



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Élia Lopes Figueiredo

**A GESTÃO *LEAN* NA INDÚSTRIA
AUTOMÓVEL**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Gestão orientada pela
Professora Doutora Joana Maria Pina Cabral Matos Dias e
apresentada à Faculdade de Economia da Universidade de
Coimbra**

julho de 2021



FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Élia Lopes Figueiredo

A GESTÃO *LEAN* NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Gestão orientada pela Professora Doutora
Joana Maria Pina Cabral Matos Dias e apresentada à Faculdade de Economia da
Universidade de Coimbra**

julho de 2021

Agradecimentos

Ao finalizar mais uma etapa do meu percurso académico resta-me agradecer a todos aqueles que fizeram parte dele.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora, professora Joana, por toda a ajuda, partilha de conhecimento, paciência, dedicação e disponibilidade neste trabalho, sem dúvida que fiz a escolha certa!

Aos meus pais, Manuela e António e ao meu irmão, Ricardo, por todo o apoio incondicional que sempre me deram, por acreditarem em mim, por toda a paciência e por todos os conselhos. Sem vocês nada disto seria possível, tenho muito orgulho em vocês. À minha tia Teresa por estar sempre presente com a palavra certa no momento certo e à restante família por toda a cumplicidade e acompanhamento.

Aos meus amigos que me acompanharam ao longo desta jornada, agradeço o companheirismo, os momentos passados juntos e todo o apoio. A todos os “hoje não posso” prometo recompensar, obrigada por continuarem desse lado e acreditarem em mim.

Ao Centro de Produção de Mangualde e a todos aqueles com quem me cruzei, em especial à Engenheira Sandra Meneses, ao senhor Dias, ao Engenheiro Luís Guerra, à Engenheira Glória Cardoso e à minha prima Cláudia por todos os conhecimentos partilhados comigo para a realização desta dissertação.

A pessoa que sou hoje, deve-se em parte, a todos vós, obrigada por tudo!

Resumo

O mundo está em constante evolução e os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes, obrigando desta forma as indústrias a manterem-se sempre atentas e a serem competitivas em relação ao mercado. A indústria 4.0 é hoje uma realidade, sendo uma indústria com um elevado nível de automação, a operar num mercado inteligente, e extremamente eficiente. Começa já a falar-se de uma indústria 5.0, que tem em atenção o homem, as máquinas e o ambiente.

Uma das peças fundamentais para garantir a eficiência dos processos produtivos é a gestão das cadeias de aprovisionamento. A adoção de práticas de gestão *lean*, que maximizam a eficiência e a produtividade, tendo sempre como foco uma melhoria contínua e um alto nível de satisfação dos clientes, tem sido a escolha em diversos setores.

A indústria automóvel tem muita importância a nível global, sendo uma indústria que valoriza a investigação e desenvolvimento, cria muitos postos de trabalho e ajuda no crescimento económico de múltiplos países.

Esta dissertação foca-se no estudo das cadeias de aprovisionamento e práticas de gestão no setor automóvel. Faz-se uma revisão de literatura considerando a investigação que se tem feito nesta área, tentando identificar-se as boas práticas, mostrar a relevância de eliminar desperdícios, formas de gerar valor acrescentado para as empresas e impactos que provêm das incertezas do mercado. Considerou-se também um trabalho empírico, em que se construiu um modelo de uma cadeia de aprovisionamento simplificada de uma indústria automóvel, e utilizou-se a simulação de Monte Carlo para se analisarem os possíveis impactos de atrasos dos fornecedores na cadeia de aprovisionamento. É possível concluir que uma gestão *Lean* obriga a uma gestão permanente da cadeia de aprovisionamento, pois atrasos em qualquer um dos seus elementos podem ter impactos importantes ao nível dos riscos de rutura associados.

Palavras-chave: *Lean*; Cadeia de Aprovisionamento; *Just-In-Time*; Indústria Automóvel; Simulação de Monte Carlo.

Abstract

The world is in constant evolution and consumers are becoming more and more demanding, thus forcing industries to always remain focused and to be competitive in relation to the market. Industry 4.0 is nowadays a reality, and it considers an industry with a high level of automation, operating in an intelligent and extremely efficient market. Industry 5.0, which pays attention to man, machines and the environment, will also probably be a reality soon.

The efficient management of supply chains is crucial to guarantee the efficiency of the production processes. The adoption of lean management practices, which maximize efficiency and productivity, always focusing on continuous improvement and a high level of customer satisfaction, has been the choice in several sectors.

The automotive industry is very important globally, being an industry that values research and development, creates many jobs and helps the economic growth of multiple countries.

This work focuses on the study of supply chains and management practices in the automotive sector. A literature review is presented considering the research that has been carried out in this area, trying to identify good practices, showing the relevance of eliminating waste, ways to generate added value for companies and impacts arising from market uncertainties. An empirical work was also done, in which a model of a simplified supply chain was built, and Monte Carlo simulation was used to analyse the possible impacts of supplier delays in the supply chain. It is possible to conclude that lean management requires a permanent management of the supply chain, as delays in any of its elements can have important impacts in terms of the associated risks of disruption.

Keywords: Lean; Supply Chain; Just-In-Time; Automotive Industry; Monte Carlo Simulation.

Lista de Siglas

JIT- *Just-in-time*

TIC- Tecnologias da Informação e Comunicação

SCM- *Supply Chain Management*

ROP- *Reorder point*

EOQ- *Economic Order Quantity*

DMAIC- *Define-Measure- Analyse- Improve- Control*

TPS- *Toyota Production System*

MRP- *Material Requirements Planning*

DDMRP- *Demand-Driven MRP*

UE- União Europeia

I&D- Investigação e Desenvolvimento

PIB- Produto Interno Bruto

WMS- *Warehouse Management System*

CPMG- Centro de Produção de Mangualde

PES- *PSA Excellence System*

MIFA- *Material and Information Flow Analysis*

PDCA- *Plan, Do, Check, Act*

MAF- *Magasin Avancé Fournisseur*

SMC- Simulação de Monte Carlo

RNG- *Random Number Generator*

Lista de Figuras

Figura 1. Casa da Gestão da Cadeia de Abastecimento.	8
Figura 2. Ilustração da filosofia PUSH.....	11
Figura 3. Ilustração da filosofia PULL.....	11
Figura 4. Casa do Sistema de Produção Toyota.	25
Figura 5. Top 10 dos setores industriais da UE em investimento em I&D.	30
Figura 6. Evolução da Peugeot Citroën Automóveis Portugal.....	39
Figura 7. PES- PSA Excellence System.....	47
Figura 8. Cadeia de Aprovisionamento com três fornecedores.....	55
Figura 9. Folha de Simulação com três fornecedores.....	56
Figura 10. Cadeia de Aprovisionamento com dez fornecedores.....	59
Figura 11. Folha de Simulação com 10 fornecedores.....	60
Figura 12. Balanço entre o JIT e o Risco de Rutura.....	72

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Modelo de Revisão Contínua.	15
Gráfico 2. Revisão Periódica com Quantidade Fixa de Encomenda.	17
Gráfico 3. Revisão Periódica com Nível Preestabelecido.	17
Gráfico 4. Representação gráfica da Análise ABC.	19
Gráfico 5. Estimativa da produção automóvel mundial de 2000 a 2020.	29
Gráfico 6. Produção de automóveis de passageiros na UE.	30
Gráfico 7. Impacto do Coronavírus na Produção Veículos Ligeiros.	32
Gráfico 8. Previsão da Produção Mundial de Veículos Ligeiros.	33
Gráfico 9. Produção de veículos automóveis na UE por país.	35
Gráfico 10. Produção Anual do CPMG.	41
Gráfico 11. Produção das Fábricas do Grupo PSA em 2020.	42
Gráfico 12. Produção das Fábricas do Grupo PSA em 2019.	42
Gráfico 13. Comparação entre a experiência com menos impacto na fábrica e a experiência com impacto mais negativo (3 fornecedores)	68
Gráfico 14. Comparação da Experiência 1 com três e com dez fornecedores	69
Gráfico 15. Comparação entre a experiência com menos impacto na fábrica e a experiência com impacto mais negativo (10 fornecedores)	70
Gráfico 16. Comparação da Experiência 6 com três e com dez fornecedores	70

Lista de Tabelas

Tabela 1. Experiências.....	58
Tabela 2. Exemplo da experiência 1.....	59
Tabela 3. Resultados das 10 experiências efetuadas com 3 fornecedores.....	60
Tabela 4. Registos dos resultados com três fornecedores	63
Tabela 5. Resultados das 10 experiências efetuadas com 10 fornecedores.....	64
Tabela 6. Registos dos resultados com dez fornecedores.....	66

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Lista de Siglas.....	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Gráficos.....	vii
Lista de Tabelas	viii
1. Introdução.....	3
2. Evolução da Indústria	5
3. Gestão da Cadeia de Aprovisionamento.....	7
3.1. Introdução	7
3.2. Gestão de Existências	9
3.2.1. Políticas de Gestão de Existências.....	13
3.3. Análise ABC	18
3.4. Gestão <i>Lean</i>	21
3.5. <i>Kanban</i>	23
3.6. Sistema de Produção da Toyota.....	24
3.7. <i>Kaizen</i>	26
3.8. 5S	26
3.9. MRP- Planeamento das Necessidades Materiais	27
4. A Cadeia de Aprovisionamento na Indústria Automóvel.....	29
4.1. Enquadramento da indústria automóvel no Mundo e na Europa.....	29
4.2. Enquadramento da indústria automóvel em Portugal	33
4.3. Gestão da Cadeia de Aprovisionamento na Indústria Automóvel.....	35
4.3.1. Gestão <i>Lean</i> na Indústria Automóvel	36

4.3.2.	Sistema de Gestão de Armazéns.....	37
4.3.3.	MRP- planeamento das necessidades materiais aplicado à Indústria Automóvel	38
5.	Grupo PSA.....	39
5.1.	Apresentação da Empresa	39
5.2.	Gestão <i>Lean</i> no Grupo PSA.....	45
5.3.	Aplicação Prática dos Conceitos.....	48
6.	Estudo Experimental	51
6.1.	Introdução	51
6.2.	Simulação de Monte Carlo	53
6.3.	Experiências Computacionais.....	55
6.4.	Resultados	60
6.5.	Análise dos Resultados	67
7.	Conclusão	73
	Referências Bibliográficas.....	77

1. Introdução

Conseguir ser mais competitivo e eficiente no mercado global é cada vez mais desafiante. A procura por parte dos clientes é cada vez mais difícil de caracterizar e prever, por ser cada vez mais incerta. Assim, os processos produtivos, as indústrias e as empresas vêem-se obrigadas a uma constante evolução e adaptação das suas práticas de gestão.

A par com a crescente incerteza associada aos mercados, o surgimento das novas TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) abre também novas oportunidades a nível da gestão das cadeias de aprovisionamento. O uso destas tecnologias permite que as empresas tenham mais vantagens, melhores desempenhos e que tenham muito mais facilidade no que concerne à inovação dos seus processos.

Todas as empresas querem ser competitivas. Para isso é importante observarem a cadeia de aprovisionamento como um todo, desde o ponto de partida até ao consumidor, e verem qual a melhor maneira de garantir a gestão de todos os processos que têm lugar nesta cadeia.

O objetivo deste trabalho é o de estudar as cadeias de aprovisionamento, e as práticas de gestão, no contexto do setor automóvel. A motivação para este trabalho surgiu pelo facto de eu ter estado a realizar um estágio profissional na empresa Peugeot Citroën Automóveis de Portugal, S.A, em Mangualde. Esta empresa segue uma política de gestão *lean*, com todo o planeamento de produção a ser feito considerando baixos níveis de existências. Para além de uma revisão de literatura que pretende dar a conhecer a investigação que tem sido feita nesta área, foi também levado a cabo um estudo experimental que tenta analisar o impacto de possíveis atrasos na cadeia de aprovisionamento quando se opta por uma política de gestão de existências de *just-in-time*.

Na secção 1 desta dissertação é feita uma breve introdução ao estudo que se vai realizar. Na secção 2 descrevem-se as principais fases da evolução industrial até aos dias de hoje, identificando-se os principais acontecimentos. Na secção 3 serão apresentados conceitos relacionados com a gestão da cadeia de aprovisionamento. A secção 4 vai apresentar um enquadramento das indústrias automóveis e das suas cadeias de aprovisionamento. Na secção 5, irá ser feita uma breve apresentação da empresa Peugeot

Citroën Automóveis de Portugal, S.A, permitindo que se exemplifique, com um caso real, a implementação de práticas de gestão *lean*. Na secção 6, apresenta-se o estudo experimental realizado, que considera a utilização de Simulação de Monte Carlo num modelo simplificado de uma cadeia de aprovisionamento para simular potenciais atrasos na cadeia de aprovisionamento e estudo do impacto dos mesmos. Procede-se também à análise dos resultados obtidos. A secção 7 apresenta uma conclusão geral acerca do estudo realizado.

2. Evolução da Indústria

Com o passar dos anos a procura dos clientes tem sido caracterizada, cada vez mais, como incerta e desconhecida, obrigando, deste modo, os sistemas de produção a evoluírem (Yin, Stecke, & Li, 2018). A indústria tem vindo a progredir, desde a Indústria 1.0 até à Indústria 5.0.

A Indústria 1.0 começou no século XVIII e era caracterizada por sistemas de produção artesanais, por mercados simples e pela energia a vapor. A utilização da energia a vapor na indústria permitiu um grande avanço na produtividade humana (Shukla, Shukla, & Jain, 2020; Yin et al., 2018).

Em seguida, a Indústria 2.0, que começou no século XIX, ficou marcada não só pelo descobrimento da eletricidade, que permitiu que as máquinas fossem mais eficientes, como também pelas linhas de montagem, que possibilitaram a produção em massa dos produtos. Nesta época, o estudo de Fredrick Taylor contribuiu para que passasse a existir o conceito de divisão do trabalho, onde cada trabalhador tinha a sua função (Shukla et al., 2020).

Surgiu depois a Indústria 3.0 (século XX), onde passaram a existir novas tecnologias, a passagem de analógico para digital, permitindo um melhor uso da informação existente (Yin et al., 2018). A indústria 3.0 é marcada pelos avanços na indústria eletrónica, começando a existir uma integração de *hardware* e *software* eletrónicos nos sistemas de fabrico que possibilitaram a implementação de muitos processos mais eficientes de gestão, como a gestão de inventários, a programação do fluxo de produtos, a logística de transporte, entre outros, tornando a indústria mais automatizada (Shukla et al., 2020).

De seguida, surge a Indústria 4.0, fase em que nos encontramos atualmente, com sistemas de produção iguais aos da Indústria 3.0, mas com um mercado intitulado como um mercado inteligente. A tecnologia evoluiu para veículos elétricos, impressões 3D, inteligência artificial, entre outros (Yin et al., 2018). A Indústria 4.0 passa a ter máquinas inteligentes capazes de monitorizar continuamente todos os processos produtivos, detetar e prever falhas de forma a sugerir medidas de prevenção e de correção, por exemplo. Desta forma, as indústrias conseguiram tirar vantagens destas evoluções, reduzindo, por exemplo, o seu tempo de inatividade. As pessoas, as máquinas, as infraestruturas e os processos passaram a estar todos interligados numa única rede, permitindo a existência de uma gestão global extremamente eficiente (Shukla et al., 2020).

Nos tempos mais recentes, já se começa a falar de uma Indústria 5.0, na qual passa a haver uma reconciliação entre o homem e a máquina, de forma a melhorarem a eficiência e os meios da produção. Prevê-se que, nesta indústria, haja soluções tecnológicas que salvem o ambiente e aumentem a sustentabilidade (Shukla et al., 2020). Segundo a Comissão Europeia, a Indústria 5.0 coloca a investigação e a inovação ao serviço da transição para uma indústria sustentável, centrada no Homem e resiliente, complementando deste modo a Indústria 4.0 (European Commission, 2021b).

A cadeia de aprovisionamento é uma parte fundamental no processo produtivo, tendo em conta que é responsável não só pela chegada de matérias-primas para a transformação, mas também por fazer chegar aos clientes os produtos finais. As novas tecnologias, a inteligência artificial, a robótica e o tratamento massivo de dados faz com que a cadeia de aprovisionamento cresça e tenha a possibilidade de se tornar mais sustentável, face aos desafios ambientais que surgem. A implementação destas tecnologias impulsiona a cadeia de aprovisionamento, tornando-a mais eficiente e com melhores níveis de serviço ao cliente. As cadeias de aprovisionamento digitais são uma rampa de entrada para o sucesso e inovação (Merlino & Sproge, 2017).

3. Gestão da Cadeia de Aprovisionamento

3.1. Introdução

Através do surgimento das TIC e do aumento da competitividade global tornou-se necessário que as empresas começassem a adotar estratégias para a gestão da sua cadeia de aprovisionamento (Tan, 2002). A Gestão da Cadeia de Aprovisionamento (SCM- *Supply Chain Management*) tem cada vez mais importância pois permite às organizações obterem mais vantagens e serem mais competitivas. Se esta gestão for bem-sucedida e eficiente, as instituições conseguirão reduzir os custos e aumentar a sua eficiência (Daneshvar, Razavi Hajiagha, Tupénaité, & Khoshkheslat, 2020). Uma boa prática de gestão leva um melhor desempenho nas indústrias (Saranga, Mukherji, & Shah, 2015).

É importante definir em que consiste a Cadeia de Aprovisionamento, sendo este um conceito definido de forma consensual por vários autores, ao contrário do conceito da Gestão da Cadeia de Aprovisionamento. Segundo Mentzer, Keebler, Nix, Smith, & Zacharia (2001), a Cadeia de Aprovisionamento engloba um conjunto de indivíduos ou de organizações que estão envolvidos de forma direta nos serviços, produtos, finanças, informações que integram todos os processos desde o ponto de partida até ao consumidor. A Gestão da Cadeia de Aprovisionamento consiste, segundo o *Global Supply Chain Forum*, num conjunto de processos de que fazem parte os fornecedores, os produtos e fluxos de informação necessários, e que se concretizam na criação de valor acrescentado para os *stakeholders* (Lambert & Cooper, 2000). Para se realizar com êxito a SCM, Mentzer et al. (2001) sugere que haja, na cadeia de aprovisionamento, um comportamento integrado entre o fornecedor e o cliente, de forma a que as empresas possam continuar competitivas (Elmuti, 2002), que exista partilha mútua de informação entre os elementos da cadeia pois tal partilha é essencial para que exista uma redução de custos, de incertezas e melhorias dos níveis de serviço (Yu, Ting, & Chen, 2010). É também importante que haja partilha mútua de riscos e recompensas, cooperação entre os participantes, que todos tenham o mesmo objetivo e que se concentrem em servir os clientes, que exista uma integração de processos e que os parceiros existentes na cadeia construam e mantenham uma relação a longo prazo (Mentzer et al., 2001).

Para clarificar o conceito de SCM, Stadtler (2005) introduziu um novo conceito, “Casa da Gestão da Cadeia de Aprovisionamento”, que é representada na Figura 1.

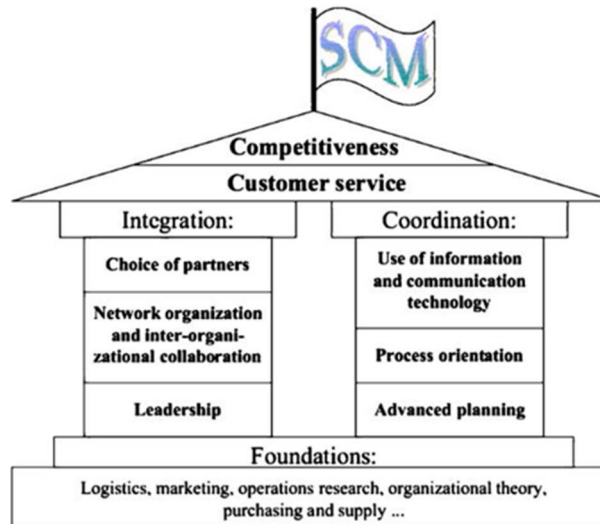


Figura 1. Casa da Gestão da Cadeia de Abastecimento.

Fonte: (Stadtler, 2005)

Da observação da Figura 1, em forma de casa, podemos ver que o telhado descreve a finalidade da Gestão da Cadeia de Aprovisionamento, isto é, aprimorar a competitividade geral da Cadeia de Aprovisionamento. A satisfação dos clientes é um dos elementos fulcrais para alcançar essa finalidade. A casa assenta em dois pilares, um que corresponde à “Integração das Unidades Organizacionais” e outro que diz respeito à “Coordenação dos Fluxos”. Estes pilares podem ser interpretados como sendo constituídos por seis blocos, que são considerados importantes na gestão da cadeia de aprovisionamento, que irão ser explicados de seguida (Stadtler, 2005).

Partindo do pilar da “Integração”, considera-se que a cadeia de aprovisionamento deve ser planeada começando por se encontrar os melhores parceiros (“Escolha de parceiros”). A posição financeira, os fatores geográficos e as capacidades dos parceiros representam elementos relevantes para a escolha dos mesmos e a cooperação entre todos deve favorecer cada um deles em particular. De seguida, é possível olhar-se para a cadeia de aprovisionamento como uma rede de organizações, que se baseia nas decisões diárias da gestão e dos colaboradores (“Organização em rede e colaboração inter-organizacional”). O bloco da “Liderança” na cadeia de aprovisionamento, consiste, por um lado, na existência de um parceiro que seja visto como o parceiro líder devido, por exemplo, à sua solidez financeira ou ao conhecimento excelente dos produtos e dos processos que tem. Por outro lado, os parceiros podem ser

vistos como sendo todos iguais, podendo, neste caso, ser necessário existir uma comissão que alinhe as decisões para os parceiros (Stadtler, 2005).

No pilar da “Coordenação”, o bloco da “Tecnologia de Informação e Comunicação”, consiste na troca de informação entre os fornecedores, tais como previsões, dados de vendas, entre outros, através da internet ou de outros serviços relacionados, que permitam aos parceiros tomarem decisões, armazenar dados, trocarem informações de imediato e a baixo custo. A “Orientação do Processo” tem em vista quebrar as barreiras entre as organizações e as funções de negócios, de modo a apressar a execução de processos e outras atividades. Em último lugar, o “Planeamento Avançado” consiste na utilização de modelos matemáticos no apoio à tomada de decisão a nível estratégico e operacional (Stadtler, 2005).

De acordo com Stadtler (2005), a Gestão da Cadeia de Aprovisionamento deve ter como foco a ligação de unidades organizacionais, de modo a atender às necessidades dos consumidores e melhorar a sua competitividade. Desta forma, esta gestão apresenta os seus fundamentos baseados em conhecimento proveniente da logística, da teoria organizacional, da investigação operacional, entre outros.

Nas próximas subsecções vão considerar-se diferentes aspetos relacionados com a gestão da cadeia de aprovisionamento. Na secção 3.2 apresentam-se os modelos clássicos de gestão de existências. Na secção 3.3 apresenta-se a análise ABC, descrevendo-se de que forma esta análise pode integrar-se nas políticas de gestão de existências. Nas restantes subsecções, apresentam-se algumas abordagens no contexto da filosofia de gestão *Lean*.

3.2. Gestão de Existências

Quando se fala em Gestão da Cadeia de Aprovisionamento é importante definir o conceito de Gestão de Existências ou de Inventários (*stock*), pois esta é parte integrante da SCM. De acordo com Singh & Verma (2018), a Gestão de Inventários é o processo contínuo de planeamento, organização e controlo de inventário que visa minimizar o investimento em inventário, equilibrando simultaneamente a oferta e a procura, sendo este equilíbrio visto como um problema básico da Gestão de Inventários (Bose, 2006). As empresas, para saberem como manter este equilíbrio, recorrem a diversas técnicas, desde

os métodos gráficos mais simples até às técnicas mais complexas e sofisticadas, com o objetivo de adotar as melhores decisões e seguir uma política sólida (Bose, 2006).

As existências constituem um investimento muito significativo em quase todos os ramos de atividade, existindo argumentos a favor e contra a manutenção das mesmas. A favor, realça-se o facto de permitirem uma melhoria no serviço ao consumidor e uma redução dos custos operacionais. Por outro lado, os argumentos contra passam por considerar estas existências como um desperdício, não estando isentas de riscos, e que servem para camuflar problemas de qualidade, entre outros. A Gestão de Existências tem como objetivo descobrir quando e quanto se deve encomendar para, desta forma, minimizar os custos (Costa, Dias, & Godinho, 2017).

