times, Prentice Hall. files/264/Christopher - 2011 - Logistics & supply chain management.pdf
- Eskildsen, J. K., & Kristensen, K. (2006). Enhancing importance-performance analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(1), 40–60. <https://doi.org/10.1108/17410400610635499>
- Flores-Sigenza, P., Marmolejo-Saucedo, J. A., Niembro-Garcia, J., & Lopez-Sanchez, V. M. (2021). A systematic literature review of quantitative models for sustainable supply chain management. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 18(3), 2206–2229. <https://doi.org/10.3934/mbe.2021111>
- Guedes, A. P. (2020). Gestão da Cadeia de Abastecimento. In *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (3<sup>a</sup> ed., pp. 65–120). Edições Sílabo.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (10<sup>a</sup> ed.). Pearson Education.
- Hugos, M. (2011). *ESSENTIALS of Supply Chain Management* (3<sup>a</sup>). Wiley. files/266/\_Michael\_Hugos\_auth.\_Essentials\_of\_Supply\_Chain\_BookZZ.org\_pdf
- Kamalahmadi, M., & Mellat Parast, M. (2015). *A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.023>

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

- Martilla, J. A., & James, J. C. (1977). Importance-Performance Analysis. *Source: The Journal of Marketing*, 41(1), 77–79.
- Medne, A., Lapina, I., & Zeps, A. (2022). Challenges of Uncertainty in Sustainable Strategy Development: Reconsidering the Key Performance Indicators. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020761>
- Mullai, A. (2009). Risk management system - A conceptual model. *International Series in Operations Research and Management Science*, 124, 83–101. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-79934-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-79934-6_6)
- New, S. J. (1996). A framework for analysing supply chain improvement. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(4), 19–34. <https://doi.org/10.1108/01443579610114059>
- Oliver, R. K., & Webber, M. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, 5(1), 42–47. <https://www.semanticscholar.org/paper/Supply-chain-management%3A-logistics-catches-up-with-Oliver-Webber/a9b24f14f723613361e6568f9885f53ce056675b>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Pounder, P., Bovell, G., & Pilgrim-Worrell, S. (2013). A Review of Supply Chain Management and Its Main External Influential Factors. *Supply Chain Forum*, 14, 42–50. <https://doi.org/10.13140/2.1.3787.3289>
- Sawik, T. (2020). *Supply Chain Disruption Management Using Stochastic Mixed Integer Programming* (2<sup>a</sup> ed.). Springer Cham. files/395/Sawik - 2020 - Supply Chain Disruption Management.pdf
- Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M., & Lindgren, R. (2011). ACTION DESIGN RESEARCH. *Action Design Research*, 35(1), 37–56.

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

---

Wyród-Wróbel, J., & Biesok, G. (2017). Decision Making on Various Approaches to Importance-Performance Analysis (IPA). *European Journal of Business Science and Technology*, 3(2), 123–131. <https://doi.org/10.11118/ejobsat.v3i2.82>

