



**Catarina de Sousa  
Brandão**

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO  
NO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NO SETOR  
DA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**



**Catarina de Sousa  
Brandão**

## **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO NO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NO SETOR DA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Prof. Doutora Ana Luísa Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha irmã por estarem comigo em todos os momentos e por serem as pessoas de quem mais me orgulho.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor José António de Vasconcelos Ferreira**  
Professor Associado da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Luís Miguel Silva Dias**  
Professor Auxiliar da Escola de Engenharia da Universidade do Minho

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

O desenvolvimento deste projeto é o culminar de uma fase académica e pessoal extremamente importante e que ao longo dos anos contou com o apoio de inúmeras pessoas, às quais desde já agradeço.

Agradeço ainda, de uma forma especial, a todos aqueles que tiveram um contributo direto na elaboração deste trabalho:

À Renault Cacia pela oportunidade e a todos os colaboradores que sempre se prestaram a dispor do seu tempo, para partilhar os seus conhecimentos. A todos os elementos da UET CSI por todo o apoio, todos os ensinamentos transmitidos e toda cumplicidade, que fizeram de mim, certamente uma pessoa melhor, proporcionando-me uma primeira grande experiência profissional.

À Professora Ana Luísa Ramos pela disponibilidade, pelo apoio prestado, por todo o conhecimento partilhado e por me ter despertado o gosto pela simulação.

À equipa de Corfebol da Universidade de Aveiro, por me ter demonstrado aquele desporto desconhecido, mas que tem na sua génese um grande espírito de união e de trabalho, sem existir qualquer tipo de discriminação.

A todos os meus amigos pelo apoio incondicional, em especial aos meus colegas de estágio e às minhas primas de coração Catarina Chaves e Verónica Pinto, por todos os momentos bem passados.

Por último, mas decerto o mais importante, agradeço ao grande pilar que é a minha família, sempre unida e que através de um volume sonoro só nosso, me conseguiu transmitir valores humanos e morais de extrema importância. De referir os meus pais pelo apoio incondicional e por toda a paciência, mas também a minha irmã que sempre acreditou em mim e através da sua experiência sempre me ensinou e apoiou em tudo.

Muito Obrigada a Todos.

## palavras-chave

Simulação, Indústria 4.0, Tomada de Decisão, Processo Produtivo, Stock, Modo de Funcionamento.

## resumo

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, a sociedade tem vivido uma fase de grandes transformações, tornando-se cada vez mais exigente e consciente do mercado. Desta forma, é de extrema importância que as empresas se adaptem, tornando-se cada vez mais dinâmicas e com uma melhor percepção dos seus modelos de negócio. Consequentemente, é importante que os processos de tomada de decisão sejam realizados de forma consciente, rápida e com resultados significativos para a organização.

Assim, o principal objetivo deste projeto passou por demonstrar de que forma é que a ferramenta de simulação, consegue apoiar e tornar-se uma vantagem nos processos de tomada de decisão. Para isso, optou-se por realizar dois estudos de simulação, para projetos distintos e com bastante impacto para a fábrica da Renault Cacia.

Relativamente ao primeiro caso de estudo, o objetivo principal passou por identificar e tomar uma decisão sobre o novo modo de funcionamento, a aplicar na linha de maquinaria VDOP, uma vez que se analisou a integração de uma nova diversidade de bombas de óleo cilindrada variável, a *€6DFull*. Assim, foram estudadas três hipóteses de afetação de máquinas, através do *software* de simulação *Witness* e após ser feita uma comparação entre os resultados obtidos em cada cenário analisado, determinou-se que a solução a aplicar no sistema é aquela que proporciona níveis de produção mais elevados, ou seja, 2 máquinas GROB a realizar a OP110 e 2 máquinas URANE a maquinar a diversidade Gen2.

Por sua vez, o segundo caso de estudo, tinha como premissa definir algumas das propriedades da linha de maquinaria da caixa diferencial DB35, uma vez que, aquando da realização do estudo de simulação, esta ainda se encontrava em fase de projeto. Assim, as principais questões que foram levantadas, tiveram a ver com os stocks a aplicar no sistema, mas também com número de AGV's necessários entre a fase de maquinaria e a de montagem. Desta forma, após serem analisados e comparados vários cenários, foi possível determinar que o stock 1 deve ser composto por dois contentores de peças e que o stock 2 deve apenas debitar peças nos dois últimos turnos do dia, enquanto apenas se utiliza um AGV para realizar o transporte entre linhas.

Desta forma, foi possível demonstra as potencialidades da ferramenta de simulação, principalmente a nível dos processos de tomada de decisão.

**keywords**

Simulation, Industry 4.0, Decision-making, Productive Process, Stock, Operation Mode.

**abstract**

With the technological development of the last decades, society has been going through a phase of great transformations, becoming increasingly demanding and aware of the market. Thus, it is extremely important that companies adapt, becoming increasingly dynamic and with a better perception of their business models. Consequently, decision-making processes must be carried out consciously, quickly, and with significant results for the organization.

Thus, the main objective of this project was to demonstrate how the simulation tool can support and become an advantage in decision-making processes. For this, it was decided to carry out two simulation studies, for two projects, with a lot of impact for the Renault Cacia factory.

Regarding the first case study, the main objective was to identify and make a decision on the new operating mode, to be applied in the VDOP machining line, since the integration of a new variable displacement oil pump diversity, at €6DFull, was analyzed. Thus, three hypotheses of machine allocation were studied, using the Witness simulation software and after comparison was made between the results obtained in each scenario analyzed, it was determined that the solution to be applied in the system is the one that provides biggest production levels, that is, 2 GROB machines performing OP110 and 2 URANE machines machining the Gen2 diversity.

In turn, the second case study, had as the premise to define some of the properties of the machining line of the differential box DB35, since, when carrying out the simulation study, it was still in the design phase. Thus, the main issues that were raised had to do with the stocks to be applied in the system, but also with the number of AGV's required between the machining and the assembly phase. Therefore, after analyzing and comparing various scenarios, it was possible to determine that stock 1 should consist of two parts containers and that stock 2 should only charge parts in the last two shifts of the day, while only using an AGV to perform transport between lines.

In this way, it was possible to demonstrate the potential of the simulation tool, mainly in terms of decision-making processes.





# Índice

Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas .....	iv
Lista de Abreviaturas.....	v
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento e Objetivos do Trabalho .....	2
1.2. Metodologia .....	3
1.3. Estrutura do Documento.....	4
<b>2. Enquadramento Teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1. Indústria 4.0.....	5
2.1.1. História das Revoluções Industriais.....	5
2.1.2. Princípios da Indústria 4.0 .....	6
2.1.3. Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0 .....	7
2.1.4. Principais Impactos e Desafios da Indústria 4.0.....	10
2.2. Simulação .....	12
2.2.1. A História da Simulação – Do Passado ao Futuro .....	12
2.2.2. Os Conceitos Base da Simulação.....	13
2.2.3. Os Principais Paradigmas da Simulação .....	15
2.2.4. As Etapas de um Estudo de Simulação.....	17
2.2.5. Os <i>Softwares</i> de Simulação.....	20
2.2.5.1. WITNESS.....	21
<b>3. Caracterização da Empresa .....</b>	<b>23</b>
3.1. Grupo Renault .....	23
3.2. Renault Cacia .....	24
3.3. A Simulação no Grupo Renault.....	26
<b>4. Desenvolvimento do Projeto .....</b>	<b>27</b>
4.1. Estudo de Simulação – Maquinação BOCV €6DFull.....	28
4.1.1. Descrição Geral da Linha VDOP .....	28
4.1.2. Desenvolvimento do Estudo de Simulação .....	30
4.1.3. Análise e Discussão dos Resultados .....	40

4.2. Estudo de Simulação – Caixa Diferencial DB35.....	44
4.2.1. Formulação do Problema e Planeamento do Estudo.....	46
4.2.2. Recolha de Dados e Definição do Modelo Concetual .....	47
4.2.3. Construção e Validação do Modelo Lógico.....	54
4.2.4. Análise e Discussão dos Resultados .....	63
<b>5. Conclusão.....</b>	<b>77</b>
5.1. Trabalhos Futuros .....	78
<b>6. Bibliografia.....</b>	<b>79</b>
<b>7. Anexos .....</b>	<b>83</b>
Anexo 1 – Operações de Maquinação da Caixa Diferencial Nua DB35 .....	83
Anexo 2 – Distribuição de Probabilidade Aplicado ao Tempo de Ciclo das Máquinas.....	83
Anexo 3 – Deslocações Associadas ao Sistema .....	84

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - As Revoluções Industriais .....	6
<b>Figura 2</b> - Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0.....	8
<b>Figura 3</b> - Esquema de um Estudo de Simulação .....	14
<b>Figura 4</b> - Passos de um Estudo de Simulação.....	18
<b>Figura 5</b> - Fábricas da Aliança Renault-Nissan .....	23
<b>Figura 6</b> - Principais Edifícios na Fábrica Renault Cacia.....	24
<b>Figura 7</b> - Árvore de Equilíbrio, Bombas de Óleo e Caixa de Velocidades.....	25
<b>Figura 8</b> - Etapas da Produção .....	25
<b>Figura 9</b> - Componentes da Bomba de Óleo Hxx Gen2.....	28
<b>Figura 10</b> - Constituição da Linha VDOP.....	29
<b>Figura 11</b> - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H1.....	34
<b>Figura 12</b> - Modelo Conceitual - H1 .....	35
<b>Figura 13</b> - Modelo de Animação - H1.....	36
<b>Figura 14</b> - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H2.....	37
<b>Figura 15</b> - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H3.....	38
<b>Figura 16</b> - Modelo Conceitual - H3 .....	39
<b>Figura 17</b> - Exemplo na Utilização da Regra Sequence .....	39
<b>Figura 18</b> - Quantidade de Peças Maquinadas em cada Hipótese .....	40
<b>Figura 19</b> - Taxa Média de Ocupação das Máquinas para cada Hipótese.....	41
<b>Figura 20</b> - Análise ao Modelo de Animação - H3.....	42
<b>Figura 21</b> - Posicionamento e Constituição da Caixa Diferencial.....	44
<b>Figura 22</b> - Representação Atual da Linha MD81 .....	45
<b>Figura 23</b> - Localização da Linha de Montagem e Maquinação da Caixa Diferencial DB35 .....	46
<b>Figura 24</b> - Implantação da Nova Linha de Maquinação da Caixa Diferencial DB35 .....	48
<b>Figura 25</b> - Modelo Conceitual .....	54
<b>Figura 26</b> - Criação do Elemento Part .....	55
<b>Figura 27</b> - Criação do Elemento Buffer .....	56
<b>Figura 28</b> - Condição Utilizada na OP110 para o Controlo de Qualidade .....	57
<b>Figura 29</b> - Regra Aplicada para a Saída de Peça da OP110 .....	57
<b>Figura 30</b> - Modelo de Animação 2D.....	58
<b>Figura 31</b> - Modelo de Animação 3D.....	59
<b>Figura 32</b> - Taxa Média de Ocupação das Máquinas Afetas ao Sistema .....	61
<b>Figura 33</b> - Taxa Média de Ocupação das Talhadoras - Stock 1 com 3 Contentores .....	65
<b>Figura 34</b> - Taxa Média de Ocupação das Talhadoras - Stock 1 com 1 Contentor.....	66

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - 6 Princípios da Indústria 4.0 .....	7
<b>Tabela 2</b> - Variação no Tempos de Ciclo das Máquinas .....	32
<b>Tabela 3</b> - Número de Peças Produzidas em cada Máquina .....	32
<b>Tabela 4</b> - Número de Peças Enviadas para Stock Intermédio - H1 H2 .....	41
<b>Tabela 5</b> - Recursos Associados ao Tempo de Ciclo Contratual / Taxa de Variação .....	50
<b>Tabela 6</b> - Taxa de Rejeição Associada a cada Posto de Controlo .....	52
<b>Tabela 7</b> - Resultados Obtidos no Cenário Base .....	61
<b>Tabela 8</b> - Resultados Obtidos - Stock 1 com 3 Contentores.....	64
<b>Tabela 9</b> - Resultados Obtidos - Stock 1 com 1 Contentor .....	66
<b>Tabela 10</b> - Resultados Obtidos - Stock 1 com 2 Contentores.....	67
<b>Tabela 11</b> - Resultados Obtidos no Estudo do Stock 1 .....	68
<b>Tabela 12</b> - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H1.....	70
<b>Tabela 13</b> - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H2.....	71
<b>Tabela 14</b> - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H3.....	73
<b>Tabela 15</b> - Resultados Obtidos no Estudo do Stock 2 .....	73
<b>Tabela 16</b> - Resultados Obtidos com a Aplicação dos Dois Stocks.....	74
<b>Tabela 17</b> - Operações que Envolvem a Fase 2 e a Fase 3 do Processo .....	83
<b>Tabela 18</b> - Tempo de Ciclo Que foi Aplicado em cada Máquina .....	83
<b>Tabela 19</b> - Velocidade e Distância a Percorrer para cada Deslocação.....	84

## **Lista de Abreviaturas**

**ABS** – *Agent-Based Simulation* (Simulação Baseada em Agentes)

**AGV** – *Auto Guided Vehicle*

**BOCF** – Bomba de Óleo Cilindrada Fixa

**BOCV** – Bomba de Óleo Cilindrada Variável

**CPS** – *Cyber Physical System* (Sistemas Ciber-Físicos)

**CSI** – *Concepteur Système Industriel*

**DES** – *Discrete-Event Simulation* (Simulação de Eventos Discretos)

**FIFO** – *First In First Out*

**IoT** – *Internet of Things*

**PLC** – *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável)

**POE's** – *Pièces Ouvrées à l'Extérieur* (Produto de origem Externa)

**SD** – *System Dynamics* (Dinâmica de Sistemas)

**TIC** – Tecnologias de Informação e Comunicação

**UET** – Unidade Elementar de Trabalho



## 1. Introdução

O mundo de hoje é cada vez mais rápido e global, no entanto a sociedade vive momentos de grande incerteza e instabilidade. Uma das principais razões desta situação, está relacionada com o desenvolvimento das tecnologias, que tem vindo a proporcionar transformações a vários níveis, desde a rapidez da informação até à quantidade de dados que é possível gerar e armazenar. Consequentemente, também a vida das pessoas é impactada, alterando os métodos de trabalho, as formas de interação, mas também a maneira como pensam ou agem, o que de certa forma, as torna cada vez mais exigentes.

Assim, com as alterações que tem vindo a ocorrer na sociedade, torna-se fundamental que as organizações também se consigam adaptar, passando a ser mais dinâmicas, velozes e com uma maior capacidade de resposta. Para isso, é essencial melhorar os processos de negócio das empresas, mesmo que estes ainda se encontrem em fase de desenvolvimento, com o objetivo de os tornar mais eficientes e eficazes e, consequentemente possibilitar a obtenção de melhores resultados, permitindo que as organizações resistam ao mercado atual, que se caracteriza por ser altamente competitivo.

Um dos setores mais afetados é o automóvel, uma vez que existem inúmeras incertezas relativamente à sua evolução. Muita desta instabilidade, é uma consequência das novas normas ambientais, que cada vez se tornam mais rígidas, o que perfaz numa alteração de produtos e inevitavelmente numa reestruturação das organizações. Ainda agregado a este fator, surgem os carros elétricos, que exigem que as empresas se antecipem ao mercado, com o objetivo de se tornarem mais competitivas, estando na linha da frente na evolução do setor automóvel. Todavia, ainda existem inúmeras dúvidas sobre a capacidade destes veículos e na forma como serão produzidas e utilizadas as baterias, o que dificulta o trabalho de antecipação e de análise à perspectiva de mercado. Porém, torna-se claro que as fábricas mais prejudicadas são aquelas que realizam a produção de componentes mecânicos, visto ser a fase mais atingida e que carece de uma maior reorganização, que em algumas situações poderá ser total.

A Renault Cacia não será uma exceção, visto que a sua principal atividade passa pela produção de caixas de velocidades e alguns dos componentes motores de veículos utilitários. Desta forma, com o objetivo de apropriar a sua produção e de atingir uma maior adaptação ao mercado global, esta organização tem vindo a desenvolver e integrar novos produtos no seu sistema produtivo. Contudo, estas alterações proporcionam uma necessidade de reestruturação das linhas já existentes na fábrica, bem como a possibilidade de criar novas linhas de produção. Para isto, torna-se fundamental tomar previamente boas decisões, para que sejam reduzidas as posteriores modificações e para que se obtenham, logo à partida, bons resultados.

No entanto, em todos os desafios associados às transformações organizacionais, surgem inevitavelmente problemas, que necessitam de ser deliberados, analisados e resolvidos. Todavia, em muitos momentos, esta situação torna-se uma lacuna para as organizações, tornando-se evidentes as dificuldades em tomar decisões, devido aos ambientes de dúvida que se encontram associados à falta de capacidade de análise e de observação, por parte das empresas.

Contudo, existem inúmeras ferramentas que permitem auxiliar a observação e a análise de diversos sistemas, e consequentemente apoiar todo o processo de tomada de decisão. Uma das ferramentas mais utilizadas é a simulação, uma vez que permite analisar sistemas complexos e, para além disso, tem vindo a seguir as tendências tecnológicas, sendo cada vez mais, uma ferramenta intuitiva, dinâmica e onde se conseguem obter melhores resultados. Desta forma, a sua utilização tem vindo a demonstrar um papel importante, no processo de melhoria dos sistemas já existentes nas organizações, mas também na deteção de problemas durante a fase de projeto, planeamento e implementação de novos sistemas. Todos estes benefícios, estão relacionados com a capacidade que a simulação tem, na identificação e na análise de diferentes alternativas ao processo, bem como na criação de estratégias para o desenvolvimento de novas linhas de produção. Para além disso, esta ferramenta permite obter resultados no modelo, sem que seja necessário modificar o sistema real, poupando tempo e dinheiro.

### **1.1. Enquadramento e Objetivos do Trabalho**

O presente trabalho foi realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro. Sendo este, o resultado de um projeto curricular desenvolvido, ao longo de oito meses, no departamento de engenharia da Renault Cacia, mais especificamente na UET- CSI modos de funcionamento e simulação.

Este projeto surgiu com a finalidade de utilizar a ferramenta de simulação, para auxiliar os processos de tomada de decisão, relacionados com as reestruturações que estão a ocorrer na organização. Agregado a este fator, surgiu a necessidade de definir o Witness como o *software* de simulação a utilizar, visto ser uma ferramenta já adquirida pelo Grupo Renault.