Os problemas a que se pretende dar resposta através da Gestão de Existências podem ser classificados conforme a filosofia de gestão, a natureza da procura, o planeamento multinível, o grau de agregação de produtos e a existência de *stock* virtuais (J. Dias, 2019). A filosofia de gestão divide-se em duas abordagens, a *PUSH* (Figura 2) e a *PULL* (Figura 3), sendo a *PUSH* uma abordagem baseada na origem, onde a empresa começa a produzir antes de conhecer os pedidos dos clientes, e a *PULL*, uma abordagem baseada no destino em que, contrariamente à abordagem *PUSH*, a empresa começa a produzir em resposta à existência de pedidos por parte dos clientes (Arif, Smiley, & Kulonda, 2005). Num sistema *PULL* a produção é impulsionada pelo fluxo da procura real (Di Mascolo, Frein, & Dallery, 1996). A natureza da procura consiste na forma como se comporta a procura ao longo do tempo. Esta procura pode ser mais ou menos constante, pode apresentar flutuações sazonais ou ter um comportamento totalmente errático. O planeamento multinível traduz-se em gerir as existências por meio de uma junção de diferentes níveis da cadeia de aprovisionamento. O grau de agregação de produtos também se divide em duas abordagens, sendo elas a abordagem *bottoms-up* (unidades individuais) e abordagem *top-down* (grupos amplos de produtos). Por último, os *stocks* virtuais tornam-se possíveis graças ao aparecimento de sistemas de informação que permitem saber com precisão as existências que existem em diferentes níveis na cadeia de aprovisionamento ou em diferentes elementos de cada nível (como acontece com lojas de retalho de uma determinada empresa, em que uma loja consegue saber, em tempo real, quais unidades de cada referência estão disponíveis em cada uma das lojas) (J. Dias, 2019).

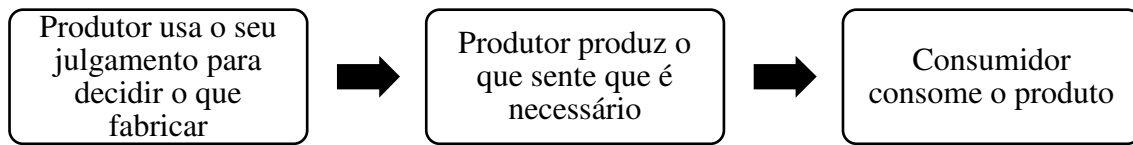


Figura 2. Ilustração da filosofia PUSH.

Fonte: Adaptado de (Arif et al., 2005)

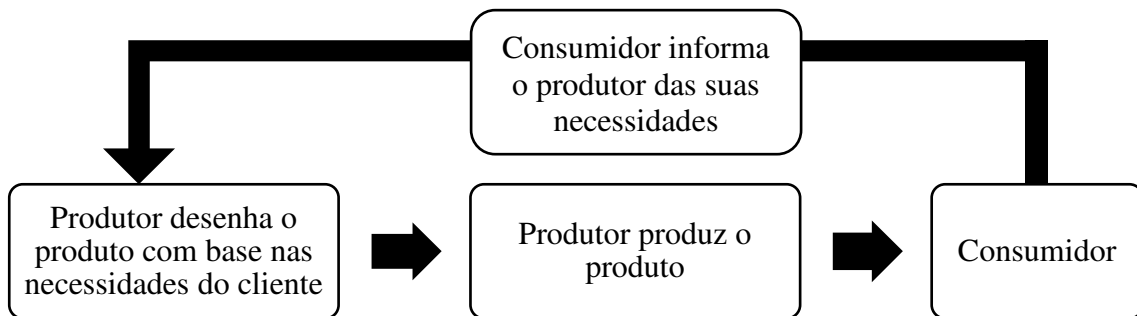


Figura 3. Ilustração da filosofia PULL.

Fonte: Adaptado Arif et al., (2005)

As abordagens *PUSH* e *PULL* possuem vantagens e desvantagens. Segundo Arif et al. (2005), a implementação de uma abordagem *PULL* conduz, habitualmente, a clientes mais satisfeitos, a um menor nível de inventário, menores custos e faz também com que o produtor tenha um produto capaz de responder às constantes mudanças de necessidades do consumidor o que, nos dias de hoje, se torna uma grande vantagem, tendo em conta a procura incerta que se vive e o facto dos consumidores serem cada vez mais exigentes. Numa abordagem *PUSH*, o produtor tem um controlo total sobre a quantidade, custos e qualidade do produto. Assim, esta abordagem é mais apropriada para produtos que têm pouca concorrência no mercado, em que os clientes compram o produto em questão porque não existem mais opções de escolha no mercado. A abordagem *PUSH* pode então ser vista como uma abordagem que apresenta vantagens num contexto de monopólio. Um ponto negativo desta abordagem passa pela possível insatisfação dos consumidores, pois as suas necessidades podem não vir a ser totalmente atendidas, tendo em conta a dificuldade de responder de forma rápida a alterações que venham a ocorrer na procura (Arif et al., 2005). A abordagem *PUSH* permite que se retirem vantagens de

economias de escala pois, como se decide *a priori* a produção, a aquisição de matérias primas e o planeamento da produção é mais simples, e é isso que pode levar a menores custos (J. Dias, 2019). Em oposição, a abordagem *PULL* obriga o produtor a manter-se atento às necessidades dos consumidores, investindo em Investigação e Desenvolvimento (I&D), para atender às expectativas e exigências do cliente, aumentando desta forma os custos do produto. No entanto, o nível de satisfação do cliente é bastante elevado e a utilização dada aos produtos é também bastante elevada (Arif et al., 2005).

O custo global de inventários engloba quatro tipos de custos, sendo estes o custo de aquisição, o custo de encomenda, o custo de transporte do inventário e o custo de rutura (Samak-Kulkarni & Rajhans, 2013). De acordo com Fowler, Kim, & Shunk (2019), a melhor forma de medir o desempenho de uma cadeia de aprovisionamento é analisar o *trade-off* entre o custo de manutenção de inventário e o custo de serviço. Estes autores assumem que os custos de serviço abrangem diferentes formas de custos que resultam dos atrasos que uma empresa tenha nos prazos de entrega aos seus clientes. Por exemplo, caso a empresa não cumpra o prazo de entrega estipulado, pode oferecer um desconto de 10% para compensar o cliente pelo atraso. Uma cadeia de aprovisionamento *PUSH* considera como prioritária a minimização do custo de serviço, enquanto que uma cadeia de aprovisionamento *PULL* permite estar mais focada no custo de inventários. De forma a existir um equilíbrio, passou-se a estudar a possibilidade de existir uma cadeia de aprovisionamento que retirasse as vantagens de cada uma das abordagens e minimizasse os respetivos constrangimentos, aparecendo assim uma abordagem híbrida conhecida como *PUSH-PULL*. Uma cadeia de aprovisionamento com uma estratégia *PUSH-PULL* traz benefícios, tais como o menor custo de inventários e uma maior flexibilidade em adaptar-se às mudanças do mercado. Contudo, adotar este misto de abordagens traz também riscos relacionados com o *lead time*¹ e com a robustez face às variações externas (Kim, Fowler, Shunk, & Pfund, 2012). Uma cadeia de aprovisionamento híbrida requer, por exemplo, uma produção de produtos semiacabados através de uma abordagem *PUSH*, que serão armazenados num local a meio da cadeia de aprovisionamento, intitulado como fronteira *PUSH-PULL*. De seguida, a produção do produto final terá uma abordagem *PULL*, ou seja, a produção é “puxada” por encomendas concretas e, por fim, passa pelos demais processos, até o produto final ser entregue ao consumidor final. Na verdade, ainda

¹ Intervalo de tempo entre o momento em que se encomenda até ao momento em que o material se encontra em armazém (Costa et al., 2017).

existem dificuldades relativamente a este misto de abordagens na cadeia de aprovisionamento. Um deles passa por saber qual a localização exata do ponto de viragem dentro da cadeia de aprovisionamento, de forma a que todos os processos sejam otimizados. Para vários autores, este local deve ter em conta o tipo de produto, a forma organizacional da empresa e o processo de fabricação da mesma (Fowler et al., 2019). Outro desafio está relacionado com a capacidade das empresas manterem uma resposta satisfatória em relação aos prazos de entrega (Kim et al., 2012).

O estudo de Fowler et al. (2019), mostrou que a localização do limite *PUSH-PULL* tem de ser bem analisada pelos responsáveis pois podem acontecer perturbações inesperadas na cadeia de aprovisionamento ou no mercado, que fazem com que o limite *PUSH-PULL* seja empurrado para trás, o que causa um disparo nos custos de serviço. Para Kim et al. (2012), se uma empresa pensa em adotar a estratégia híbrida *PUSH-PULL* para a sua cadeia de aprovisionamento deve ter em consideração a sua posição no mercado e a sua influência na sua relação com os clientes. Segundo estes autores, uma forma de atenuar os riscos e melhorar a robustez referida anteriormente, passa por definir não apenas um ponto de *stock*, mas sim mais pontos de *stock* depois do limite *PUSH-PULL*, pontos estes que são considerados pontos *PULL*. Não é necessário garantir um *stock* do produto final que garanta a imediata satisfação da procura, pois será possível rapidamente, e tendo em conta os pontos de transição *PUSH-PULL* existentes na cadeia, despoletar a produção do que é necessário para responder à procura.

3.2.1. Políticas de Gestão de Existências

As existências são vistas como necessárias, pois protegem a indústria de choques exógenos. No entanto, podem ser também o resultado de uma má gestão dos processos da cadeia de aprovisionamento (Jammernegg & Reiner, 2007). Segundo a filosofia japonesa, o inventário apenas esconde os problemas (Christopher, 2011). Assim, torna-se importante estudar estratégias de gestão eficientes deste processo (Jammernegg & Reiner, 2007).

As políticas de gestão de existências ou políticas de aprovisionamento definem quanto se deve encomendar e quando devem ser feitas as encomendas, tendo por base as quantidades que existem em *stock*, a caracterização da procura e os tipos de custos

existentes. Quando se fala de existências, não podem ser consideradas apenas aquelas que estão disponíveis em armazém, mas também as que correspondem ao *stock* em trânsito e aos *backorders*. O *stock* em trânsito são as existências que se encontram em trânsito entre os diferentes níveis da cadeia de aprovisionamento e os *backorders* são pedidos dos consumidores que até então não foram atendidos, ou seja, correspondem a unidades que os clientes estão à espera de receber. Assim, o aprovisionador deve tomar as suas decisões, relativas às encomendas, tendo em conta a posição do *stock*, sendo esta calculada pela soma do *stock* disponível com os *stocks* em trânsito menos os *backorders*. Por outro lado, o aprovisionador deve também saber quais as quantidades de existências que existem efetivamente em armazém, sendo esta quantidade calculada pela subtração aos *stocks* disponíveis das *backorders* (Costa et al., 2017).

De seguida, irão ser apresentados dois modelos que definem duas políticas diferentes de gestão de inventários. Estes modelos permitem calcular diferentes valores, como a quantidade a encomendar (Q), o tempo entre encomendas (T) e o ponto de encomenda (R). Além disto, aspetos como os custos, o *lead time* (L), a procura e o nível de satisfação são importantes para analisar estes modelos. Um conceito muito importante, qualquer que seja a política de gestão de existências adotada, é o conceito de Lote Económico, Q^* , que se refere à quantidade que se deve encomendar de cada vez, por forma a que se minimize o custo total associado às existências, e considerando como custos principais os custos de manutenção de existências e os custos de realizar encomendas. Outro conceito fundamental é o de nível de serviço, diretamente relacionado com a qualidade do serviço ao cliente, e que se calcula como sendo a probabilidade de um produto estar disponível no instante em que o cliente pretende e nas quantidades adequadas (Costa et al., 2017).

Segundo Costa et al. (2017), deve-se atentar à incerteza inerente à conduta dos consumidores e dos fornecedores. Uma das maneiras de se lidar com esta incerteza é através da constituição de *stocks* de segurança. O conceito de *stock* de segurança refere-se às quantidades disponíveis de artigos em *stock* que fazem face a situações de incerteza quer a nível da procura, quer a nível do *lead-time*. De acordo com Prak & Teunter (2019), quando tomadas decisões relativamente aos inventários, não se deve ignorar a incerteza, caso contrário poderão considerar-se *stocks* de segurança insuficientes e, por conseguinte, rupturas de *stocks* frequentes, custos elevados, sendo difícil alcançar os níveis de serviço desejados. Lidar de forma explícita com a incerteza, e incorporar esta incerteza nos

processos de decisão, traz benefícios em termos de custos para as indústrias, conseguindo assim ter custos esperados mais baixos e menores desvios desses custos.

○ Política de Revisão Contínua

Uma das políticas de reabastecimento é o sistema de revisão contínua de existências ou sistema de ponto fixo de encomenda (Costa et al., 2017). Neste modelo, deve proceder-se à encomenda do material assim que a posição de *stock* atinja o *reorder point* (ROP), o ponto de encomenda (Minken & Johansen, 2019). Denomina-se de revisão contínua porque implica o acompanhamento contínuo da evolução da posição de *stock* de cada um dos produtos. Neste sistema, tem-se claramente em conta a incerteza, quer na procura quer no *lead time*. Dado que a encomenda só se realiza quando o *stock* atinge o *reorder point*, garante-se a satisfação total da procura até ao momento em que é feita a encomenda. Posto isto, o *stock* de segurança apenas precisa de precaver a incerteza que possa resultar da procura durante o *lead time* (Costa et al., 2017). No Gráfico 1 apresenta-se um exemplo da evolução da posição e nível de *stock* para esta política de gestão de inventários.

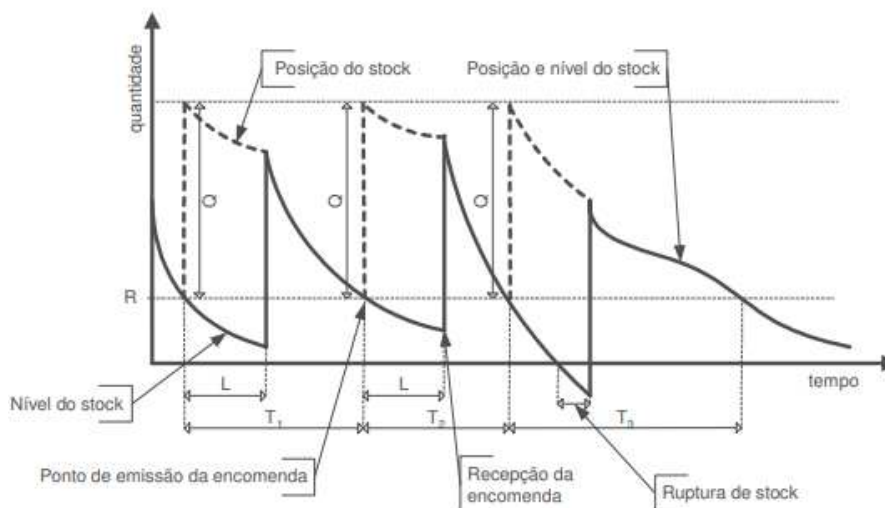


Gráfico 1. Modelo de Revisão Contínua.

Fonte: (Costa et al., 2017)

Este modelo permite que se atinjam níveis de serviços mais elevados em relação à política de revisão periódica, que será descrita de seguida, pois o risco de ruturas

iminentes de *stock* pode ser eliminado através de novos pedidos de encomendas (Poormoaid & Atan, 2020). Adicionalmente, o aprovisionador, para saber qual a quantidade a encomendar, pode basear-se na fórmula do Lote Económico (*Economic Order Quantity* -EOQ), pois esta fórmula ajuda a equilibrar os custos de manutenção dos inventários com os custos dos novos pedidos de encomenda (Christopher, 2011).

o **Política de Revisão Periódica**

Enquanto que na Política de Revisão Contínua se assume que a posição de *stock* está a ser continuamente monitorizada, e se faz uma encomenda quando se atinge o ponto de encomenda, na Política de Revisão Periódica apenas se verifica a posição do *stock* em períodos do tempo definidos e com uma periodicidade constante. Assim, a posição de existências é revista em intervalos de tempo regulares, o que permite que se considerem, em simultâneo, as encomendas de vários produtos, o que pode ser visto como uma vantagem quando vários produtos são adquiridos a um mesmo fornecedor, por exemplo. Esta política leva, habitualmente, a maiores níveis de existências e menores custos administrativos. Neste modelo, torna-se fundamental resguardar a incerteza durante o tempo $T + L$, pois só há possibilidade de se proceder a uma nova encomenda passado o espaço de tempo T e, por consequência, a nova encomenda poderá ser recebida no intervalo de tempo $T + L$. Por outras palavras, o nível de *stock* é necessário para satisfazer a procura durante o decorrer desse tempo (Costa et al., 2017). De acordo com Poormoaid & Atan (2020), a Política de Revisão Periódica tem um fraco desempenho em termos de reações atempadas à escassez. Este modelo pode ser dividido em dois sistemas, visto que a posição de *stock* não tem tendência a ser regular. Temos a revisão periódica com quantidade fixa de encomenda e a revisão periódica com nível preestabelecido (Costa et al., 2017). Os Gráfico 2 e Gráfico 3 ilustram estas duas alternativas, respetivamente.

Consta-se que uma Revisão Periódica com períodos de revisão bastante reduzidos tende para o modelo de Revisão Contínua. É costume as empresas tentarem adotar uma combinação entre as duas políticas de revisão. Assim, nos artigos com uma procura reduzida e com rotatividade baixa, pode aplicar-se uma Política de Revisão Periódica. Já nos artigos com rotatividade e procura elevada pode adotar-se a Política de Revisão Contínua (Costa et al., 2017).

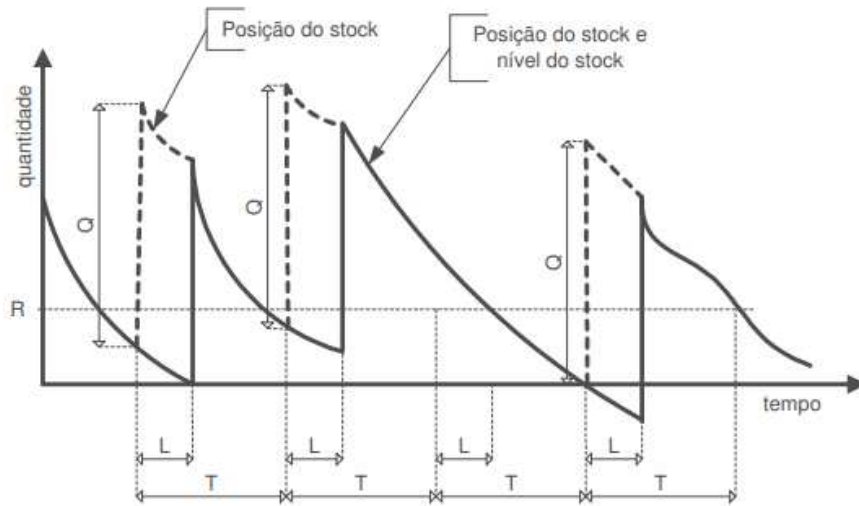


Gráfico 2. Revisão Periódica com Quantidade Fixa de Encomenda.

Fonte: (Costa et al., 2017)

Quando se emite uma encomenda e, de seguida, é reposta a posição de *stock* a um nível preestabelecido S , estamos perante o sistema de revisão periódica de revisão com nível preestabelecido (Costa et al., 2017).

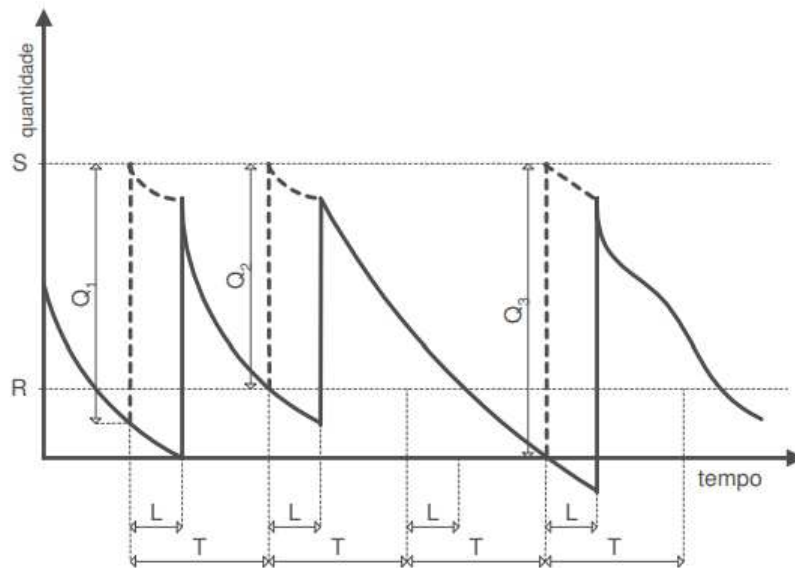


Gráfico 3. Revisão Periódica com Nível Preestabelecido.

Fonte: (Costa et al., 2017)

De acordo com Costa et al. (2017), nestes sistemas deve-se atender a fatores como os custos, o *lead time*, o nível de satisfação objetivada para a procura em questão, a probabilidade da existência de ruturas de *stocks* e a procura estimada.

- **Vantagens/desvantagens das duas políticas de gestão de existências**

Ambas as políticas descritas anteriormente possuem vantagens e desvantagens. Utilizar o modelo de revisão contínua tem como vantagens conseguir-se controlar com precisão o *stock* de cada produto. Quando existe incerteza, somente se tem de acautelar a incerteza da procura no decurso do *lead time*. É a política que permite uma maior minimização de custos, quando não existe necessidade de se fazerem encomendas simultâneas de vários produtos diferentes, ou tal não traz vantagens. A maior desvantagem prende-se com a necessidade de existir um acompanhamento constante dos níveis de existências, desvantagem essa cujo impacto é, atualmente, reduzido devido à utilização de sistemas de informação. O modelo de revisão periódica de existências tem como grande vantagem permitir a gestão simultânea de diversos itens distintos, nomeadamente quando existe a necessidade ou vantagem em encomendar simultaneamente vários produtos ao mesmo fornecedor, e é também de simples implementação. No entanto, pode levar a um aumento dos *stocks* de segurança, com o correspondente aumento dos respetivos custos (Costa et al., 2017).

3.3. Análise ABC

Para além das políticas de gestão de existências apresentadas anteriormente, é possível fazer-se uma análise das necessidades a que a gestão de existências deve atender através de uma análise do impacto dos diferentes produtos na empresa.

Uma dessas análises é a análise ABC. A análise ABC é uma técnica utilizada pelas empresas para análise dos seus produtos e tem por base o princípio de Pareto. Utiliza conceitos de simples compreensão e utilização (Ramanathan, 2006). O princípio de Pareto, ou regra 80-20, declara que cerca de 80% das consequências são produzidas por 20% das causas, para muitos acontecimentos (Harvey & Sotardi, 2018). Geralmente, a classificação dos artigos tem em conta o valor da sua utilização anual, ou seja, a procura

anual do produto e o preço unitário do mesmo. Pode verificar-se que, em muitos casos, 20% dos produtos são responsáveis por 80% do volume de vendas, por exemplo. A classificação ABC é utilizada para distinguir os inventários de alto e baixo valor (Goldsby & Martichenko, 2005), classificando os produtos em alta importância (A), importância moderada (B) e importância baixa (C) (Soylu & Akyol, 2014). A classe A é constituída por poucos artigos que representam um grande valor, em termos de transações, para a empresa (Ramanathan, 2006). A classe C, em oposição à classe A, é composta por muitos artigos, contudo o valor de utilização anual de cada um é pequeno (Ramanathan, 2006). Segundo Heizer & Render (2011), os itens classe A correspondem a 15% do inventário total e cerca de 70% a 80% do valor anual associado ao produto para a empresa (por exemplo, valor anual das vendas), os itens da classe B representam 30% do inventário total e 15% a 25% do valor vendas, por último os itens da classe C equivalem aos 55% do total do inventário e a 5% do valor de vendas, como representado no Gráfico 4.

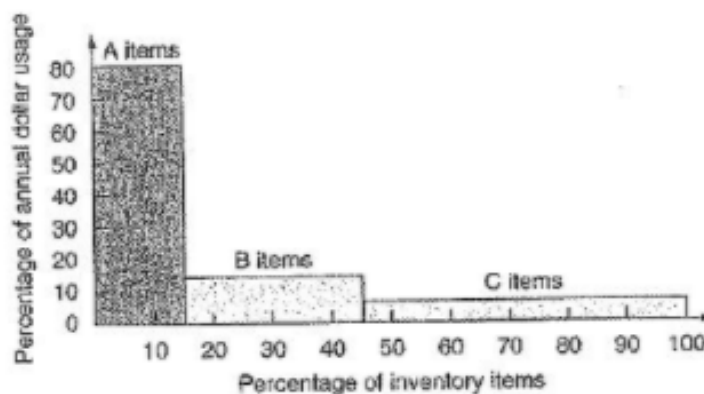


Gráfico 4. Representação gráfica da Análise ABC.