## APÊNDICES

## APÊNDICE A.

### Detalhes de Ilustração dos Cenários de Planeamento

- Cenário 1: Condições de funcionamento ideais

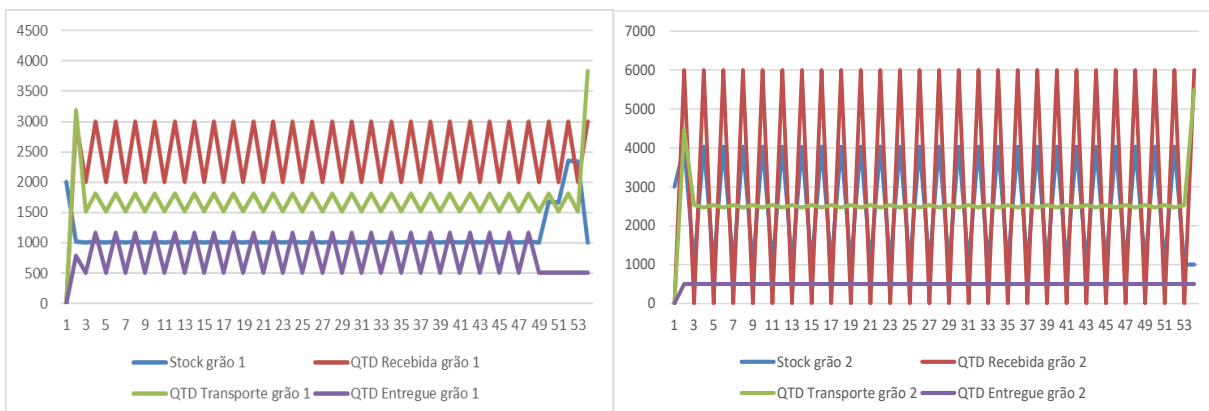


Figura A 2- Evolução dos materiais, grão 1 e 2, no elo do fornecedor

Fonte: Elaboração própria

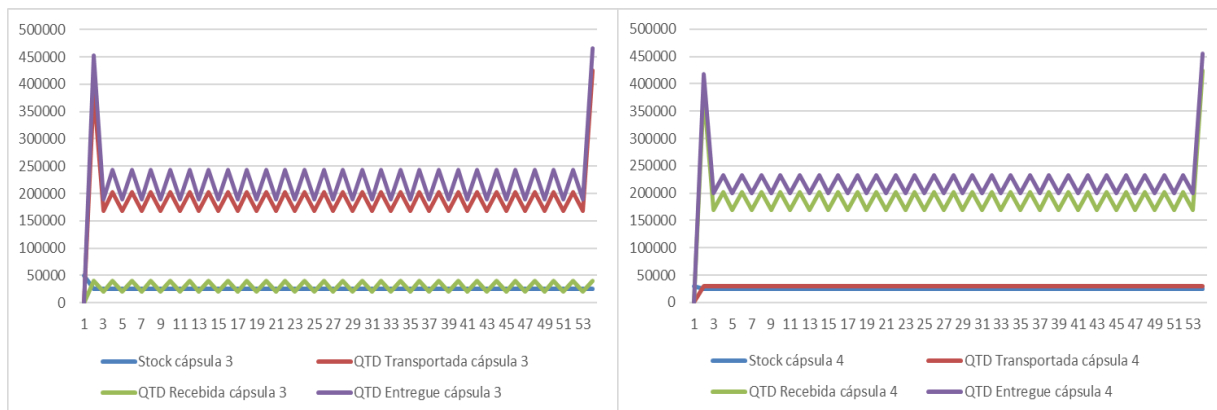


Figura A 1 - Evolução dos produtos no elo do distribuidor

Fonte: Elaboração própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

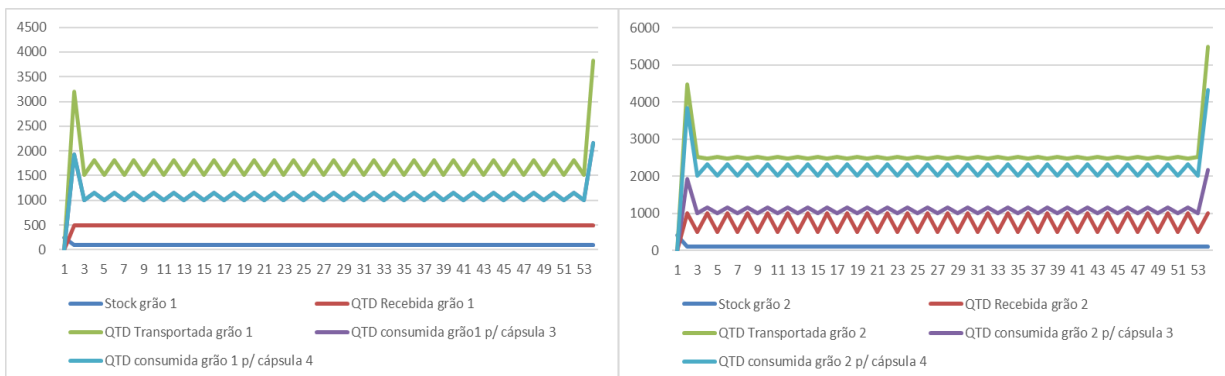


Figura A 4 - Evolução das matérias-primas no elo do fabricante

Fonte: Elaboração própria