Assim, tendo em conta o objetivo principal deste trabalho, optou-se por apresentar dois casos de estudo com premissas distintas, de modo a melhor identificar as diferentes potencialidades da ferramenta. Desta forma, no primeiro caso de estudo analisou-se a alteração do modo de funcionamento de uma linha existente na Renault Cacia, uma vez que irá ser integrada na produção, uma nova diversidade de produto. Para isso, foram estudadas três hipóteses de afetação de máquinas, tendo como principal medida de desempenho o número de unidades produzidas. Relativamente ao segundo caso, o objetivo principal passou por realizar um estudo de simulação para uma linha que ainda se encontra em fase de projeto. No entanto, tornou-se fundamental analisar e definir algumas das propriedades do sistema, tais como:

- O condicionamento dos stocks;
- O número de AGV's necessários para realizar o transporte entre linhas.

Assim, para além de ter sido fundamental analisar individualmente cada caso de estudo, para identificar possíveis estratégias a aplicar nos sistemas, foi importante verificar as vantagens que surgiram na aplicação da simulação e perceber de que forma é que esta ferramenta impacta o processo de tomada de decisão, relativamente aos diferentes contextos organizacionais que envolveram os dois casos de estudo.



## 1.2. Metodologia

Perante o desafio de desempenhar com sucesso este projeto, optou-se inicialmente por realizar uma revisão da literatura, com o objetivo de estruturar melhor toda a informação e de, conseqüentemente auxiliar o desenvolvimento do estudo. Contudo, torna-se importante referir, que este enquadramento teórico teve por base dois temas centrais, a indústria 4.0 e a simulação. Isto porque, a indústria 4.0 é um tema bastante atual e importante para as empresas do setor industrial. Para além disso, a simulação é um dos pilares desta quarta revolução e desta forma, tornar-se-ia inevitável relacionar estes dois temas e perceber individualmente o papel de cada um, na literatura.

Após a apresentação da empresa, passou-se ao primeiro caso de estudo, que envolveu a alteração da linha VDOP, devido à introdução de uma nova diversidade de peça. Neste caso, este primeiro estudo serviu, inevitavelmente, como uma adaptação ao *software* de simulação, mas também teve um papel importante na clarificação do método seguido na realização do estudo de simulação. Posteriormente, devido à maior complexidade do sistema, foi analisado o segundo caso de estudo, que esteve relacionado com criação de uma nova linha na organização.

Relativamente à metodologia aplicada para a realização dos estudos de simulação, esta foi idêntica para ambos os casos, uma vez que se optou por seguir as etapas que se encontram formuladas para desenvolver uma análise deste tipo. Ou seja, inicialmente realizou-se um primeiro estudo aos sistemas, com o objetivo de ter uma melhor perceção sobre o problema e sobre os objetivos concretos para cada caso de estudo. Seguidamente, identificaram-se os dados que seriam importantes recolher para proceder à construção do modelo concetual, mas em particular ao desenvolvimento do modelo lógico. Para isso, foi organizada uma equipa de trabalho com membros da engenharia, da logística e da fabricação para cada projeto e junto com aqueles que melhor conhecem cada linha foram recolhidas as informações necessárias. Apesar desta estratégia, também foi feita uma análise direta a cada sistema, para se obterem dados mais concretos e realistas. Posteriormente, foram desenvolvidos o modelo concetual e o modelo lógico, e de seguida foram analisados e comparados os resultados de vários cenários alternativos, o que permitiu identificar as melhores soluções para o sistema.

De mencionar que, para o primeiro caso de estudo, como as hipóteses a simular foram definidas logo à partida, optou-se por construir um modelo concetual e um modelo lógico para cada um dos cenários e de seguida realizar uma análise conjunta aos resultados obtidos. Enquanto no segundo caso de estudo, após ser estudado o problema e efetuada a recolha e tratamento dos dados, foi desenvolvido o modelo concetual, que serviu de base para a construção do modelo lógico. Seguidamente, foram definidas as condições para as incógnitas do sistema e depois de serem obtidos e analisados os resultados do cenário base, foram identificados e testados vários cenários alternativos, de modo a verificar o que proporciona melhores resultados no sistema.

Em relação à conclusão esta baseou-se na análise individual de cada caso de estudo, mas também na comparação e na verificação das potencialidades da ferramenta de simulação. Para finalizar, foram definidas recomendações para a realização de trabalhos futuros.

### 1.3. Estrutura do Documento

Perante a metodologia apresentada, optou-se por organizar o presente trabalho, em cinco capítulos principais, sendo que cada um será composto por subcapítulos.

- **Capítulo 1** – Neste capítulo é apresentada a introdução do trabalho, tendo em conta um breve enquadramento e a identificação dos objetivos a atingir, mas também a metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto e a estrutura do relatório.
- **Capítulo 2** – A este capítulo está associada a revisão da literatura, que pretende expor dois temas centrais, a indústria 4.0 e a simulação. Relativamente ao primeiro tema, é explicada a história das revoluções industriais, bem como apresentados os pilares da indústria 4.0 e os principais impactos e desafios no mundo atual. Quanto ao tema da simulação, inicialmente é dada uma breve contextualização histórica, para que de seguida sejam analisados os seus conceitos base e paradigmas. Para finalizar, são descritos os passos a seguir para que se tenha sucesso no desenvolvimento do estudo de simulação e analisados os softwares que podem ser utilizados para este fim, dando principal enfoque ao Witness.
- **Capítulo 3** – Este capítulo tem como principal objetivo dar a conhecer a empresa onde o projeto foi desenvolvido, apresentado a sua estrutura organizacional, o processo produtivo e ainda, a forma como esta se relaciona relativamente ao tema da simulação.
- **Capítulo 4** – Este capítulo encontra-se subdividido em dois casos de estudo. O primeiro está relacionado com a fase de maquinação das bombas de óleo cilindrada variável e para enquadrar o tema, foi inicialmente descrito o modo de funcionamento da linha atual. Seguidamente, definiu-se o problema do sistema e os objetivos a atingir, bem como foram apresentadas as hipóteses a analisar. Para finalizar este primeiro caso de estudo, foi feita a comparação entre os cenários e foram discutidos os resultados obtidos. Relativamente ao segundo caso de estudo, que se encontra associado à nova linha de produção da caixa diferencial DB35, este seguiu as etapas utilizadas na construção de um modelo de simulação, desde a formulação do problema, recolha e análise dos dados, construção do modelo concetual e do modelo lógico, até à análise do modelo base e dos cenários alternativos.
- **Capítulo 5** – Neste último capítulo, são apresentadas as conclusões do projeto realizado, dando destaque à análise dos objetivos estipulados inicialmente. Para além disso, são idealizados alguns planos para trabalhos futuros, com o objetivo de tornar todo este estudo mais completo e funcional.

## 2. Enquadramento Teórico

### 2.1. Indústria 4.0

Os avanços tecnológicos das últimas décadas têm proporcionado uma constante transformação no quotidiano da sociedade. A utilização e o acesso às novas tecnologias têm vindo a aumentar, tornando os clientes cada vez mais exigentes. Desta forma, passa a ser imperativo que as organizações sejam dinâmicas e empreendedoras, permitindo que os consumidores usufruam daquilo que pretendem, de forma personalizada, rápida e acessível. Ou seja, para corresponder às novas exigências do mercado e às expectativas dos clientes as empresas veem-se forçadas a redesenhar os seus modelos de negócio (Gunal, 2019).

A mudança de comportamento do mercado, é extremamente impactante no setor industrial, uma vez, que este se caracteriza por ser a base do comércio mundial. Assim, o paradigma na indústria tem evoluído com a necessidade de promover uma gestão eficiente e uma otimização dos processos de produção (Gunal, 2019). A quarta revolução industrial surge para colmatar as atuais necessidades dos consumidores, propondo alcançar a automatização, digitalização e informatização dos processos, através da utilização de dados instantâneos (Wagner, Herrmann, & Thiede, 2017).

A Indústria 4.0 pode então ser caracterizada como um novo projeto industrial (Wagner et al., 2017), que visa o aumento da produtividade, elevadas capacidades de personalização dos produtos, alertas e intervenções em tempo real, modelos de serviço inovadores, conceção de produtos dinâmicos e, em última análise, novos modelos de negócio (Xu, Xu, & Li, 2018). A integração de todos estes fatores traduz-se numa *Smart Factories*, o objeto central desta nova indústria (Gunal, 2019; Pirvu & Zamfirescu, 2017).

De forma a auxiliar todo este processo de transformação, recorre-se à utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) modernas e Sistemas Ciber-Físicos (*CPS - Cyber-Physical System*), que possibilitam que as pessoas, máquinas e outros objetos possam estar conectados entre si, a qualquer altura e em qualquer lugar, utilizando qualquer rede ou serviço (Wagner et al., 2017). Assim, será possível construir um modelo de produção altamente flexível (Pirvu & Zamfirescu, 2017), onde o cliente e as tecnologias surgem como um foco impulsionador de toda a evolução nas organizações.

#### 2.1.1. História das Revoluções Industriais

Nos últimos séculos a sociedade tem vindo a evoluir de forma exponencial, proporcionado diferentes necessidades e exigências, tanto para as organizações como para os consumidores. Uma revolução industrial resulta de enormes progressos tecnológicos, e conseqüentemente a transformação da rotina das pessoas.

O verdadeiro conceito de indústria surgiu já na segunda metade do século XVII, aquando da transformação de sociedades rurais e agrícolas em sociedades industriais e urbanas (Xu et al.,

2018). Esse período ficou marcado pela primeira revolução industrial, onde surgiram os motores a vapor e a água, que levaram à mecanização da produção (Gunal, 2019). A segunda revolução industrial surgiu aquando do aparecimento da energia elétrica, em 1870, permitindo a criação de linhas de montagem e conseqüentemente a introdução da produção em massa (Gunal, 2019; Xu et al., 2018).

No entanto, foi durante as duas guerras mundiais que a tecnologia se desenvolveu com maior intensidade, dando origem às duas inovações mais importantes do mundo moderno, o computador e a internet. Porém, o início da terceira revolução industrial é atribuído à invenção do Controlador Lógico Programável (PLC) em 1970 (Gunal, 2019). Este permitiu aumentar a eficiência da indústria, uma vez que possibilitou automatizar os processos produtivos das organizações.

A quarta revolução industrial surgiu na sequência de um plano estratégico apresentado pelo governo alemão em 2011, com vista à completa automatização da indústria no país (Xu et al., 2018). Ou seja, o principal objetivo desta nova indústria, passa por tornar as máquinas suficientemente autônomas, conseguindo alcançar as fábricas inteligentes (Gunal, 2019; Rodič, 2017). Para isto, o aprimoramento das TIC em conformidade com os CPS's tiveram um papel crucial, ajudando a melhorar significativamente os sistemas de produção, tornando-se os pilares para a mudança de paradigma na produção (Gunal, 2019; Rodič, 2017).

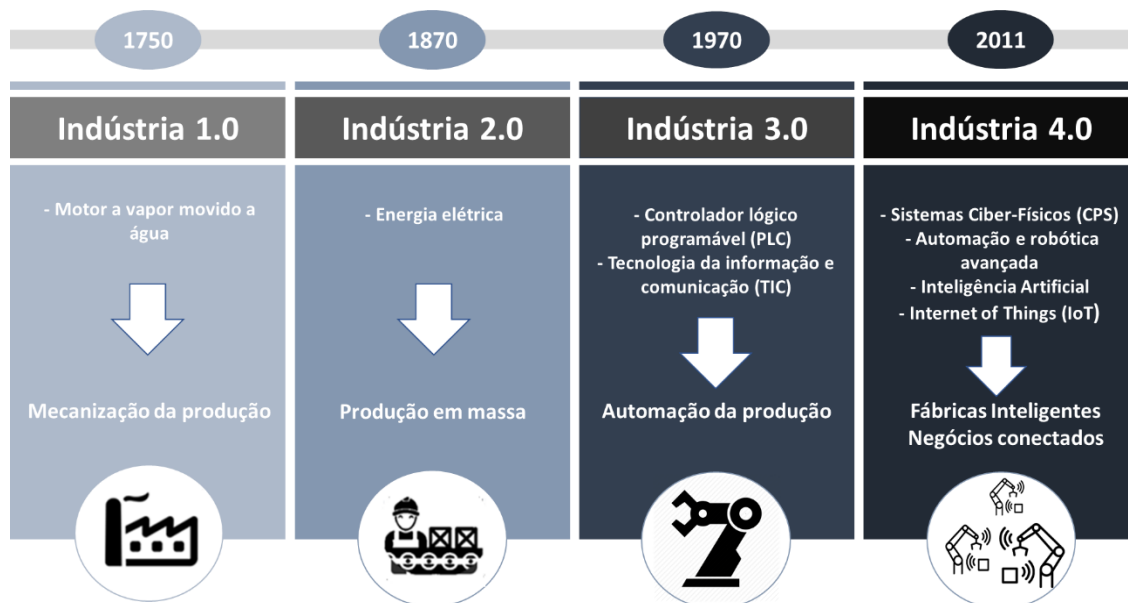


Figura 1 – As Revoluções Industriais (Adaptado de (Schwab, 2016))

### 2.1.2. Princípios da Indústria 4.0

A indústria 4.0 envolve muito mais do que o setor industrial, toda a sociedade será marcada pelas novas tendências do mercado, ou seja, novas formas de consumo, produção e no modo como o conhecimento é transmitido e partilhado. Portanto, torna-se extremamente importante e desafiante compreender os princípios base a respeitar, para que os negócios se consigam adaptar, seguindo uma linha guia que acompanhe a evolução do setor.

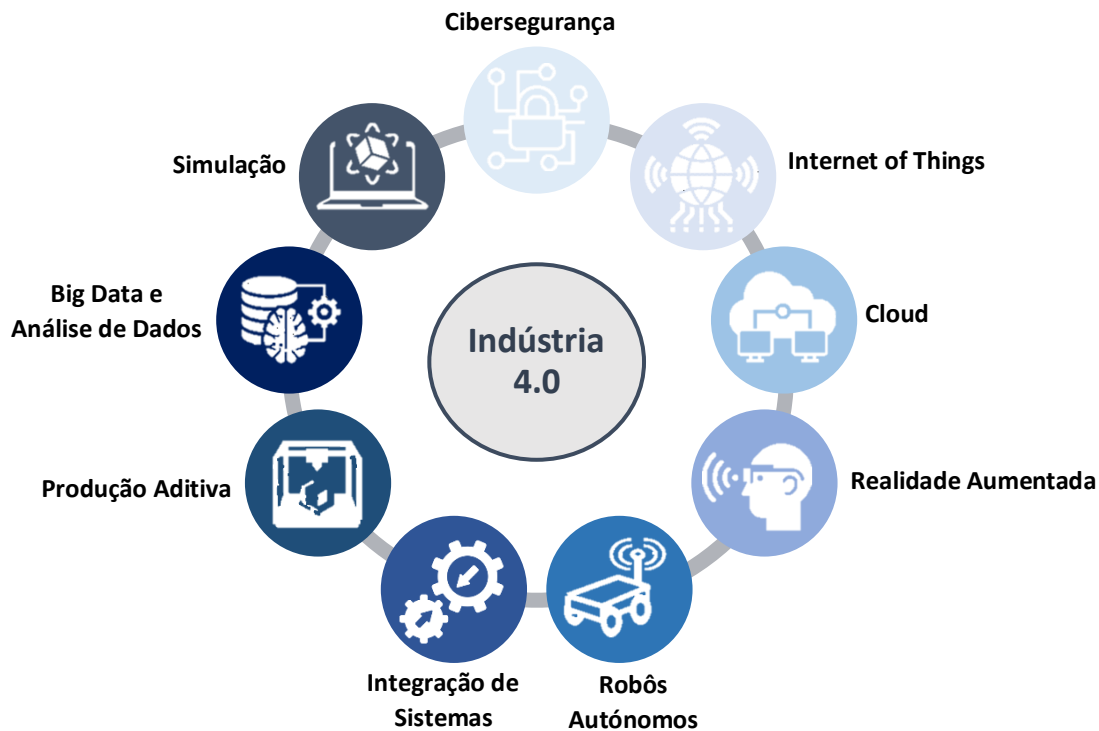
Todavia, o conceito de Indústria 4.0 ainda é bastante recente e por vezes as empresas sentem algumas dificuldades em analisar as atividades críticas a melhorar e desenvolver. Para colmatar esta lacuna, Hermann (2016) efetuou uma revisão da literatura sobre o tema da quarta revolução industrial e percebeu que existem seis princípios pela qual esta se rege. Assim, estes permitem apoiar os profissionais no desenvolvimento de soluções mais apropriadas, proporcionando um impacto positivo para as organizações (Gregor, 2009).

*Tabela 1 - 6 Princípios da Indústria 4.0 (Adaptado (Hermann et al., 2016))*

<b>Interoperabilidade</b>	Comunicação entre dois ou mais sistemas, de forma transparente e onde existe recolha de dados, permitindo a tomada de decisão em tempo real.
<b>Virtualização</b>	Utilização de sistemas que permitem monitorizar processos físicos de forma virtual.
<b>Descentralização</b>	Com a comunicação e recolha dados, os sistemas passam a ser capazes de tomar decisões, descentralizando o poder de decisão.
<b>Acompanhamento e Decisões em Tempo Real</b>	Com o desenvolvimento e utilização das novas tecnologias, será possível tornar a recolha de dados mais simples e rápida. Assim, todo o processo de acompanhamento e tomada de decisão passará a ser realizado de forma instantânea.
<b>Orientação para o Serviço</b>	Possibilidade de as empresas disponibilizarem e partilharem serviços com vários intervenientes nos processos, sejam estes internos ou externos.
<b>Modularidade</b>	Processos mais dinâmicos e flexíveis, para que a adaptação à mudança seja mais fácil e rápida. Isto permite uma melhor adaptação às oscilações de mercado e às mudanças nas características dos produtos.

### **2.1.3. Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0**

Os recentes progressos na sociedade e o desenvolvimento de novos métodos industriais, como a digitalização, informatização e automatização dos processos produtivos, são os principais responsáveis pela crescente popularidade do conceito de indústria 4.0 (Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo, & Barbaray, 2018). No entanto, tudo isto só será exequível se existir um constante aprimoramento das novas tecnologias, sejam elas eletrónicas, de comunicação ou de informação, permitindo suportar e complementar o desenvolvimento desta nova revolução (Zhou, Liu, & Zhou, 2015). De acordo com Rüßmann (2015), existem nove tecnologias que constituem a base da indústria 4.0 e onde a interligação entre estas permitirá transformar a produção, tornando-a mais eficaz, eficiente e com melhores relações entre fornecedores, produtores, clientes e máquinas.