Fonte: (Heizer & Render, 2011)

Para a análise ABC ser bem-sucedida, convém que o conjunto de produtos que se considera na análise tenha características semelhantes e que as diferenças sejam apenas entre o valor de utilização anual. Na realidade, uma empresa com um grande número e diversidade de artigos não consegue garantir que estes sejam todos semelhantes. Neste caso, a análise ABC pode não ser a melhor ferramenta para a classificação dos artigos (Ramanathan, 2006), mas pode, ainda assim, optar-se por realizar uma análise ABC por categoria de produtos. As empresas têm-se adaptado, cada vez mais, a esta análise. Quando os seus inventários crescem, as despesas adicionais e o tempo necessário para

controlar todos os artigos aumentam, sendo necessário começar a classificar os produtos tendo em conta a sua prioridade. Artigos com alta prioridade, por exemplo, devem ser controlados mais vezes para se evitar ruturas de *stock*, enquanto que artigos com baixa prioridade não precisam de ser inspecionados com tanta regularidade, baixando deste modo custos associados ao controlo dos artigos (Soylu & Akyol, 2014). Note-se que é possível utilizar esta classificação para se decidir qual a política de gestão de existências mais adequada para cada produto ou grupo de produtos e, ainda, para se definirem os respetivos níveis de serviço. Para um produto que pertença à classe A, por exemplo, pode fazer mais sentido optar-se por uma política de revisão contínua, garantindo elevados níveis de serviço, pois a não satisfação da procura poderia resultar em impactos significativos para a empresa. Já para um produto de classe C podem-se considerar níveis de serviço mais baixos e uma política de revisão periódica pode ser mais adequada.

A análise ABC pode ter em conta outros critérios que não apenas o valor da utilização anual dos produtos. Assim, pode definir-se uma análise ABC multicritério.

A classificação multicritério de inventários constitui um grande desafio na análise ABC porque, para além do critério da utilização anual, existem muitos mais critérios que podem contribuir para a decisão sobre a importância de um determinado produto no inventário, tais como o tempo de espera, o custo de inventário, a durabilidade, entre outros (Soylu & Akyol, 2014 apud Flores & Whybark, 1987). Consequentemente, torna-se necessário o uso de novas tecnologias para a implementação desta análise (Ramanathan, 2006), que ajudem a melhorar os investimentos em inventários (Soylu & Akyol, 2014). Pode fazer-se uso de modelos de análise multicritério e podem estabelecer-se pesos que, de alguma forma, priorizem os diferentes critérios. Neste último caso, é importante referir que os pesos dos critérios não são os mesmos de indústria para indústria, pois as características específicas de cada indústria podem ter influência nas classificações, sendo que a classificação dos inventários pode estar relacionada com o planeamento da produção e não exclusivamente com a gestão de *stocks* (Soylu & Akyol, 2014).

Existe ainda a possibilidade de se complementar a análise ABC dos produtos com uma análise ABC dos clientes, seguindo a mesma lógica já descrita. Os produtos a que se deve dar mais atenção em termos de gestão de *stocks*, e para os quais será necessário garantir maiores níveis de serviço, serão os produtos de classe A, adquiridos por clientes de classe A.

3.4. Gestão *Lean*

Num mundo cada vez mais competitivo, os clientes exigem que as empresas se desenvolvam mais rapidamente, que apresentem produtos e serviços com muita qualidade e inovação, obrigando as empresas a encurtarem os seus ciclos de produção, a terem custos de desenvolvimento reduzidos e a que procurem uma melhoria contínua na qualidade (Yamamoto, Milstead, & Lloyd, 2019). Deste modo, as empresas adaptam as suas formas de negócios ao ambiente em que vivem e, assim, começam a adotar metodologias de trabalho como o *Lean* e *Six Sigma*, de modo a reduzirem custos e obterem melhorias de qualidade. Estas duas metodologias completam-se e permitem uma melhoria contínua nas atividades. O *Lean* e o *Six Sigma* tornam-se fundamentais para a logística pois ajudam os profissionais a resolver problemas e trazem melhorias para os processos (Goldsby & Martichenko, 2005).

As economias mais avançadas, como o Japão, EUA e Europa usaram a gestão de qualidade total, o *lean manufacturing*, o *Six Sigma* e o sistema de fabrico flexível, que ajudam na melhoria de processos operacionais, com a finalidade de reduzir o nível de inventários e melhorar a qualidade de produtos. Por outro lado, as indústrias localizadas nas economias emergentes têm mais dificuldades em adotar melhores práticas para gerir os seus inventários. Quanto melhor forem as infraestruturas e a logística, maior redução de inventário de produtos acabados pode ser atingida. Nas economias emergentes também é possível efetuar mudanças nas suas cadeias de abastecimento de forma a obterem a máxima eficiência (Saranga et al., 2015).

A filosofia de gestão *Lean* teve origem no Sistema de Produção Toyota (Yamamoto et al., 2019) e consiste não só na eliminação de desperdícios em todos os processos, mas também na diminuição do trabalho do dia a dia com a gestão de inventários, sendo estes os objetivos primordiais desta filosofia (Goldsby & Martichenko, 2005). Desta forma, permite que haja diminuição nos tempos de fabrico e um aumento de velocidade e de fluxo na cadeia de aprovisionamento. De acordo com a teoria *lean*, é necessário eliminar todos os inventários que não sejam precisos nas operações e para satisfação das necessidades imediatas dos clientes. Os excessos não são apenas nos inventários. Assim, o tempo, o transporte, as instalações, o espaço, a embalagem, a administração e o conhecimento podem ser considerados todos fontes de resíduos em logística. Tudo o que não seja utilizado para gerar um retorno saudável para a empresa e

um maior valor possível aos olhos dos clientes é considerado um desperdício (Goldsby & Martichenko, 2005). Portanto, o *lean* consiste em melhorar a eficácia e a qualidade e, em simultâneo, utilizar menos tempo, energia, recursos, *stocks*, capital e mão-de-obra, ou seja, produzir mais com menos. Esta filosofia de gestão conseguiu impulsionar a produção global, respeitando os empregados e conseguindo ter os clientes satisfeitos (Yamamoto et al., 2019).

O conceito *Six Sigma* representa um sistema de gestão projetado para entender e eliminar o impacto negativo das mudanças nos processos. Fornece um modelo de resoluções de problemas equipado com ferramentas de controlo estatístico de processos que tem em conta o *feedback* dos clientes. O princípio da redução da variação está associado ao *Six Sigma*. Este princípio diz que, se for possível compreender e reduzir as variações nos processos, consequentemente se podem implementar medidas de melhoria que se centram no processo e asseguram a fiabilidade e precisão do processo em torno das expectativas do cliente. Os funcionários que usem a teoria *Six Sigma* podem utilizar o modelo DMAIC (*Define-Measure-Analyse-Improve-Control*), que consiste num método que analisa várias etapas de maneira a conhecer e aprimorar os desafios que aparecem nas organizações. Através deste modelo, conseguem reduzir variações e tentam atingir a qualidade *Six Sigma* (Goldsby & Martichenko, 2005).

O *Lean* relaciona-se com o fluxo, a velocidade e o suprimento de desperdícios. O *Six Sigma* consiste na compreensão e redução das variações. Daqui surge o conceito *Lean Six Sigma Logistics* que consiste na eliminação de desperdícios através de esforços disciplinados para compreender e reduzir a variação, ao mesmo tempo que aumenta a velocidade e o fluxo na cadeia de aprovisionamento (Goldsby & Martichenko, 2005).

Jörn Henrik Thun & Hoenig (2011) mencionam, no seu trabalho, que optar por cadeias de aprovisionamento *lean* resulta em níveis de inventários baixos, pois passa a existir uma cooperação estreita entre o cliente e o fornecedor. No entanto, porque podem existir perturbações nas cadeias de aprovisionamento que não são compensadas pelos *stocks* de segurança, passa a existir uma elevada vulnerabilidade na cadeia de aprovisionamento.

De acordo com Uriarte, Ng, & Moris (2018), os princípios *lean* irão continuar a ser essenciais para garantir a eficácia das empresas.

3.5. *Kanban*

Os japoneses desenvolveram um conceito chamado *Kanban* que, apesar de ter tido origem em operações de montagem, é um princípio que pode ser aplicado a toda a cadeia de aprovisionamento. A palavra *Kanban* surge da designação dada a um tipo de cartão, usado nos primeiros sistemas de produção, para indicar ao ponto de aprovisionamento a montante que podiam disponibilizar uma certa quantidade de material (Christopher, 2011). O cartão (o *Kanban*), em papel ou em formato eletrónico, funciona como um sinal virtual da procura. Assim, o *Kanban* sinalizava quando uma quantidade era consumida a jusante e precisava de ser reabastecida (Goldsby & Martichenko, 2005).

Os cartões *Kanbans* são usados como ordens de produção nos sistemas de produção. Os sistemas de produção são divididos em várias fases e a cada fase está associado um número fixo de *Kanbans*. Uma determinada peça só pode avançar para a fase seguinte se existir um *Kanban* correspondente disponível, isto é, uma ordem de produção. O *Kanban* é anexado à respetiva peça e pode ser tratada na fase seguinte. Em algumas fábricas, os *Kanbans* não são considerados peças individuais, mas sim contentores, que contêm um certo número de peças. Um sistema *Kanban*, quando implementado em várias fases do sistema de produção, pode ser visto como um sistema híbrido *PUSH-PULL*. Por um lado, a coordenação entre as fases tem por base um mecanismo *PULL*, isto é, as ordens de encomenda são provocadas pelo consumo de peças em cada fase. Por outro lado, as peças, depois de entrarem numa fase, são empurradas (*PUSH*) até ao fim (Di Mascolo et al., 1996).

O sistema *Kanban* é uma forma simples de implementar um sistema *PULL*, através da troca de informação a jusante e a montante (Di Mascolo et al., 1996). De acordo com Christopher (2011), a filosofia *Kanban* visa alcançar uma cadeia de aprovisionamento equilibrada, com um inventário mínimo em cada etapa, e onde os processos, as quantidades de materiais e de *stock* em trânsito são reduzidas ao mínimo possível. Desta forma, este sistema pode contribuir para uma gestão *lean*.

3.6. Sistema de Produção da Toyota

O Sistema de Produção Toyota (TPS- *Toyota Production System*) é caracterizado por ter como foco a redução de desperdícios para melhorar o valor global dos clientes, sendo este sistema uma das razões que torna a Toyota uma empresa com bastante sucesso e com produtos fiáveis e de qualidade, assim como acontece com outras empresas japonesas (Yamamoto et al., 2019). O principal objetivo do TPS é aumentar a eficiência da produção e eliminar os desperdícios (Ohno, 1988). A Toyota conseguiu mostrar que o *lean* é um processo com sucesso pois cria valor e elimina desperdícios, motivando desta forma outras empresas a quererem estudar mais os benefícios que o *lean* traz (Yamamoto et al., 2019). Relativamente ao TPS, existem duas abordagens fundamentais, o *just-in-time* e o *respect for human system*. O *just-in-time* é um instrumento para se atingir uma eliminação total de desperdícios e, desta forma, implementar-se uma produção *lean*. Relativamente ao respeito pelo ser humano, o trabalho prestado pelos trabalhadores é considerado valor acrescentado para a empresa, caso acrescentem valor ao produto, senão é visto como um resíduo. Assim sendo, o trabalhador tem uma certa responsabilidade de detetar os mais variados problemas que possam existir durante todo o processo, tendo o dever e o privilégio de parar a linha assim que detete um problema (Jorn Henrik Thun, Drüke, & Grubner, 2010)

De modo a evitar desequilíbrios de *stock* e o excesso de trabalhadores e equipamentos, tornou-se necessário que as empresas adotassem uma solução que se adaptasse às mudanças causadas pela incerteza da procura. Assim, pensaram num sistema de produção que reduzisse o tempo de espera (*lead time*) (Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa, 1977). Segundo Sugimori et al. (1977), a produção *just-in-time* é um mecanismo onde o *lead time* é encurtado e se produzem as peças necessárias dentro do tempo necessário e apenas com o *stock* mínimo necessário. Assim, o *just-in-time* parte da simples ideia de que nenhuma atividade deve ser realizada até que haja necessidade dela. Deste modo, este tipo de produção tanto é visto como uma filosofia como é visto como uma técnica (Christopher, 2011). Além das variáveis de quantidade de inventários e o *lead time*, o TPS tem outra característica que passa por fazer o pleno uso das capacidades dos trabalhadores, respeitando o ser humano. Este sistema passa por ter em consideração a segurança dos trabalhadores e ter em conta as capacidades dos mesmos, confiando-lhes deste modo uma certa autoridade e responsabilidade, ou seja, permite aos trabalhadores

terem uma participação ativa na gestão da própria indústria (Sugimori et al., 1977). O *just-in-time* é um conceito *PULL* pois a procura final é quem puxa pela produção (Christopher, 2011).

Assim, o TPS pode ser representado através de uma casa (Figura 4). No telhado estão representados os objetivos do TPS: melhor qualidade, menores custos, *lead times* mais curtos, entre outros. A casa assenta em dois pilares, o *Just-In-Time* e o *Jidoka*. O pilar do *just-in-time* tem por base reduzir o inventário, produzir a quantidade certa no tempo certo. O pilar do *Jidoka* consiste em detetar um erro e parar a produção enquanto se espera por ajuda, ou seja, parar para resolver problemas e tornar estes problemas visíveis. Representa, assim, a intervenção humana na resolução de problemas. Para estes pilares funcionarem da melhor forma, precisam de estar assentes numa produção nivelada, conhecida por *Heijunka*, e em processos estáveis e padronizados (Liker & Morgan, 2006). No centro do sistema de produção da Toyota estão dois pontos importantes, a redução de desperdícios e as pessoas e as equipas, pessoas aptas e com objetivos comuns. Todos estes conceitos, referidos até agora, contribuem para uma melhoria contínua na empresa (Kehr & Proctor, 2017).

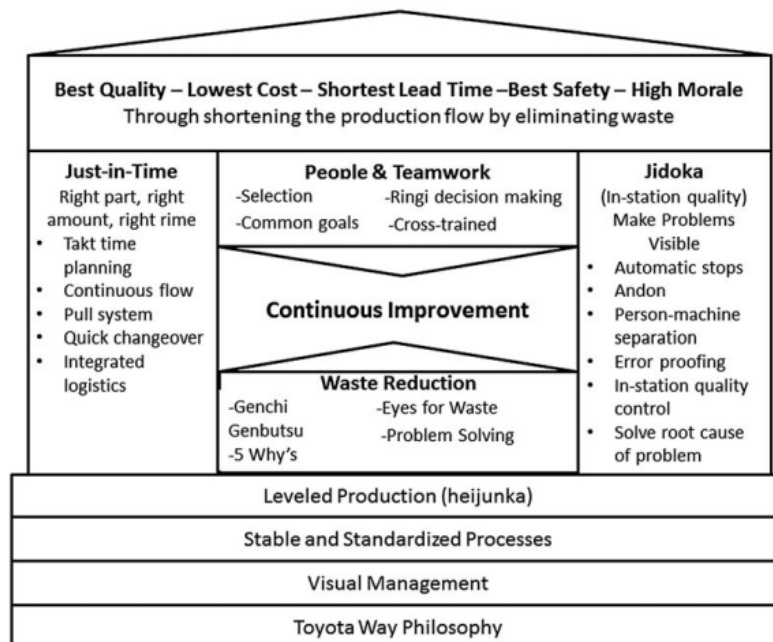


Figura 4. Casa do Sistema de Produção Toyota.

Fonte:(Kehr & Proctor, 2017)

3.7. *Kaizen*

Todas as indústrias têm necessidade de responder à procura incerta dos consumidores, às mudanças rápidas de gostos, desejos, entre outros. Assim, para se conseguirem manter competitivas no mercado, foi necessário adotarem melhorias contínuas nos seus processos de produção. O objetivo de várias indústrias para aumentarem a sua produtividade passa por estarem atentos a qualquer tipo de melhoria que possa existir na sua fábrica, para isso utilizam o *Kaizen* (J. Singh & Singh, 2009).

A filosofia *Kaizen* consiste num método que envolve todos os empregados da empresa, sendo estes encorajados a apresentarem periodicamente pequenas sugestões de melhoria, que podem ser aplicáveis em qualquer área, ou seja, é possível realizar-se uma mudança de melhoria em qualquer sítio (Prošic Slobodan, 2011). De acordo com Colenso (2000), uma boa formação de equipas produz sinergias que aumentam a produtividade e estimulam o desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas de melhorias. Esta prática japonesa concentra-se na melhoria contínua nos processos de produção em qualquer tipo de negócio (D. R. Kiran, 2017). A filosofia *Kaizen* tem como propósito a eliminação de desperdícios que não representem valor acrescentado para a empresa, entregas *just-in-time*, nivelamento da produção, trabalho padronizado, entre outras (Prošic Slobodan, 2011).

Tanto a prática *Kaizen* como a gestão *lean*, têm como objetivo esforçar-se pela perfeição, ou seja, em melhorar continuamente os seus processos. Para isso é necessário que os sistemas de fabrico sejam flexíveis, de modo a que seja possível implementar melhorias em qualquer lugar (Goldsby & Martichenko, 2005).

3.8. 5S

O 5S, elemento do Sistema de Produção da Toyota, consiste num método que promove a disciplina e a limpeza no posto de trabalho, permitindo maximizar a eficiência e a produtividade. Fazem parte deste método cinco etapas, sendo elas designadas por *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seikutsu* e *Shitsuke*. A etapa *Seiri* resulta de retirar tudo o que não seja necessário no local de trabalho e limpar o mesmo (Veres (Harea), Marian, Moica, & Al-Akel, 2018). A fase seguinte, *Seiton*, consiste em identificar, de forma clara, o lugar

onde tudo deve ser armazenado. *Seiso* corresponde à etapa de manter tudo limpo. A quarta fase, intitulada como *Seikutsu*, passa por documentar os vários métodos de trabalho. Por último, a quinta fase, *Shitsuke*, consiste na formação e em desenvolver hábitos de melhoria contínua (Omogbai & Salonitis, 2017).

De acordo com Veres (Harea) et al. (2018), as empresas, ao adotarem o método 5S, conseguem identificar e eliminar desperdícios no ambiente de trabalho. Desta forma, o método 5S é visto como uma prática *lean*. O 5S contribui para a qualidade e produtividade numa empresa (Veres (Harea) et al., 2018). A implementação do método 5S nas organizações traz benefícios para as mesmas, tais como, a melhoria não só das condições de trabalho como também do desempenho das equipas, a redução de custos de inventários, melhores prazos de entrega, melhorias na comunicação, entre outros (Peterson & Smith, 1998).

3.9.MRP- Planeamento das Necessidades Materiais

O Planeamento das Necessidades Materiais (*Material Requirements Planning-MRP*) é cada vez mais utilizado pelos fabricantes para planear a suas produções. Desta forma, é muito usado para determinar as dimensões dos lotes de produção e é visto como um elemento central nos sistemas de planeamento de recursos empresariais (Thevenin, Adulyasak, & Cordeau, 2020) . O objetivo deste planeamento é definir um calendário de reabastecimento para uma determinada linha de tempo. Quando se está presente num ambiente determinístico, o método MRP resulta numa programação de *just-in-time* ótima. Porém, quando se está num ambiente incerto, esta lógica já necessita de uma parametrização. O *stock* de segurança, o *lead time* planeado, as regras de dimensão de lotes, o período em que não se altera o plano de escalonamento da produção e o horizonte planeado são os parâmetros que podem atenuar os efeitos da incerta. Deste modo, o grande problema associado a este método decorre da incerteza dos dados de entrada, nomeadamente as incertezas relacionadas com as quantidades e com o tempo (Dolgui & Prodhon, 2007). Em contexto de incertezas, o calendário de produção tem de estar constantemente atualizado para ser capaz de responder a perguntas como “Qual a frequência com que se deve atualizar o calendário de produção principal?” e “Todos os dados devem ser atualizados ao mesmo tempo?” (Dolgui & Prodhon, 2007).

Nos dias que correm, os sistemas de planeamento das necessidades materiais fazem uso de programas matemáticos de forma a calcular, separadamente, a dimensão dos lotes no ambiente de incerteza e os *stocks* de segurança para se salvaguardarem da incerteza (Thevenin et al., 2020). Segundo este estudo, os fabricantes devem estudar estes dois parâmetros em conjunto pois possibilitam uma poupança significativa de custos.

De acordo com Shofa & Widyarto (2017), o MRP, ao lidar com os atuais ambientes empresariais, com exigências incertas, com vastas gamas de produtos, começa a demonstrar lacunas. Deste modo, surge a abordagem MRP orientada pela procura, intitulada como *Demand-Driven MRP* (DDMRP) no sentido de fazer face a estes desafios. É um método com capacidade para se ajustar a ambientes incertos, assim como a variabilidades dos fornecimentos e da procura. Foi desenvolvido para relacionar a disponibilidade de materiais e o fornecimento a partir do estado real recorrendo a listas de materiais. No estudo destes mesmos autores, numa simulação de dados de uma empresa de automóveis da Indonésia, concluíram que em termos de nível de inventários e *lead time*, o DDMRP apresentou melhores resultados do que o MRP tradicional, permitindo-lhes sugerir que o DDMRP se torna mais eficaz que o MRP no que se refere a controlar os inventários de produção.

O DDMRP traduz-se num repensar da lógica básica do MRP, apoia-se nas melhores características de várias abordagens, nomeadamente no *lean*, no MRP, no *Six Sigma*, entre outras e, deste modo, o DDMRP consegue modificar a lógica MRP inicial satisfazendo de melhor forma as exigências dos clientes num meio dinâmico e exigente (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019). Na análise destes autores, o DDMRP também obteve melhores resultados que a visão tradicional, no entanto indicam que o estudo não é conclusivo e que se deve continuar a investigar esta nova abordagem.

4. A Cadeia de Aprovisionamento na Indústria Automóvel

4.1. Enquadramento da indústria automóvel no Mundo e na Europa

Ao longo dos anos verificou-se um grande aumento da produção de automóveis, tanto a nível mundial, como a nível europeu. No entanto, a partir do ano de 2018, a produção começou a sofrer quedas, como podemos ver no Gráfico 5 e Gráfico 6. Em todo o mundo foram produzidos, em 2019, cerca de 92 milhões de veículos, representando desta forma um declínio de aproximadamente 5% em comparação com o ano transato. O ano de 2020 também sofreu uma queda de produção. Países como a China, o Japão e a Alemanha são vistos como os maiores produtores de automóveis (Statista Research Department, 2021). Tanto a nível de vendas como a nível de produção, a China encontra-se entre os maiores mercados de automóveis a nível mundial e as suas vendas de automóveis caíram pela primeira vez em 2018 (Wagner, 2021). Na União Europeia (UE), em 2019, foram produzidos 15,8 milhões automóveis passageiros, verificando-se uma queda de 5,2% comparativamente a 2018 (ACEA, 2020).

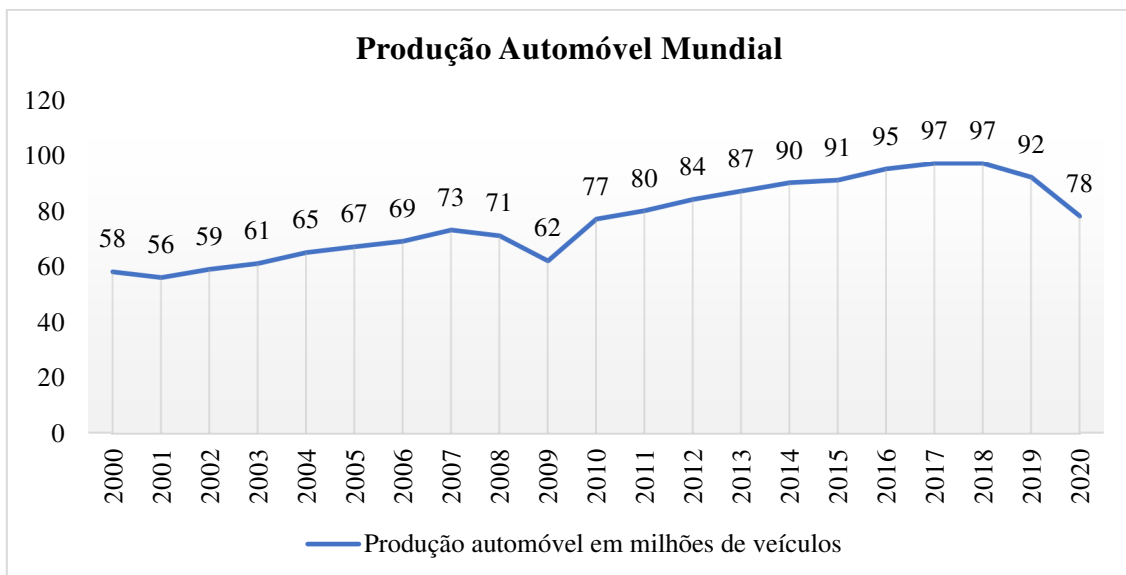


Gráfico 5. Estimativa da produção automóvel mundial de 2000 a 2020.