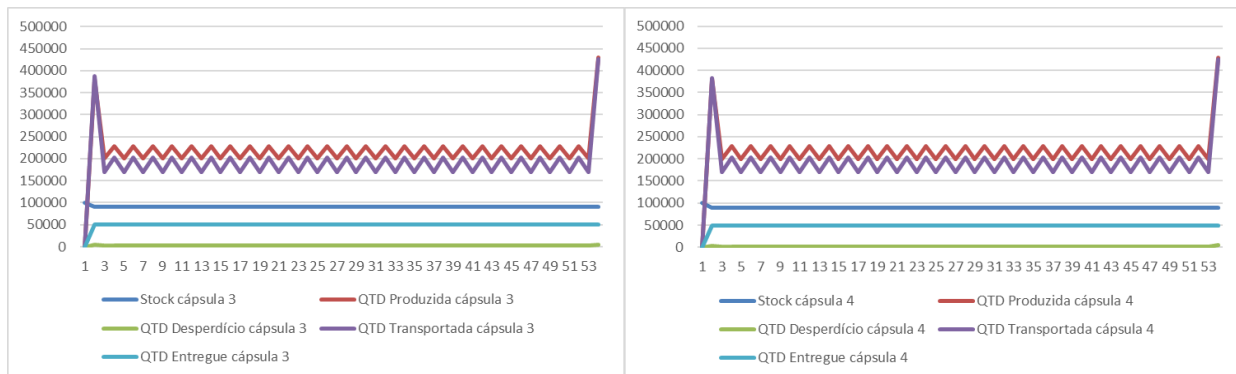


Figura A 3 - Evolução dos produtos acabados no elo do fabricante

Fonte: Elaboração própria

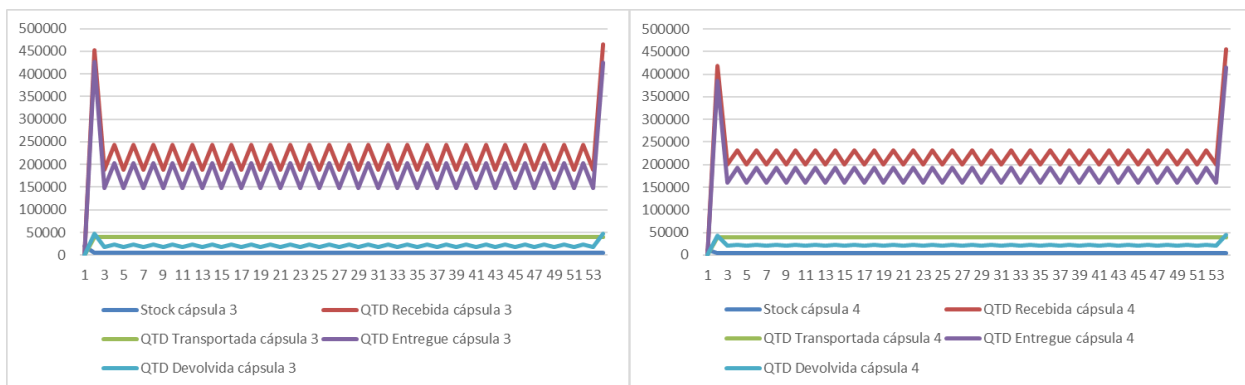


Figura A 5- Evolução dos produtos no elo do retalhista

Fonte: Elaboração própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

- Cenário 2: Quebra nas entregas de matéria-prima no fornecedor

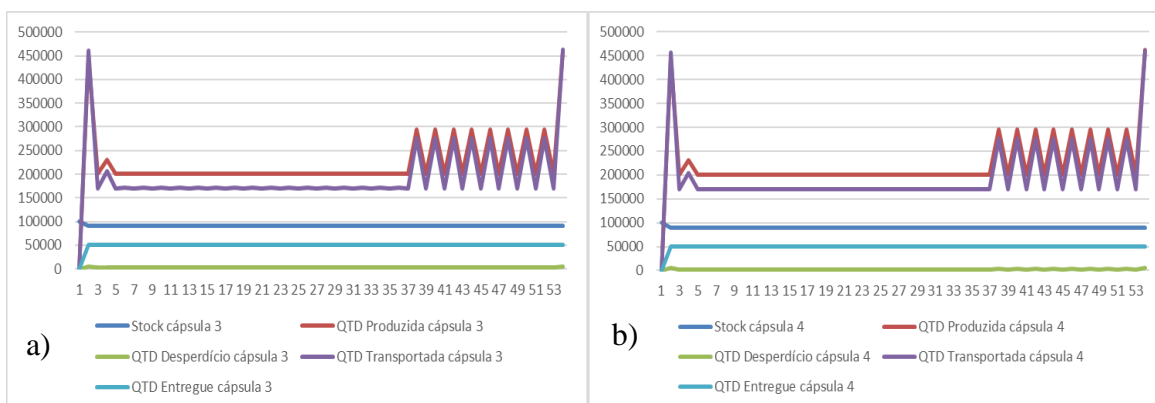


Figura A 7 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

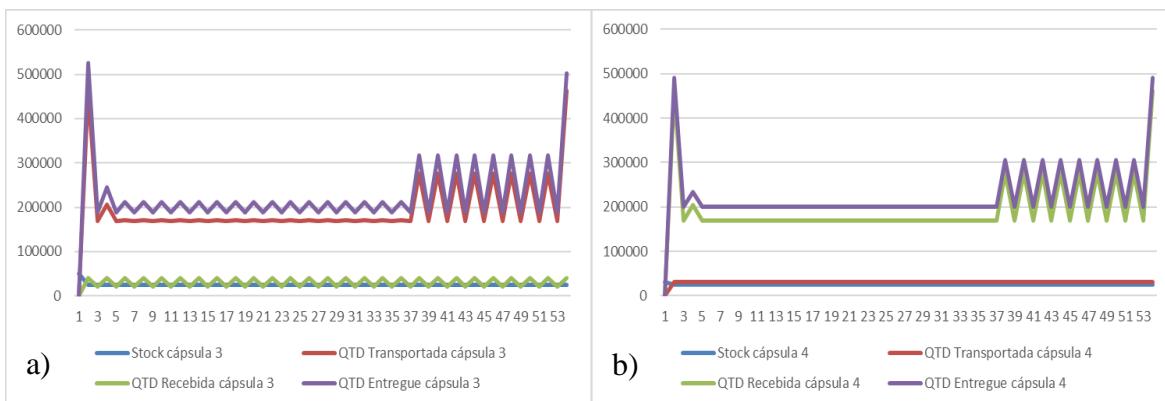


Figura A 6 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor

Fonte: Elaboração Própria

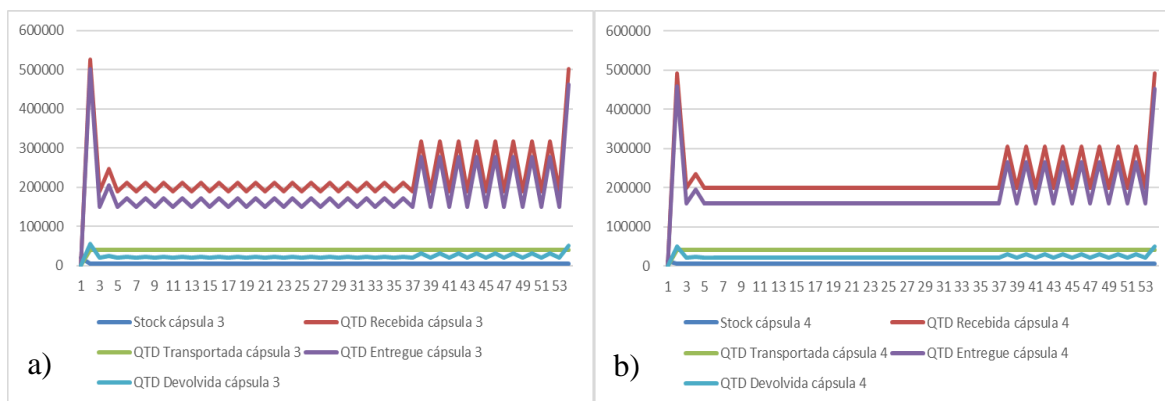


Figura A 8 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

- Cenário 1.2: Quebras nas entregas de matéria-prima no fabricante

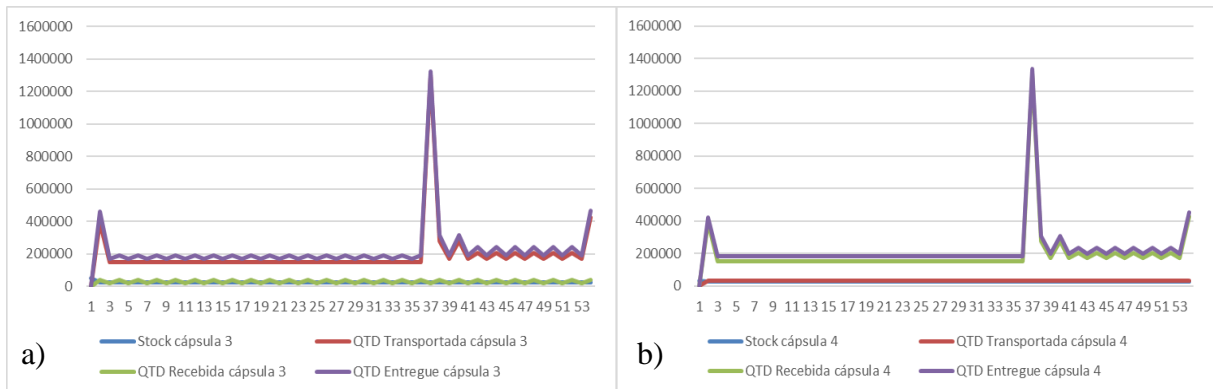


Figura A 9 – Evolução no tempo do produto acabado (a) capsula 3 e (b) capsula 4, no distribuidor

Fonte: Elaboração Própria

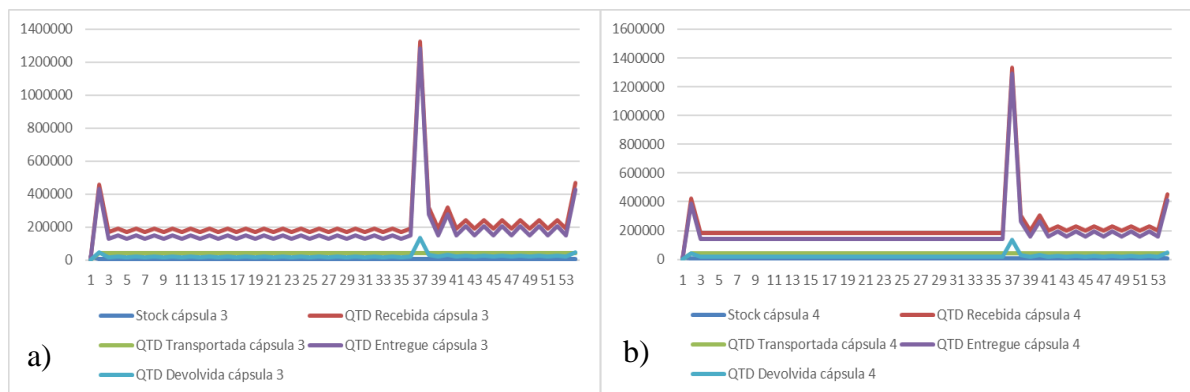


Figura A 10 - Evolução no tempo do produto acabado (a) capsula 3 e (b) capsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