*Figura 2 - Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0 (Adaptado de (Rüßmann et al., 2015))*

### 1) Cibersegurança

A indústria 4.0 pressupõe o aumento da conectividade entre sistemas complexos, compostos por inúmeros ativos interligados (Moeuf et al., 2018). Assim, será fundamental proteger os sistemas industriais críticos e as linhas de produção ameaçadas, criando protocolos de segurança contra os ataques cibernéticos. Desta forma, será possível garantir o aumento dos canais de comunicação, sem reduzir o desempenho e a segurança das informações que circulam entre e dentro das organizações (Airehrour, Gutierrez, & Ray, 2016).

### 2) *Internet of Things* (IoT)

A IoT é um conceito que se baseia numa rede de objetos físicos, capaz de agregar e partilhar dados. Esta tecnologia teve um papel crucial no desenvolvimento das TIC e, por consequência, também nos CPS, abrindo caminho para a quarta revolução industrial (Wagner et al., 2017; Xu et al., 2018). Assim, pode considerar-se esta tecnologia essencial para atingir um dos princípios da indústria 4.0, uma vez que permite corresponder aos objetos com estratégias de comunicação (Wang, Törngren, & Onori, 2015). A comunicação em tempo real, por sua vez, pode ser utilizada para monitorizar vários produtos e analisar as condições dos sistemas, podendo tornar a tomada de decisão mais descentralizada e logo mais rápida e eficaz (Pirvu & Zamfirescu, 2017; Moeuf et al., 2018).

### **3) Cloud**

A *cloud* permite armazenar dados e ficheiros *online* e já era utilizada em contextos empresariais antes da chegada da Indústria 4.0. No entanto, foi a partir desta revolução que o seu protagonismo aumentou. Esta torna possível partilhar informações em diferentes sistemas e em tempo real, podendo garantir que os dados estão disponíveis em qualquer local, altura e acedendo a qualquer sistema (Wu, Gao, Cao, Ye, & Yang, 2015).

### **4) Realidade Aumentada**

A utilização de óculos inteligentes e outras tecnologias de realidade aumentada e realidade virtual tem vindo a aumentar no setor industrial, apesar de estes ainda se encontrarem numa fase de desenvolvimento. Estas novas tecnologias permitem aprimorar os processos de design e produção de uma organização, uma vez que passa a ser possível simular e visualizar um cenário que contem informações reais e objetos sofisticados, sem estes estarem realmente presentes (Lee, Han, & Yang, 2011). Ou seja, passa a ser possível fornecer aos trabalhadores informações em tempo real, permitindo melhorar o processo de tomada de decisão, diminuindo o número de erros e aumentando a eficiência dos sistemas.

### **5) Robôs Autónomos**

Os robôs começaram a ser utilizados na terceira revolução industrial, como forma de realizar as ações previamente desempenhadas por pessoas, de forma mais rápida e eficiente. No entanto, com a chegada da Indústria 4.0, estes tem vindo a tornar-se cada vez mais autónomos, flexíveis, e cooperativo (Michniewicz & Reinhart, 2014). Um dos exemplos são os robôs colaborativos, dotados de dispositivos de segurança que detetam a presença do ser humano e permitem que estas duas partes trabalhem em sinergia, promovendo assim um aumento da produtividade (Moeuf et al., 2018).

### **6) Integração de Sistemas**

A integração entre sistemas, máquinas, processos e pessoas é fundamental no contexto da Indústria 4.0. Assim, em vez de existirem inúmeros elementos isolados, passa a haver um sistema comum onde existe um interconexão entre todas as partes. Esta integração promove o aumento da eficiência da cadeia de valor e pode ser dividida em integração horizontal, vertical e extremo-a-extremo (Xu et al., 2018; Hermann et al., 2016; Liao, Deschamps, Loures, & Ramos, 2017).

Segundo Liao (2017) a integração horizontal promove a utilização de tecnologias de informação para interligar os processos de uma organização, desde o desenvolvimento do produto, passando pela produção e pela distribuição final. Enquanto, a integração vertical é mais específica, tendo em conta os vários níveis hierárquicos da produção. Por fim, a integração extremo-a-extremo tem como objetivo principal interligar os clientes ao sistema produtivo da empresa, permitindo atingir facilmente e num curto espaço de tempo, as questões mais

impactantes para os clientes. Ou seja, esta integração utiliza os processos de engenharia para agregar todos os agentes envolvidos na cadeia de valor do produto, desde a sua chegada e desenvolvimento, até aos serviços de pós-venda, criando assim um ecossistema digital.

### **7) Produção Aditiva**

As organizações começaram a utilizar a produção aditiva para produzirem protótipos através da impressão 3D (Rüßmann et al., 2015). Contudo, esta tecnologia encontra-se em acessão, pois facilita a produção de artigos com um maior nível de personalização, mais leves, a um custo inferior e com um menor tempo de produção.

### **8) Big Data e Análise de Dados**

Com o desenvolvimento da indústria 4.0, passam a estar disponíveis várias ferramentas e técnicas que permitem recolher um conjunto alargado de dados e informações sobre os sistemas produtivos. Porém, torna-se um grande desafio para a análise e para o planeamento da produção, o processamento de grandes quantidades de dados (Moeuf et al., 2018).

### **9) Simulação**

Com a integração de diferentes tecnologias aliadas ao desenvolvimento dos *softwares* de simulação, passou a ser possível simular o desempenho de um sistema produtivo (Caggiano, Caiazzo, & Teti, 2015). Assim, passa a ser possível analisar o comportamento do produto, o desempenho das linhas de produção e o *layout* envolvido no processo, levando à otimização de todos os aspetos relacionados com as operações industriais (Moeuf et al., 2018; Rüßmann et al., 2015). Ou seja, torna-se uma tecnologia bastante útil nas tomadas de decisão e na identificação das melhores alternativas para a organização.

#### **2.1.4. Principais Impactos e Desafios da Indústria 4.0**

A quarta revolução industrial é um paradigma que envolve a transformação das tecnologias, tornando-as mais complexas, dinâmicas e comunicativas. Consequentemente, esta revolução, também começa a ter um grande impacto na economia de inúmeros governos de diferentes países, transformando a sociedade e inevitavelmente os modelos de negócio das empresas indústrias (Schwab, 2016).

Assim, com a indústria 4.0 passa a ser fundamental reformular as arquiteturas corporativas das organizações, promovendo a integração e a utilização de CPS's em conformidade com as infraestruturas TIC (Rennung, Luminosu, & Draghici, 2016). Desta forma, é importante identificar e analisar os impactos e desafios que a indústria 4.0, proporcionará aos atuais e complexos ecossistemas industriais.



Um dos maiores impactos está relacionado com a origem e desenvolvimento da quarta revolução industrial. A aquisição e utilização de novas tecnologias tornou as pessoas mais informadas e conseqüentemente mais exigentes. Atualmente, existe um aumento significativo no número de cliente que valorizam o serviço de compra, procurando um atendimento instantâneo e personalizado (Rüßmann et al., 2015; Schwab, 2016). Assim, as organizações têm de se tornar mais digitais, dinâmicas e flexíveis para conseguirem corresponder às expectativas e exigências do mercado (Moeuf et al., 2018).

A colaboração e a partilha de informações entre as empresas torna-se também uma estratégia crucial no desenvolvimento e flexibilização das organizações. A partilha de recursos e opiniões é, cada vez mais impactante, na criação de valor e no crescimento e evolução das empresas, permitindo que estas se destaquem e se superiorizem à concorrência (Schwab, 2016).

Questões como a redução de custos, o aumento da produtividade e menores tempos de entrega, em consonância com produtos de melhor qualidade, são fatores preponderantes e desafiantes no impacto da indústria 4.0 (Moeuf et al., 2018). A manutenção preditiva é um ponto chave no desenvolvimento e no aumento da eficiência e eficácia da produção. Esta utiliza sensores para realizar uma monitorização constante e em tempo real, dos elementos envolvidos no desenvolvimento do produto (Garcia, Sanz-Bobi, & del Pico, 2006). Assim, passa a ser possível antecipar as necessidades de manutenção e diminuir as paragens inesperadas, o que se traduz num aumento da qualidade produtiva.

No entanto, como em todas as mudanças, a quarta revolução industrial também traz inúmeros desafios às organizações. Para muitas empresas é extremamente complicado adquirir tecnologia de ponta, uma vez que é necessário um investimento avultado (Moeuf et al., 2018). Ou seja, estas ficam limitadas, logo à partida, para se desenvolverem numa indústria 4.0, uma vez que o objetivo central é a fábrica inteligente, que por sua vez requer dispositivos inteligentes (Gunal, 2019; Pirvu & Zamfirescu, 2017).

A Indústria 4.0 prevê ainda o desenvolvimento de CPS's, envolvendo a integração de componentes, métodos e ferramentas heterogéneas (Xu et al., 2018). Isto, torna-se um desafio a dois níveis, primeiro na criação de uma interface flexível que envolva uma diversidade de sistemas, uma vez que, para isso é fundamental padronizar os processos e os sistemas (Moeuf et al., 2018). O segundo ponto está relacionado com o número de dados que são gerados, tanto pelas próprias tecnologias como pela interconexão entre estas, dificultando a análise dos dados em tempo real (Moeuf et al., 2018; Rüßmann et al., 2015).

Todavia, à medida que o mundo digital e o mundo físico convergem e se interligam, a segurança torna-se uma questão séria a resolver (Xu et al., 2018), nomeadamente devido às ameaças da ciberespionagem e dos ciberataques (Zhou et al., 2015). Como tal, estes problemas terão de ser solucionados, à medida que esta nova indústria é implementada e proporciona impactos na sociedade (Xu et al., 2018).

## 2.2. Simulação

A evolução é parte integrante da sociedade, deste modo o mundo tem vindo a progredir no sentido da globalização, tornando-se cada vez mais competitivo. Isto leva a que as organizações alterem as suas prioridades, dando cada vez mais importância à forma como o tempo e os recursos financeiros são geridos, não perdendo o foco na produtividade e na qualidade dos produtos. Assim, as tecnologias têm vindo a tornar-se uma base de referência para qualquer empresa que quer atingir um lugar cimeiro no mercado (Gunal, 2019).

Com a quarta revolução industrial e toda a imprevisibilidade que envolve os mercados mundiais, a simulação tem vindo a revelar-se uma ferramenta indispensável (Rodič, 2017). Esta atua de forma preventiva, podendo oferecer inúmeras vantagens, como a relação custo-benefício, gestão de tempo, a possibilidade de testar vários cenários e a simplicidade ao estudar sistemas complexos, tornando-se uma tecnologia bastante útil nas tomadas de decisão e na identificação das melhores alternativas para a organização (Rodič, 2017; Blöchl & Schneider, 2016). Ou seja, a simulação permite analisar o mundo físico de forma virtual e em tempo real, e tem trazido inúmeros benefícios a empresas de sucesso que passaram a utilizar a simulação como um instrumento operacional e de planeamento estratégico (Gunal, 2019; Rodič, 2017; Lugaresi & Matta, 2018).

Todavia, para a realização de um estudo de simulação é extremamente importante dominar o sistema a simular, para que seja feita uma correta recolha de dados. Caso isto não aconteça, os resultados do modelo poderão não ser os mais credíveis, proporcionando uma análise irrealista do sistema (Zhang, Wang, Wang, Cui, & Cheng, 2019). No entanto, o conceito de indústria 4.0 menciona ser fundamental relacionar os vários pilares tecnológicos, e caso isto aconteça será possível reduzir ou até mesmo eliminar esta lacuna, uma vez que tornar-se-á mais fácil recolher e analisar os dados necessários ao estudo de simulação.

### 2.2.1. A História da Simulação – Do Passado ao Futuro

A sociedade sempre teve a necessidade de tentar prever os acontecimentos, de forma a adaptar-se e antecipar o que o futuro reserva. Consequentemente a simulação foi sempre um conceito que existiu, contudo tem sofrido grandes alterações para acompanhar todas as nuances exigidas pela evolução natural dos sistemas e das pessoas (Banks, 1999).

Com o desenvolvimento dos primeiros computadores na década de 40, criou-se uma grande oportunidade de melhoria para tudo aquilo que a simulação poderia passar a representar. No entanto, só em 1960 é que o matemático *Keith Douglas Tocher* desenvolveu um programa que simulava a produção de uma fábrica, representando o estado em que máquinas se encontravam (Goldsmann, Nance, & Wilson, 2010). Mas, tanto este programa como os seus sucessores eram desenvolvidos a partir de uma linguagem numérica (FORTRAN), tornando os modelos extremamente complexos e onde só os especialistas conseguiam trabalhar (Gunal, 2019) (Goldsmann et al., 2010). Toda a dificuldade de desenvolvimento aliada ao tempo e ao custo necessário para a obtenção de resultados foi inviabilizando a construção de novos modelos.

Apesar de todas as dificuldades iniciais, a simulação demonstrou ter um grande potencial de desenvolvimento. Assim, com todos os progressos tecnológicos que se seguiram, foi possível entre os anos 70 e 80, criar e desenvolver programas de simulação juntamente com a elaboração linguagens de programação, como por exemplo a *General Purpose Systems Simulator* e a *System Dynamics*, que permitem construir os modelos de forma fácil e intuitiva (Gunal, 2019). Desta forma, a simulação começou a ganhar relevo na indústria aeroespacial e nas empresas do setor automóvel, pois permitia que as organizações analisassem os seus sistemas mais complexos e críticos, com maior dinamismo e agilidade, trazendo benefícios económicos e estratégicos (Rodič, 2017).

Porém, foi já nos anos 90 que a simulação começou a ganhar protagonismo como sendo uma tecnologia que permite analisar vários cenários, dando suporte ao planeamento e à tomada de decisão. Para além disto, o número de *softwares* de simulação aumentou e passaram a ser cada vez mais completos, acessíveis, flexíveis, rápidos e precisos, passando a existir a possibilidade de no mesmo modelo integrar várias linguagens de programação, mas também de os *softwares* utilizarem animações para tornar os modelos mais intuitivos e dinâmicos (Rodič, 2017; Banks, 1999).

Com o aparecimento da indústria 4.0, a simulação tem vindo a tornar-se uma tecnologia crucial no desenvolvimento das organizações. A sua integração com outros pilares tecnológicos, permite uma melhor análise dos sistemas, tornando o planeamento estratégico e a tomada de decisão mais fidedignos, uma vez que existe uma maior e melhor recolha de dados (Rodič, 2017). De referir ainda, que a simulação foi fundamental para a criação do conceito *Digital Twin*, muitas vezes associado à indústria 4.0. Este é um conceito recente, que representa um protótipo virtual de um objeto ou processo real, incluindo o próprio modelo, os dados associados e a possibilidade de realizar uma monitorização preventiva ao sistema (Rosen, Von Wichert, Lo, & Bettenhausen, 2015). Assim, com todo o historial que a simulação já possui, pode prever-se um futuro promissor, passando a ser cada vez mais uma tecnologia de apoio à tomada de decisão, ajudando as organizações no planeamento estratégico.

### **2.2.2. Os Conceitos Base da Simulação**

A simulação é um conceito que tem vindo a sofrer ligeiras alterações, representativas da sua progressão histórica. No entanto, há traços que se mantêm, envolvendo vários termos que são a base de tudo o que a simulação representa. Banks (1999) descreve que a simulação é uma representação de um processo ou sistema do mundo real, ao longo do tempo. Não muito longe desta definição, Al-Aomar (2015) refere que a simulação é a reprodução, através de modelo computacional, de um sistema complexo, estocástico e de operações dinâmicas do mundo real. Perante estas definições e considerando todo o envolvimento histórico, existem dois termos que são constantemente mencionados e associados à simulação, o conceito de sistema e o de modelo (Maria, 1997). Desta forma, será preponderante entendê-los para tornar todo o trabalho mais claro e conciso.

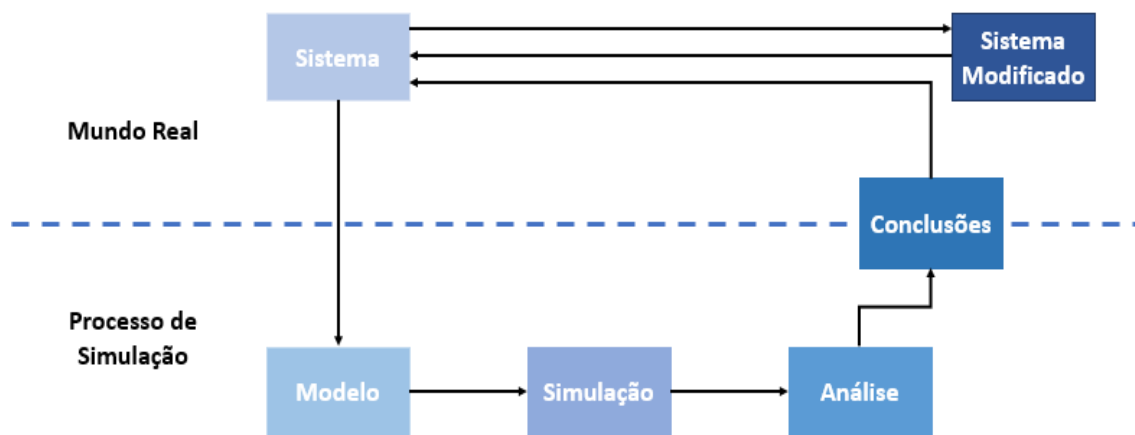


Figura 3 – Esquema de um Estudo de Simulação (Adaptado (Maria, 1997) )

Segundo Al-Aomar (2015) um sistema é frequentemente definido como um conjunto de elementos ou operações que estão logicamente relacionadas para a concretização de um certo objetivo. Assim, em algum momento torna-se fulcral que as organizações estudem os seus sistemas, a fim de estruturar todas as informações sobre as relações entre os vários componentes, ou então, para prever o desempenho de todo o sistema, afetado pela alteração de *inputs*. Para além disto, torna-se cada vez mais vantajoso analisar os sistemas que ainda se encontrem numa fase de conceção, possibilitando a obtenção de conclusões prévias que poderão alterar e melhorar vários pontos, antes que exista qualquer implementação (Kellner, Madachy, & Raffo, 1999). No entanto, estes estudos só podem ser realizados, através da criação e utilização de modelos.