Fonte: Adaptado de (Statista Research Department, 2021)

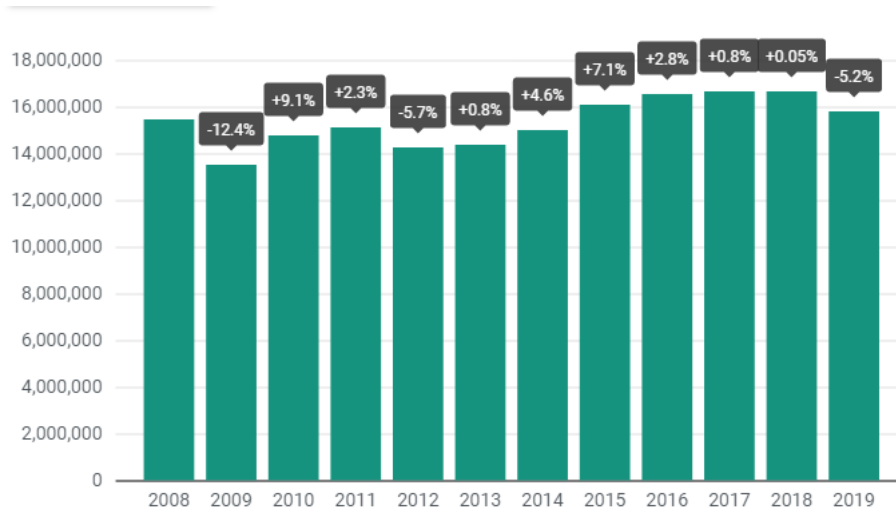


Gráfico 6. Produção de automóveis de passageiros na UE.

Fonte:(ACEA, 2020)

Segundo a Comissão Europeia, a União Europeia é um dos maiores produtores mundiais de automóveis e o setor automóvel é considerado o maior investidor privado em I&D (European Commission, 2021a). Em 2018, o setor automóvel foi considerado o número um no top 10 das indústrias que mais investem em I&D (Figura 5).

Automobiles & parts	57.4
Pharmaceuticals & biotechnology	39.7
Other industries	36.6
Technology hardware & equipment	15.8
Electronic & electrical equipment	10.3
Software & computer services	9.3
Industrial engineering	9.0
Aerospace & defense	8.9
Banks	8.0
Chemicals	5.4
Health care equipment & services	5.0

Figura 5. Top 10 dos setores industriais da UE em investimento em I&D.

Fonte: (ACEA, 2019b)

A indústria automóvel contribui para o crescimento económico de vários países, e é também vista como uma indústria que cria bastante emprego, mas também deve ser vista como uma importante fonte de receitas governamentais. O setor automóvel representa, atualmente, cerca de 6,1% do emprego total da União Europeia. Em 2018, a produção de automóveis de passageiros na UE foi de 16,5 milhões, correspondendo a

21% da produção mundial e produziu também mais de 2,6 milhões de automóveis comerciais. Nesse mesmo ano, a União Europeia obteve um excedente comercial de 84,4 mil milhões de euros, com a exportação de, aproximadamente, 6,1 milhões de automóveis (ACEA, 2019b).

O setor da indústria automóvel é crucial para a prosperidade da Europa e decisivo para o futuro da Europa e até mesmo de Portugal, pois tem contacto com outros setores da indústria transformadora, impulsionando, desta forma, a economia. O volume de negócios produzido pela indústria automóvel representa mais de 7% do PIB (Produto Interno Bruto) da União Europeia. A fim de aumentar a sua competitividade global, a indústria automóvel deve continuar a apostar na globalização tecnológica, a fim de reduzir custos supérfluos de desenvolvimento, entre outros (European Commission, 2021a; IAPMEI, 2017).

Segundo Borthwick, Fiddy, & Shah (2021), a procura por novos carros entrou em declínio em 2020 e a procura mundial caiu cerca de 30%. Na China, por exemplo, houve quedas de aproximadamente 23%. Já na Europa as quedas foram de cerca de 40%. Por oposição, observou-se, em 2020, um aumento das vendas globais de automóveis elétricos de cerca de 43%. De acordo com os mesmos autores, este colapso nas vendas, que aconteceu antes do COVID-19, deveu-se não só às exigências de atualizar os produtos de modo a responder à procura dos clientes, como também à necessidade de reorganizar as cadeias de aprovisionamento, entre outras.

Adicionalmente, com o Brexit, a Europa e o Reino Unido serão obrigadas a reavaliar as suas cadeias de aprovisionamento *just-in-time*, pois os vários fabricantes de automóveis que dependem de fornecedores instáveis já apontaram terem necessidade de estudarem a acumulação de *stocks* para certas componentes-chave (Borthwick et al., 2021). A saída do Reino Unido da União Europeia vai ter grandes impactos na indústria automóvel, pois a indústria automóvel europeia é uma indústria fortemente integrada, que possui cadeias de aprovisionamento muito complexas e em que as suas produções seguem uma lógica *just-in-time*. Em 2018, a UE comprou cerca de 51% dos automóveis produzidos no Reino Unido. Note-se que, em cada dez automóveis passageiros produzidos no Reino Unido, oito são exportados. Já na UE, em cada dez carros, menos de quatro são exportados, com sensivelmente um terço do total das exportações para o Reino Unido. Em volume, cerca de 85% das importações de automóveis passageiros do Reino Unido correspondem à UE (ACEA, 2019a).

O aparecimento da pandemia de COVID-19 no final de 2019 afetou todas as economias e vários setores de atividade. A indústria automóvel não foi exceção. Muitas fábricas fecharam para mitigarem a propagação do vírus. Houve indústrias que começaram a produzir produtos que fossem necessários para o combate ao COVID-19 (Madurai Elavarasan & Pugazhendhi, 2020). Por exemplo, segundo o Fórum Económico Mundial, a Ford, a Tesla e a Mercedes, durante a pandemia, começaram a produzir ventiladores (Whiting, 2020). As indústrias automóveis tentaram reestruturar as equipas, reduzir os custos e aumentar *stocks* de modo a resistirem aos choques resultantes da pandemia pelo coronavírus (Supply Chain Magazine, 2021).

De acordo com os dados apresentados na conferência *Automotive 2021* organizada pela *Supply Chain Magazine*, a pandemia teve um grande impacto na produção automóvel, causando incertezas na procura, subidas de preços, problemas com o fornecimento de matérias-primas, entre outros. Em valores absolutos, perderam-se, globalmente, 14,4 milhões de veículos em relação a 2019, representando uma queda de cerca de 16,1%. A Europa teve uma queda da produção de sensivelmente 4,6 milhões de automóveis, uma descida de cerca de 21,6%. O Gráfico 7 demonstra as quedas absolutas e relativas resultantes do impacto do COVID-19 na produção de automóveis (Supply Chain Magazine, 2021).

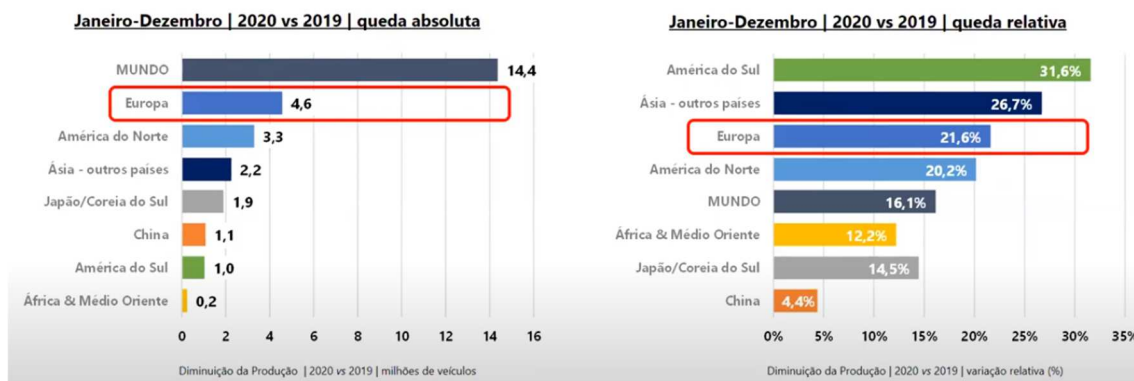


Gráfico 7. Impacto do Coronavírus na Produção Veículos Ligeiros.

Fonte: (Supply Chain Magazine, 2021)

De 2018 para 2019 registou-se uma queda relativa de 5,6%, de 2019 para 2020 uma queda muito mais acentuada de 16,1%. Nesta conferência foi também apresentada uma previsão para a produção mundial de veículos ligeiros (Gráfico 8), onde se prevê um aumento da produção já para 2021. Calcula-se que, em 2025, se consiga ter um nível de

produção mais alto do que o de 2018. No entanto, são meras previsões, pois a produção de automóveis tem várias condicionantes, como por exemplo, a introdução de novos conceitos de mobilidade, o gosto dos consumidores, entre outras (Supply Chain Magazine, 2021).



Gráfico 8. Previsão da Produção Mundial de Veículos Ligeiros.

Fonte:(Supply Chain Magazine, 2021)

O futuro da indústria automóvel passa pela evolução tecnológica, existem cada vez mais aplicações e ferramentas baseadas em inteligência artificial nos veículos, ferramentas estas de que os consumidores já não conseguem abdicar de ter dentro do automóvel. Em termos de monitorização, de materiais e soluções, a indústria automóvel, para se manter competitiva, terá cada vez mais de apostar em I&D para satisfazer os vários desafios que vão surgindo. Repare-se que os fornecedores de componentes automóveis têm um papel importante na competitividade desta indústria, pois apresentam soluções capazes de acompanhar os processos competitivos (Supply Chain Magazine, 2021).

4.2.Enquadramento da indústria automóvel em Portugal

Segundo os dados do Banco de Portugal (2019) , em 2017 o setor automóvel representava 4% das empresas sediadas em Portugal, correspondendo a, aproximadamente, 16 mil empresas, 8% do volume de negócios e cerca de 113 mil pessoas ao serviço. Neste mesmo ano, verificou-se um aumento de 1,6% de empresas em

atividade neste setor, em comparação com o ano transato. Em termos do total das empresas, o setor evoluiu em volume de negócios. No entanto, os números de pessoas ao serviço e de empresas não apresentaram alterações. Em 2017, 90% do número de empresas do setor automóvel correspondiam a microempresas, no entanto estas representam apenas 12% do volume de negócios. Em contrapartida, as grandes empresas deste setor apenas correspondem a 1% do número total de empresas no setor automóvel, mas o seu volume de negócio tem um impacto de 51%. É possível analisar este setor pelos segmentos de atividade económica, a fabricação automóvel e o comércio automóvel. Note-se que, em todos os segmentos, as microempresas têm maior destaque neste setor, como já foi referido anteriormente. Porém, em relação ao volume de negócios, têm pouco impacto. Na fabricação automóvel deve-se destacar as grandes empresas pois representam 82% do volume de negócios e 72% do número de pessoas ao serviço. Já no comércio automóvel as pequenas e médias empresas destacam-se com 46% do volume de negócios. Contudo, relativamente ao número de pessoas ao serviço, são as microempresas que se salientam, com 45%. No ano de 2017, no setor automóvel, o comércio automóvel foi o segmento que mais sobressaiu ao nível do número de empresas, volume de negócio e número de pessoas ao serviço, respetivamente 97%, 69% e 67%, deste setor. Na verdade, o peso da fabricação automóvel não variou, aumentou sim em volume de negócios e em número de pessoas ao serviço.

De acordo com a MOBINOV (2020), “*plataforma agregadora de conhecimento e competência no âmbito da indústria do setor automóvel*”, em Portugal, no ano de 2020, existiam cinco produtores de automóveis, sendo eles a Autoeuropa, a Peugeot Citroën, a Mitsubishi Fuso Truck Europe, a Toyota Caetano e a Caetano Bus, que produziram mais de 348 mil viaturas. A indústria automóvel representa 8% do PIB nacional, com mais de 15 000 M€ de volume de negócios e 25% das exportações anuais, onde 98% das viaturas produzidas são exportadas. Além disso, contribui para a empregabilidade com mais de 75 mil profissionais qualificados e representa mais de 20% do investimento realizado na indústria transformadora.

Portugal, em 2019, ocupava o décimo primeiro lugar na produção de veículos na UE, com a produção de 365 541 de veículos. A Alemanha lidera o topo da tabela com a produção de 5 164 528 de automóveis (Gráfico 9) (ACEA, 2021).

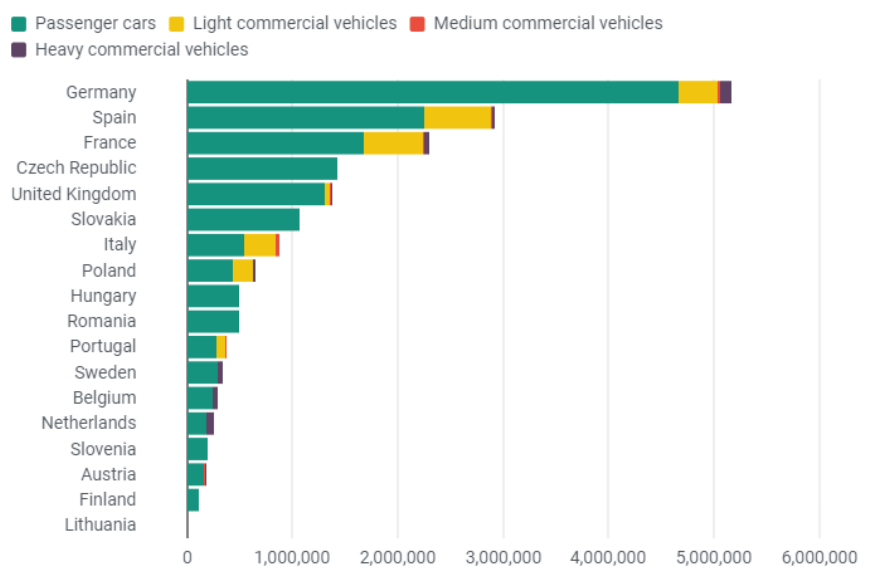


Gráfico 9. Produção de veículos automóveis na UE por país.

Fonte: (ACEA, 2021)

Segundo a ACAP (2021), em janeiro e fevereiro de 2021, Portugal exporta mais veículos automóveis para os países europeus (73,2% da produção de automóveis em Portugal tem como destino a Europa). Por exemplo, no caso da Autoeuropa e da Mitsubishi Fuso Truck Europe, os seus veículos são exportados maioritariamente para a Alemanha. No caso da Peugeot Citroën, o país de destino é a França.

Em 2020, de acordo com o Jornal Público, as indústrias do sector automóvel em Portugal fabricaram 264 236 automóveis representando uma quebra de 23,6% relativamente ao ano transato. A Autoeuropa é a fábrica que mais produz em Portugal, tendo produzido em 2020 aproximadamente 73% da produção nacional total. Verificou, ainda assim, uma quebra de produção, cerca de 25%. O grupo PSA é o segundo maior produtor nacional e, nesse mesmo ano, contou com a produção de 77 600 automóveis, tendo-se também verificado quedas na produção. Até novembro de 2020 já contavam com quebras de mais de 36% (Ferreira, 2021).

4.3. Gestão da Cadeia de Aprovisionamento na Indústria Automóvel

Com a recessão na economia global a afetar as economias desenvolvidas, os investimentos em indústrias automóveis começaram a crescer nas economias emergentes. A entrada de empresas multinacionais nos mercados emergentes levou a práticas de

gestão de inventários e de produção mais inovadoras, de forma a criarem cadeias de aprovisionamento eficientes (Saranga et al., 2015). Para as empresas conseguirem manter vantagens competitivas sobre as outras devem apostar no financiamento da sua cadeia de aprovisionamento (Pirttilä, Virolainen, Lind, & Kärri, 2020). No caso da indústria automóvel, setor com grande importância nos setores de produção, a eficiência da cadeia de aprovisionamento é fundamental para garantir a competitividade nesta indústria, de forma a gerar níveis de produtividade mais altos, de rentabilidade e de competitividade (Masoud & Mason, 2016). Segundo Pirttilä et al. (2020), a indústria automóvel é considerada pioneira na indústria transformadora e na gestão da cadeia de aprovisionamento.

Nos dias de hoje, os gostos dos consumidores e as mudanças de necessidades são cada vez mais repentinas, e isto não é exceção no mercado automóvel. Assim, os fabricantes tentam adaptar-se a estas mudanças e investigam cada vez mais novas formas de diminuir o espaço de tempo entre a encomenda do cliente e a entrega do automóvel (Listl, Notzon, Davidsen, Ford, & Mashayekhi, 2000). Como referido anteriormente, a procura por parte dos clientes é cada vez mais incerta, deste modo os fabricantes de automóveis enfrentam uma concorrência cada vez maior, lealdades incertas por parte dos clientes, expectativas elevadas, pouca tolerância a produtos com má qualidade, entre outros aspetos. Posto isto, esta indústria é obrigada a desenvolver sistemas de produção rigorosos e, sempre que possível, a considerarem excesso de capacidade (Masoud & Mason, 2016).

4.3.1. Gestão *Lean* na Indústria Automóvel

Para uma gestão eficaz da cadeia de aprovisionamento, as indústrias automóveis adotaram conceitos como o *just-in-time* e *lean*, que baixam inventários. No entanto, estas opções podem levar a ruturas de *stock* (Vieira, Dias, Santos, Pereira, & Oliveira, 2019). O *just-in-time* pode ser uma opção importante para indústrias, tais como a automóvel, onde a produção só é realizada quando necessária, na quantidade relevante, onde o *stock* disponível é o mínimo (Sugimori et al., 1977). Assim as peças só são fabricadas quando são precisas na próxima etapa do processo (Listl et al., 2000). O Sistema de Produção Toyota foi pioneiro na implementação da produção *lean*, sendo esta vista como um marco

revolucionário para as perspetivas de produção (Jorn Henrik Thun et al., 2010). A adoção desta política de produção justifica-se pela perspetiva orientada para o cliente e a necessidade de garantir uma maior qualidade e variedade de produtos. Esta produção tem associada a si a expressão “carro de três dias”, ou seja, o automóvel é construído por encomenda em 3 dias, sendo assim possível produzir conforme as necessidades e gostos dos clientes (Listl et al., 2000).

Num mundo cada vez mais globalizado, iniciativas *lean* são cada vez mais aplicadas na indústria automóvel. O *Lean Six Sigma* torna-se uma iniciativa de melhoria empresarial de excelência para responder aos desafios atuais. As indústrias automóveis, ao adotarem este conceito, tornam-se mais eficazes e mais competitivas, passam a ter maior capacidade para melhorar a inovação e o desenvolvimento tecnológico, aumentam a satisfação dos clientes, entre outros (Habidin & Yusof, 2012; Mohd Yusof & Fadly Habidin, 2013).

Os participantes na cadeia de aprovisionamento tentam combater eventuais ruturas através dos *stocks* de segurança. No entanto, definir níveis adequados de *stocks* de segurança acaba por ser complexo pois, se forem baixos, podem levar a ruturas e, se forem altos, podem resultar em mais custos de armazenamento devido ao excesso de *stocks* (Vieira et al., 2019). De acordo com o estudo de Rizkya et al. (2018), é provável que a indústria automóvel, ao adotar políticas de revisão contínua, consiga obter custos de inventários mais baixos do que se adotar políticas de revisão periódica.

4.3.2. Sistema de Gestão de Armazéns

No mercado automóvel, fatores como a qualidade, a agilidade, o rigor e a flexibilidade são fundamentais para as fábricas se tornarem competitivas, não esquecendo também o armazém e os seus custos, pois tornam-se fulcrais nas funções logísticas da indústria automóvel. Uma boa gestão do mesmo resulta em ganhos essenciais para a empresa. As indústrias, para serem competitivas, têm de ter sistemas de informação adequados que ajudem na gestão de inventários e na otimização do planeamento da produção, assim como na redução de gastos irrelevantes em materiais, tempo, entre outros. Como referido anteriormente, a gestão de armazéns é necessária. Um sistema de gestão de armazéns (WMS- *Warehouse Management System*) traduz-se num sistema que apoia o inventário de *stock* e a sua localização, prevê o comportamento do armazém e

inclui indicadores de performance da gestão de inventário e a produtividade do armazém. As principais vantagens do WMS passam pela diminuição do espaço necessário de armazenamento, numa aceleração operacional e maior qualidade, numa exatidão de informação de *stocks* e, por último, num aumento da produtividade do armazém e dos funcionários. Para além destas vantagens, possui desafios, que passam por ser necessário ter técnicos qualificados, para implementar e gerir a ferramenta, assim como os tópicos relacionados com a portabilidade do sistema e a adaptação do mesmo em outros sistemas informáticos da empresa. O WMS deve estar preparado para fornecer resultados confiáveis comparativamente aos resultados fornecidos manualmente (Caridade, Pereira, Pinto Ferreira, & Silva, 2017). Segundo os mesmos autores, conjugar o sistema de gestão de armazéns com a análise ABC da rotação dos produtos torna-se imprescindível para saber quais as alterações necessárias nas políticas de gestão de inventários.

4.3.3. MRP- planeamento das necessidades materiais aplicado à Indústria Automóvel

Em virtude da enorme variedade de produtos fornecidos pelas fábricas espalhadas a nível mundial, os fabricantes de automóveis recorrem a encomendas planeadas, fundamentadas em previsões no sentido de otimizar o seu planeamento de necessidade de materiais. Conforme os fabricantes passam de estratégias de fabrico em *stock* para estratégias de fabrico por encomenda, os processos de planeamento reorganizam-se mediante a aplicação de sistemas avançados de planeamento. Na indústria automóvel, de modo a evitar excessos de *stock* ou falta dele, as peças com longos prazos de entrega devem ser previstas. Assim, utilizar eficientemente este planeamento ajuda os gestores a tomarem decisões mais fundamentadas (Widmer, Klein, Wachter, & Meyl, 2019). Segundo os mesmos autores, os fabricantes de automóveis continuam a utilizar tecnologias, componentes e peças padronizadas para a sua produção, o que permite melhores previsões para a requisição do material, inclusive na presença de incerteza quanto às novas encomendas por parte dos clientes.

Shofa & Widyarto (2017) realizaram um estudo numa empresa automóvel na Indonésia onde conseguiram demonstrar que a abordagem DDMRP obteve melhores resultados em relação ao *lead time* e ao nível de inventários, do que o MRP, como já mencionado na secção 3.9.

5. Grupo PSA

Este trabalho foi motivado por estar a realizar um estágio profissional na Peugeot Citroën Automóveis Portugal, S.A., uma unidade de montagem terminal de veículos, fazendo agora, em 2021, parte do grupo Stellantis. A Stellantis é composta por cerca de 400 mil colaboradores e tem presença a nível mundial. O grupo tem unidades industriais em mais de trinta países, tem capacidade para satisfazer e superar as expectativas dos consumidores e, fornecer automóveis e serviços de qualidade em mais de cento e trinta mercados (Stellantis, 2021b).

5.1. Apresentação da Empresa

O Centro de Produção em Mangualde (CPMG) foi evoluindo à medida que as indústrias iam progredindo. Na fase denominada de Indústria 1.0, mais concretamente em 1964, foi fabricado o primeiro veículo. Em 1990 (Indústria 2.0) começaram a fabricar o Citroën AX. Passado oito anos, em 1998 (Indústria 3.0) deu-se início à fabricação dos veículos comerciais ligeiros (Peugeot Partner e Citroën Berlingo). Vinte anos depois, em 2018 (Indústria 4.0), começou-se a fabricar a terceira geração dos veículos comerciais ligeiros. Por último, em 2021, houve uma fusão entre o Grupo PSA e a FCA, surgindo um novo grupo intitulado Stellantis (Figura 6).

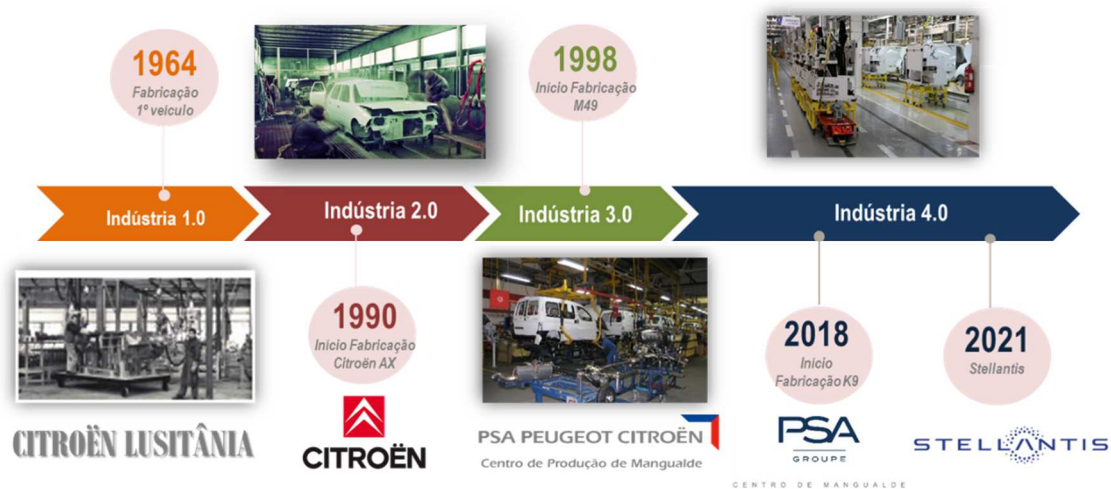


Figura 6. Evolução da Peugeot Citroën Automóveis Portugal.

Fonte: CPMG.