- Cenário 2.1: Quebras nas entregas de produto acabado ao distribuidor

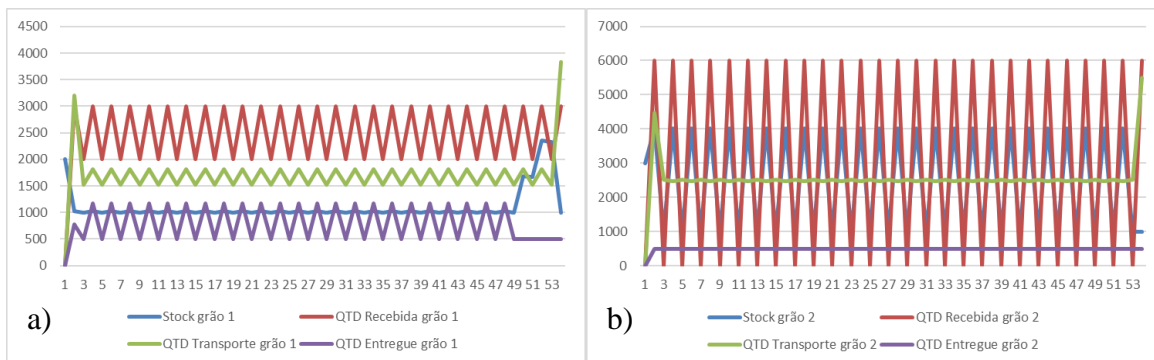


Figura A 11 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor

Fonte: Elaboração Própria

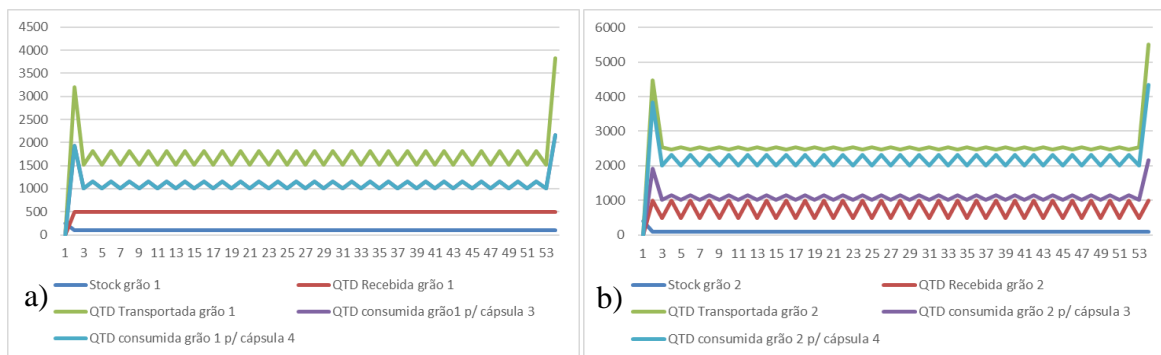


Figura A 12 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

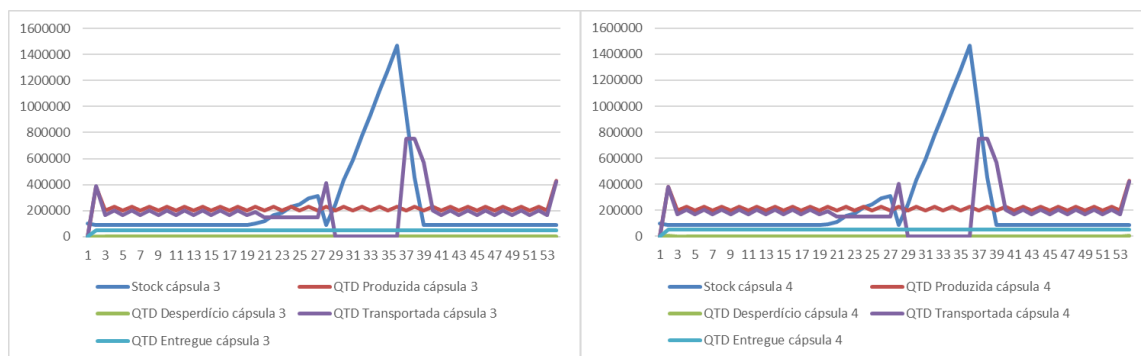


Figura A 13 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

- Cenário 2.2: Quebras nas entregas de produto acabado ao retalhista

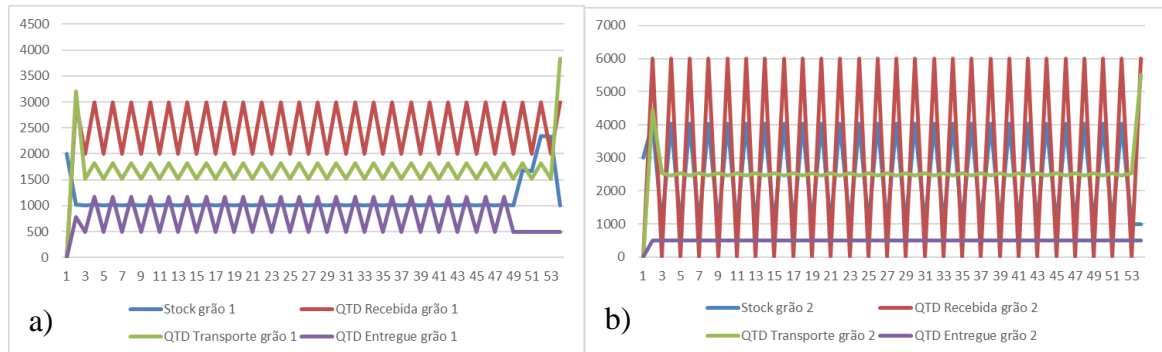


Figura A 14 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