Um modelo é, segundo Law (1991), uma representação de um sistema real e é normalmente utilizado para adquirir um maior conhecimento sobre o funcionamento de um sistema. Consoante as interações e os pressupostos relacionados com o processo, os modelos assumem a configuração de relações matemáticas ou lógicas (Law & Kelton, 1991; Robinson, 2006). Ou seja, se as relações que constituem o modelo são consideradas simples, torna-se possível a utilização de métodos matemáticos, como cálculo, álgebra ou a teoria das probabilidades, para adquirir informações exatas e importantes para o estudo do sistema (Solução Analítica). No entanto, são raros os sistemas do mundo atual que ostentam uma baixa complexidade, dificultando a obtenção de informações credíveis resultantes de uma avaliação analítica. Desta forma, os modelos com um grau de dificuldade mais elevado são normalmente analisados através de um estudo de simulação, permitindo avaliar numericamente o modelo e analisar uma grande diversidade de dados e informações. Com base nisto, Law (1991) classifica os modelos de simulação em três dimensões distintas, permitindo distinguir a forma como irá ser feito o estudo do sistema.

✓ **Estático vs Dinâmico**

Um modelo de simulação estático representa um sistema num momento específico ou então, onde o tempo não tem qualquer interferência (ex. simulação de Monte Carlo). Por outro lado, num modelo dinâmico, o tempo torna-se impactante no comportamento do sistema.

✓ **Determinístico vs Estocástico**

Quando um modelo não é composto por nenhum componente probabilístico, ou seja aleatório é designado por determinístico. Contudo, o modelo estocástico tem na sua origem pelo menos um parâmetro aleatório, tornando desta forma todo o resultado também ele aleatório.

✓ **Contínuo vs Discreto**

Num modelo de simulação contínuo, as condições do sistema podem vir a mudar no decorrer do tempo, no entanto esta alteração acontece de forma continua. Por sua vez, num modelo discreto as mudanças ocorrem em momentos específicos.

### **2.2.3. Os Principais Paradigmas da Simulação**

A simulação é uma das abordagens mais utilizada na pesquisa operacional, uma vez que é bastante impactante na representação de sistemas complexos, no aperfeiçoamento de projetos e operações, e ainda na avaliação do impacto e desempenho das decisões (Barbosa & Azevedo, 2017). Consoante o enquadramento do sistema a ser simulado, existem diversos paradigmas que representam um padrão a ser seguido na formulação do modelo.

Assim, os paradigmas da simulação encontram-se divididos em dois pontos principais, o modelo matemático e a simulação computadorizada, onde o primeiro resulta de modelos baseados em equações, enquanto o segundo está relacionado com a presença de agentes. Os modelos matemáticos são subdivididos em modelos determinístico, onde se encontram representados os sistemas dinâmicos, e em modelos estocásticos onde existem três paradigmas mencionados, o de Monte Carlo, o modelo das filas de espera e ainda a simulação de eventos discretos. Porém, a simulação computadorizada reúne um conjunto de paradigma relativamente recentes, resultantes da evolução do conceito de inteligência artificial, como por exemplo a simulação baseada em agentes.

Atualmente, os principais paradigmatis em termos de impacto e utilização são a dinâmica de sistemas, a simulação de eventos discretos e a simulação baseada em agentes (Sumari, Ibrahim, Zakaria, & Ab Hamid, 2013). Estes tornam-se vantajosos pela capacidade que têm em lidar com a incerteza e a variabilidade dos sistemas. Para além disto, estes paradigmas são utilizados pelos principais *softwares* de simulação, permitindo uma maior comunicação entre os utilizadores e o modelo.

## **Dinâmica de Sistemas (SD)**

O conceito de dinâmica de sistemas era inicialmente denominado *Industrial Dynamics* e foi desenvolvido nos anos 50 pelo professor *Jay W. Forrester*, no Instituto de Tecnologia de *Massachusetts*. Este paradigma caracteriza-se por ser uma abordagem utilizada na interpretação do comportamento dos sistemas complexos e onde o tempo é uma questão preponderante. Assim sendo, a dinâmica de sistemas tem como objetivo analisar os *loops* de *feedback* internos e os atrasos que afetam o comportamento de um sistema (Barbosa & Azevedo, 2017).

Para o sucesso na implementação do conceito de dinâmica de sistemas é fundamental considerar dois modelos, o qualitativo e o quantitativo, estes facilitam a interpretação do sistema, mas também auxiliam na identificação dos problemas que ocorrem ou podem vir a ocorrer no sistema (Sumari et al., 2013). O método qualitativo está relacionado com o processo de análise do sistema, permitindo observar os *loops* e as relações exigentes em cada parâmetro. Contrariamente, o método quantitativo é utilizado através de modelos de fluxo de *stock*, permitindo estudar a continuidade o que está subjacente ao sistema e que envolve a utilização de dados relevantes. Para além de tudo isto, torna-se importante referir que os sistemas dinâmicos são modelos determinístico e contínuos (Barbosa & Azevedo, 2017).

Uma dinâmica de sistemas permite que durante uma simulação, o modelador seja capaz de visualizar e analisar as modificações que vão sucedendo no decorrer do tempo. Assim, torna-se mais simples compreender os sistemas complexos e conseqüentemente encontrar fraquezas, ou seja, oportunidades de melhoria. No entanto, num sistema dinâmico é crucial entender e identificar o problema do sistema, uma vez que caso este não esteja claramente definido existe uma grande probabilidade do sistema implementado remeter ao insucesso. Outra das limitações da dinâmica de sistema tem a ver com a dificuldade de analisar um sistema de grandes dimensões, uma vez que este é caracterizados por inúmeros cenários complexos, o que envolve muito tempo e dinheiro (Sumari et al., 2013).

## **Simulação de Eventos Discretos (DES)**

A primeira versão da simulação de eventos discretos foi apresentada em outubro de 1961, pelo engenheiro da IBM, *Geoffrey Gordon* (Sumari et al., 2013). Desde então, este paradigma tem vindo a ser cada vez mais utilizado por empresas do setor industrial, onde o objetivo principal passa por estudar os processos, principalmente produtivos, que envolvem toda a organização (Maria, 1997). Ou seja, a sua utilização está muitas vezes relacionada com a resolução de problemas a nível operacional, permitindo que as organizações analisem lacunas no seu processo, como por exemplo a taxa de ocupação das máquinas, os tempos de ciclo, filas de espera, entre outros.

O que diferencia este paradigma dos restantes, é que este envolve a modelação de um sistema organizacional quase na íntegra, relacionando um conjunto de entidades que progridem ao longo do tempo, tendo em consideração a disponibilidade dos recursos e o princípio de eventos (Banks, 1999). Para além disto, este paradigma destaca-se pela capacidade de envolver elementos de natureza estocástica e possibilitar a obtenção de medidas de desempenho para cada elemento presentes no sistema, tornando ainda possível a obtenção de relatórios, a manutenção do modelo, mas também a deteção de erros de programação (Maria, 1997). Todavia, uma das principais funcionalidades dos programas que utilizam a simulação de eventos discretos é a possibilidade de utilizar animações e gráficos para a representação dos sistemas reais. Isto, permite que o modelo se torne mais interativo, facilitando todo o processo de análise e desenvolvimento (Sumari et al., 2013).

### **Simulação Baseada em Agentes (ABS)**

A simulação baseada em agentes é um paradigma bastante recente, que surgiu e se desenvolveu juntamente com o conceito de indústria 4.0. Este segue uma abordagem que envolve a interação entre componentes autónomos (agentes), segundo o desenvolvimento de várias regras lógicas (Sumari et al., 2013). Ou seja, torna-se imperativo a criação de protocolos de comunicação para que todos os agentes possam comunicar e, caso seja necessário, alterar o seu comportamento, de modo a atingir os objetivos propostos.

Para além disso, este novo paradigma tem vindo a ser cada vez mais utilizado, principalmente em empresas industriais, de manutenção e ainda de gestão, uma vez que permite uma análise mais detalhada de todos os recursos que estão envolvidos no sistema (Maria, 1997). Todavia, isto só passou a ser possível devido aos avanços tecnológicos das últimas décadas, que possibilitaram um aumento do poder computacional, bem como um aumento do dinamismo no armazenamento e recolha de dados. Assim, este paradigma torna-se extremamente útil para modelar sistemas onde a produção é adaptativa e dinâmica, obtendo resultados mais realistas e atualizados.

#### **2.2.4. As Etapas de um Estudo de Simulação**

Quando se realiza um estudo de simulação é preponderante seguir uma análise estruturada ao sistema, para que todos os dados recolhidos e modelados se aproximem o mais possível do sistema real. Assim, um estudo de simulação que seja bem executado, permitirá obter resultados fidedignos e consequentemente ajudar a melhorar o desempenho de um sistema através do apoio na tomada de decisão. Ou seja, caso um estudo de simulação não siga determinados parâmetros, a probabilidade de retirar elações erradas de um sistema/modelo é bastante elevada, não permitindo que a simulação proporcione qualquer estratégia competitiva para a organização (Banks, 1999). Law (1991) apresenta uma metodologia estruturada em dez passos para a concretização mais eficaz e eficiente de um estudo de simulação, permitindo assim obter resultados credíveis e fundamentais para as melhores conclusões deste tipo de estudos.

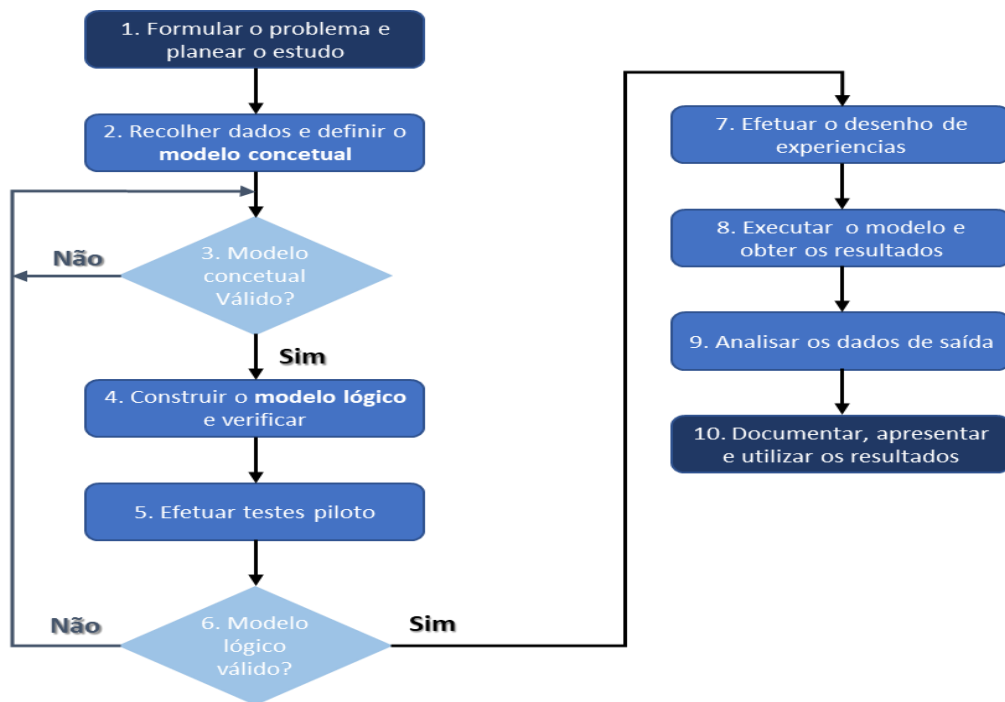


Figura 4 - Passos de um estudo de simulação (Adaptado de (Law & Kelton, 1991))

### 1) Formular o problema e planejar o estudo

Sendo o objetivo central de qualquer organização otimizar os seus processos de negócio, torna-se prioritário analisar e definir os problemas, para que assim se clarifique os principais pontos de atuação e desenvolvimento (Banks, 1999). Após ser selecionado e analisado um problema será importante definir objetivos, estratégias de atuação e o nível de detalhe do modelo a simular, para isso deve realizar-se uma reunião com todas as partes interessadas (especialista em simulação, gestor do projeto e *subject-matter experts*), onde o tema central passa por definir os parâmetros principais relacionados com o planeamento do estudo de simulação. Portanto, é nesta fase que se definem os pontos a que o estudo deve responder, as suas medidas de desempenho, os parâmetros de entrada e a fronteira do sistema. Para além de tudo isto, também se realiza um planeamento dos recursos necessários ao estudo, como o tempo, os canais comunicação, o *software* a utilizar e os custos.

### 2) Recolher dados e definir o modelo concetual

O processo de recolha de dados e a definição do modelo concetual é normalmente o que necessita de mais tempo num estudo de simulação (Law & Kelton, 1991). Assim, para que esta fase se torne mais eficiente, será importante interligar estas duas tarefas, ou seja deve começar-se a construir o modelo de simulação enquanto se realiza a recolha dos dados. Porém, apesar de este envolvimento melhorar o processo de simulação, a fase que agrega a obtenção de informação é habitualmente crítica, pois as organizações têm geralmente os seus dados bastante dispersos (Al-Aomar et al., 2015). Desta forma, a comunicação com as pessoas que melhor conhecem o processo é preponderante, conseguindo obter informações sobre a estrutura, os procedimentos e o desempenho atual do sistema, muito mais facilmente.



Por sua vez, o modelo conceitual caracteriza-se por ser uma abstração do sistema real, representado por um conjunto de relações matemáticas e lógicas, relacionadas com os componentes e a estrutura do sistema (Robinson, 2006). Ou seja, para que o modelo se aproxime o mais possível da realidade é fundamental conhecer e compreender bem todo o sistema (Banks, 1999). Para além disto, o que é aconselhado fazer numa primeira fase é construir o modelo o mais simplificado possível, para que à medida que se obtenham mais informações se vá aumentando o nível de detalhe (Law & Kelton, 1991).

### **3) Modelo conceitual válido?**

O processo de validação de um modelo é bastante importante para despistar eventuais erros ou limitação. Assim, juntamente com os intervenientes no estudo de simulação será possível assegurar que todos os pressupostos se encontram corretos e completos, refletindo adequadamente o sistema a analisar (Law & Kelton, 1991). Portanto, o conceito de validação num estudo de simulação está relacionado com a comparação entre o sistema do mundo real e o modelo criado, para perceber se estes se encontram em conformidade (Oberkampf & Trucano, 2008).

### **4) Construir o modelo lógico e verificar**

Depois de concluído o processo de validação, o modelo conceitual será traduzido para um formato que seja reconhecido por uma pela linguagem de programação (Fortran, C++, C, Java) ou então por um *software* de simulação (WITNESS, Arena, SIMIO, AnyLogic) (Al-Aomar et al., 2015). Ou seja, o modelo operacional/lógico é uma representação do modelo conceitual em formato digital.

No processo de desenvolvimento do modelo lógico há uma verificação constante do programa desenvolvido, para que os erros não intencionais, relacionados com a lógica do modelo sejam detetados e eliminados (Oberkampf & Trucano, 2008). Assim, será possível representar com precisão o modelo conceitual descrito e analisado previamente.

### **5) Efetuar testes piloto**

O objetivo deste passo é colocar o modelo operacional a correr várias vezes, obtendo dados que serão fundamentais para o próximo passo do estudo de simulação (Law & Kelton, 1991).

### **6) Modelo lógico válido?**

Após serem efetuados diversos testes e avaliações aos resultados obtidos do modelo lógico, é importante observar se estes se aproximam dos objetivos do estudo e da representação do sistema real (Law & Kelton, 1991). Caso isto aconteça, o modelo é considerado válido e prossegue-se para o próximo ponto. Todavia, se as abstrações e simplificações, definidas inicialmente no modelo conceitual proporcionaram erros inaceitáveis nos resultados, este modelo terá de ser novamente revisto.

## **7) Efetuar o desenho de experiências**

O desenho de experiências é um processo que envolve a definição de cenários alternativos ao sistema real, testando e analisando os possíveis benefícios que se podem retirar dessas modificações. Para além disto, também é nesta fase que são identificados os vários parâmetros relacionados com as condições experimentais do modelo, como o período de simulação, a duração do período de aquecimento (*Warmup*) e ainda as condições iniciais e o número de replicações a utilizar (Law & Kelton, 1991).

## **8) Executar o modelo e obter os resultados**

Um estudo de simulação envolve a análise de diferentes cenários e a realização de diversas replicações do modelo, para que se obtenham resultados mais autênticos e concisos (Al-Aomar et al., 2015). Assim, o objetivo desta fase passa por testar as várias alternativas, obtendo os resultados que serão analisados no passo seguinte.

## **9) Analisar os dados de saída**

O fundamento desta última análise está relacionado com a comparação de resultados entre as medidas de desempenho inicialmente estimadas e os vários modelos testados na simulação (Law & Kelton, 1991). Isto permitirá perceber qual é a alternativa mais eficiente e que pode trazer mais vantagens ao sistema real. Para além disto, é com base na análise dos resultados obtidos que o analista define a necessidade de realizar mais replicações ou de desenvolver novas alternativas ao sistema modelado.

## **10) Documentar, apresentar e utilizar os resultados**

O passo final de um estudo de simulação é extremamente importante, pois tem como objetivo documentar todas as etapas que acompanharam o processo, juntamente com os resultados obtidos. Esta é uma etapa imprescindível, por várias razões, uma delas está relacionada com a reutilização do modelo e a necessidade de saber os pressupostos utilizados na concretização da simulação. Para além disto, toda a documentação ajuda no processo de tomada de decisão, pois permite aumentar a confiança dos decisores (Al-Aomar et al., 2015). Uma vez que, toda a análise é descrita de forma clara e concisa, permitindo conferir os modelos concetual e logico utilizados, as alternativas que foram estudadas, juntamente com os critérios avaliação, os resultados obtidos e também possíveis recomendações do analista. Os modelos de animações são também fundamentais na apresentação do documento, para que todo o processo de análise seja mais credível e fácil de entender (Law & Kelton, 1991).

### **2.2.5. Os Softwares de Simulação**

As ferramentas de simulação têm vindo a ser cada vez mais utilizadas pelas organizações, onde analistas e engenheiros estudam os sistemas, para que estes possam ser melhorados e proporcionem uma vantagem competitiva às empresas. Atualmente, os *softwares* têm um papel

crucial na realização de um estudo de simulação. Estes distinguem-se das linguagens de programação que servem o mesmo propósito, pois permitem que as alterações que sejam necessárias aplicar no modelo sejam feitas mais facilmente, para além disto há uma diminuição do número de erros e existe a possibilidade de animar o modelo para o tornar mais claro (Al-Aomar et al., 2015; Law & Kelton, 1991). Assim, com a maior facilidade de utilização, o tempo necessário ao desenvolvimento de um estudo de simulação diminui, o que por sua vez também reduz os custos do projeto.

Cada *software* de simulação tem características únicas distinguindo-se, por exemplo, pela capacidade de flexibilização e pelas exigências de programação. No entanto, dependendo das necessidades requeridas para a concretização do estudo deve utilizar-se o *software* que melhor se adapta (Law & Kelton, 1991). Alguns exemplos são o Witness, o Arena, o Simio, o AnyLogic, entre outros (Dias, Vieira, & Oliveira, 2013; Al-Aomar et al., 2015).