Em 1962, uma entidade particular, José Coelho dos Santos, decidiu comprar uma licença para fabricar automóveis e *a posteriori* a Citroën adquiriu esta fábrica (Citroën Lusitânia). Passado dois anos, produziu o primeiro automóvel, o Citroën AZL, mais conhecido por “2 cavalos” (2 cv). Nesse mesmo ano, foram produzidos 472 veículos, o Citroën 2cv foi um sucesso. Em 1969, a fábrica produzia 10 veículos por dia. Posteriormente, os anos 70 foram marcados pelo início da exportação de veículos. Os anos 80 começaram com alguns investimentos na fábrica e, em 1987, a Citroën Lusitânia fica ao nível de processos de fábricas como a de Rennes, Aulnay e Vigo. No início dos anos 90, a fábrica começa a produzir o Citroën AX, que foi noticiado por toda a imprensa mundial. Em 1990 passou-se a produzir 50 automóveis por dia e foi, também neste ano, aqui produzido o último Citroën 2 cv a nível mundial. Durante todos estes anos foram realizados investimentos de melhoria na fábrica, permitindo deste modo a fabricação de novos modelos. Em 1998 começou a ser produzida a primeira geração do Citroën Berlingo e do Peugeot Partner. Em 2000, o CPMG passou por grandes transformações, deu-se a abertura do terceiro turno e, em 2009, passou a produzir a segunda geração dos modelos referidos anteriormente. Por observação do Gráfico 10, verifica-se um decréscimo da produção em 2009, provocado pela falta da procura por parte dos consumidores, sendo esta motivada pela grande crise económica que se enfrentava na altura. Esta diminuição fez com que, neste mesmo ano, acabassem com o turno de produção da noite. No ano de 2012, a fábrica atingiu um milhão de automóveis produzidos. O CPMG, em 2015, começou a adotar no seu processo produtivo os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, tendo como objetivo o aumento da flexibilidade e de competitividade. Em 2016, passou a integrar o Comité Estratégico da iniciativa Indústria 4.0 de modo a colocar Portugal na rota da Quarta Revolução Industrial, estipulando estratégias e encontrando soluções. Esta iniciativa assentou em sistemas robóticos inteligentes, na visão artificial, em sistemas autónomos de movimentação, numa fábrica digital e do futuro (Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2017). O ano de 2018 foi o ano em que se iniciou a produção da terceira geração dos comerciais ligeiros e passageiros do Grupo PSA, tendo sido produzidos 63 073 automóveis nesse ano. Em 2019 produziram-se 77 607 veículos, atingindo a maior produção da sua história. Em 2020, a produção prevista para o CPMG era de 79 600 automóveis, no entanto devido ao contexto COVID-19, a fábrica sofreu uma queda de produção, produzindo 64 659 veículos, onde

95% da produção teve como destino a exportação, sendo França o principal destino. Em 2021, o CPMG passa a integrar o grupo Stellantis. A Stellantis é um fornecedor de mobilidade e é considerada um dos principais fabricantes de automóveis do mundo.

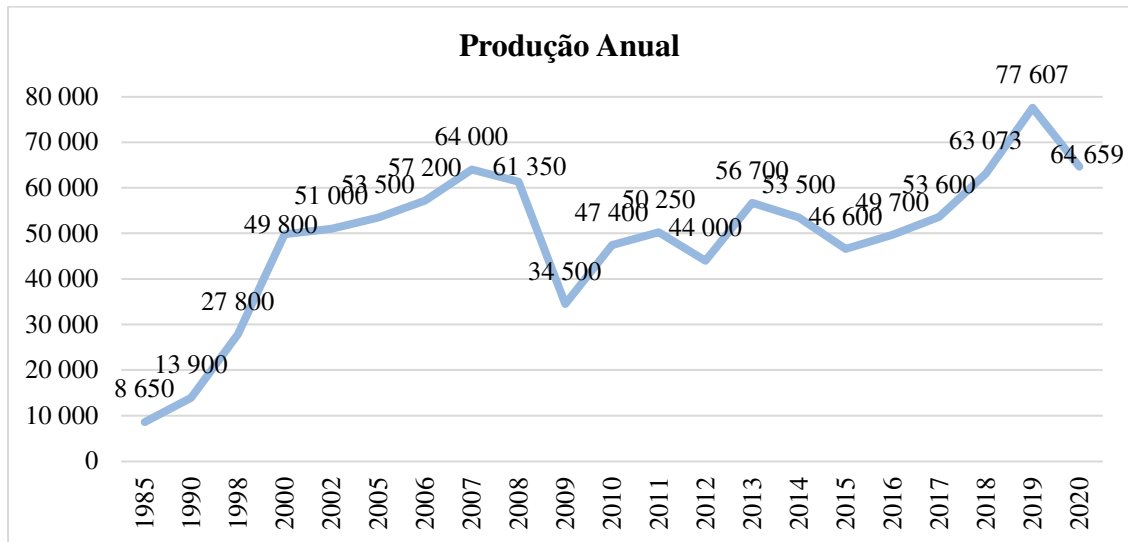


Gráfico 10. Produção Anual do CPMG.

Fonte: CPMG

Em 2020, a fábrica de Mangualde, em comparação com as restantes fábricas do grupo PSA, ocupou a sétima posição ao nível da produção de veículos com 64 659 (Gráfico 11). É importante realçar que estes resultados se devem à situação pandémica, pois numa situação normal, o CPMG encontrar-se-ia abaixo de outras fábricas, tais como a de Poissy, de Mulhouse e de Gliwice (Gráfico 12).

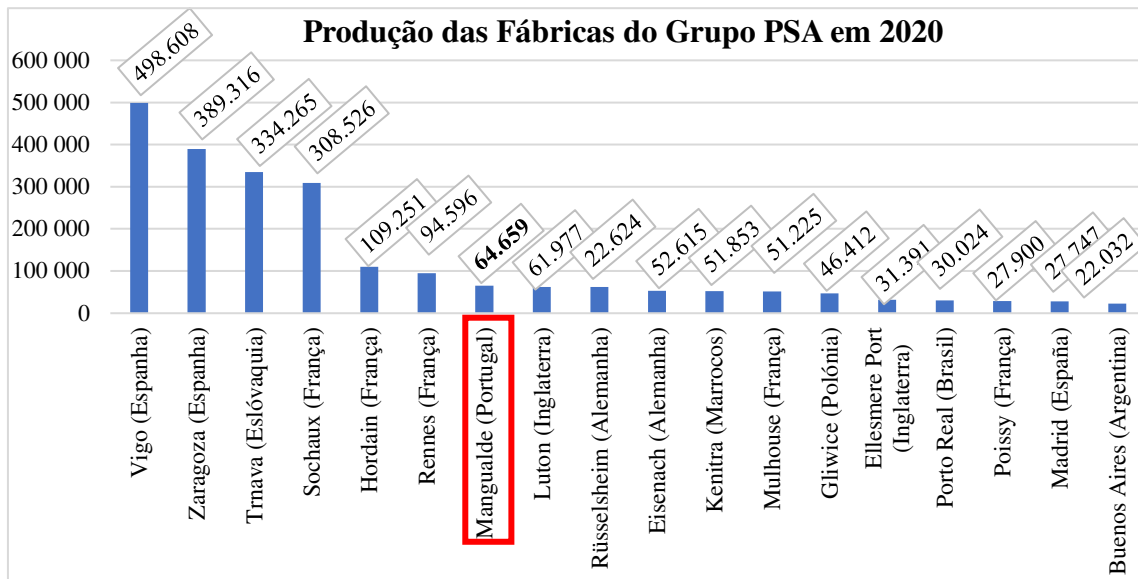


Gráfico 11. Produção das Fábricas do Grupo PSA em 2020.

Fonte: CPMG

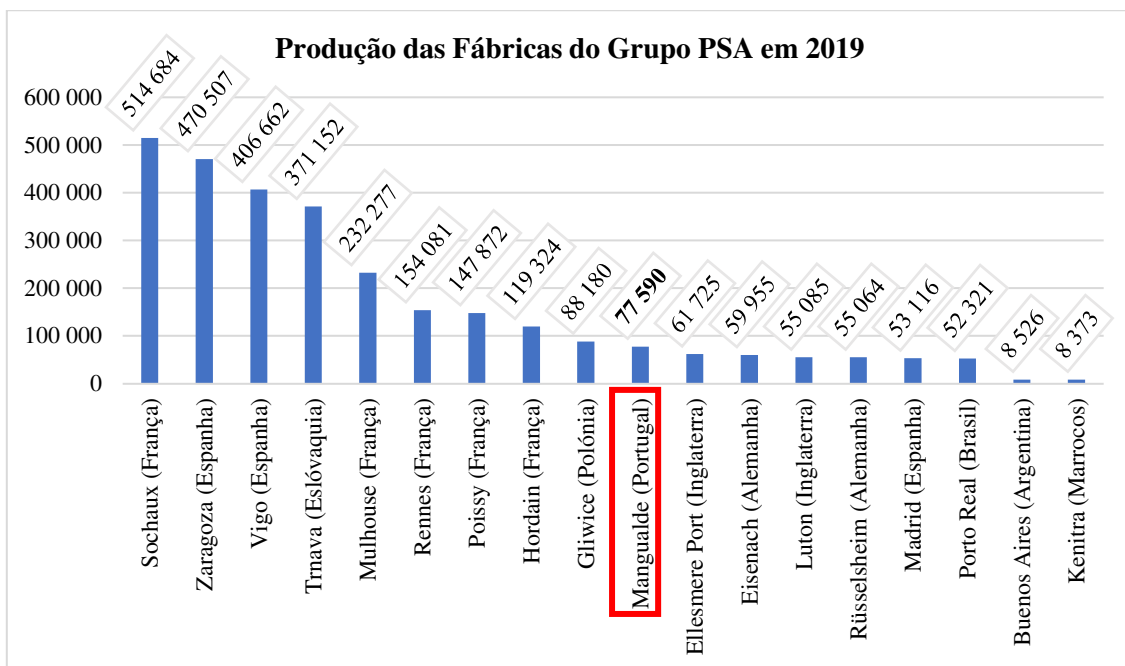


Gráfico 12. Produção das Fábricas do Grupo PSA em 2019.

Fonte: (Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2021b)

Atualmente, o Centro de Produção Peugeot Citroën Automóveis Portugal é uma unidade industrial responsável pela produção de veículos comerciais ligeiros, produz modelos como a Peugeot Partner/Rifter, Citroën Berlingo e Opel Combo. Conta, neste

momento, com cerca de 900 colaboradores, com três turnos de produção, onde são produzidos por dia cerca de 333 veículos e é considerada das fábricas mais compactas e eficientes.

O fluxo de fabricação do CPMG é composto pela Ferragem, Pintura e Montagem. O setor da Qualidade e da Logística são considerados setores complementares ao fluxo da fabricação.

O setor da Ferragem ocupa a posição inicial do processo de fabrico de um automóvel. Neste setor utiliza-se soldadura por resistência para unir as diferentes peças, existem 111 robots, sendo de 77% a taxa de robotização. De seguida, no setor da Pintura existem várias operações que permitirão ao automóvel responder ao ambiente externo. O veículo passa por uma sucessão de etapas que permitem assegurar a anti-corrosão, a estanqueidade e a insonorização da caixa, por último é aplicada a cor eleita pelo cliente. Este setor conta com 15 robots. Logo após a Pintura, segue-se o setor da Montagem. Nesta secção, existe uma linha principal de montagem e diversas linhas de subconjunto, estas últimas linhas trabalham em simultâneo e dão sustento à linha principal. Na montagem do veículo são usadas técnicas intituladas como fixações, sendo elas o aperto, a colagem e a clipagem. Em média, em cada carro, são montadas aproximadamente 1200 peças. A cada 4 minutos é montado 1 veículo. Finalmente, o automóvel está finalizado e segue para o setor da Qualidade.

Na Qualidade, o aspeto, a conformidade e a componente eletrónica do veículo são controladas e avaliadas antes de serem entregues ao cliente.

A Logística está encarregue de entregar as peças, com a melhor qualidade e com menores custos, aos setores no instante em que são necessárias. Relativamente à entrega de peças no CPMG, a fábrica recebe cerca de 65 camiões por dia, aproximadamente 850 mil peças. De seguida são descarregadas, conferidas e armazenadas, conforme o tipo de embalagem, em diferentes zonas de *stock*. A Logística possui dois armazéns, um localizado na Montagem e o outro na Ferragem. Os camiões chegam à fábrica e dirigem-se para o cais de descarga, aqui efetuam a descarga do respetivo material. De seguida, segue-se a fase da receção do material, onde confirmam se o material corresponde ao que vem na guia, ou seja, verificam se o que está na guia corresponde ao rececionado fisicamente. Posteriormente, armazena-se as pequenas embalagens e os grandes volumes/contentores, depois são distribuídas por zonas de preparação dos KITS (único

método de distribuição utilizado para a linha de montagem principal), por bases rolantes nas zonas de preparação dos subconjuntos na entrega dos grandes volumes, ou com base numa lista de necessidades para uma determinada tranche horária (método utilizado para entrega das pequenas embalagens nas zonas de preparação dos subconjuntos). A entrega de peças à linha de montagem pode ser feita de três formas, sendo elas de caixa a caixa em comboios de distribuição com horário definido, ou em contentores transportados por bases rolantes ou por peças preparadas e sequenciadas unitariamente em carrinhos sincronizados com o fluxo de automóveis da linha (Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2021d).

Todas as indústrias querem ser competitivas nos seus ramos de atividade e o Centro de Produção de Mangualde não é exceção. Assim, a fim de serem competitivos no ramo da indústria automóvel, assumem vários compromissos, tais como o compromisso com a Saúde e Segurança no Trabalho, com a redução do seu Impacto Ambiental, com a produção de Veículos de Qualidade para os clientes, a Carta Ética. É uma Fábrica comprometida com a Comunidade, um Posto para Todos, respeitando a Diversidade e sendo uma Fonte de Competência (Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2021c).

O setor automóvel fortaleceu a sua presença nos *rankings* das empresas exportadoras. Do top 10 das maiores empresas exportadoras, oito estão relacionadas com o setor automóvel, sendo elas a Autoeuropa, a Bosch, a Continental, a Faurecia, a PSA, a Visteon, a Aptivport e a Eberspaecher. Segundo o Instituto Nacional de Estatística, INE, o Centro de Produção de Mangualde continua a fazer parte do *ranking* das maiores empresas importadoras e exportadoras nacionais de bens. No top 10 das maiores empresas exportadoras em Portugal, a PSA ocupa o sétimo lugar, mantendo a mesma posição relativamente ao ano anterior e a liderar a tabela está a Volkswagen Autoeuropa. Por outro lado, no top 10 das empresas importadoras, a PSA encontra-se na oitava posição, subindo de posição em comparação com o ano transato. O setor automóvel teve diversas quedas no ano de 2020. A produção de veículos caiu, sendo mesmo assim considerado como o terceiro melhor ano de sempre. Apesar da pandemia que afetou o mundo e o país, a CPMG alcançou o segundo melhor ano de produção da sua história (Machado, 2021; Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2021a). Ainda que o COVID-19 tenha afetado fortemente diversas empresas, o Grupo PSA e a FCA foram bastante lucrativas em 2020,

daí que a fusão de duas empresas saudáveis e fortes tenha dado origem a um grupo com solidez financeira (Stellantis, 2021a).

5.2. Gestão *Lean* no Grupo PSA

Face aos aumentos de produção, tanto em número como em modelos, o grupo PSA viu-se obrigado a adaptar os seus sistemas de produção. A solução que o grupo adotou para melhorar o seu desempenho industrial foi o *lean*. Na abordagem *lean*, o desempenho está relacionado com a melhoria da qualidade e com a procura de produtividade. As empresas têm não só vontade de serem mais flexíveis, de serem capazes de ajustar constantemente os seus processos, de modo a conseguir estar mais perto da procura dos seus clientes, como também desejam eliminar quaisquer desperdícios, com vista a reduzir os custos associados aos mesmos (Morais & Aubineau, 2012).

De acordo com o estudo de Morais & Aubineau (2012), o processo de adoção de uma abordagem *lean* no grupo PSA estendeu-se por cerca de dez anos. Em 2000 e 2001, houve uma sensibilização para a necessidade de o grupo melhorar o seu desempenho de produção e a sua eficiência. Entre 2001 e 2005, intitulados como os anos da convergência, o grupo começou a adotar ferramentas *lean*, como por exemplo o 5S. O programa 5S possibilita fortalecer os conhecimentos dentro dos domínios e estimular o trabalho em equipa (Peugeot Citroën Automóveis Portugal, 2021b). Nestes anos começaram-se a partilhar informações acerca das melhores práticas entre as várias fábricas, começando assim um projeto chamado de Projeto de Convergência, que tinha como objetivo homogeneizar o conhecimento. Assim, durante este anos, foram escritos os elementos do sistema de fabrico que foram considerados como suporte para a implementação desta homogeneização em todas as fábricas, podendo ser encarados como os princípios das normas do trabalho através de um acordo de boas práticas para toda a produção (Morais & Aubineau, 2012). Segundo estes dois autores, só em 2004/2005 é que o grupo implementou de facto o *lean*. Na fábrica em Kolin, na República Checa, foi onde se conseguiu colocar totalmente em prática a abordagem *lean* na produção de automóveis. Esta fábrica é orientada segundo o Sistema de Produção Toyota, sendo ela uma empresa comum entre a Toyota e a PSA. Esta fábrica tornou-se referência para os vários gestores de produção. Assim, em 2005 deixa-se apenas de falar da partilha de boas práticas para se aderir ao Sistema de Produção da PSA, refletindo, deste modo, a aplicação da

abordagem *lean* no grupo PSA. A partir de 2006, a abordagem *lean* foi estendida à elaboração de produtos e ao processo de produção. De seguida, os princípios *lean* foram aplicados a outros setores, como o comércio, I&D, entre outros. Em 2007, o *lean* começa a fazer parte das bases do PSA *Excellence System* (PES).

O grupo PSA dispõe de um Sistema de Excelência que é aplicado na produção de todas as fábricas do grupo, conhecido como PES (Figura 7) (PSA Caen, 2021) e que tem por base a abordagem *lean*. Este sistema consiste na organização de conceitos *lean* de acordo com a sua importância no TPS e na cultura de melhoria contínua. Esta representação usada no grupo tem por base a casa definida no TPS. O objetivo do PES é atingir a excelência na qualidade, nos custos, nos prazos de entrega, no desempenho, na segurança e na gestão (Morais & Aubineau, 2012).

O sistema PES fundamenta-se em oito princípios, tais como: trabalho padronizado & *Kaizen*, gestão visual, sem falhas, reconhecimento de desperdícios, *just-in-time*, bom funcionamento, valores (atitudes e comportamentos) e Homem & equipas. As ferramentas utilizadas para eliminar os desperdícios, passam pela implementação do trabalho padronizado & *Kaizen*, do Kanban, do 5S, MIFA², PDCA³, Lei/ Diagrama de Pareto⁴, entre outros.

A casa do PES baseia-se em dois pilares, o pilar *Sem Falhas* e o pilar do *Just-In-Time*. O pilar *Sem Falhas* consiste em ter como objetivo zero defeitos graças ao Jidoka, em haver qualidade em cada etapa, em resolver os problemas à medida que aparecem, entre outros. O pilar do JIT corresponde a fornecer aos clientes exatamente aquilo que precisam, quando e onde precisam, utilizando o mínimo de recursos. O JIT envolve uma redução de *stocks* e uma otimização do tempo, tanto dos meios como dos recursos humanos. A implementação do JIT nas fábricas favoreceu o nível de serviço ao cliente em conformidade com os objetivos pretendidos, assegurando, ao mesmo tempo, uma melhor gestão de inventários (Morais & Aubineau, 2012; PSA Caen, 2021). O principal objetivo do *lean* consiste na melhoria contínua e na eliminação de desperdícios, que só é possível com a adequada gestão de pessoas e equipas. Assim, o centro da casa

² MIFA (*Material and Information Flow Analysis*): consiste num processo de mapeamento de fluxos de produção e de informação, e na caracterização do valor acrescentado e não acrescentado.

³ PDCA (Plan (Planear), Do (Fazer), Check (Verificar resultados), Act (Agir)): Ciclo PDCA- Instrumento essencial para o progresso. Forma mais eficiente para alcançar resultados e melhorar. Tem como objetivo a melhoria contínua.

⁴ Faz a distinção entre os problemas mais e menos importantes; ajuda a estabelecer prioridades.

da PES engloba os recursos humanos, equipas aptas e com objetivos comuns, existindo o reconhecimento dos desperdícios o que leva à redução ou eliminação de todas as atividades que não acrescentem valor. A base da casa está assente no bom funcionamento, ou seja, consiste em proporcionar condições estáveis ao processo de produção relativamente à procura incerta do cliente. Está também assente em processos estáveis e padronizados, isto é, pretende-se criar um ciclo de trabalho que seja repetido, sem que haja desperdícios. Além disto, assenta na gestão visual, dando ao operador, em qualquer momento, as informações sobre o que acontece no seu posto e na fábrica. Por último, e não menos importante, assenta em valores, atitudes e comportamentos (Morais & Aubineau, 2012).

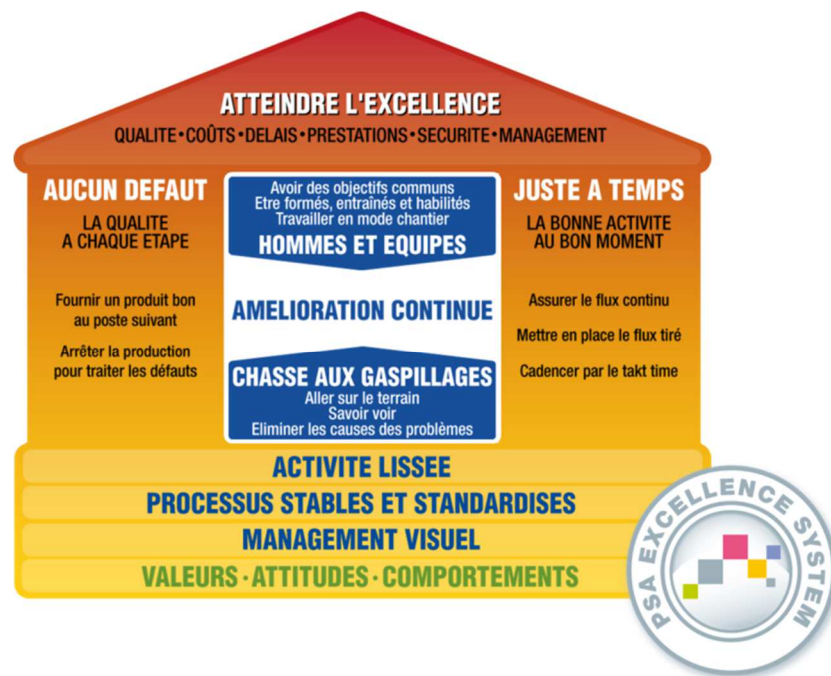


Figura 7. PES- PSA Excellence System.

Fonte: (PSA Caen, 2021)

A utilização deste sistema de excelência permite um maior bem-estar individual e coletivo, assim como uma maior eficiência, possibilita também uma maior satisfação do cliente e uma melhoria na parceria com os fornecedores, permite uma melhor competitividade para a empresa e uma cultura de melhoria contínua.

5.3. Aplicação Prática dos Conceitos

Relativamente à produção de automóveis, o veículo é produzido quando já existe uma encomenda por parte do cliente, ou seja, podemos dizer que a produção segue uma lógica *just-in-time*. Neste caso, o cliente da fábrica são as sucursais⁵ que informam a central acerca das quantidades de pedidos dos consumidores. Assim, a central reúne todas as informações e distribui-as pelas diferentes fábricas. A produção é feita através do ordenamento do veículo, isto é, os automóveis são ordenados para a produção com dez dias de antecedência. Esta ordenação por dia e por hora é conhecida como ordenamento fixo da produção. Este ordenamento tem de ser firme, pois é necessário saber-se exatamente qual a produção, permitindo desta forma que os fornecedores alinhem igualmente as suas produções com a produção da fábrica.

Para além da produção ser firme, as previsões de fabricação num horizonte de quatro semanas são também enviadas aos fornecedores, para que estes consigam ter uma visão geral sobre o que se vai produzir, o que por sua vez permite aos fornecedores organizarem os seus planos de produção e o aprovisionamento dos materiais e componentes. Estas quatro semanas são intituladas como previsionais.

A fábrica pretende ter cada vez menos *stocks*, de forma a reduzir os custos de fabricação e, em simultâneo, ganhar economicamente. Atualmente trabalha com um *stock* que garante o funcionamento para cerca de 1,7 dias. Por vezes, existe uma força económica que se sobrepõe à utilização do JIT. Há casos em que se tem de ter grandes quantidades de *stock* devido a outros custos. O CPMG, por exemplo, possui três referências fornecidas por um fornecedor da Polónia. Como os custos de transporte são elevados, torna-se necessário e vantajoso fazer encomendas que permitam que o camião de transporte seja utilizado na sua capacidade máxima, diminuindo o custo do transporte. Isto faz com que exista uma maior quantidade de *stock* em armazém. Por outro lado, há fornecedores que fornecem um grande volume de peças, que chegam em vários camiões por dia. Nestes casos, a cobertura em dias de *stock* é reduzida.