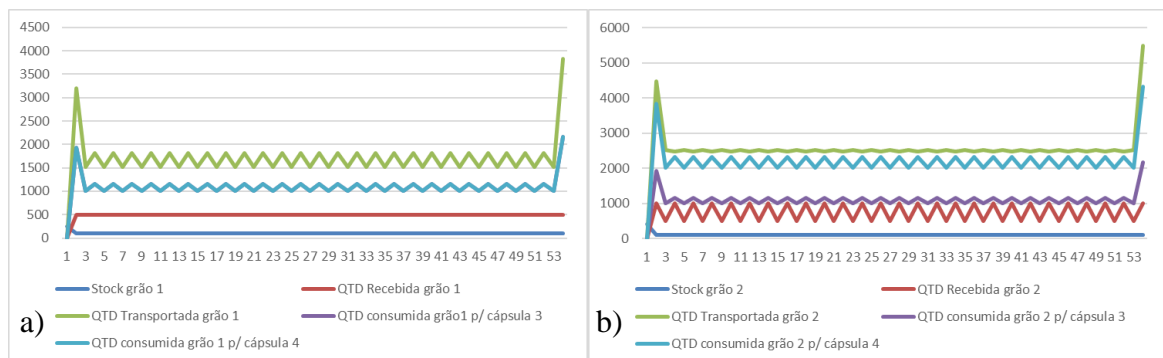


Figura A 15 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

- Cenário 2.3: Quebras nas entregas de produto acabado ao consumidor final

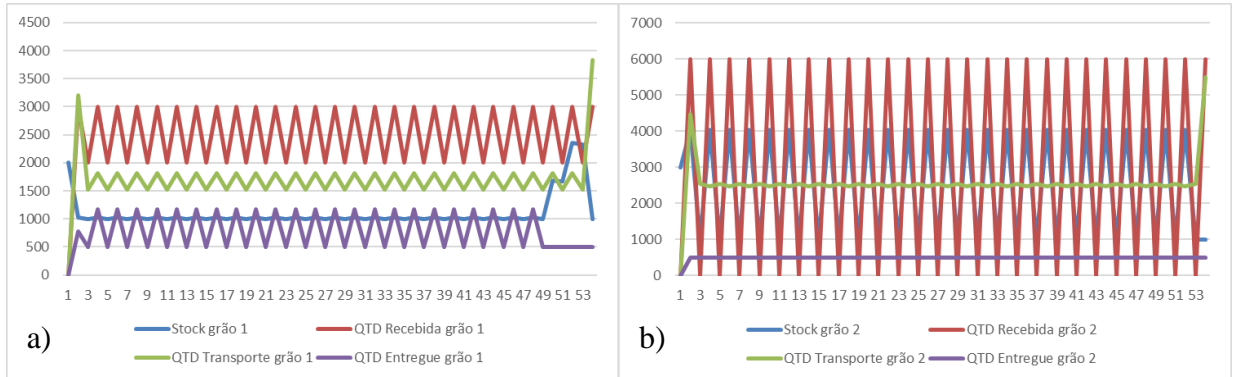


Figura A 16 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fornecedor

Fonte: Elaboração Própria

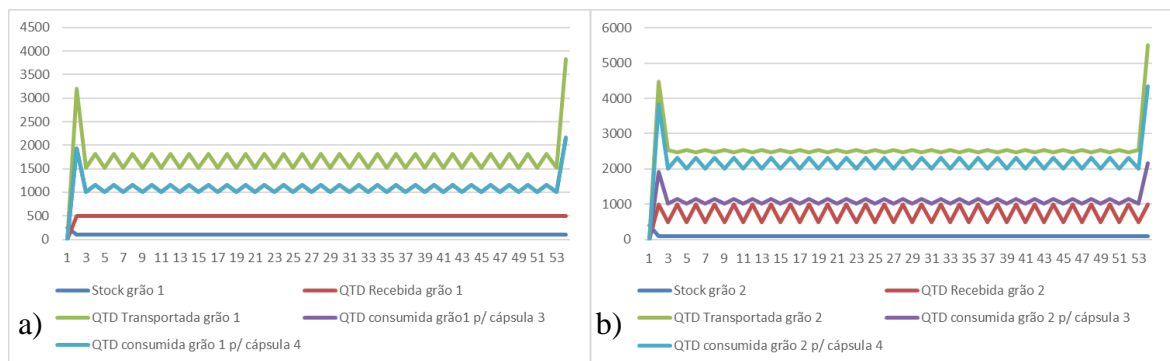


Figura A 17 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

- Cenário 3: Quebras nas entregas de materiais de embalagem

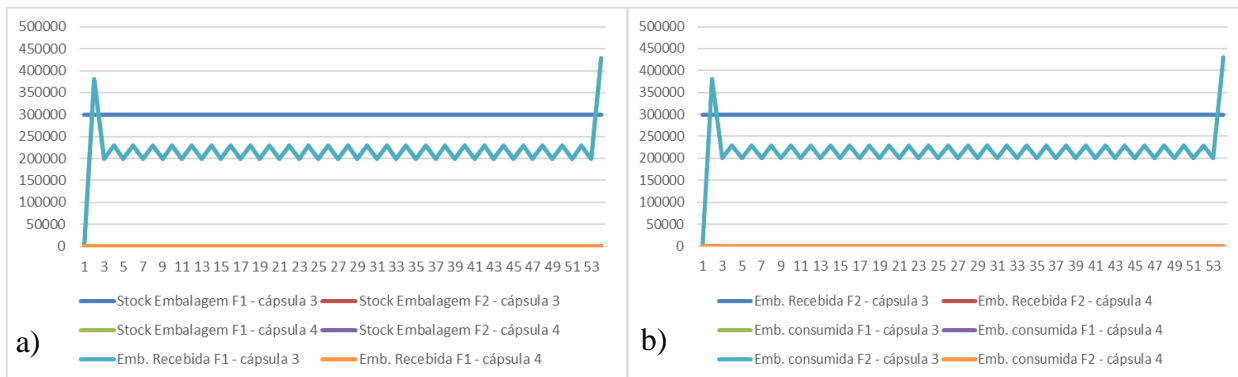