#### **2.2.5.1. WITNESS**

A empresa inglesa *Lanner Group Ltd* é a atual detentora do *software* de simulação Witness e trabalha com empresas visionárias desde a sua criação, em 1996. O objetivo principal desta empresa é implementar recursos de simulação preditiva, modelar ativos que apoiam a tomada de decisão e permitir que os processos de negócio inteligentes e autónomos equilibrem a prestação de serviços e os custos das organizações (Lanner Group, 2018). Para corresponder a isto, a *Lanner* lançou em 2016 a última versão do *software* Witness, denominado *Witness Horizon*.

O Witness permite que os modeladores profissionais desenvolvam rapidamente modelos complexos, simulando diferentes ambientes de negócio e testando os possíveis impactos de diversas alternativas num ambiente virtual e dinâmico, sem a existência de qualquer risco (Al-Aomar et al., 2015). Para além disto, este *software* combina fluxos contínuos com eventos discretos para modelar e resolver um grande número de problemas de forma mais eficiente e apropriada possível. Ainda é importante referir, que através do *Business Intelligence*, o Witness cria relatórios práticos e intuitivos, que auxiliam na análise e comparação dos resultados obtidos nos vários modelos (Lanner Group, 2018).

Uma das características mais impactantes neste *software* tem a ver com a existência de uma codificação versátil que permite representar um sistema complexo utilizando uma estrutura coerente e fácil de desenvolver (Al-Aomar et al., 2015). Assim, o Witness permite aperfeiçoar o modelo utilizando uma lógica baseada em blocos de modelação, onde os elementos a construir estão diretamente compartimentados. Ou então, utilizando técnicas de programação para tornar o modelo mais realista e eficaz. Para isto, o Witness tem uma linguagem de simulação própria, a *WITNESS Action Language*, que tem a mais valia de suportar bibliotecas de código externas, como C ++, C, Java, Python, Javascript, entre outras (Lanner Group, 2018).



### 3. Caracterização da Empresa

#### 3.1. Grupo Renault

A Renault é uma empresa francesa, que iniciou a sua atividade na indústria automóvel em 1898. Atualmente é uma marca mundialmente reconhecida pelo desenvolvimento e produção de veículos particulares e utilitários, sendo composta por 37 fábricas, divididas por 15 países e que conta a colaboração de cerca de 120.000 trabalhadores. Todas as fábricas do Grupo Renault, seguem a mesma estrutura e as mesmas normas de produção, para que os produtos sejam *standard* e permitam corresponder aos mesmos níveis de qualidade e desempenho.

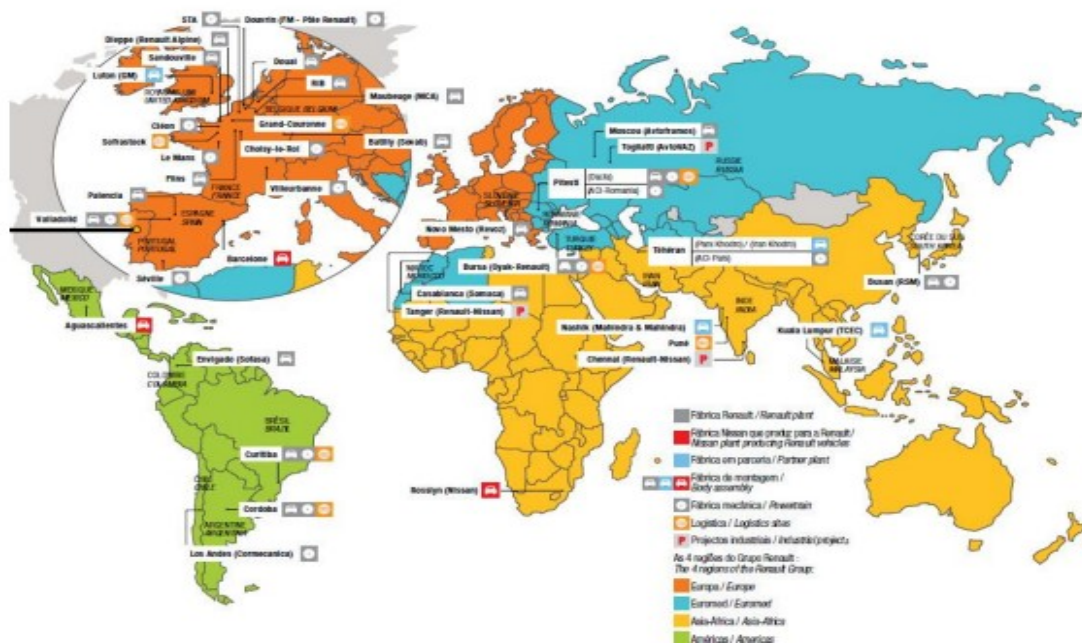


Figura 5 - Fábricas da Aliança Renault-Nissan

Com todos os desafios impostos pelo setor automóvel, a Renault viu-se obrigada a expandir os seus horizontes, afirmando a sua posição no mercado mundial. Desta forma, foi no final do século passado que a Renault adquiriu a construtora romena *Dacia* e a sul-coreana *Renault Samsung Motors*. Porém, o grande progresso do Grupo está relacionado com aliança que foi criada entre a Renault e a japonesa Nissan. Estas combinam os seus sistemas de produção, sem nunca alterarem a identidade e a autonomia de cada organização. Assim, em 2015 a Aliança Renault-Nissan conquistou o quarto lugar no TOP de vendas do setor automóvel. Mais tarde, com todos os resultados demonstrados pela Aliança, a Mitsubishi junta-se a esta parceria com o objetivo de satisfazer a procura em todos os segmentos do mercado mundial e tornar a Aliança no terceiro maior grupo automóvel, no que toca ao número de vendas.

### 3.2. Renault Cacia

A Renault Cacia é uma das fábricas do Grupo Renault e está sediada num dos mais importantes centros industriais de Portugal, desde setembro de 1981. Esta beneficia dos bons acessos e de uma localização privilegiada, o que dinamiza a indústria e, conseqüentemente, contribui para o desenvolvimento económico do país. Atualmente, conta com a colaboração de 1.100 trabalhadores e uma área total de 300.000 m<sup>2</sup>, para corresponder aos projetos e desafios relacionados com a produção de componentes mecânicos da indústria automóvel. A empresa encontra-se dividida em cinco grandes áreas: produção de Caixas de Velocidades, produção de Componentes Motores, Logística, Tratamentos Térmicos (TTH) e Recursos Humanos.



*Figura 6 - Principais Edifícios na Fábrica Renault Cacia*

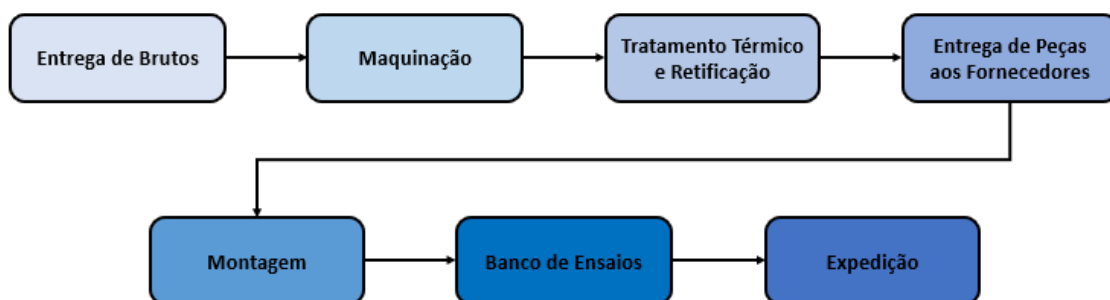
O principal objetivo desta organização está relacionado com a produção de caixas de velocidades e vários componentes de um motor, nomeadamente, bombas de óleo e árvores de equilibragem. Porém, no que se refere à produção de caixas de velocidades, a Renault Cacia tem vindo a sofrer uma grande reestruturação para iniciar a produção da nova caixa JT4, que permite a utilização de seis velocidades, mas também para a produção da caixa diferencial DB35 que será maquinada e exportada, para poder ser integrada numa caixa de velocidades híbrida. Esta organização tem vindo a demonstrar um papel importante na produção de caixas de velocidades, tornando-se uma fábrica de referência no desenvolvimento deste produto. Atualmente, tem a seu cargo a produção de três gamas de caixas de velocidades, a ND, a JR e a nova JT4. Todos os produtos desenvolvidos na Renault Cacia são exportados, tendo como destino final as fábricas de carroçaria-montagem e de mecânica do Grupo, localizadas em diferentes países, nomeadamente Espanha, França, Inglaterra, Irão, Roménia, Turquia, Marrocos, Rússia, Chile, Brasil, Indonésia, Tailândia e África do Sul.



*Figura 7 - Árvore de Equilibragem, Bombas de Óleo e Caixa de Velocidades*

Toda esta organização rege-se através de uma dinâmica fabril, que envolve várias etapas que permitem obter um produto conforme e que providencie um desempenho automóvel de excelência, uma vez que a caixa de velocidades e o motor são o grande mecanismo e o principal suporte de um veículo. Assim, numa primeira fase as peças em bruto, desenvolvidas em empresas de fundição, são entregues à Renault Cacia para, posteriormente, sofrerem um processo de maquinação. A partir desta fase, que poderá envolver operações de torneamento, talhagem, fresagem e chanfrenagem, será possível obter as peças com as características e a precisão desejadas, garantindo um balanço em termos de custos e qualidade, sem que os prazos sejam descorados. De seguida, algumas das peças maquinadas passam por um tratamento térmico, que envolve ciclos de aquecimento e arrefecimento, que permitem melhorar as características das peças maquinadas, nomeadamente a dureza, limites de elasticidade, desgaste por abrasão, rutura e choques.

Numa segunda fase, as peças maquinadas podem ser entregues a fornecedores externos para que estes façam a montagem ou então esta entrega é feita internamente, para que seja a própria organização a realizar a montagem dos componentes. Porém, também pode seguir o sentido inverso, ou seja, as peças já maquinadas são entregues à Renault Cacia, para que esta efetue a montagem. Assim, o processo de montagem tem como finalidade agrupar os componentes, considerando que cada tipo de órgão é montado numa linha específica. Para finalizar todo este processo e antes do produto ser expedido, existe uma monitorização através de um banco de ensaios, para garantir que o material se encontra conforme e que apresenta todas as características de qualidade.



*Figura 8 - Etapas da Produção*

### 3.3. A Simulação no Grupo Renault

A Renault é uma empresa multinacional que tem desde a sua gênese uma preocupação constante em manter-se competitiva, num mercado tão desafiante como é o automóvel. Para isso, torna-se importante seguir as tendências tecnológicas e conhecer com exatidão tudo aquilo que possa ser melhorado e que, conseqüentemente, crie valor para a organização.

Atualmente, tudo o que se relaciona com a indústria 4.0 é uma prioridade para a Renault, pois esta nova revolução é considerada pelo Grupo, uma estratégia importante para desenvolver o trabalho das pessoas, desmaterializar os processos e antecipar os problemas relacionados com a fiabilidade dos meios, tornando-se uma alavanca importante no caminho da excelência. Para além disto, a Renault considera que a implementação de um novo projeto digital tem vindo a aumentar a eficiência da tomada de decisão, uma vez que é possível obter informações em tempo real, havendo uma melhor priorização e uma maior visibilidade das ações realizadas no terreno. Assim, a indústria 4.0 é muito mais que uma moda, é uma questão de sobrevivência e competitividade, onde é necessário mudar conceitos e mentalidades. Desta forma, tanto a Renault Cacia como as várias fábricas do Grupo têm vindo a implementar várias soluções tecnológicas, como por exemplo a manutenção preditiva, sistemas gestão de AGV's, robôs colaborativos, sistemas de visão, entre outros.

Com o desenvolvimento das novas tecnologias e o aumento da preocupação em melhorar o desempenho da organização, a Renault percebeu que a simulação é uma ferramenta extremamente útil no processo de tomada de decisão, permitindo testar diferentes cenários, identificar problemas ou corroborar opiniões. Assim, o Grupo adquiriu o *software* Witness, possibilitando que qualquer fábrica da Renault utilize a simulação para melhorar os seus processos. Um exemplo de sucesso é a fábrica de Valladolid (Espanha), que utiliza constantemente o *software* de simulação para analisar os sistemas da empresa, particularmente no estudo dos fluxos de AGV's, uma vez que esta fábrica se rege por ter a logística interna realizada a 100% através destes transportadores. Assim, a simulação tem vindo a demonstrar cada vez melhores resultados, revelando-se uma ferramenta útil no apoio à tomada de decisão.

A Renault Cacia realizou esporadicamente estudos de simulação, através do apoio de outras fábricas do Grupo que utilizam o Witness, regularmente. No entanto, esta organização tem como objetivo utilizar a simulação para complementar os estudos de novos projetos, bem como analisar possíveis alterações que possam ocorrer na fábrica. Ou seja, tornar a ferramenta de simulação uma forma de estudar recorrentemente os problemas e de encontrar soluções, permitindo analisar sistemas complexos de forma rápida e onde se obtenham resultados que permitam auxiliar as decisões que terão de ser tomadas. Desta forma, foram realizados dois estudos de simulação, com o objetivo estudar algumas das reestruturações que estão a ocorrer na Renault Cacia, permitindo assim definir e analisar algumas das estratégias que podem vir a melhorar os sistemas. Porém, existiu o objetivo complementar de demonstrar à organização a importância da simulação, verificando as vantagens que estão associadas à sua utilização, tornando claro todo o suporte que esta ferramenta permite dar à empresa.



#### 4. Desenvolvimento do Projeto

Uma das estratégias no desenvolvimento de um projeto está relacionada com a experiência e com as competências que já foram adquiridas sobre o tema. Assim, antes de se iniciar qualquer estudo, é importante analisar onde poderão estar as debilidades, para que estas possam ser colmatadas e para que os resultados obtidos sejam viáveis, representando o mais possível a realidade.

Neste caso, após estar definido que o projeto a realizar estaria relacionado com um estudo de simulação, foi determinado juntamente com a organização que o *software* a utilizar seria o Witness. Esta decisão baseou-se no facto de esta ser uma ferramenta já utilizada por outras empresas do Grupo, facilitando a partilha de informação e a uniformização dos conhecimentos. Para além disso, tornou-se necessário dotar a organização do modo de funcionamento deste *software*, permitindo que todos os trabalhadores entendam as potencialidades do mesmo.

Assim, logo à partida, notou-se que a utilização do Witness seria um dos grandes desafios na concretização do projeto, uma vez que a Renault Cacia não possui qualquer colaborador especializado no *software* e, para além disto, este não é dos programas de simulação com maior divulgação no mercado, levando a que existam menos formas de adquirir informação, o que necessariamente dificulta a aprendizagem. Para colmatar esta dificuldade inicial, optou-se por seguir uma estratégia dividida em duas fases que, inevitavelmente ajudou a aumentar as capacidades e as competências no desenvolvimento de uma simulação na ferramenta Witness, permitindo melhorar e facilitar a realização de um caso de estudo mais complexo e particular. Assim, numa primeira fase foi realizado um plano de formação de três dias com um colaborador da fábrica da Renault em Valladolid, que utiliza o *software* regularmente, o que potencializou a aquisição dos conhecimentos base da ferramenta.

A segunda fase passou por fazer um primeiro estudo de simulação, onde o sistema em causa se caracterizou por não ser extremamente grande, permitindo uma maior eficiência na adaptação ao *software*, analisando e verificando as dificuldades e as potencialidades na utilização da simulação através do Witness. Toda esta estratégia de aquisição de competências, foi deveras importante para a concretização do segundo caso de estudo, que se particularizou por ser mais complexo, sofisticado e completo. Assim, para a realização deste primeiro estudo de adaptação ao *software*, foi utilizada uma linha já existente na Renault Cacia, que irá sofrer algumas alterações para corresponder à necessidade de produzir uma nova diversidade de produto. Esta linha não é muito complexa, porém existiram hipóteses que necessitaram de ser estudadas e analisadas, de modo a facilitar a tomada de decisão, que alterará a configuração e o modo de funcionamento da linha. Seguidamente, foi realizado um estudo de simulação mais complicado, onde o objetivo principal passou por analisar uma nova linha que será implementada na Renault Cacia, com o intuito de auxiliar a definição e a tomada de decisão, relativamente a algumas questões que ainda se encontram em aberto, mas que têm bastante impacto no sistema.

## 4.1. Estudo de Simulação – Maquinação BOCV €6DFull

### 4.1.1. Descrição Geral da Linha VDOP

As bombas de óleo são um dos produtos mais importantes produzidos na Renault Cacia, pois são um elemento estratégico na lubrificação e, conseqüentemente, no funcionamento de um motor automóvel. Atualmente, existem duas variedades de bombas de óleo, as de cilindrada fixa (BOCF) e as de cilindrada variável (BOCV). No entanto, as BOCV permitem que os novos veículos emitam menores quantidades de CO<sub>2</sub>, sendo mais fiáveis e potencializando um melhor cumprimento das novas leis, relacionadas com a emissão de gases. Isto acontece, porque este tipo de bombas de óleo, conseguem adaptar-se às necessidades do motor, não debitando sempre a mesma quantidade de óleo. Assim, as BOCV têm vindo a substituir as BOCF, proporcionando alterações nos níveis de produção e na importância que é atribuída à linha existente na Renault Cacia.