Em alguns casos, o grupo Stellantis contratualiza com fornecedores a entrega dos seus produtos nos armazéns avançados do fornecedor (MAF- *Magasin Avancé Fournisseur*). Estes armazéns servem para massificar o transporte, permitindo que exista

⁵ Em cada país há representantes de cada marca.

um agrupamento na entrega de vários produtos de fornecedores diferentes. Vários fornecedores transportam os seus produtos para esses armazéns e será um mesmo camião que trará esse conjunto de peças dos vários fornecedores até à fábrica.

A empresa opta pela entrega sincronizada de peças por alguns fornecedores, podendo esta sincronização ser curta ou longa. Sincronização é um modo de aprovisionamento em que a ordem de entrega é provocada pelo fluxo físico do veículo no ponto de entrada da montagem. As peças síncronas são componentes com grande diversidade, ou seja, para um tipo de peça existe uma grande diversidade de referências. Os faróis, os bancos, os para-choques, entre outros, são exemplos de peças síncronas. Note-se que uma sincronização longa corresponde a um planeamento de tempo mais alargado enquanto que a sincronização curta corresponde à ordenação real dos veículos.

No caso da sincronização curta, quando um carro entra na linha de montagem, o fornecedor recebe uma ordem através do sistema de informação informático que indica a posição de cada carro no início da linha de montagem e a peça que lhe corresponde. Por exemplo, no caso dos faróis dos automóveis, sabem que o carro *A* leva o farol *x*, o carro *B* o farol *y*, e assim sucessivamente. Todas estas peças vão ordenadas num carrinho e devidamente identificadas, e seguem deste modo para a linha de montagem. Assim, o operador só tem de seguir a ordem da disposição da entrega e montar a peça no respetivo veículo. Neste caso, também observamos uma lógica *just-in-time*, pois o operador tem somente as peças necessárias no momento exato em que são precisas. Outro exemplo de JIT e sincronização curta são os bancos dos carros. Quando o veículo entra no início de linha de montagem, o fornecedor recebe a informação do tipo de banco e inicia a sua fabricação. De seguida o banco é entregue no posto da montagem no momento em que é necessário, pois existem bancos com determinadas características, sendo alguns de baixo consumo.

No caso do fornecedor dos para-choques dos veículos, este segue uma sincronização longa e curta. As peças chegam ao armazém que o fornecedor tem dentro da fábrica ordenadas de acordo com a informação enviada (ordenamento da produção). Esta informação é enviada com os dez dias de antecedência pela fábrica (sincronização longa). No entanto, pode acontecer um desvio na produção face ao ordenamento planeado previsto e o veículo não ir na ordem esperada. Desta forma, o fornecedor, através da informação da entrada dos automóveis na linha de montagem, conhece o ordenamento real da produção e volta a sequenciar o seu produto com base nessas informações. Assim,

o fornecedor, no seu armazém, irá ordenar os para-choques conforme a nova ordenação dos veículos (sincronização curta).

Por último, um exemplo de sincronização longa são os depósitos de combustível. Neste caso, o fornecedor envia os depósitos de combustível ordenados conforme a informação que recebeu. De seguida, as embalagens que contêm estas peças vêm com uma etiqueta a identificar a ordem. Caso um veículo saia do ordenamento, ou seja, da sua posição inicial, o sistema informático vai avisar o operador deste acontecimento. Neste caso, o operador tem como responsabilidade fazer esta gestão, isto é, verificar se segue a ordem ou não e por sua vez, optar pela peça correspondente ao novo ordenamento.

Na fábrica, existe um conceito conhecido como o *kitting*, um método de fornecimento de peças em linha que coloca à disposição dos operadores as peças necessárias para a montagem do veículo (Groupe PSA, 2015). É considerado uma lógica *lean*, pois reduz o tempo que o operador despende na tarefa de recolha de peças, ou seja, elimina o desperdício de tempo pois os operadores deixam de ter de ir buscar as peças. O *kitting* consiste nuns carrinhos (KITs) que já levam todas as peças correspondentes a cada veículo, com a devida identificação. Assim, o operador apenas tem a função de as montar, não tem de perder tempo em verificar se a peça é a correta ou em ir buscá-la fora do seu posto de trabalho. A implementação do *kitting* proporcionou ganhos tanto na logística como na montagem. Na logística, o ganho foi na distância da distribuição das peças, pois as zonas de distribuição estão implementadas junto ao armazém. Na montagem, o ganho está mais voltado para a sobrecarga de trabalho mental do operador, pois o operador deixou de ter a preocupação de verificar se a peça é a correta. Outro ganho passa por o operador ter de se deslocar muito menos. Os AGV's (*Automated Guided Vehicle*), que transportam os KITs até ao bordo de linha, saem do armazém e seguem para a linha de montagem e acompanham o veículo no decorrer da linha de montagem. Assim, o operador pode manter-se basicamente na mesma posição, não tendo de se deslocar para obter as peças de que necessita.

Tanto os artigos utilizados diretamente na produção, como os artigos utilizados indiretamente, seguem uma política de revisão contínua, ou seja, as peças são encomendadas quando se atinge o ponto de encomenda. Todas as peças seguem esta política, independentemente da sua procura e rotatividade.

6. Estudo Experimental

6.1. Introdução

Este estudo tem como objetivo analisar os impactos que podem advir da aplicação de uma política *just-in-time*, tendo em conta as incertezas que podem existir na cadeia de aprovisionamento. Assim, vai considerar-se um modelo simplificado de uma cadeia de aprovisionamento, simulando-se possíveis atrasos nessa cadeia e verificando-se se esses atrasos têm ou não impacto no funcionamento normal da fábrica. Por motivos de confidencialidade de dados, não foi possível utilizar dados reais, pelo que se vão considerar dados gerados aleatoriamente.

Os possíveis impactos de uma política *just-in-time* são visíveis sempre que existe alguma disrupção na cadeia de aprovisionamento. Pode dar-se como exemplo a situação atualmente vivida em muitas indústrias. Existe uma escassez de componentes eletrónicos no mercado, que está a atingir todos os setores, nomeadamente a indústria automóvel. De acordo com Tomé (2021), existem cada vez mais indústrias que estão dependentes da eletrónica e, por sua vez, estão a ser afetadas pela escassez de *chips*. Segundo dados fornecidos pelo CPMG, os semicondutores são componentes fundamentais nos automóveis, pois os veículos estão cada vez mais avançados a nível tecnológico. Um automóvel chega a agregar mais de 100 semicondutores, utilizados nos computadores centrais dos veículos, nos monitores de bordo, entre outros.

Entre março e maio de 2021, a escassez de semicondutores ou *chips* começou a ser notória e pode-se estar a falar de uma crise global no fornecimento destas componentes. O mercado mundial está a ser afetado pela falta de semicondutores, fazendo parar provisoriamente vários setores em Portugal (PÚBLICO & LUSA, 2021). Em Portugal, fábricas como a Autoeuropa, a Peugeot Citroën Automóveis Portugal e a Bosch de Braga, devido a esta escassez, foram obrigadas a interromper as suas produções (Larguesa & Curvelo, 2021). Várias fábricas do grupo Stellantis foram também obrigadas a suspender as suas linhas, impedindo o grupo de produzir, no primeiro trimestre, 190 mil automóveis. As indústrias automóveis, como a Stellantis, a Ford, a Volkswagen, não conseguem funcionar se não tiverem estas componentes, que são fundamentais para o fabrico dos veículos. A falta destas componentes deve-se à elevada procura de componentes eletrónicos que são precisas no setor informático, consequência, de certo

modo, do aumento do número de pessoas no regime de teletrabalho (Lusa, 2021). As medidas de confinamento impostas a nível global levaram ao aumento exponencial do teletrabalho e do ensino à distância, durante grandes períodos, tudo através de meios telemáticos. Os principais fabricantes destes semicondutores são a empresa TSMC, situada em Taiwan, a coreana Samsung e a norte-americana GlobalFoundries.

A indústria automóvel está a passar por um momento difícil, com a falta de semicondutores, com o COVID-19, com a escassez de matérias-primas, com subidas de preços elevadas, que afetam o habitual funcionamento e geram incerteza relativamente ao futuro. Com a pandemia a motivar ruturas nas cadeias de aprovisionamento, começaram a ser colocadas questões tais como “Será que foi uma boa estratégia localizar produções essenciais em países tão longínquos?” (P. Dias, 2021). Com a pandemia e a falta de semicondutores a ocorrer numa economia globalizada, como aquela que existe neste momento, as cadeias de abastecimento sofrem impactos diretos, que acabam por paralisar as produções e, conseqüentemente, o mercado comercial é também afetado.

No modelo considerado neste estudo, irá considerar-se a existência de um armazém avançado do fornecedor (MAF), que recebe uma diversidade de produtos de vários fornecedores. Quando for possível transportar usando um camião na sua capacidade máxima, então os artigos agrupados serão transportados para o centro de produção.

As experiências computacionais realizadas consideram a simulação de Monte Carlo, em que se definem probabilidades para atrasos até cinco dias, considerando as diferentes etapas e elementos da cadeia de aprovisionamento. Numa primeira fase estabelecemos que apenas três fornecedores se deslocam até ao MAF e, deste modo, avaliamos o impacto dos atrasos desses fornecedores na fábrica. Posteriormente, serão acrescentados mais fornecedores à cadeia de aprovisionamento, para se verificar qual o impacto. Assume-se, à semelhança do que acontece realmente na fábrica, que esta apenas tem *stock* para garantir a produção durante cerca de 2 dias (valor aproximado do valor real de 1,7 dias). Isto significa que, sempre que haja probabilidade de atrasos de 3 ou mais dias, haverá um impacto negativo na produção (a fábrica deixa de ter algum dos componentes necessários para garantir a produção), obrigando, desta forma, a fábrica a parar a sua linha de produção.

6.2. Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo (SMC) baseia-se na construção de modelos com variáveis de entrada com um comportamento aleatório. As variáveis de saída são as que se pretendem analisar, através de uma análise estatística. É uma técnica matemática bastante útil para analisar cenários incertos e proporciona uma análise probabilística de diferentes situações (Raychaudhuri, 2008). O uso deste método faz com que a distribuição de todos os resultados possíveis de um acontecimento (variável de saída que se pretende estudar) resulte da análise de um modelo cujas variáveis de entrada vão tomando diferentes valores, que se regem por distribuições de probabilidade (Platon & Constantinescu, 2014). Note-se que, a cada conjunto de parâmetros de entrada, irá corresponder a um conjunto de parâmetros de saída. Os valores dos parâmetros de saída resultam de várias execuções de simulação. Por fim, são realizadas análises estatísticas sobre os valores dos parâmetros de saída, de modo a tomar decisões sobre o processo (Raychaudhuri, 2008).

Segundo Raychaudhuri (2008), devemos ter em atenção três conceitos utilizados na SMC, sendo eles as Distribuições Estatísticas, a Amostragem Aleatória e o Gerador de Números Aleatórios (*Random Number Generator*- RNG). As Distribuições Estatísticas, também conhecidas como distribuições de probabilidades, relatam os resultados da variação de uma variável aleatória e também a probabilidade de ocorrência dos resultados. As distribuições estatísticas podem ser de probabilidade discreta ou de probabilidade contínua. Quando são utilizados valores discretos trata-se de uma distribuição de probabilidade discreta, exemplos deste tipo de distribuição são as distribuições Binomiais, de *Poisson*, entre outras. A probabilidade contínua utiliza valores contínuos, sendo exemplo deste tipo de distribuição, as distribuições Normais, Exponencial, Gama, Uniforme e outras. A Amostragem Aleatória consiste em retirar amostras aleatoriamente da população, pressupondo que cada elemento da população tem igual hipótese de ser incluído na amostra. Por último, o RNG, também chamado de gerador de números pseudoaleatórios, cria números aleatórios através de métodos simulados e não reais.

A SMC pode ser utilizada em várias áreas, tais como nas finanças, na análise de fiabilidade e Six Sigma, na matemática, na física, na estatística, na engenharia, entre outras (Raychaudhuri, 2008).

De acordo com Schmitt & Singh (2009), quando as cadeias de aprovisionamento começam a expandir globalmente, o seu risco de rutura começa a aumentar. A análise do risco de perturbação e o desenvolvimento de planos de mitigação que fizessem face ao risco, começaram a ter importância devido aos acontecimentos catastróficos que foram ocorrendo. Uma empresa que tenha uma cadeia de aprovisionamento grande e complexa está mais suscetível a perturbações, no entanto, também consegue tirar vantagem disso se a sua rede ajudar a mitigar estas perturbações, se as empresas nestes casos optarem por investir em capacidades de reservas através da sua rede. Desta forma, quando um local for perturbado, haverá outro com capacidade para o apoiar. É através da SMC que podemos avaliar o risco. Os resultados deste método têm a capacidade de ilustrar os atrasos ou perturbações da consequência do risco (Mangla, Kumar, & Barua, 2014).

A SMC surge por volta do século XVIII, pelo cientista francês, Georges Louis LeClerc, ao utilizar métodos aleatórios numa variedade de estudos. O estudo que ficou mais conhecido foi o “*Buffon’s needle*”, que tinha como objetivo conseguir estimar o valor do π . O método consistiu em lançar repetidamente agulhas com um determinado comprimento l para um plano organizado em linhas paralelas distanciadas t unidades, verificando quais ficavam a atravessar uma linha (Harrison, 2009). Segundo o mesmo autor, houve quem considerasse este método como a primeira experiência da SMC. Com o passar dos anos, a simulação começou a ser utilizada por várias pessoas, como uma forma experimental para a confirmação de teorias, para analisar dados, entre outros. A SMC foi desenvolvida pela primeira vez e utilizada de forma sistemática durante o Projeto Manhattan⁶, onde usaram a simulação para muitos outros problemas com armas nucleares e estabeleceram a maior parte dos métodos fundamentais da SMC. Esta simulação é vista, nos dias de hoje, como uma ferramenta científica frequentemente usada para problemas analiticamente intratáveis e para simulações muito trabalhosas, dispendiosas e impraticáveis. No entanto, a SMC também tem algumas limitações, tais como a de poder necessitar de enormes recursos informáticos, de não fornecer soluções exatas, de o *software* de simulação ser propenso a erros, entre outras (Harrison, 2009).

Neste estudo, o *software* utilizado foi o ARGO, um *Add-in* para o *Microsoft Excel*, de utilização gratuita.

⁶ Projeto Americano da II Guerra Mundial para desenvolver armas nucleares (Harrison, 2009).

6.3. Experiências Computacionais

Como já mencionado na secção 6.1, o nosso modelo tem por base os MAF, como representado na Figura 8. O objetivo da simulação é experimentar vários esquemas de atrasos dos fornecedores e observar de que forma estes atrasos têm impacto na produção da fábrica.

Numa primeira fase, começamos por considerar apenas três fornecedores, cada um com uma dada probabilidade de se atrasar um determinado número de dias. Definimos cinco dias como possibilidade máxima de atraso. A cada um desses dias foram atribuídas diferentes probabilidades de ocorrência. Os dias de atraso em armazém correspondem ao máximo do número de dias de atraso dos três fornecedores. Isto significa que se assume que o transporte apenas é efetuado para a fábrica/centro de produção após a entrega dos produtos de todos os fornecedores. Assumimos que os atrasos na viagem também são gerados de forma aleatória seguindo o mesmo princípio dos atrasos dos fornecedores. Por último, os dias de atraso na chegada dos produtos à fábrica são calculados pela soma dos dias de atraso em armazém com os atrasos na viagem.

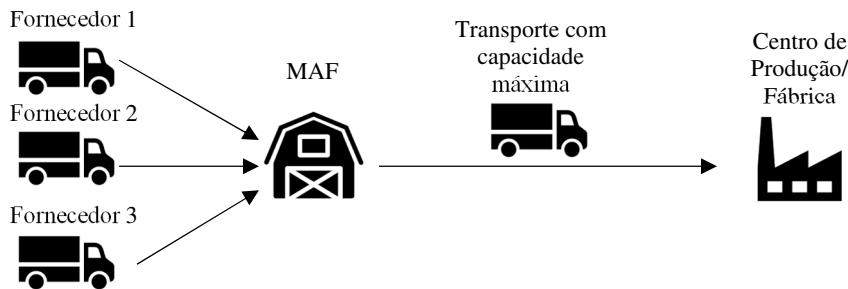


Figura 8. Cadeia de Aprovisionamento com três fornecedores.

Fonte: Elaboração própria

Para esta simulação, assumiu-se que os atrasos, a ocorrerem, são independentes entre si. Assim, não foram consideradas correlações entre os atrasos dos fornecedores, ou entre estes atrasos e os atrasos na viagem. Admitiu-se ainda que todos os produtos têm a mesma importância para a produção e que os produtos só vão ser entregues no centro de produção quando todos estes estiverem no armazém avançado do fornecedor.

A Figura 9 apresenta a construção do modelo e as fórmulas utilizadas. Para a simulação dos possíveis atrasos, recorreu-se à utilização de uma distribuição uniforme. O

número aleatório assim produzido é depois utilizado para se verificar se houve ou não um atraso. Na linha 3 da Figura 9, são colocados os valores aleatórios considerados nas experiências descritas posteriormente. A coluna “Verificação” consiste na soma de todas probabilidades dadas a cada experiência, para se verificar se a soma é de 100%. Se sim, a célula I3, irá ficar verde, caso contrário ficará vermelha. Atente-se que a soma das probabilidades tem de ser sempre igual a 100%. A probabilidade acumulada é calculada pela soma acumulada das probabilidades dos atrasos. As probabilidades de atraso de cada fornecedor (célula B8, B9 e B 10) e a probabilidade de atraso na viagem (G8) são calculadas com recurso ao *add-in* Argo do *Microsoft Excel*, de onde resulta a fórmula da distribuição uniforme (@RtaUNIFORM(0;1)), que nos irá dar probabilidades aleatórias entre 0 e 1. O atraso, em dias, dos fornecedores (C8, C9, C10) e da viagem (G9) é calculado através da função *hlookup*, que procura a probabilidade aleatória, do atraso na viagem na linha superior de uma tabela e devolve o valor correspondente, para isto consideramos como tabela, na linha superior a probabilidade acumulada e na linha inferior os dias de atraso. Os dias de atraso em armazém são calculados pela função *Max*, que calcula o número máximo de atrasos dos fornecedores. Por último, os atrasos, em dias, na fábrica resultam da soma dos vários atrasos, usando a fórmula @RtaRESULT do *add-in* utilizado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Dias	0	1	2	3	4	5	Verificação
3		Probabilidade	0,85	0,15	0	0	0	0	=SUM(C3:H3)
4		Prob. Acumulada	0	=C3	=C4+D3	=D4+E3	=E4+F3	=F4+G3	=G4+H3
5		0	1	2	3	4	5		
6									
7		Probabilidade	Atraso?		Dias de atraso em armazém				
8	Fornecedor 1	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B8;\$B\$4:\$H\$5;2;1)		=MAX(\$C\$8:\$C\$10)				
9	Fornecedor 2	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B9;\$B\$4:\$H\$5;2;1)		Probabilidade	=@RtaUNIFORM(0;1)			
10	Fornecedor 3	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B10;\$B\$4:\$H\$5;2;1)		Atraso na viagem	=HLOOKUP(G8;\$B\$4:\$H\$5;2;1)			
					Atraso, em dias, na fábrica	=@RtaRESULT(G9+G7)			

Figura 9. Folha de Simulação com três fornecedores

Fonte: Elaboração própria

Descrevemos agora os dados considerados nas experiências efetuadas (Tabela 1).

Experiência 1: Existe 95% de probabilidade de haver 0 dias de atraso e 5% de probabilidade de haver 1 dia de atraso.

Experiência 2: Existe 86% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 11% de probabilidade de haver 1 dia de atraso e 3% de probabilidade de haver 2 dias de atraso.

Experiência 3: Existe 55% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 25% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 15% de probabilidade de haver 2 dias de atraso e 5% de probabilidade de haver 3 dias de atraso.

Experiência 4: Existe 42% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 23% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 15% de probabilidade de haver 2 dias de atraso, 11% de probabilidade de haver 3 dias de atraso e 9% de probabilidade de haver 4 dias de atraso.

Experiência 5: Existe 30% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 24% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 22% de probabilidade de haver 2 dias de atraso, 13% de probabilidade de haver 3 dias de atraso, 6% de probabilidade de haver 4 dias de atraso e 5% de probabilidade de haver 5 dias de atraso.

Experiência 6: Existe 25% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 21% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 19% de probabilidade de haver 2 dias de atraso, 16% de probabilidade de haver 3 dias de atraso, 10% de probabilidade de haver 4 dias de atraso e 9% de probabilidade de haver 5 dias de atraso.

Experiência 7: Existe 74% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 20% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 5% de probabilidade de haver 2 dias de atraso e 1% de probabilidade de haver 3 dias de atraso.

Experiência 8: Existe 67% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 17% de probabilidade de haver 1 dia de atraso, 7% de probabilidade de haver 2 dias de atraso, 4% de probabilidade de haver 3 dias de atraso, 3% de probabilidade de haver 4 dias de atraso e 2% de probabilidade de haver 5 dias de atraso.

Experiência 9: Existe 85% de probabilidade de haver 0 dias de atraso, 14% de probabilidade de haver 1 dia de atraso e 1% de probabilidade de haver 2 dias de atraso.

Experiência 10: Existe 85% de probabilidade de haver 0 dias de atraso e 15% de probabilidade de haver 1 dia de atraso.

Tabela 1. Experiências

Dias	Probabilidade de Atrasos em dias						Verificação
	0	1	2	3	4	5	
Experiência 1	95%	5%	0%	0%	0%	0%	100%
Experiência 2	86%	11%	3%	0%	0%	0%	100%
Experiência 3	55%	25%	15%	5%	0%	0%	100%
Experiência 4	42%	23%	15%	11%	9%	0%	100%
Experiência 5	30%	24%	22%	13%	6%	5%	100%
Experiência 6	25%	21%	19%	16%	10%	9%	100%
Experiência 7	74%	20%	5%	1%	0%	0%	100%
Experiência 8	67%	17%	7%	4%	3%	2%	100%
Experiência 9	85%	14%	1%	0%	0%	0%	100%
Experiência 10	85%	15%	0%	0%	0%	0%	100%

Fonte: Elaboração própria

Cada simulação consistiu em 1000 iterações, por se considerar que este número de iterações é suficiente para que os valores estatísticos a analisar convirjam. No final de cada simulação, é possível fazer-se uma extração de todos os dados das experiências realizadas, por forma a que sejam analisados através do *Microsoft Excel*.

Tendo em conta a Figura 9, as variáveis aleatórias de entrada correspondem às células G8 (Probabilidade de atraso na viagem), B8 (Probabilidade de atraso do fornecedor 1), B9 (Probabilidade de atraso do fornecedor 2) e B10 (Probabilidade de atraso do fornecedor 3). Os resultados surgem na célula G10 (Atraso, em dias, na fábrica).

A análise global que se pretende fazer com estas experiências passa por verificar com que probabilidade é que, em cada uma das situações/experiências, consideradas anteriormente, podem existir impactos na fábrica caso ocorram atrasos na cadeia de aprovisionamento.

Após a extração dos dados, irá encontrar-se o número máximo de atrasos que surgiram da simulação dos dados, através da fórmula *Max* do *Microsoft Excel*. Conforme o número máximo de dias que obtivemos pela fórmula *Max*, coloca-se os valores por ordem crescente, de 0 ao número obtido, depois vamos calcular quantas vezes acontecem esses atrasos, através da fórmula *Countif*, em seguida determina-se qual a probabilidade de acontecerem estes atrasos em mil ensaios (Tabela 2).

Tabela 2. Exemplo da experiência 1

<u>Máximo</u>	<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
=MAX(G3:G1002)	0	=COUNTIF(\$G\$3:\$G\$1002;J2)	=K2/1000
	1	=COUNTIF(\$G\$3:\$G\$1002;J3)	=K3/1000
	2	=COUNTIF(\$G\$3:\$G\$1002;J4)	=K4/1000

Fonte: Elaboração própria

Estas etapas são efetuadas, todas de igual forma, para todas as dez experiências.

Além destas experiências, foi-se simular o que acontece se a cadeia de aprovisionamento contar com dez fornecedores (Figura 10), em vez dos três fornecedores utilizados inicialmente, mantendo as mesmas probabilidades usadas nas dez experiências descritas na Tabela 1.