Figura A 18 - Evolução no tempo dos invólucros para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4

Fonte: Elaboração Própria

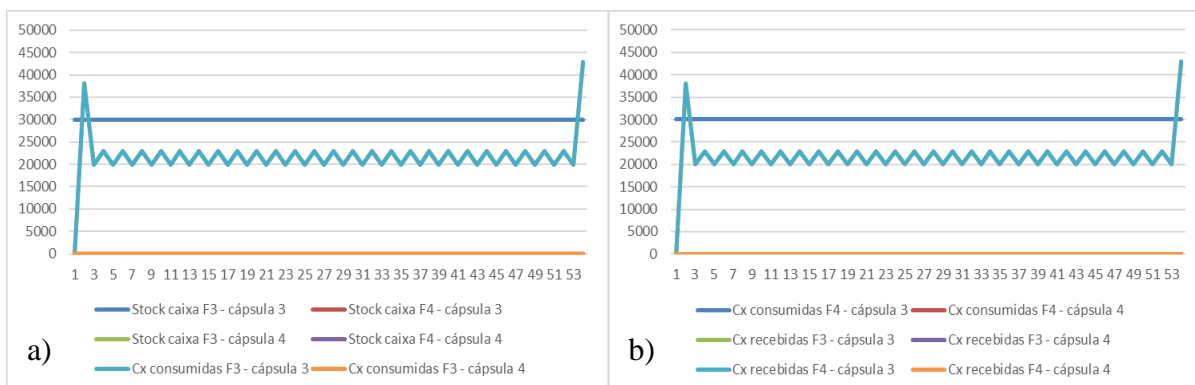


Figura A 19 - Evolução no tempo das caixas para embalagem das (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4

Fonte: Elaboração Própria

Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento

• Cenário 4: Variabilidade no fator de preço

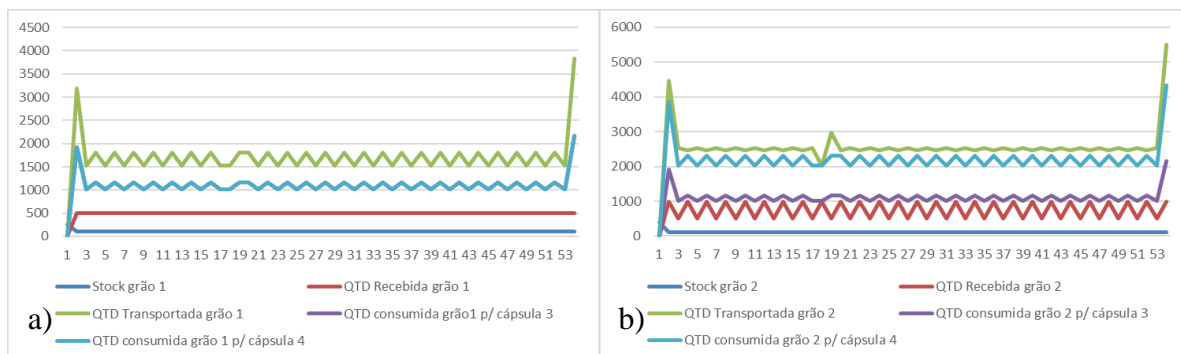


Figura A 20 – Evolução no tempo da matéria-prima (a) grão 1 e (b) grão 2, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