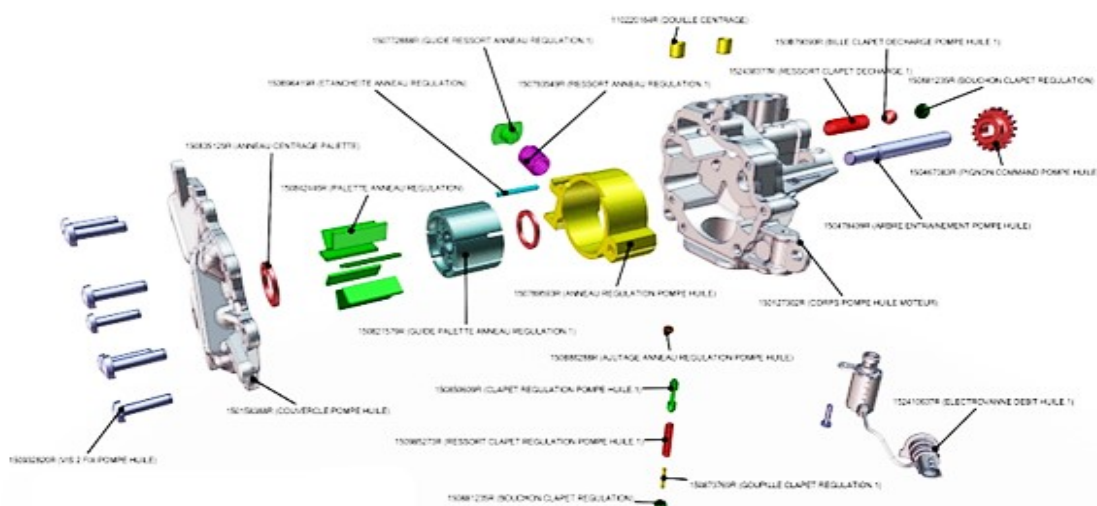


Figura 9 - Componentes da Bomba de Óleo Hxx Gen2

A linha das BOCV encontra-se localizada no edifício de componentes motores e através da forma como as máquinas estão dispostas, é possível usufruir de uma tipologia de produção contínua, trabalhando com uma área total de 430 m<sup>2</sup>. Esta linha funciona 24 horas por dia, todos os dias da semana, contando com a colaboração de três equipas que realizam turnos de 8 horas e duas equipas de fim de semana que realizam um turno de 12 horas. Para além disto, a linha VDOP encontra-se dividida na fase da maquinação, onde os corpos e as tampas são sujeitos a processos de fresagem, broqueamento, roscagem e lavagem. Posteriormente, realiza-se a fase de montagem onde os restantes componentes presentes na bomba de óleo são integrados. A montagem é composta por duas linhas, que realizam exatamente o mesmo processo, apesar de uma se encontrar mais automatizada, não necessitando de tantos operadores. Após estar terminado o processo de montagem, o produto é acondicionado num contentor que é expedido para outras fábricas do Grupo, para que o processo de montagem do motor seja finalizado.

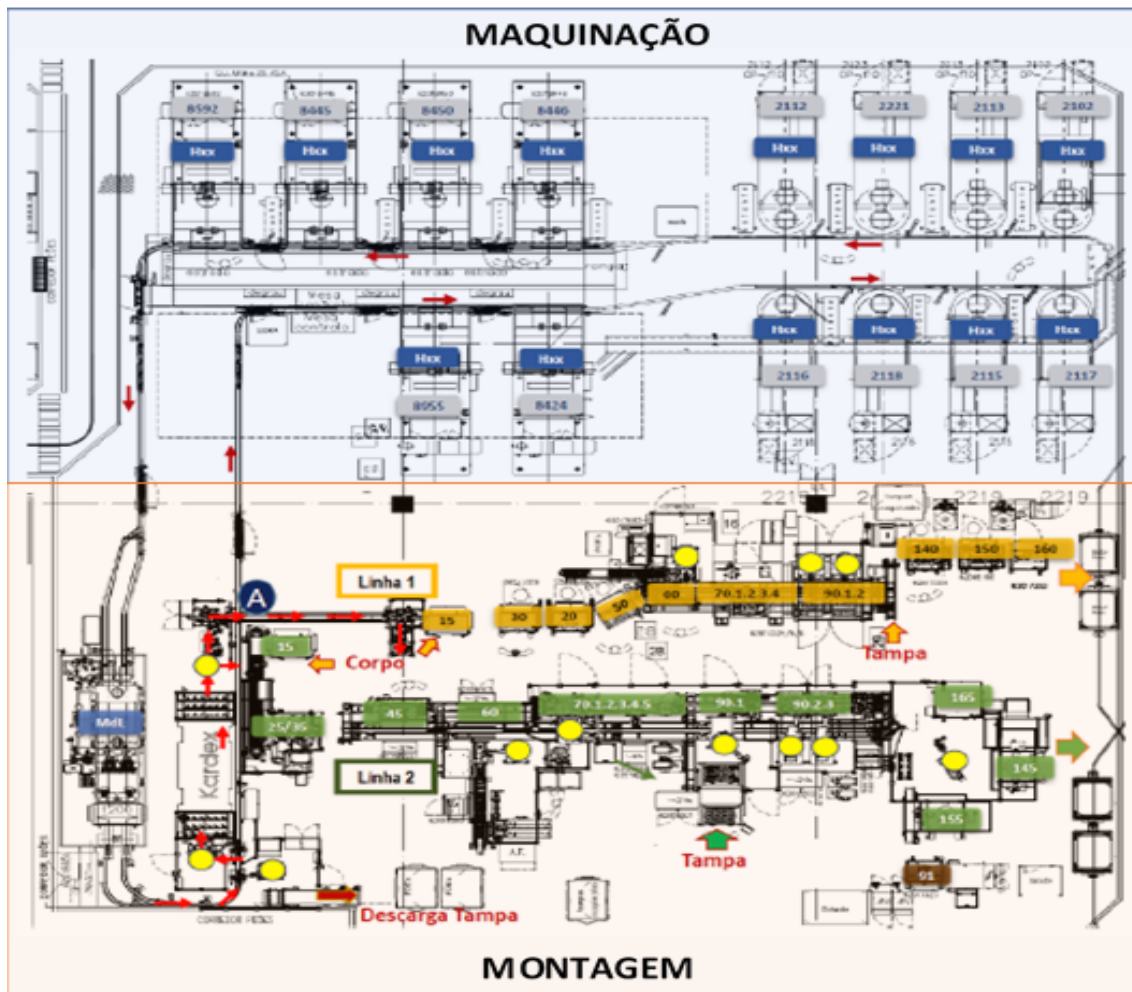


Figura 10 - Constituição da Linha VDOP

Atualmente, a linha VDOP na Renault Cacia produz apenas uma variedade de produto, a bomba de óleo Hxx Gen2, utilizada em motores H4 e H5. No entanto, surgiu a oportunidade e o desafio de no final de 2020 produzir uma nova gama de BOCV, que será integrada no mais recente motor híbrido HR13 €6DFull. Esta nova bomba de óleo tem a vantagem de ser bastante semelhante à Gen2, permitindo que a maioria das operações sejam idênticas. No entanto, existem dificuldades já identificadas para a integração do €6DFull, estas estão relacionadas com modo de funcionamento da linha, mas também na forma como se irá gerir o processamento, em simultâneo, de dois produtos distintos. Assim, há alterações que são inevitáveis realizar, neste caso é na fase de maquiagem que surgem mais adaptações a fazer em termos de processo, pois a peça €6DFull necessita de uma operação extra de maquiagem, o que altera a dinâmica e forma como este processo se realiza. Por outro lado, as alterações que são necessárias fazer no processo de montagem estão, na sua maioria, relacionadas com a programação dos *softwares* das máquinas e com as modificações dos POE's que são abastecidos na linha.

Desta forma, antes de ser feita qualquer reestruturação do processo de maquiagem, foi importante analisar o funcionamento do sistema atual, com o objetivo de adquirir uma maior visibilidade das hipóteses de modificação que são possíveis realizar na linha.

## **Linha VDOP – Maquinação**

Atualmente, a fase de maquinação das BOCV funciona em três operações, existindo catorze máquinas que fazem duas das operações, a OP110 e a OP120, maquinando por completo o corpo e a tampa da bomba de óleo. No final, as peças seguem através de um transportador para a máquina de lavar, onde é realizado o processo de lavagem e secagem (OP130).

As máquinas existentes na maquinação, são de dois fornecedores distintos. Desta forma, existem oito máquinas GROB que estão representadas na Figura 10, na posição mais à direita e seis URANE que são as máquinas mais à esquerda. Nesta linha, existe um transportador que interliga todas as máquinas que realizam a maquinação, mas também a máquina de lavar. Neste transportador, existem paletes que transportam dois corpos e duas tampas maquinados até ao final da máquina de lavar. Após, a lavagem as tampas são retiradas para um contentor, enquanto os corpos são descarregados através de um *robot* para um móvel dinâmico (*Kardex*), capaz de gerir o stock intermédio, através de uma lógica FIFO, de corpos maquinados e caracterizando-se por ser um pulmão que permite alimentar as linhas de montagem. Após este processo, as paletes seguem no transportador e voltam novamente para a fase de maquinação, dando continuidade ao ciclo. No que se refere aos brutos, estes são transportados pela logística até à zona de stock da OP110 e alimentados nas estantes junto dos centros de maquinação.

O rendimento operacional da linha de maquinação ronda atualmente os 88%, onde a capacidade da célula URANE é de 20.118 peças/semana e a da célula GROB é de 18.570 peças/semana, o que perfaz numa produção semanal de 38.688 bombas de óleo Hxx Gen2.

### **4.1.2. Desenvolvimento do Estudo de Simulação**

A necessidade de realizar o estudo de simulação, surgiu com o objetivo de analisar os níveis de produção da fase de maquinação, considerando a integração da bomba de óleo €6DFull. Segundo a Renault Cacia, a produção desta nova bomba seguirá um processo de *ramp-up*, onde a estabilização corresponderá, a meados de 2021, a uma produção semanal de 36.000 BOCV, onde 80% serão €6DFull e 20% Gen2. No entanto, como foram consideradas inúmeras hipóteses para a realização da maquinação, tornando-se importante analisá-las com o intuito de auxiliar a tomada de decisão, no que se refere à definição das máquinas que irão fazer as diferentes operações e produzir as diferentes diversidades de peças.

Para a realização do estudo de simulação foram considerandos os seguintes pressupostos:

- Nunca poderá existir falta de brutos (Corpos e Tampas);
- O Stock entre operações é ilimitado;
- O transportador nunca será o tampão do sistema;
- Todo o processo estará assente numa lógica FIFO (first-in-first-out).

No final do estudo de simulação foram analisadas as seguintes medidas de desempenho:

- O número de peças produzidas;
- A quantidade de peças enviadas para Stock;
- A taxa de utilização das máquinas.

A recolha de dados e a definição do modelo concetual é a fase mais importante num estudo de simulação, pois é através dos dados de entrada que se desenvolve todo o estudo, ou seja, se houver problemas nesta etapa a análise da simulação fica, logo à partida, comprometida. Assim, para colmatar esta dificuldade, optou-se por criar uma lista de informações, como objetivo estruturar e dinamizar a recolha de dados, o que foi crucial para a compreensão e para o desenvolvimento do estudo.

Assim, a lista de informações analisada, foi a seguinte:

- Quantas máquinas realizam o processo de maquinação?
- O tempo de ciclo de cada máquina?
- O número de peças maquinadas em cada operação?
- O rendimento operacional da linha?
- Quais as hipóteses que se pretendem analisar?

Para dar resposta a estas questões, foi analisado o funcionamento do sistema atual, através da observação direta à linha existente. Contudo, a maioria das informações, necessárias ao estudo de simulação, foram obtidas através da organização de um grupo de trabalho com todos os envolvidos no desenvolvimento deste novo projeto. Este grupo, teve como principal objetivo facilitar a aquisição e agregação, por parte de todos, das novas informações da linha, mas também facilitar os debates realizados na análise das possíveis alterações que estão associadas ao novo modo de funcionamento da linha de maquinação. Assim, com a colaboração de todos os envolvidos, definiu-se que apesar de existirem oito máquinas GROB no sistema, só sete é que estarão envolvidas no processo, uma vez que com a utilização de seis máquinas URANE e sete máquinas GROB, a maquinação é suficientemente capaz para corresponder às necessidades da linha de montagem.

Relativamente ao tempo de ciclo das máquinas, existe um valor contratual que se encontra associado a cada tipologia de máquina e que varia de acordo com a diversidade da peça que é produzida e com a operação que está a ser realizada. No entanto, apesar do tempo de ciclo contratual, ser o valor que deve ser seguido e respeitado, é inevitável que existam variações, principalmente quando se modifica o modo como as máquinas operam. Contudo, uma vez que a nova diversidade ainda não está a ser produzida na Renault Cacia, tornou-se inexecutável a realização de um estudo de tempos, que permitiria analisar a distribuição de probabilidade que melhor se associava ao tempo de ciclo de cada máquina.

Desta forma, tendo em conta esta condicionante optou-se por, junto com a fabricação, analisar o histórico destas máquinas e averiguar a taxa de variação do tempo de ciclo relativamente ao tempo contratual. Assim, foi possível verificar que, neste caso como as máquinas

GROB são mais antigas, a sua taxa de variação poderá atingir os 11%, enquanto que as máquinas URANE como são mais recentes e têm uma melhor performance, a taxa de variação do tempo de ciclo ronda os 6%, tal como se encontra detalhado na Tabela 2.

*Tabela 2 - Variação no Tempos de Ciclo das Máquinas*

Tempo de Ciclo (minutos)					
Gen 2		€6DFull			
		OP110		OP120	
URANE	GROB	URANE	GROB	URANE	GROB
4,30 ± 0,26	6,00 ± 0,66	1,90 ± 0,12	2,38 ± 0,26	3,84 ± 0,23	5,05 ± 0,55

Perante esta análise, torna-se importante mencionar que em todas as hipóteses testadas, o tempo de ciclo das máquinas esteve associado a uma distribuição triangular. Isto porque, esta distribuição é frequentemente utilizada quando a obtenção de informações estatísticas sobre o sistema em análise, é impraticável ou está associado a um elevado grau de complexidade, mas onde simultaneamente existem informações sobre o valor mais comum e a gama mais provável dos valores em estudo. Ou seja, esta foi a distribuição probabilística que melhor se enquadrou neste problema, por todos os detalhes já apresentadas anteriormente.

Todavia, considerando que a base deste sistema está relacionada com a maquinação das duas diversidades de BOCV, foi essencial entender e analisar a capacidade que está associada a cada máquina envolvida neste processo. Desta forma, verificou-se que o número de peças a serem maquinadas a cada ciclo, variar conforme a diversidade da peça, mas também com a operação efetuada, estando toda esta informação sintetizada na tabela seguinte.

*Tabela 3 - Número de Peças Produzidas em cada Máquina*

Peças por Tempo de Ciclo					
Gen 2		€6DFull			
		OP110		OP120	
URANE	GROB	URANE	GROB	URANE	GROB
2	2	6	6	2	2

Assim, considerando os dados apresentados anteriormente e os objetivos previstos para a produção semanal, foi possível definir, em termos de necessidades, o número mínimo de máquinas que tiveram de ser afetas a cada operação/peça. Assim, segundo a análise realizada, são necessárias duas máquinas a produzir Gen2 e duas máquinas a realizar a OP110 da €6DFull, enquanto que as restantes máquinas realizam a OP120. No entanto, torna-se uma tarefa bastante complicada, definir as máquinas que vão desempenhar os diferentes papéis, pois isto acarreta sempre alterações no modo de funcionamento da linha e, conseqüentemente nos níveis de produção. Portanto, foi perante a dificuldade de análise das diferentes hipóteses de afetação de

máquinas, que a simulação teve um papel preponderante neste caso de estudo, permitindo fazer a análise dos diferentes fluxos da linha e do modo de funcionamento do sistema, tendo sempre em consideração que a principal medida de desempenho é a capacidade de produção do sistema.

Desta forma, foi através do grupo de trabalho, que envolveu as equipas da fabricação, da engenharia e da logística, que se tornou possível desenvolver e analisar inúmeros cenários que seriam, à partida, concretizáveis. No entanto, devido a questões logísticas e financeiras, algumas ideias foram excluídas e apenas três hipóteses foram consideradas para serem analisadas através do estudo de simulação.

**H1** – 2 máquinas GROB a fazer OP110 e 2 máquinas URANE a fazer Gen2

**H2** – 1 máquina GROB + 1 máquina URANE a fazer OP110 e 2 máquinas URANE a fazer Gen2

**H3** – 2 máquinas URANE a fazer OP110 e 2 máquinas URANE a fazer Gen2

Relativamente à concretização deste estudo, optou-se por seguir uma metodologia de trabalho baseada nas etapas de um estudo de simulação, de modo a obter os melhores resultados e encontrar as melhores respostas, no que se refere ao desenvolvimento do projeto. Assim, numa primeira fase definiu-se e caracterizou-se o modo de funcionamento de cada hipótese estudada, de modo a estruturar e desenvolver o modelo conceitual. Após a finalização de cada modelo, seguiu-se um processo de validação juntamente com todos os envolvidos no projeto.

Para dar continuidade a este estudo, foi desenvolvido o modelo lógico para cada uma das hipóteses testadas. Porém, de modo a uniformizar todos os modelos foram consideradas situações idênticas, ou seja, para todas as versões simuladas definiu-se que o rendimento operacional da linha, tal como foi descrito para o tempo de ciclo das máquinas, segue uma distribuição triangular onde o valor contratual é de 90,50%, com uma taxa de variação de 3%. Para além disto, optou-se por definir que o período de simulação seria de um turno de oito horas, o que considerando as paragens previstas na linha, corresponde a 443 minutos. Com o objetivo de obter resultados mais concretos, realistas e com um maior nível de certeza, foram realizadas 25 replicações em cada um dos cenários modelados, uma vez que se considera que os resultados obtidos estejam dentro de um intervalo de confiança de 95%. Dando continuidade à obtenção de melhores resultados, optou-se ainda por definir um *Warmup* de 15 minutos, para todos os modelos, uma vez que neste período ainda não existe material em stock, o que se reflete na taxa de trabalho das máquinas e nos níveis de produção da linha.

Para finalizar, foi feita uma comparação entre as três hipóteses simuladas, tendo como medida de desempenho o número de unidades produzidas. De forma a complementar o estudo, foram ainda analisados os principais motivos que distinguem os níveis de produção em cada cenário, conseguindo realizar uma comparação mais fundamentada e, simultaneamente tendo uma precessão mais realista das dificuldades que podem vir a ocorrer no sistema.

## Hipótese 1

No primeiro cenário a ser desenvolvido definiu-se, logo à partida, que seriam duas das máquinas GROB a realizar a OP110 da diversidade €6DFull, enquanto duas máquinas URANE efetuam todo o processo de maquinação da peça Gen2. Seguidamente, optou-se por fazer uma breve análise ao modo de funcionamento do sistema, com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão na escolha das máquinas mais adequadas a efetuar cada uma das operações.

Assim, ficou definido para a primeira hipótese que as duas máquinas URANE que ficam antes da máquina de lavar fariam a maquinação completa da diversidade Gen2. Esta decisão foi tomada, com o objetivo de facilitar a entrada de brutos no sistema, mas também para diminuir a confusão que poderá vir a existir no transportado. Isto porque, após a finalização da maquinação as peças são colocadas no transportador e ao considerar as máquinas que antecedem o processo de lavagem, é possível diminuir a desorganização que poderá vir a ocorrer, uma vez que só na fase final é que se irão misturar as duas diversidades de peças maquinadas. No que se refere à escolha das máquinas GROB que realizam a OP110, esta relacionou-se na totalidade com questões logísticas, uma vez que estas máquinas têm na sua retaguarda um local de passagem de AGV's, o que facilita o carregamento dos brutos e, para além disso, é o local onde existe maior espaçamento entre máquinas para realizar o processo de descarga. No que se refere, à escolha da máquina GROB que não realiza qualquer tipo de processo, esta foi uma decisão totalmente aleatória e que se pode ser alterada, uma vez que esta escolha, não tem qualquer interferência no desenvolvimento e no processamento do sistema.