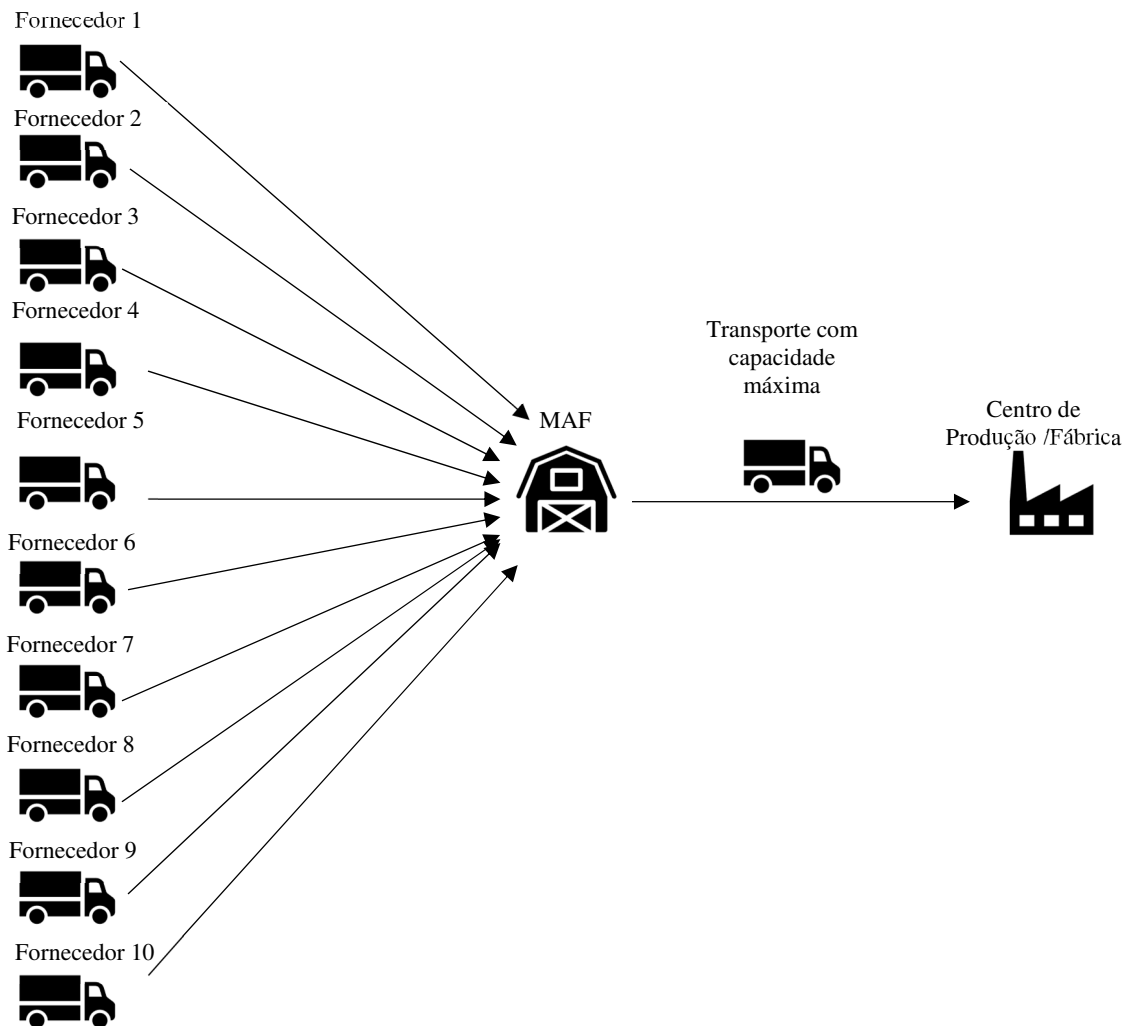


Figura 10. Cadeia de Aprovisionamento com dez fornecedores

Fonte: Elaboração própria

A folha de simulação, neste caso, é idêntica à mostrada na Figura 9, com a alteração decorrente da existência de mais sete fornecedores (Figura 11).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Dias	0	1	2	3	4	5	Verificação
3		Probabilidades	0,85	0,15	0	0	0	0	=SUM(C3:H3)
4		Prob. Acumulada	=B4+C3	=C4+D3	=D4+E3	=E4+F3	=F4+G3	=G4+H3	
5		0	1	2	3	4	5		
6									
7		Probabilidade	Atraso?						
8	Fornecedor 1	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B8;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
9	Fornecedor 2	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B9;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
10	Fornecedor 3	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B10;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
11	Fornecedor 4	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B11;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
12	Fornecedor 5	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B12;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
13	Fornecedor 6	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B13;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
14	Fornecedor 7	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B14;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
15	Fornecedor 8	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B15;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
16	Fornecedor 9	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B16;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
17	Fornecedor 10	=@RtaUNIFORM(0;1)	=HLOOKUP(B17;\$B\$4:\$G\$5;2;1)						
18									
19									
20	Dias de atraso em armazém	=MAX(C8:C17)							
21	Probabilidade	=@RtaUNIFORM(0;1)							
22	Atraso na viagem	=HLOOKUP(B21;\$B\$4:\$G\$5;2;1)							
23	Atraso, em dias, na fábrica	=@RtaRESULT(B20+B22)							

Figura 11. Folha de Simulação com 10 fornecedores

Fonte: Elaboração própria

Nestas experiências mantêm-se todos os pressupostos já enunciados.

6.4. Resultados

Nesta secção vão ser apresentados os resultados da SMC. Começar-se-á com o modelo dos três fornecedores a deixar os seus produtos no MAF (Figura 8). Obtêm-se os resultados demonstrados na Tabela 3.

Todos os valores apresentados nas tabelas seguintes são valores arredondados.

Tabela 3. Resultados das 10 experiências efetuadas com 3 fornecedores

Experiência 1			Experiência 2		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade	Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	812	81%	0	561	56%
1	180	18%	1	297	30%
2	8	1%	2	120	12%
			3	18	2%
			4	4	0%

Experiência 3		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	104	10%
1	222	22%
2	269	27%
3	247	25%
4	113	11%
5	37	4%
6	8	1%

Experiência 4		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	35	4%
1	108	11%
2	144	14%
3	200	20%
4	202	20%
5	146	15%
6	93	9%
7	47	5%
8	25	3%

Experiência 5		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	15	2%
1	48	5%
2	118	12%
3	172	17%
4	187	19%
5	153	15%
6	165	17%
7	90	9%
8	34	3%
9	13	1%
10	5	1%

Experiência 6		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	7	1%
1	37	4%
2	43	4%
3	116	12%
4	164	16%
5	172	17%
6	165	17%
7	148	15%
8	88	9%
9	46	5%
10	14	1%

Experiência 7		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	310	31%
1	370	37%
2	233	23%
3	72	7%
4	14	1%
5	1	0%

Experiência 8		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	199	20%
1	230	23%
2	193	19%
3	129	13%
4	118	12%
5	89	9%
6	18	2%
7	16	2%
8	6	1%
9	2	0%

Experiência 9		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	510	51%
1	409	41%
2	73	7%
3	8	1%

Experiência 10		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	510	51%
1	438	44%
2	52	5%

Fonte: Elaboração própria

Posteriormente, elaborou-se a Tabela 4, onde se resume a informação obtida dos resultados da Tabela 3.

Tanto na Tabela 4 como na Tabela 6, a coluna “Impacto na fábrica” é preenchida conforme haja ou não impacto na fábrica. Considerou-se que pode haver impacto na fábrica quando existe uma probabilidade de existirem atrasos de 3 ou mais dias superior a 0%. A coluna “Probabilidade de existir impacto” é a soma das probabilidades superiores a 0% dos atrasos de 3 ou mais dias.

Tabela 4. Registos dos resultados com três fornecedores

Dias	Probabilidade de Atrasos na chegada à fábrica											Impacto na fábrica	Probabilidade de existir impacto	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Experiência 1	81%	18%	1%										Não	0%
Experiência 2	56%	30%	12%	2%	0%								Sim	2%
Experiência 3	10%	22%	27%	25%	11%	4%	1%						Sim	41%
Experiência 4	4%	11%	14%	20%	20%	15%	9%	5%	3%				Sim	71%
Experiência 5	2%	5%	12%	17%	19%	15%	17%	9%	3%	1%	1%		Sim	82%
Experiência 6	1%	4%	4%	12%	16%	17%	17%	15%	9%	5%	1%		Sim	91%
Experiência 7	31%	37%	23%	7%	1%	0%							Sim	9%
Experiência 8	20%	23%	19%	13%	12%	9%	2%	2%	1%	0%			Sim	38%
Experiência 9	51%	41%	7%	1%									Sim	1%
Experiência 10	51%	44%	5%										Não	0%

Fonte: Elaboração própria

Numa segunda fase, onde se utilizaram dez fornecedores nas dez experiências, obtiveram-se os resultados demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados das 10 experiências efetuadas com 10 fornecedores

Experiência 1		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	560	56%
1	420	42%
2	20	2%

Experiência 2		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	178	18%
1	482	48%
2	289	29%
3	45	5%
4	6	1%

Experiência 3		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	1	0%
1	49	5%
2	296	30%
3	367	37%
4	181	18%
5	86	9%
6	20	2%

Experiência 4		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	0	0%
1	4	0%
2	36	4%
3	146	15%
4	329	33%
5	203	20%
6	134	13%
7	90	9%
8	58	6%

Experiência 5		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	0	0%
1	1	0%
2	15	2%
3	90	9%
4	168	17%
5	215	22%
6	203	20%
7	169	17%
8	78	8%
9	41	4%
10	20	2%

Experiência 6		
<u>Dias</u>	<u>Quantas vezes?</u>	<u>Probabilidade</u>
0	0	0%
1	0	0%
2	2	0%
3	26	3%
4	98	10%
5	220	22%
6	201	20%
7	173	17%
8	140	14%
9	82	8%
10	58	6%

Experiência 7		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	35	4%
1	358	36%
2	385	39%
3	170	17%
4	43	4%
5	9	1%

Experiência 8		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	11	1%
1	99	10%
2	171	17%
3	183	18%
4	218	22%
5	190	19%
6	69	7%
7	30	3%
8	18	2%
9	7	1%
10	4	0%

Experiência 9		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	156	16%
1	635	64%
2	195	20%
3	14	1%

Experiência 10		
Dias	Quantas vezes?	Probabilidade
0	156	16%
1	723	72%
2	121	12%

Fonte: Elaboração própria

Por último, elaborou-se a tabela com os registos das dez experiências com os dez fornecedores (Tabela 6).

Tabela 6. Registos dos resultados com dez fornecedores

Dias	Probabilidade de Atrasos na chegada à fábrica											Impacto na fábrica	Probabilidade de existir impacto	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Experiência 1	56%	42%	2%										Não	0%
Experiência 2	18%	48%	29%	5%	1%								Sim	5%
Experiência 3	0%	5%	30%	37%	18%	9%	2%						Sim	65%
Experiência 4	0%	0%	4%	15%	33%	20%	13%	9%	6%				Sim	96%
Experiência 5	0%	0%	2%	9%	17%	22%	20%	17%	8%	4%	2%		Sim	98%
Experiência 6	0%	0%	0%	3%	10%	22%	20%	17%	14%	8%	6%		Sim	100%
Experiência 7	4%	36%	39%	17%	4%	1%							Sim	22%
Experiência 8	1%	10%	17%	18%	22%	19%	7%	3%	2%	1%	0%		Sim	72%
Experiência 9	16%	64%	20%	1%									Sim	1%
Experiência 10	16%	72%	12%										Não	0%

Fonte: Elaboração própria

6.5. Análise dos Resultados

Relativamente ao modelo da Figura 8, e por análise da Tabela 4, podemos concluir que com as probabilidades associadas aos atrasos considerados nas experiências 1 e 10 não haverá qualquer tipo de impacto na fábrica pois a probabilidade de ocorrerem atrasos iguais ou superiores a três dias, na chegada à fábrica, é nula. Na experiência 1, a probabilidade de haver atrasos iguais ou superiores a um dia é reduzida, é apenas de 19%, enquanto que na experiência 10 já é de 49%, no entanto o nosso modelo pressupõe que a fábrica tem *stock* para aproximadamente dois dias, de forma a garantir o funcionamento da mesma. Assim, na situação representada por estas duas experiências, não existem paragens de produção. A experiência 1 é a situação em que se obtêm melhores resultados pois não existem quaisquer impactos na fábrica e a probabilidade de não existirem atrasos em nenhum dia é de 81%.

Nas restantes experiências (experiência 2 a 9), a probabilidade de atrasos dos fornecedores já terá um impacto significativo na produção da fábrica, pois todas apresentam probabilidades superiores a 0% de existirem atrasos de três ou mais dias. Das oito experiências que resultam em impactos negativos na fábrica, em três delas existe mais de 50% de probabilidade de existirem atrasos na chegada ao centro de produção (Tabela 4). A situação representada pela experiência 6 é a que resulta num maior impacto na fábrica.

No Gráfico 13 comparamos as situações que têm mais e menos impacto na fábrica, representadas pelas experiências 6 e 1, respetivamente. Aqui observamos a grande disparidade entre estas duas situações. Na experiência 1, assume-se que os atrasos dos fornecedores têm probabilidade baixa e, a acontecerem, são pequenos atrasos. Assim, estes atrasos, a existirem, não colocam em causa a continuação da produção. Por oposição, na experiência 6, não só a probabilidade de atrasos dos fornecedores já é elevada, como se assume a possibilidade destes atrasos serem iguais ou superiores a 3 dias. Observa-se, naturalmente, um impacto na produção. A discrepância que existe entre as probabilidades de não existir nenhum atraso nestas experiências é enorme, 81% para a experiência 1 e 1% para a experiência 6. Na experiência 6 há mais probabilidade de existirem atrasos entre 5 e 6 dias.

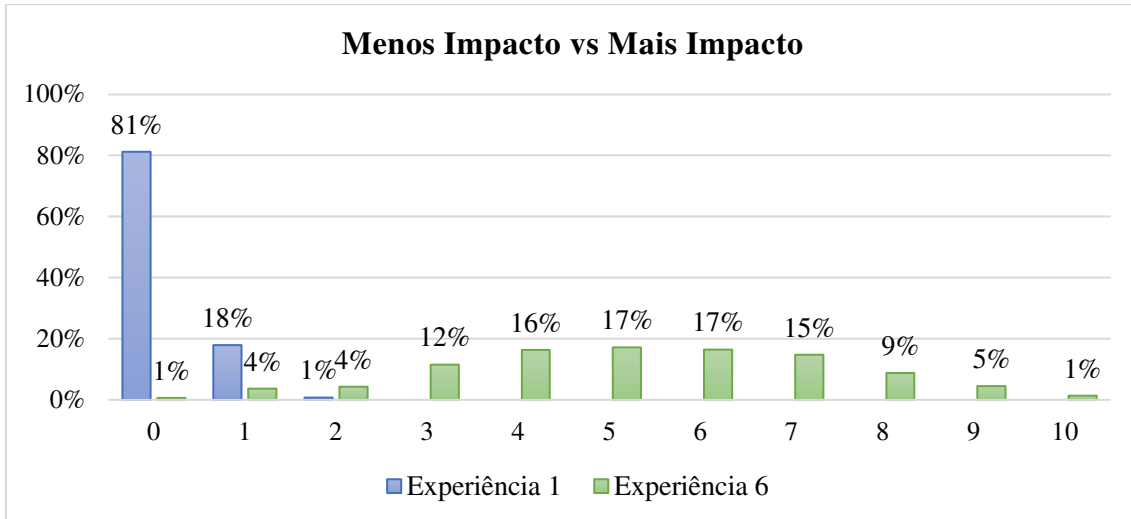


Gráfico 13. Comparação entre a experiência com menos impacto na fábrica e a experiência com impacto mais negativo (3 fornecedores)

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito ao modelo da Figura 10, onde se consideram os dez fornecedores, é de esperar que o impacto na fábrica seja pior do que com três fornecedores. Neste caso, a experiência 1 e 10 também são aquelas que não têm qualquer impacto na fábrica pois a percentagem de atrasos na chegada à fábrica em 3 ou mais dias não é superior a 0% (Tabela 6). A experiência 1 neste modelo é de longe a que tem melhor resultados, por observação da Tabela 6, vemos que é a única experiência das dez, que tem mais de 50% de probabilidade de ter zero dias de atrasos na chegada à fábrica ao contrário do que nos mostra a Tabela 4.

Como seria de esperar, com o aumento do número de fornecedores, assiste-se a uma diminuição da probabilidade de não existirem atrasos, mesmo na experiência 1 (Gráfico 14). Note-se que, independentemente da estrutura da cadeia de aprovisionamento considerada, tanto na experiência 1 como na experiência 10 não se regista qualquer tipo de impacto na fábrica, pois a fábrica possui um *stock* de segurança que lhe permite manter a produção durante 2 dias.

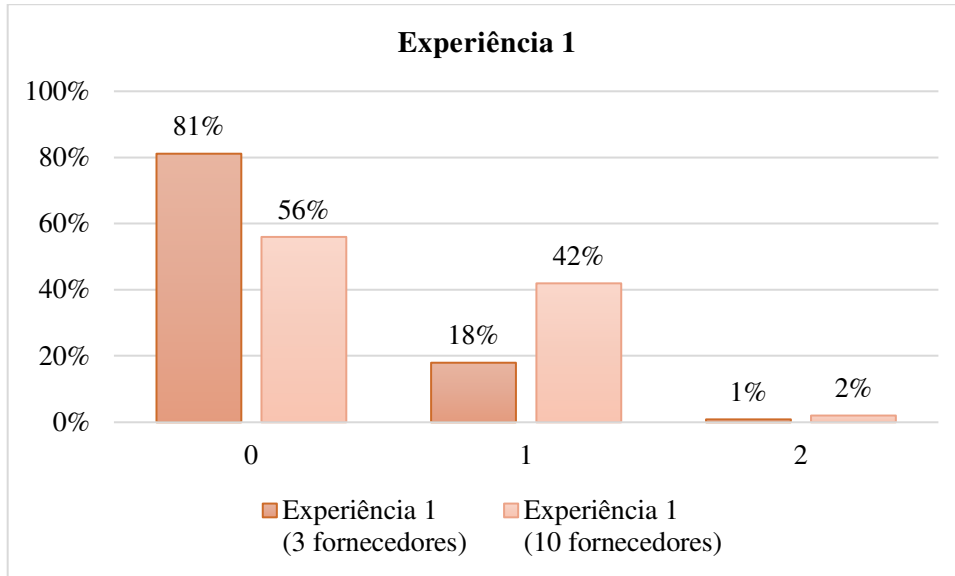


Gráfico 14. Comparação da Experiência 1 com três e com dez fornecedores

Fonte: Elaboração própria

Nas experiências 2 à 9, verifica-se a existência de um impacto negativo na fábrica (Tabela 6), à semelhança do que acontece quando existem apenas três fornecedores. Basta que exista probabilidade superior a 0% no dia 3 que o centro de produção já não consegue dar uma resposta eficaz a estas ruturas. A experiência 6 neste modelo também é a situação com piores resultados, muito piores que os observados na Tabela 4. Nesta experiência 6, os atrasos, em dias, na chegada à fábrica vão ser todos iguais ou superiores a três dias, como podemos verificar no Gráfico 15. A coluna “Probabilidade de Existir Impacto” da Tabela 6, reforça também esta observação pois na experiência 6, a soma das probabilidades de atrasos em três ou mais dias é de 100%.

No Gráfico 15, à semelhança do Gráfico 13, conseguimos observar, por um lado uma situação em que a fábrica não sofre qualquer rutura, onde o seu *stock* consegue cobrir os atrasos e desta forma não parar a produção, e por outro lado, uma situação completamente oposta, em que o centro de produção não consegue, através do seu *stock*, fazer face aos atrasos dos fornecedores, tendo assim um grande impacto na cadeia de aprovisionamento e por sua vez, fazer parar a linha de produção.

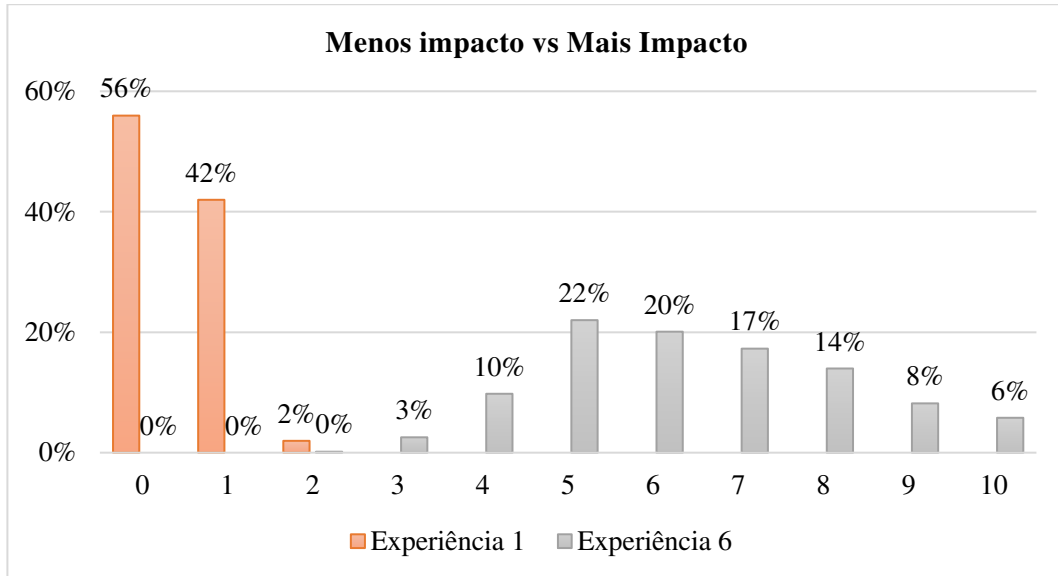


Gráfico 15. Comparação entre a experiência com menos impacto na fábrica e a experiência com impacto mais negativo (10 fornecedores)

Fonte: Elaboração própria

No caso da experiência 6, a grande diferença entre a cadeia de aprovisionamento com três fornecedores e a de dez fornecedores passa por não existir qualquer probabilidade de haver atrasos inferiores a três dias na chegada à fábrica. Como podemos verificar, na hipótese dos três fornecedores, ainda há probabilidade de 9% que a fábrica tenha atrasos em dois ou menos dias, no caso de serem dez fornecedores a probabilidade de existirem atrasos, em dias, inferiores a três dias é de 0% (Gráfico 16).

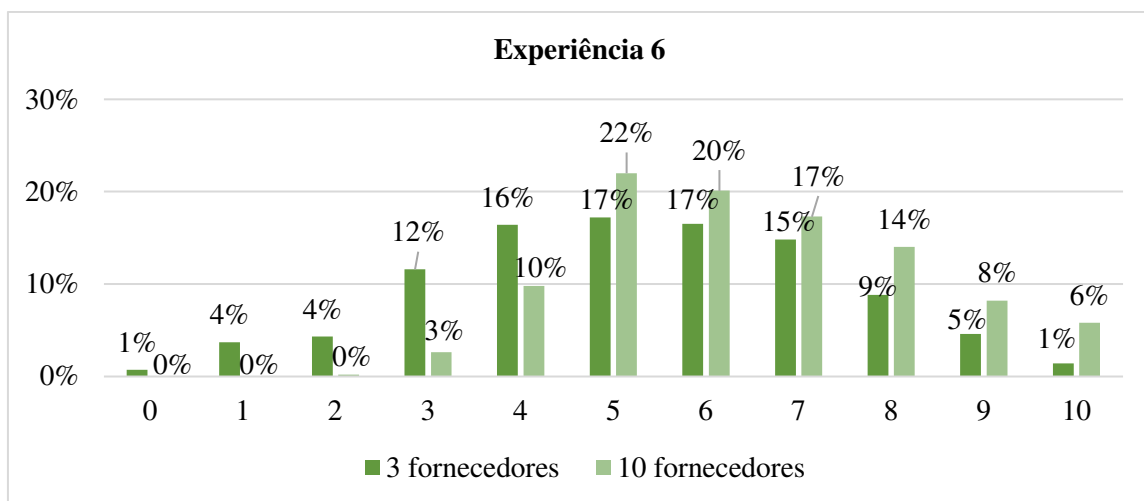


Gráfico 16. Comparação da Experiência 6 com três e com dez fornecedores

Fonte: Elaboração própria

A fábrica, ao seguir uma política *just-in-time*, consegue ter menos inventários, pois ter *stock* significa ter custos para a empresa e cada vez mais as empresas querem reduzir a quantidade de inventários nas suas instalações. Existe sempre a necessidade de manter um nível mínimo de *stock*, necessário para que se evitem constantes paragens na produção. No entanto, dos resultados das experiências efetuadas, pode concluir-se que o *just-in-time* apenas garante a não interrupção da produção se se garantir a existência de uma cadeia de aprovisionamento praticamente sem falhas, em que a probabilidade de atrasos seja muito baixa. Ao adotarem-se estratégias como o JIT e como o *lean*, as empresas estão sujeitas a ruturas de *stock*. A única maneira de tentarem combater estas ruturas é através de *stocks* de segurança. A definição de qual é o *stock* de segurança ótimo é uma questão muito complexa. Se o nível for baixo, a probabilidade de existirem ruturas é mais elevada, se o nível for alto as empresas terão mais custos associados ao armazenamento de produtos, tais como armazéns, gestão dos mesmos, entre outros. Esta decisão é ainda mais complexa se não for possível quantificar a incerteza relativamente à possibilidade de existirem falhas na cadeia de aprovisionamento.

Perante a atual crise mundial de fornecimento de semicondutores, que provoca incertezas nas cadeias de aprovisionamento, uma empresa que siga esta lógica de *just-in-time* não conseguirá prever antecipadamente esta incerteza e irá sofrer ruturas nas suas cadeias. O JIT, para funcionar de forma eficaz, pressupõe a não existência de atrasos na sua cadeia de aprovisionamento. Quanto mais complexa a cadeia de aprovisionamento for, mais propensa é a atrasos e maior é a necessidade de garantir que não haja atrasos, sendo por isso necessário que se faça uma boa gestão da mesma para prevenir a ocorrência de atrasos. Assim, é crucial olhar para a cadeia de aprovisionamento num seu todo para se aplicar o JIT.