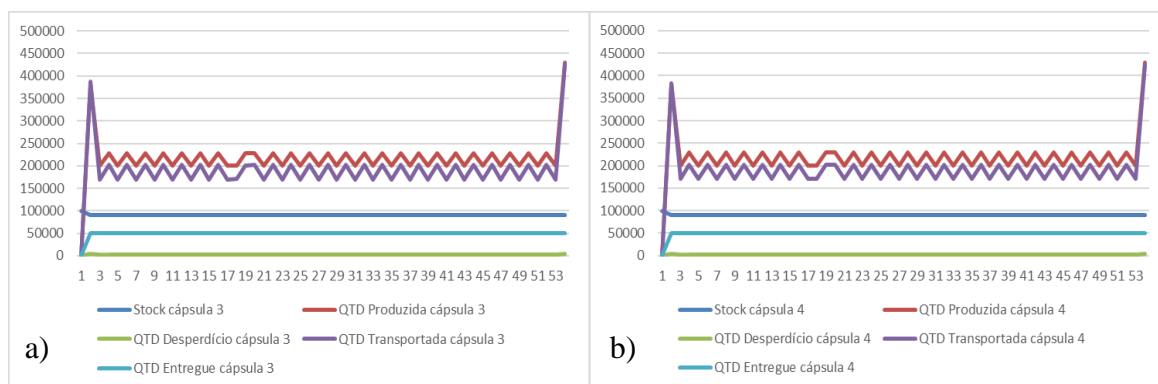


Figura A 21 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no fabricante

Fonte: Elaboração Própria

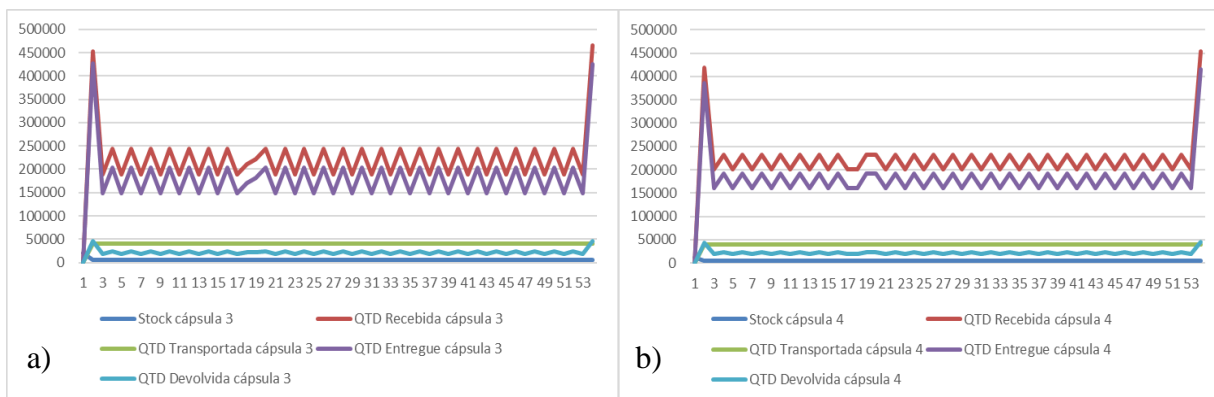


Figura A 22 - Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no retalhista

Fonte: Elaboração Própria

*Fatores Disruptivos e Incerteza na Gestão da Cadeia de Abastecimento*

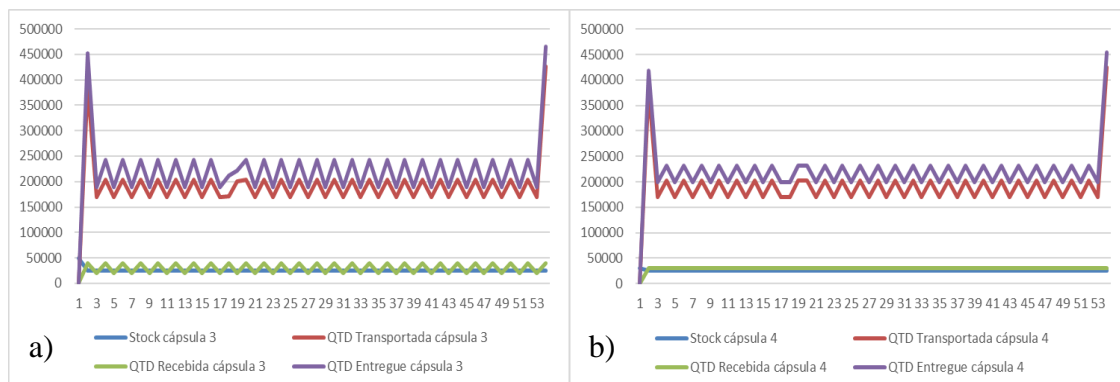


Figura A 23 – Evolução no tempo do produto acabado (a) cápsula 3 e (b) cápsula 4, no distribuidor

Fonte: Elaboração Própria