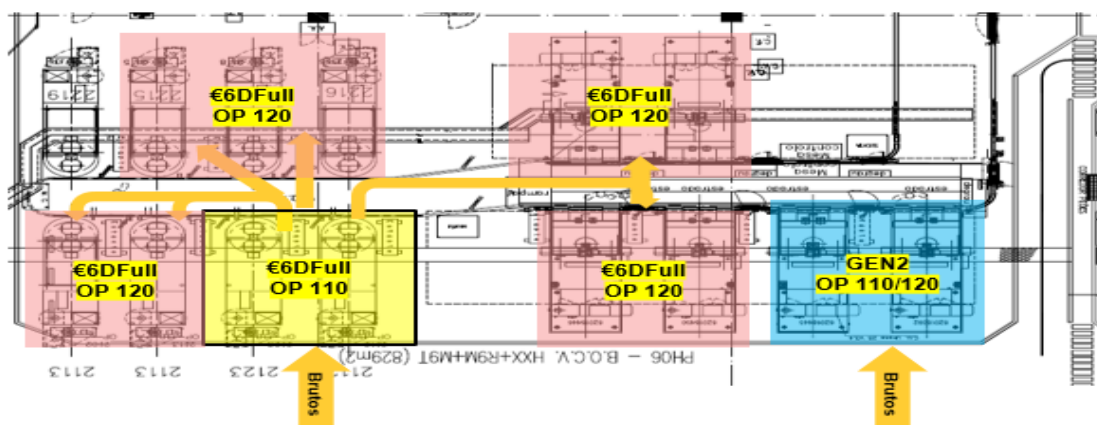


Figura 11 - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H1

Desta forma, o novo modo de funcionamento da linha de maquinação, que contempla a introdução da hipótese 1, é caracterizado numa primeira fase pelo transporte dos brutos (corpos e tampas) através de um AGV. Este transporte é efetuado até às estantes *Karakuri*, localizadas junto das máquinas que realizam a maquinação da Gen2 e a OP110 da peça €6DFull. De seguida, quando os brutos se encontrarem nas estantes, o operador coloca-os nas máquinas correspondentes para ser realizado o processo de maquinação. No caso da diversidade Gen2, após a maquinação dos brutos estar completa, as peças são colocadas pelo operador na paleta do transportador, que segue para o processo de lavagem e secagem. Quanto à diversidade €6DFull,



o operador coloca as peças maquinadas na OP110, em caixas, o que dá origem a um stock intermédio entre processos de maquinação. De seguida, o operador distribui as caixas pelas máquinas que realizam a OP120 e aquando da finalização desta operação, as peças que se encontram completamente maquinadas, são colocadas no transportador para seguirem para a máquina de lavar e consecutivamente para a linha de montagem. Descrito o modelo concetual, seguiu-se uma representação mais estruturada e simplificada do modo de funcionamento do primeiro cenário a analisar.

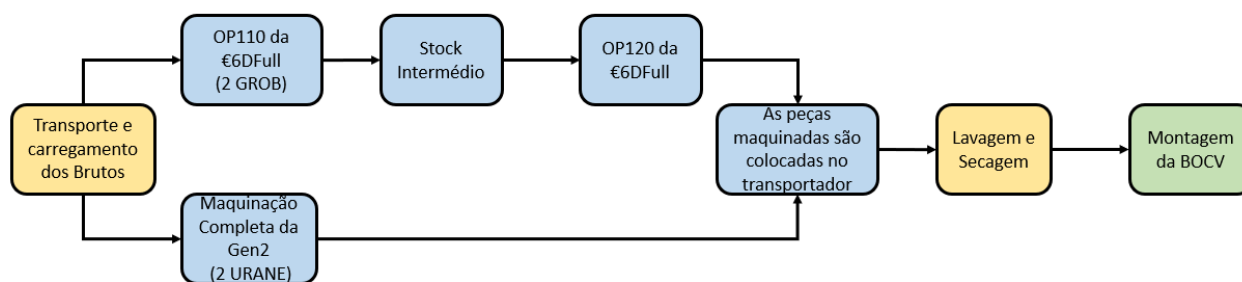


Figura 12 - Modelo Concetual - H1

O modelo concetual, permitiu assim auxiliar e estruturar o desenvolvimento do modelo lógico no *software* de simulação Witness. Assim, a partir do desenvolvimento deste, foi possível definir, numa fase inicial, a necessidade de envolver diferentes elementos na elaboração do modelo lógico (Part, Buffers, Machine, Conveyor, Shift e Variable).

Desta forma, no desenvolvimento e concretização do modelo lógico, foram inicialmente criadas duas diversidades de peças, a Gen2 e a €6DFull. De seguida, foi formulado um stock para cada uma das máquinas que realiza o processo de maquinação de brutos e foi definida uma regra de conexão, que pretende caracterizar o modo de distribuição das peças, pelos respetivos stocks. Posteriormente, foram colocadas no modelo todas as máquinas implicadas no desenvolvimento do sistema, ou seja, as que realizam a maquinação da Gen2, a OP110 e a OP120 da peça €6DFull. Neste caso, para cada uma das máquinas implementadas definiu-se o tempo de ciclo correspondente, tendo em conta a sua distribuição probabilística, mas também o número de unidades a maquinar em cada fase de maquinação. Seguidamente, criaram-se dois stocks que permitem armazenar e distribuir as peças €6DFull maquinadas na OP110, onde o *stock* da direita abastece as máquinas que realizam a OP120 desse mesmo lado e o inverso com o *stock* oposto. Para finalizar, foram criados vários transportadores que se encontram interligados e recebem as peças totalmente maquinadas, transportando-as até a um último transportador que se caracteriza por ser o final do processo de maquinação da BOCV.

Para a concretização de todo este sistema, foi imperativo definir algumas regras lógicas que permitem vincular todos os elementos criados. Existem várias regras que estão disponíveis no *software* Witness, porém as mais utilizadas são as regras *Push/Pull*, *Percent* e *Sequence*. Contudo, estas regras podem tornar-se ineficientes para concretização de um sistema mais complexo, ou seja, nestes casos é necessário criar atributos/condições que permitam através de regras, como

por exemplo o “*if*”, inserir uma lógica de decisão mais complexa e adequada. Neste caso, como o sistema a simular é relativamente simples, as regras utilizadas no desenvolvimento do modelo lógico foram as seguintes:

- **Push/Pull** – Estas regras permitem mover uma peça de cada vez, definindo o ponto de partida e o de chegada. Assim, esta foi a regra mais utilizada no desenvolvimento deste modelo, permitindo interligar as máquinas com os *stocks* existentes, com as peças, com os transportadores, entre outros.
- **Percent** – Esta regra é utilizada para definir a percentagem de peças que se irá deslocar para cada um dos locais de destino seleccionados. Neste caso, optou-se por aplicar esta regra para definir a percentagem de peças a distribuir pelos diferentes *stocks*. Assim, quando as peças chegam ao sistema dividem-se pelo stock de cada máquina numa percentagem de 50%, uma vez que as diferenças entre os tempos de ciclo de cada uma das máquinas são bastante diminutas. Todavia, para os *stocks* intermédios foi definida uma percentagem de 60% para o da esquerda, uma vez que este envia peças para mais uma máquina que o da direita, consequentemente este fica afeto a uma percentagem de 40%.

Para finalizar a construção do modelo lógico, optou-se por criar um elemento *Shift*, para possibilitar a atribuição do rendimento operacional da linha, a cada uma das máquinas representadas no sistema. Para além disto, criaram-se três variáveis que permitem fazer uma contabilização da quantidade de peças maquinadas. Neste caso, a variável OP110 quantifica o número de peças €6DFull que são maquinadas e enviadas para o stock entre maquinações, uma vez que foi criado um contador no *Actions on Output* das máquinas que realizam a OP110. Para além disto, foram criadas duas variáveis que realizam o processo de contagem das peças totalmente maquinadas, *Quantidade\_Gen2* e *Quantidade\_E6DFull*, onde a primeira quantifica as peças que saem das máquinas que fazem o processamento da peça Gen2 e a segunda as peças €6DFull que acabam de ser maquinadas na OP120.

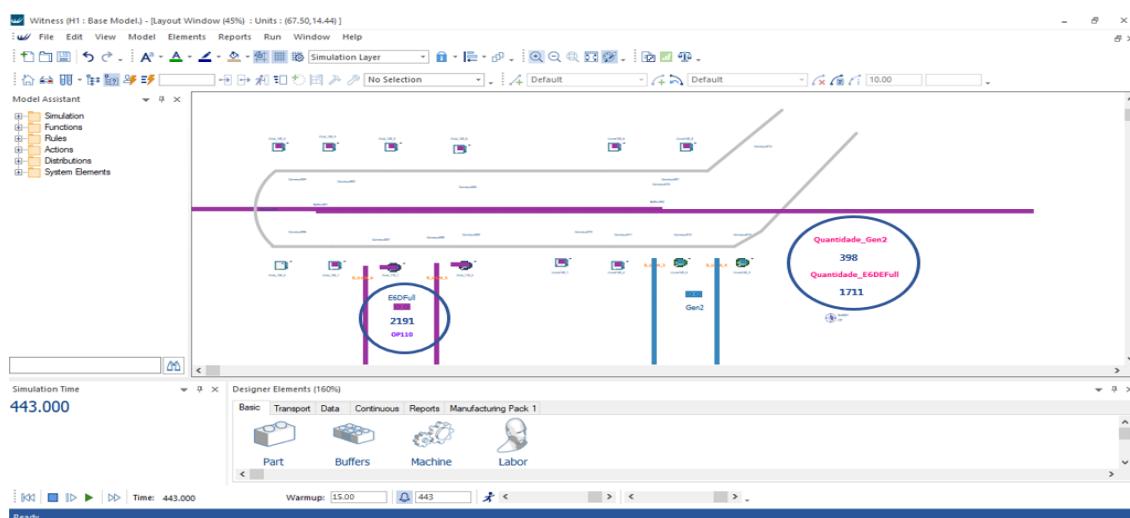


Figura 13 - Modelo de Animação - H1

## Hipótese 2

O segundo cenário que foi desenvolvido, surgiu como uma reformulação da hipótese apresentada anteriormente. Neste caso, as máquinas que realizam a maquinação completa da diversidade Gen2 mantêm-se inalteradas, pelas razões demonstradas anteriormente. Porém, a grande diferença entre estes dois cenários encontra-se nas máquinas que executam a OP110 da peça €6DFull, ou seja, nesta segunda hipótese optou-se por estudar os níveis de produção quando OP110 é efetuada por uma máquina GROB e outra URANE. Assim, a máquina GROB que se localiza mais à direita no cenário 1 manter-se-á a realizar o mesmo processo, enquanto que a URANE escolhida para executar a OP110 é a que se encontra na lateral direita da GROB selecionada. Esta escolha, está relacionada somente com questões logísticas, seguindo o mesmo pensamento e a mesma lógica apresentados no sistema anterior, ou seja, é local onde existe maior facilidade de acessos, o que permite que o carregamento de brutos seja feito de forma dinâmica e com resultados mais eficazes e eficientes.

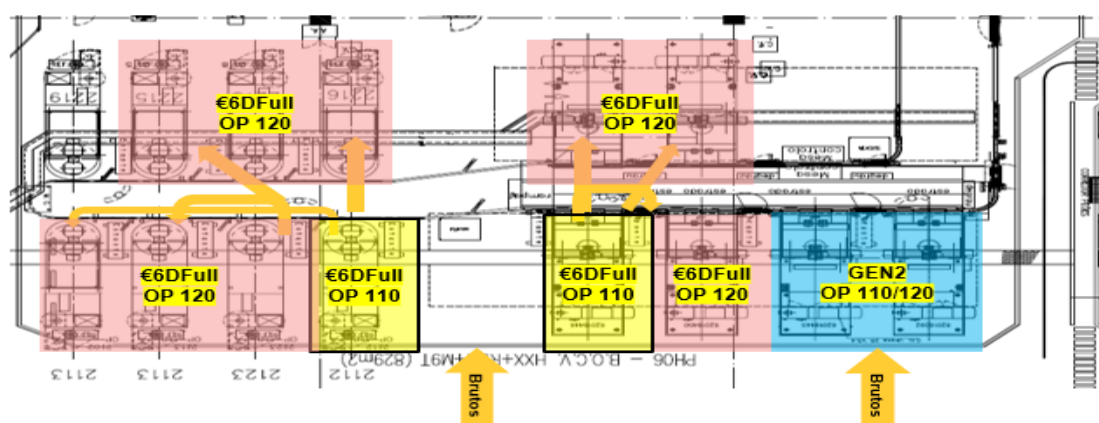


Figura 14 - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H2

Perante esta modificação, tornou-se implícito considerar a alteração de máquinas, que ocorre na OP120, uma vez que acontece o inverso da OP110. Assim, comparando com o primeiro cenário, a segunda operação de maquinação da diversidade €6DFull é realizada com mais uma máquina GROB e, conseqüentemente, menos uma URANE. Desta forma, a análise que se pretendeu fazer com este segundo cenário, esteve relacionada com a capacidade de resposta da linha de maquinação. Portanto, o objetivo desta reformulação foi entender se existem benefícios, em termos de produção, quando se inverte uma das máquinas que realiza cada uma das operações de maquinação.

Relativamente ao processo de desenvolvimento do estudo de simulação, este foi em tudo semelhante ao apresentado anteriormente, uma vez que o modo de funcionamento da linha mantém-se quase inalterado. Assim, numa primeira fase foi construído o modelo concetual, que se caracteriza por ser uma correção do modelo apresentado na hipótese 1, relativamente às máquinas que efetuam cada uma das operações. Desta forma, o modelo lógico seguiu a mesma tendência, havendo apenas uma ligeira alteração na programação das máquinas.

### Hipótese 3

O terceiro cenário que foi analisado através de um estudo de simulação, surgiu com o objetivo de utilizar o transportador como um auxílio no fluxo de peças entre processos de maquinação. Assim, esta foi uma hipótese que se distingue das restantes, em bastantes aspetos, principalmente no modo de funcionamento da linha.

Contudo, no que se relaciona com as máquinas que realizam a maquinação da diversidade Gen2, estas não sofrem qualquer alteração, uma vez que os argumentos apresentados no primeiro cenário continuaram válidos. Relativamente à primeira fase de maquinação da peça €6DFull, esta será executada nas duas máquinas URANE que se encontram junto da linha de montagem. Esta modificação, preconizou um modo de funcionamento da linha bastante díspar dos apresentados nos cenários analisados anteriores. Ou seja, o carregamento dos brutos €6DFull foi alterado, passando a ter uma dificuldade acrescida, uma vez que o AGV é obrigado a passar entre a linha de montagem e a linha de maquinação, para poder descarregar as peças. Contudo, apesar deste ser um transtorno para o sistema, é uma hipótese exequível e que permite potencializar a utilização do transportador na movimentação das peças entre as máquinas que efetuam as diferentes fases de maquinação.

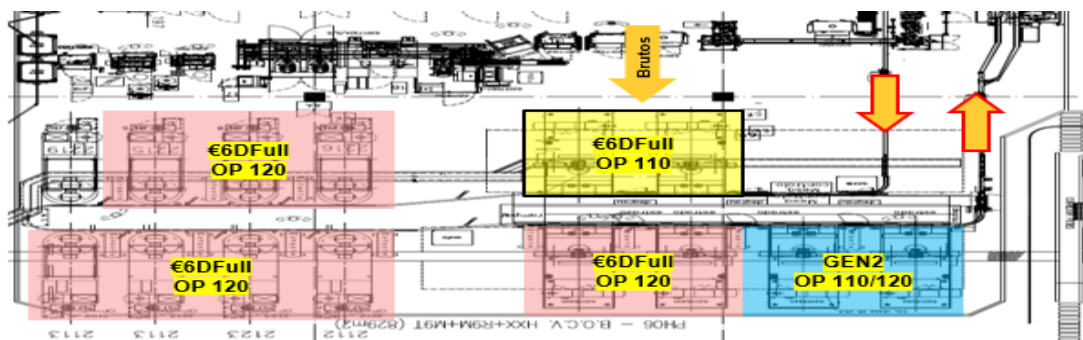


Figura 15 - Modo de Funcionamento da Linha VDOP - H3

Assim, após os brutos serem carregados nas estantes Karakuri, o operador coloca-os na máquina correspondente para a realização da OP110. Quando esta operação estiver finalizada, o operador coloca as peças na palete do transportador e estas seguem para a próxima operação. Neste caso, para que esta situação se torne possível e não haja qualquer confusão entre as peças que se encontram totalmente maquinadas e as que ainda só realizaram a OP110 é necessário colocar um sensor junto de cada máquina, que permita contabilizar o número de peças que passam no transportador. Assim, considerando que na OP120 são maquinadas duas peças em simultâneo e que todas as máquinas que estão a trabalhar têm de receber peças, o sensor de cada máquina ao contabilizar as duas primeiras peças irá dar uma informação ao transportador para este parar. Seguidamente, o operador coloca as peças na máquina e toca numa betoneira para que o transportador volte a trabalhar. Neste momento, o sensor continua a contabilizar as peças e após registar a passagem de mais dezasseis peças, que corresponde à capacidade total das restantes máquinas, irá reiniciar. Estando terminada a OP120, o operador volta a colar as peças, agora totalmente maquinadas, no transportador para seguirem para o processo de lavagem, onde termina a fase de maquinação.