Portanto, é importante as empresas serem racionais relativamente ao JIT e ao risco de rutura. Elas devem fazer um balanço entre estes dois pontos e tentarem de certa forma, encontrar um equilíbrio entre ambos (Figura 12).



Figura 12. Balanço entre o JIT e o Risco de Rutura

Fonte: Elaboração própria

7. Conclusão

As organizações, ao darem valor à gestão das suas cadeias de aprovisionamento, conseguem tornar-se mais competitivas no mercado, pois conseguem clientes mais satisfeitos, menores custos e mais eficiência. Assim, devem olhar para a SCM como algo que acrescenta valor à sua empresa. Desta forma, torna-se fulcral escolherem bons fornecedores, utilizarem novas tecnologias, investirem em I&D, fazerem uma boa gestão de *stocks*, entre outros.

A gestão de existências é essencial para que as organizações tenham uma cadeia de aprovisionamento eficiente. Permite a minimização dos custos relativamente aos inventários, tais como os custos de encomenda e os custos de rutura. Para realizarem uma boa gestão das existências, ou seja, descobrir quando e quanto se deve encomendar, as indústrias devem seguir políticas de gestão de existências, de Revisão Contínua ou de Revisão Periódica, conforme o que se entender mais adequado tendo em conta as características da procura. Estas políticas ajudam, face à incerteza inerente da procura, a calcular qual a quantidade necessária do material e qual o momento certo para se proceder à encomenda. Conforme a procura do material ou a rotatividade do mesmo, as indústrias optam pelas diferentes políticas. Contudo, podem existir empresas que optem por utilizar apenas uma política e outras podem optar por utilizar as duas políticas. No caso do CPMG, utilizam sempre uma política de Revisão Contínua e optam por ter *stock* para 1,7 dias. Têm como objetivo ter cada vez menos *stock* e também ganhar economicamente.

Adicionalmente, as próprias cadeias de aprovisionamento podem estar organizadas segundo uma abordagem PULL ou PUSH. As organizações que seguem a lógica PULL começam a produzir quando existe um pedido do fornecedor enquanto que na abordagem PUSH começam a produzir sem qualquer tipo de informação por parte do cliente. A Peugeot Citroën Automóveis de Portugal, S.A. segue uma abordagem PULL pois só procede à fabricação do automóvel assim que receber ordem para tal. De acordo com vários autores, mencionados na revisão de literatura, as indústrias iriam conseguir retirar mais vantagens se adotassem uma abordagem híbrida, PUSH-PULL, no entanto também iriam existir outros riscos, daí ser um tema que deva ser mais estudado e aprofundado.

Para as indústrias serem competitivas podem seguir lógicas *lean*, de modo a conseguirem otimizar processos, evitar desperdícios, reduzirem custos, serem competitivas num mundo cada vez mais exigente, conseguirem estar sempre em melhoria contínua, acrescentar valor para a empresa e terem clientes satisfeitos a todo o momento.

A indústria automóvel tem um grande peso nas economias nacionais, tanto no mundo, como na Europa e como também em Portugal. Esta indústria contribui para o crescimento económico de vários países e cria bastante emprego. É uma indústria que quer ser sempre competitiva globalmente e, para isso, aposta em I&D de forma a conseguirem reduzir custos, eliminar desperdícios, terem clientes sempre satisfeitos, atender às necessidades dos consumidores, entre outros.

Conceitos como o *Six Sigma*, *Kanban*, *TPS*, *JIT*, *Kaizen*, *5S*, *MRP* têm todos em comum acrescentar valor para a empresa e diminuir desperdícios, numa lógica *lean*. O *Six Sigma* consiste em entender as variações e colocar em prática medidas que melhorem os processos. O *Kanban*, um cartão, funciona como sinalizador de quando a peça é necessária para se consumida e reabastecida. O *TPS* tem como finalidade a eficiência das produções e eliminação de qualquer tipo de desperdício. Várias foram as indústrias, que adotaram este sistema, para as suas produções. O *Kaizen* consiste numa filosofia que conta com todos os envolvidos na empresa e que todos eles possam ter a oportunidade de dar sugestões de melhoria contínua para a organização. O *5S* permite identificar e suprimir resíduos do local de trabalho. O *MRP* passa por ser um planeamento das produções que calcula os lotes de produção tendo em conta as incertezas provenientes, possibilitando desta forma uma redução de custos. A indústria automóvel faz uso destes conceitos de forma a serem os melhores e tirarem vantagens competitivas. Ao utilizarem métodos como o *lean*, *just-in-time*, abordagens *PULL*, os fabricantes de veículos conseguem responder aos novos desafios que vão surgindo. Produzem quando é necessário, com o material necessário e no momento certo. Para estas indústria é necessário existir o mínimo de *stock*, daí ser tão importante uma boa *SCM*.

O grupo PSA também não foi exceção e começou a adotar estratégias *lean* para as suas produções. Deste modo, dispõe de um sistema de excelência que se aplica a todas as fábricas do grupo, o PES. O PES assenta em todos os pilares de uma abordagem *lean*, do *TPS* e de todos os outros conceitos que têm como objetivo uma melhoria contínua e redução de desperdícios.

A produção de automóveis tem vindo a crescer ao longo dos anos, no entanto, no final 2019, com o COVID-19, que se prolongou até aos dias de hoje, a indústria automóvel viu-se obrigada a parar algumas das suas produções, contribuindo desta forma para uma redução na produção de veículos. Alguns dos entendidos sobre o assunto, consideraram que a indústria automóvel iria conseguir aumentar as suas produções em 2021, contudo, uma nova crise abalou esta indústria, a falta de matérias primas que influenciou novas paragens de produção em várias fábricas.

Posto isto, foi-se analisar os impactos de se adotar uma política *just-in-time* tendo em contas as diversas incertezas que ocorrem nas cadeias de aprovisionamento. Utilizaram-se dados fictícios e a SMC para simular atrasos que poderiam acontecer na cadeia de aprovisionamento e analisar os impactos que têm na produção. A fábrica opera segundo uma política *just-in-time* e definiu-se que apenas tem *stock* para dois dias. Para o estudo considerou-se uma cadeia de aprovisionamento que consistia em ter vários fornecedores a deixar material num armazém, situado noutra país e, de seguida, apenas um camião, na sua capacidade máxima, transportar todo o material para a fábrica/centro de produção. Inicialmente, teve-se em consideração apenas três fornecedores e numa fase seguinte dez fornecedores. Tendo em conta as experiências definidas, observou-se que oito das dez experiências terão sempre impacto na fábrica, obrigando-a a suspender as suas produções.

Como já era expectável, quanto mais complexa a cadeia de aprovisionamento, maior será a probabilidade de existirem atrasos dos fornecedores e como a fábrica segue uma lógica *just-in-time* e a quantidade de inventários que possui é reduzida, mais sujeita está a ruturas de *stock* que por sua vez influenciam produção. Posto isto, é aconselhável as empresas fazerem sempre um balanço entre utilizar uma política JIT e os possíveis riscos de rutura, para poderem ganhar sempre economicamente. Em suma, estar atento a toda a cadeia de aprovisionamento e fazer uma gestão eficiente da mesma é vital para as indústrias serem a todo o momento eficientes e competitivas.

O estudo aqui apresentado tem muitas limitações, pela simplicidade do modelo considerado e pelos pressupostos que considerou, nomeadamente assumindo que os atrasos são todos independentes entre si, e que todos os produtos têm a mesma importância em termos da produção. Como trabalho futuro, seria muito interessante poder

utilizar SMC para modelar a verdadeira SCM que suporta a produção, e ter em conta dados reais para estudar o impacto de disrupções na cadeia de aprovisionamento.

Referências Bibliográficas

- ACAP. (2021). *Veículos automóveis produzidos em Portugal*. Consultado em https://www.acap.pt/site/uploads/paginas/documentos/2B0FEC25-2CA00_1.pdf
- ACEA. (2019a). Fact sheet: Brexit and the auto industry. Consultado em 29 de março de 2021, em <https://www.acea.be/news/article/fact-sheet-brexit-and-the-auto-industry>
- ACEA. (2019b). *The Automobile Industry Pocket Guide 2019-2020*. European Automobile Manufacturers Association (ACEA). Consultado em https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf
- ACEA. (2020). EU passenger car production. Consultado em 29 de março de 2021, em <https://www.acea.be/statistics/article/eu-passenger-car-production>
- ACEA. (2021). EU production. Consultado em 29 de março de 2021, em <https://www.acea.be/statistics/tag/category/eu-production>
- Arif, M., Smiley, F. M., & Kulonda, D. J. (2005). Business and Education As Push-Pull Processes: an Alliance of Philosophy and Practice. *Education*, 125(4), 602–614. Consultado em <http://jproxy.lib.ecu.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ehh&AN=17488987&site=ehost-live>
- Banco de Portugal. (2019). Nota de Informação Estatística - Análise do setor automóvel 2017. Consultado em 14 de fevereiro de 2021, em <https://www.bportugal.pt/comunicado/nota-de-informacao-estatistica-analise-do-setor-automovel-2017>
- Borthwick, T., Fiddy, M., & Shah, D. (2021). Restructuring in the automotive sector. *Financier Worldwide Magazine*. Consultado em <https://www.financierworldwide.com/restructuring-in-the-automotive-sector#.YFEUkJ37TIU>
- Bose, D. C. (2006). *Inventory Management*. New Delhi: Prentice-Hall of India Pvt.Ltd.
- Caridade, R., Pereira, T., Pinto Ferreira, L., & Silva, F. J. G. (2017). Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13, 1096–1103. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.170>

- Christopher, M. (2011). *Logistics and supply chain management* (4th ed). Pearson Education Limited.
- Colenso, M. (2000). *Kaizen strategies for successful organizational change : enabling evolution and revolution within the organization*. (Financial Times Prentice Hall, Ed.). A Pearson Education Print on Demand Edition.
- Costa, J. P., Dias, J. M., & Godinho, P. M. C. (2017). *Logística*. (Imprensa da Universidade de Coimbra, Ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Daneshvar, M., Razavi Hajiagha, S. H., Tupénaité, L., & Khoshkheslat, F. (2020). Effective factors of implementing efficient supply chain strategy on supply chain performance. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 947–969. <https://doi.org/10.3846/tede.2020.12827>
- Di Mascolo, M., Frein, Y., & Dallery, Y. (1996). An analytical method for performance evaluation of Kanban controlled production systems. *Operations Research*, 44(1), 50–64. <https://doi.org/10.1287/opre.44.1.50>
- Dias, J. (2019). Material de apoio da unidade curricular de Logística 2019/2020.
- Dias, P. (2021). O futuro é hoje! Consultado em 1 de junho de 2021, em <https://afia.pt/o-futuro-e-hoje/>
- Dolgui, A., & Prodhon, C. (2007). Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.02.007>
- Elmuti, D. (2002). The perceived impact of supply chain management on organizational effectiveness and quality. *The Journal of Supply Chain Management*, 38, 49–57. Consultado em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00135.x>
- European Commission. (2021a). Automotive industry. Consultado em 16 de março de 2021, em https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive_en
- European Commission. (2021b). Industry 5.0- What this approach is focused on, how it will be achieved and how it is already being implemented. Consultado em March 31, 2021, em https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en

- Ferreira, V. (2021). Portugal produziu menos 81.450 carros em 2020. Consultado em 29 de março de 2021, em <https://www.publico.pt/2021/01/15/economia/noticia/portugal-produziu-menos-81450-carros-2020-1946495>
- Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1987). Implementing multiple criteria ABC analysis. *Journal of Operations Management*, 7(1–2), 79–85. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0272-6963\(87\)90008-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0272-6963(87)90008-8)
- Fowler, J. W., Kim, S. H., & Shunk, D. L. (2019). Design for customer responsiveness: Decision support system for push–pull supply chains with multiple demand fulfillment points. *Decision Support Systems*, 123(December 2018), 113071. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113071>
- Goldsby, T. J., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*. J. Ross Publishing.
- Groupe PSA. (2015). What is Full Kitting ? Consultado em 10 de maio de 2021, em <http://portail.inetspa.com/sites/news/Pages/pt-BR/Full-Kitting.aspx>
- Habidin, N. F., & Yusof, S. M. (2012). Relationship between lean six sigma, environmental management systems, and organizational performance in the Malaysian automotive industry. *International Journal of Automotive Technology*, 13(7), 1119–1125. <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0114-4>
- Harrison, R. L. (2009). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1204(January), 17–21. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Harvey, H. B., & Sotardi, S. T. (2018). The Pareto Principle. *Journal of the American College of Radiology*, 15(6), 931. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2018.02.026>
- Heizer, J., & Render, B. (2011). *Operations Management* (10th ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.
- IAPMEI. (2017). *SETOR Fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis*. Consultado em https://www.iapmei.pt/PRODUTOS-E-SERVICOS/Industria-e-Sustentabilidade/Informacao-Setorial/DOCS_InfSetorial/Ficha_SetorAutomovel.aspx

- Jammerneegg, W., & Reiner, G. (2007). Performance improvement of supply chain processes by coordinated inventory and capacity management. *International Journal of Production Economics*, 108(1–2), 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.047>
- Kehr, T. W., & Proctor, M. D. (2017). People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(4), 921–930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qre.2059>
- Kim, S. H., Fowler, J. W., Shunk, D. L., & Pfund, M. E. (2012). Improving the push-pull strategy in a serial supply chain by a hybrid push-pull control with multiple pulling points. *International Journal of Production Research*, 50(19), 5651–5668. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.656332>
- Kiran, D. R. (2017). Chapter 22 - Kaizen and Continuous Improvement. In D. R. B. T.-T. Q. M. Kiran (Ed.), *Total Quality Management* (pp. 313–332). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811035-5.00022-2>
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. In S. Mittal & A. Mukherjee (Eds.), *Industrial Marketing Management* (Vol. 29, pp. 65–83). Delhi: Foundation Books. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00113-3)
- Larguesa, A., & Curvelo, P. (2021). Fábricas portuguesas travam produção com falta de chips. Consultado em 1 de junho de 2021, em <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/fabricas-portuguesas-travam-producao-com-falta-de-chips>
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Listl, A., Notzon, I., Davidsen, P. I., Ford, D. N., & Mashayekhi, A. N. (2000). An Operational Application Of System Dynamics In The Automotive Industry: Inventory Management At BMW. *Proceedings of The 18th International Conference of the System Dynamics Society*, 129–130. Consultado em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.627.5749&rep=rep1&type=pdf>

- Lusa. (2021). Falta de chips afeta carros da Stellantis. Vai continuar e ter “grande impacto” na produção. Consultado em 1 de junho de 2021, em <https://eco.sapo.pt/2021/05/05/falta-de-chips-afeta-carros-da-stellantis-vai-continuar-e-ter-grande-impacto-na-producao/>
- Machado, A. (2021). As 10 maiores exportadoras e as 10 maiores importadoras de 2020. Consultado em 22 de março de 2021, em <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/as-10-maiores-exportadoras-e-as-10-maiores-importadoras-de-2020>
- Madurai Elavarasan, R., & Pugazhendhi, R. (2020). Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, 725, 138858. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138858>
- Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2014). Monte Carlo simulation based approach to manage risks in operational networks in green supply chain. *Procedia Engineering*, 97, 2186–2194. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.462>
- Masoud, S. A., & Mason, S. J. (2016). Integrated cost optimization in a two-stage, automotive supply chain. *Computers and Operations Research*, 67, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.08.012>
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25. Consultado em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Merlino, M., & Sproge, I. (2017). The Augmented Supply Chain. *Procedia Engineering*, 178, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.053>
- Miclo, R., Lauras, M., Fontanili, F., Lamothe, J., & Melnyk, S. A. (2019). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. *International Journal of Production Research*, 57(1), 166–181. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1464230>
- Minken, H., & Johansen, B. G. (2019). A logistics cost function with explicit transport costs. *Economics of Transportation*, 19(July 2018), 100116. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.04.001>

- MOBINOV. (2020). Estatística do Cluster Automóvel de Portugal. Consultado em 14 de fevereiro de 2021, em <https://www.mobinov.pt/index.php/pt/estatistica>
- Mohd Yusof, S., & Fadly Habidin, N. (2013). Critical success factors of Lean Six Sigma for the Malaysian automotive industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(1), 60–82. <https://doi.org/10.1108/20401461311310526>
- Morais, A., & Aubineau, R. (2012). Articulation entre l'ergonomie et le lean manufacturing chez PSA. *Activites*, 09, 179–197. <https://doi.org/10.4000/activites.468>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis.
- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017). The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach. *Procedia CIRP*, 60, 380–385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>
- Peterson, J., & Smith, R. (1998). *The 5S Pocket Guide*. (Productivity Press, Ed.) (1st Edição). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429272974>
- Peugeot Citroën Automóveis Portugal. (2017). Centro de Mangualde associa-se ao Governo Português na estratégia para a Indústria 4.0. Consultado em 27 de abril de 2021, em <https://site.groupe-psa.com/mangualde/pt-pt/atualidades/news/estrategia-para-a-industria-4-0/>
- Peugeot Citroën Automóveis Portugal. (2021a). A fábrica de Mangualde continua a integrar o ranking das maiores empresas exportadoras e importadoras nacionais. Consultado em 22 de março de 2021, em <https://site.groupe-psa.com/mangualde/pt-pt/atualidades/atividade/a-fabrica-de-mangualde-continua-a-integrar-o-ranking-das-maiores-empresas-exportadoras-e-importadoras-nacionais/>
- Peugeot Citroën Automóveis Portugal. (2021b). *Manual de Acolhimento - Centro de Produção de Mangualde*.
- Peugeot Citroën Automóveis Portugal. (2021c). Os nossos compromissos. Consultado em 29 de março de 2021, em <https://site.groupe-psa.com/mangualde/pt-pt/os-nossos-compromissos/>
- Peugeot Citroën Automóveis Portugal. (2021d). Sobre nós. Consultado em 31 de março

- de 2021, em <https://site.groupe-psa.com/mangualde/pt-pt/sobre-nos/>
- Pirttilä, M., Virolainen, V. M., Lind, L., & Kärri, T. (2020). Working capital management in the Russian automotive industry supply chain. *International Journal of Production Economics*, 221(May 2018), 107474. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.009>
- Platon, V., & Constantinescu, A. (2014). Monte Carlo Method in Risk Analysis for Investment Projects. *Procedia Economics and Finance*, 15(14), 393–400. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00463-8](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00463-8)
- Poormoaid, S., & Atan, Z. (2020). A continuous review policy for two complementary products with interrelated demand. *Computers and Industrial Engineering*, 150(June 2019), 106980. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106980>
- Prak, D., & Teunter, R. (2019). A general method for addressing forecasting uncertainty in inventory models. *International Journal of Forecasting*, 35(1), 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2017.11.004>
- Prošić Slobodan. (2011). Kaizen management philosophy. *International Symposium Engineering Management And Competitiveness, 2011*, 173–178. Consultado em http://www.tfzr.rs/emc/emc2011/Files/B_08.pdf
- PSA Caen. (2021). A propos. Consultado em 11 de abril de 2021, em <https://site.groupe-psa.com/caen/fr/a-propos/>
- PÚBLICO, & LUSA. (2021). Bosch em Braga avança com layoff devido à escassez de semicondutores. Consultado em 1 de junho de 2021, em <https://www.publico.pt/2021/05/07/economia/noticia/bosch-braga-avanca-layoff-devido-escassez-semicondutores-1961591>
- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers and Operations Research*, 33(3), 695–700. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.07.014>
- Raychaudhuri, S. (2008). Introduction to monte carlo simulation. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 91–100. <https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736059>
- Rizkya, I., Syahputri, K., Sari, R. M., Anizar, Siregar, I., & Ginting, E. (2018). Comparison of Periodic Review Policy and Continuous Review Policy for the

- Automotive Industry Inventory System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012085>
- Samak-Kulkarni, S. M., & Rajhans, N. R. (2013). Determination of optimum inventory model for minimizing total inventory cost. *Procedia Engineering*, 51(NUiCONE 2012), 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.115>
- Saranga, H., Mukherji, A., & Shah, J. (2015). Inventory trends in emerging market supply chains: Evidence em the Indian automotive industry. *IIMB Management Review*, 27(1), 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2015.01.002>
- Schmitt, A. J., & Singh, M. (2009). Quantifying supply chain disruption risk using Monte Carlo and discrete-event simulation. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1237–1248. <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429561>
- Shofa, M. J., & Widyarto, W. O. (2017). Effective production control in an automotive industry: MRP vs. demand-driven MRP. *AIP Conference Proceedings*, 1855(June), 020004–1–020004–020009. <https://doi.org/10.1063/1.4985449>
- Shukla, J., Shukla, N., & Jain, J. K. (2020). Evolution of industrial IoT & Its future aspects. *International Journal of Communication and Information Technology*, 1(2), 21–23. Consultado em <https://www.computersciencejournals.com/ijcit/article/14/1-2-3-494.pdf>
- Singh, D., & Verma, A. (2018). Inventory Management in Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3867–3872. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.641>
- Singh, J., & Singh, H. (2009). Kaizen Philosophy: A Review of Literature. *ICFAI Journal of Operations Management*, 8(2), 51–72. Consultado em <http://0-search.ebscohost.com.aupac.lib.athabascau.ca/login.aspx?direct=true&AuthType=url,ip,uid&db=bth&AN=39231631&site=ehost-live>
- Soylu, B., & Akyol, B. (2014). Multi-criteria inventory classification with reference items. *Computers and Industrial Engineering*, 69(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.011>
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning - Basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3), 575–588.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.03.001>

Statista Research Department. (2021). Estimated worldwide automobile production em 2000 to 2019. Consultado em 3 de julho de 2021, em <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>

Stellantis. (2021a). Fortes Resultados 2020. Consultado em 22 de março de 2021, em <https://media.stellantis.pt/pt-pt/fortes-resultados-2020?idtok=601f1bbb1814>

Stellantis. (2021b). Stellantis: Building a world leader in sustainable mobility. Consultado em 11 de abril de 2021, em <https://www.stellantis.com/en/news/press-releases/2021/january/stellantis-building-a-world-leader-in-sustainable-mobility>

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>

Supply Chain Magazine. (2021). AUTOMOTIVE | 9 Março 2021. In Supply Chain Magazine (Ed.). Supply Chain Magazine. Consultado em <https://www.youtube.com/watch?v=3kcLcWYNmIc&t=132s>

Tan, K. C. (2002). Supply Chain Management: Practices, Concerns, and Performance Issues. *Journal of Supply Chain Management*, 38(4), 42–53. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00119.x>

Thevenin, S., Adulyasak, Y., & Cordeau, J. (2020). Material Requirements Planning Under Demand Uncertainty Using Stochastic Optimization. *Production and Operations Management*, 30, 475–493. <https://doi.org/10.1111/poms.13277>

Thun, Jorn Henrik, Drüke, M., & Grubner, A. (2010). Empowering Kanban through TPS-principles - An empirical analysis of the Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 48(23), 7089–7106. <https://doi.org/10.1080/00207540903436695>

Thun, Jörn Henrik, & Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.010>

- Tomé, J. (2021). Escassez global de chips chega às torradeiras e máquinas de lavar. TSMC expande produção. Consultado em 2 de junho de 2021, em <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/tecnologia/escassez-global-de-chips-chega-as-torradeiras-e-maquinas-de-lavar-tsmc-expande-producao--13613753.html>
- Uriarte, A. G., Ng, A. H. C., & Moris, M. U. (2018). Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 25, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>
- Veres (Harea), C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, 22, 900–905. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
- Vieira, A. A. C., Dias, L. M. S., Santos, M. Y., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2019). Simulation of an automotive supply chain using big data. *Computers and Industrial Engineering*, 137(August), 106033. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106033>
- Wagner, I. (2021). Automotive industry worldwide - statistics & facts. Consultado em 16 de janeiro de 2021, em https://www.statista.com/topics/1487/automotive-industry/#dossierSummary__chapter1
- Whiting, K. (2020). How innovation is helping ease a dangerous ventilator shortage. Consultado em 31 de março de 2021, em <https://www.weforum.org/agenda/2020/03/coronavirus-ventilators-covid19-healthcare/>
- Widmer, T., Klein, A., Wachter, P., & Meyl, S. (2019). Predicting Material Requirements in the Automotive Industry Using Data Mining. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 354(May 2019), 147–161. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20482-2_13
- Yamamoto, K., Milstead, M., & Lloyd, R. (2019). A Review of the Development of Lean Manufacturing and Related Lean Practices: The Case of Toyota Production System and Managerial Thinking. *International Management Review*, 15(2), 21-40,89-90. Consultado em <https://search.proquest.com/docview/2308459582?accountid=17242>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems em Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2),

848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

Yu, M. M., Ting, S. C., & Chen, M. C. (2010). Evaluating the cross-efficiency of information sharing in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 2891–2897. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.048>