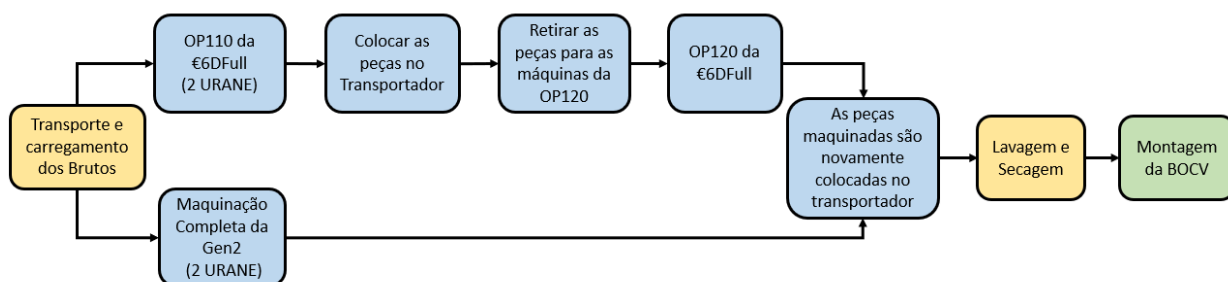


Figura 16 - Modelo Concetual - H3

Após concluído e validado o modelo concetual, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo lógico. Para isso, seguiu-se um processo idêntico ao aplicado no primeiro cenário. Assim, inicialmente foram formuladas no *software* Witness, as duas diversidades de peças, os *stocks* que representam as estantes que recebem os brutos, as diversas tipologias de máquinas e ainda o transportador que se encontra subdivido em vários. Seguindo a tendência das hipóteses já apresentadas, foram utilizadas as regras logicas do *software*, que permitiram vincular os vários elementos presentes no modelo. No entanto, para este cenário, além das regras aplicadas de forma análoga às restantes hipóteses, foi acrescida uma outra que se caracteriza por ser uma das mais utilizadas.

- **Sequence** – Esta regra permite transferir as peças seguindo uma ordem lógica e cíclica, ou seja, o *software* seleciona o primeiro elemento da lista até que o número de itens definido tenha sido transferido e assim consecutivamente até ao final do último elemento transferido, onde se volta a iniciar todo o processo. Assim, devido a esta funcionalidade, utilizou-se esta regra para representar o trabalho feito pelos sensores. Portanto, as primeiras duas peças seguem para a máquina que se encontra junto do transportador selecionado e as dezasseis peças seguintes são enviadas para o próximo transportador.

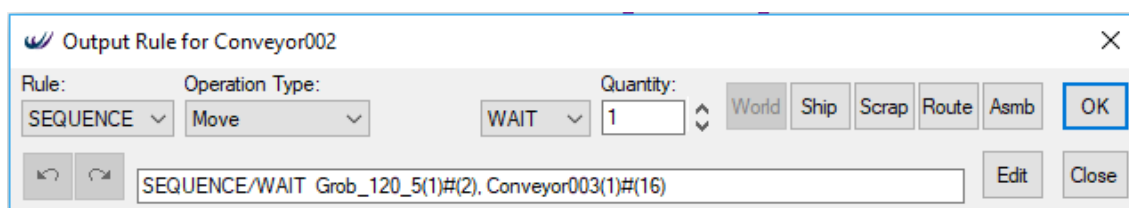


Figura 17 - Exemplo na Utilização da Regra Sequence

Para o desenvolvimento deste modelo, ao inverso dos restantes, não foi necessário criar um contador que permitisse contabilizar a quantidade de peça que vão para o stock intermédio, uma vez que estas se deslocam diretamente para o transportador. Porém, continuou a ser fundamental contabilizar o número de peças totalmente maquinadas em cada diversidade. Assim, através dos valores obtidos pelos contadores, juntamente com os resultados adquiridos pelo *software* para a taxa de utilização das máquinas, tornou-se possível realizar uma análise comparativa das três hipóteses desenvolvidas e apresentadas. Desta forma, de seguida será apresentada a análise efetuada e serão retiradas as conclusões sobre a aplicação das várias hipóteses na linha de maquinação das BOCV.

#### 4.1.3. Análise e Discussão dos Resultados

O desenvolvimento deste estudo surgiu com o objetivo de analisar três cenários distintos na produção de BOCV, numa linha existente na Renault Cacia, considerando que esta irá produzir uma nova diversidade de produto. Desta forma, a meio do próximo ano, pretende-se atingir um nível de produção semanal que ronda as 36.000 bombas de óleo, onde 80% serão €6DFull e 20% Gen2. Assim, considerando estes valores de produção e que as três simulações realizadas tiveram por base o trabalho de um turno, os objetivos para este período de tempo rondam as 1.200 bombas €6DFull e as 300 Gen2. Portanto, sendo o objetivo de produção, a grande prioridade para a organização, tornou-se fundamental analisá-lo numa primeira fase, de modo a verificar se alguma das hipóteses testada se encontrava fora deste patamar, sendo excluída, logo à partida.

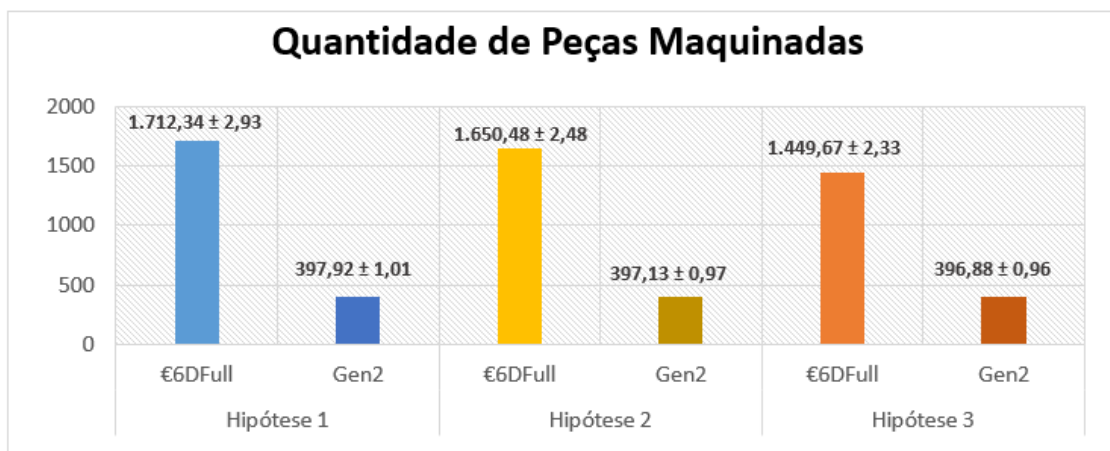


Figura 18 - Quantidade de Peças Maquinadas em cada Hipótese

Segundo os resultados obtidos através da análise no *Witness Experimenter* dos contadores criados, todos os cenários testados superaram o objetivo inicial, sendo este um dado positivo para a organização, uma vez que existe uma margem de segurança para possíveis falhas que possam ocorrer no sistema. No entanto, apesar desta realidade tornou-se preponderante analisar as diferenças que existem na quantidade de peças produzidas, entre cada uma das hipóteses estudadas. Assim, foi possível identificar e analisar as eventuais dificuldades que podem estar relacionadas com o modo de funcionamento do sistema, o que consequentemente facilitou a tomada de decisão relativamente ao cenário mais exequível e com mais benefícios para a organização.

Desta forma, fazendo a comparação entre as três hipóteses, relativamente ao número de unidades produzidas durante um turno, observou-se que os níveis de produção da diversidade Gen2 mantém-se constantes, seguindo a tendência do modo de funcionamento da linha. Contudo, a produção de peças €6DFull varia gradualmente entre os diferentes cenários. Neste caso, a primeira hipótese é a que apresenta melhores resultados, seguindo-se o segundo cenário e inevitavelmente os piores resultados foram obtidos na última hipótese testada.

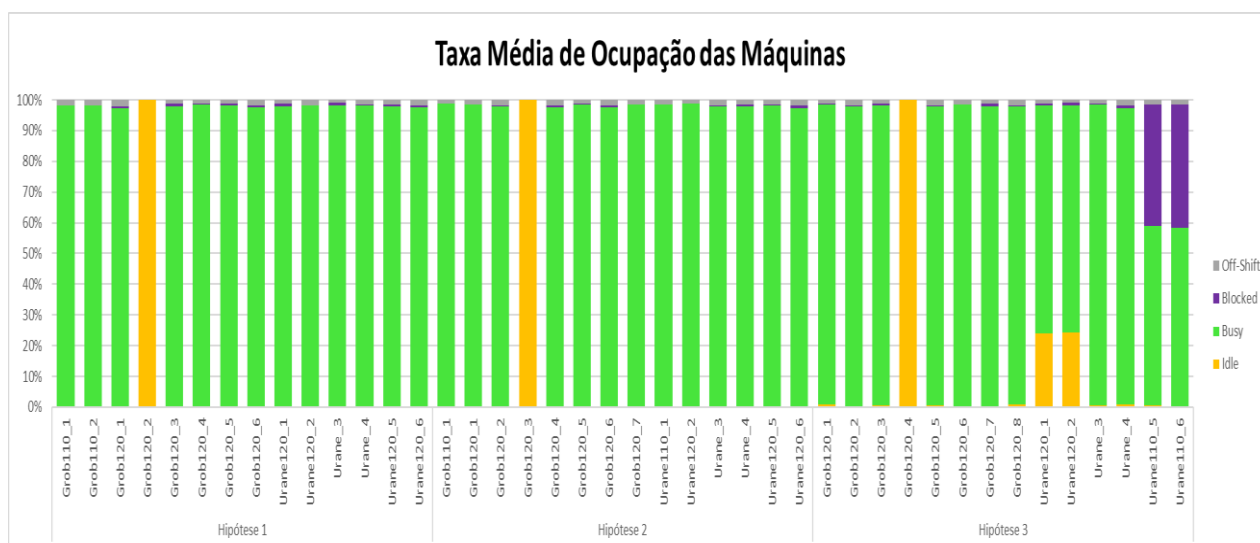
Relativamente à análise realizada para compreender a disparidade de resultados entre as duas primeiras hipóteses, optou-se por fazer uma primeira observação à quantidade de peças €6DFull que se desloca para o stock intermédio, uma vez que apenas estes dois cenários contemplam este parâmetro.

**Tabela 4 - Número de Peças Enviadas para Stock Intermédio - H1|H2**

Número de Peças enviadas para o Stock Intermédio	
Hipótese 1 - 2 máquinas GROB a fazer OP110	2.190,14 ± 3,53 Peças
Hipótese 2 - 1 máquina GROB + 1 máquina URANE a fazer OP110	2.468,66 ± 3,24 Peças

Neste caso, os resultados obtidos denotam que na primeira hipótese foram enviadas menos peças para o stock entre fases de maquinação da peça €6DFull. Assim, perante estes resultados, analisou-se as possíveis causas desta diferença, ou seja, tentou-se entender o que distingue estes dois cenários, que proporcione tal diferença nos resultados. Desta forma, pode concluir-se que como a máquina URANE tem um tempo de ciclo menor, irá maquinar um maior número de peças na OP110. Contudo, simultaneamente a máquina GROB, que passa a realizar a segunda operação de maquinação, tem um tempo de ciclo superior, ou seja, apesar de existirem mais peças maquinadas na OP110, depois não existe capacidade de resposta da OP120, o que leva a que haja mais peças no *stock* intermédio e, conseqüentemente menos peças produzidas.

Contudo, apesar desta análise, optou-se ainda por estudar a taxa de ocupação das máquinas implementadas no sistema, com o objetivo de verificar a existência de variabilidade entre as várias hipóteses.



**Figura 19 - Taxa Média de Ocupação das Máquinas para cada Hipótese**

Tendo em conta os resultados obtidos para a taxa de ocupação das máquinas, observou-se que tal como está descrito no modo de funcionamento das linhas, existe uma das máquinas no sistema que se encontra parada em todas as hipóteses simuladas. Para além disto, a cada máquina está associado o rendimento operacional da linha, ou seja, uma taxa de paragens relacionadas com a mudança de ferramenta das máquinas, o que representa uma diminuição na taxa de trabalho.

Todavia, segundo esta representação pode analisar-se que não existem diferenças significativas entre as duas primeiras hipóteses. Contudo, é no terceiro cenário que subsiste uma maior disparidade de resultados, isto porque quatro das máquinas que estão aplicadas no sistema têm uma menor taxa de trabalho, devido a paragens e bloqueios. Portanto, com o objetivo de identificar e perceber os motivos das paragens não previstas destas máquinas, analisou-se a animação da simulação e verificou-se em que momentos específicos é que estas máquinas não se encontravam a trabalhar.

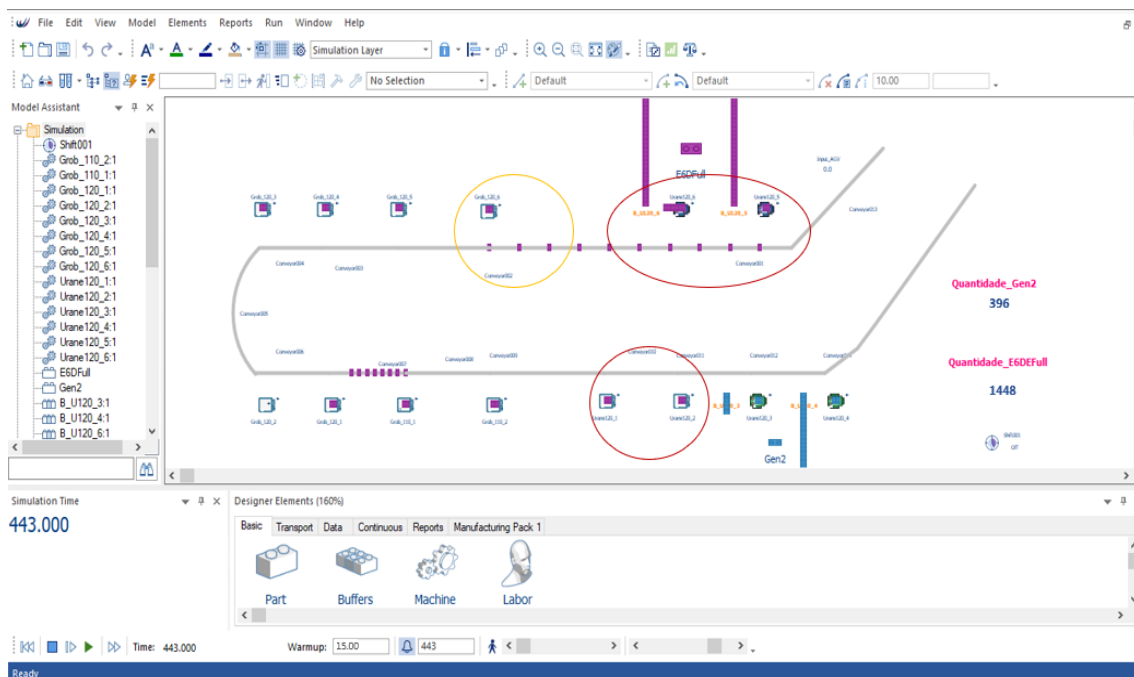


Figura 20 - Análise ao Modelo de Animação - H3

Assim, após estar finalizada esta análise, pode identificar-se os principais pontos críticos, que proporcionam a paragem das máquinas e logo menores níveis de produção. O primeiro fator está relacionado com as duas máquinas URANE que executam a OP110 da peça €6DEFull e que em determinados períodos de tempo ficam bloqueadas. Esta circunstância ocorre devido à sobrelotação do transportador, isto porque as peças já maquinadas na OP110 ficam à espera que a primeira máquina GROB acaba de finalizar a segunda operação de maquinação, ocupando na totalidade o transportador e não permitindo que as máquinas URANE continuem a debitar peças.



O segundo fator que tem influência no decréscimo da produção deste último cenário, está relacionado com a paragem devido a falta de peças das duas máquinas URANE que realizam a OP120. Isto acontece, porque as máquinas URANE tem um tempo de ciclo inferior ao das GROB, ou seja, enquanto as peças ficam no transportador à espera que a última máquina GROB acabe de efetuar o segundo processo de maquinação, as duas URANE terminam o processo que estavam a realizar, ficando à espera da chegada de novas peças.

Desta forma, pode concluir-se que apesar dos resultados obtidos, para o nível de produção de todas as hipóteses simuladas, estarem dentro dos objetivos pretendidos, existem debilidades associadas a cada um dos cenários. Relativamente ao primeiro estudo efetuado, este foi o que apresentou um maior nível de segurança em termos produtivos, contudo a utilização do stock intermédio pode tornar-se uma dificuldade em termos de fluxo de material na linha. A segunda hipótese estudada foi a que apresenta maiores inconvenientes, uma vez que tal como no cenário anterior, poderão existir dificuldades associadas ao fluxo de material e, para além disso acresce o facto de existir um menor número de peças produzidas. Por sua vez, o terceiro cenário foi o que revela maiores debilidades em termos produtivos, no entanto a utilização do transportador é um grande benefício em termos logísticos, uma vez que não existe um stock entre operações. Contudo, apesar desta ser uma vantagem, existem custos associados aos sensores que terão de ser aplicados no transportador, o que poderá dificultar a implementação deste cenário.

Finalizado todo o processo de análise e discussão dos resultados, as conclusões obtidas através do estudo de simulação, foram apresentadas a todos os envolvidos no processo, com o objetivo de auxiliar o processo de tomada de decisão, relativamente ao cenário a aplicar no sistema. Assim, foi com a colaboração da ferramenta de simulação que se determinou que a hipótese a implementar seria a H1, uma vez que é a que traz mais garantias à organização em termos produtivos, sendo a solução com maior fiabilidade e caso venha a ser necessário aumentar os níveis de produção, haja uma maior grau de segurança.

Assim, com este primeiro estudo de simulação, foi possível analisar algumas das vantagens que a aplicação do *software* Witness pode vir a proporcionar na Renault Cacia. Ou seja, com a aplicação desta ferramenta na reestruturação de uma linha existente na organização, pode observar-se a importância no auxílio das tomadas de decisão. Isto porque, uma das grandes vantagens desta ferramenta é a possibilidade de obtenção de resultados através de valores concretos, o que permite fazer uma análise mais detalhada e realista. Para além disto, um dos grandes benefícios está associadas à possibilidade de analisar vários cenários, sem que haja qualquer intervenção no sistema real, poupando tempo e dinheiro. Agregado a esta situação, junta-se o facto de existir a possibilidade de analisar o modo de funcionamento do sistema através da animação desenvolvida *no software*, o que possibilita que pessoas que não estejam familiarizadas com a ferramenta consigam observar e analisar a dinâmica do sistema. Assim, através deste estudo foi possível divulgar as potencialidades da simulação, difundindo na organização o auxílio que o *software* Witness pode ser para os processos de tomada de decisão.

## 4.2. Estudo de Simulação – Caixa Diferencial DB35

A Renault Cacia produz desde 1981, caixas de velocidades para veículos particulares e utilitários de diferentes modelos da gama Renault, Dacia e Nissan. Ao longo do tempo, esta atividade tem vindo a crescer, transformando-se numa das prioridades para esta organização. Atualmente, esta empresa está envolvida num período de reestruturação, com o objetivo de abarcar a implementação de dois novos grandes projetos, que terão um grande impacto no setor das caixas de velocidades, uma vez que se prevê grandes volumes de produção para ambos os projetos.

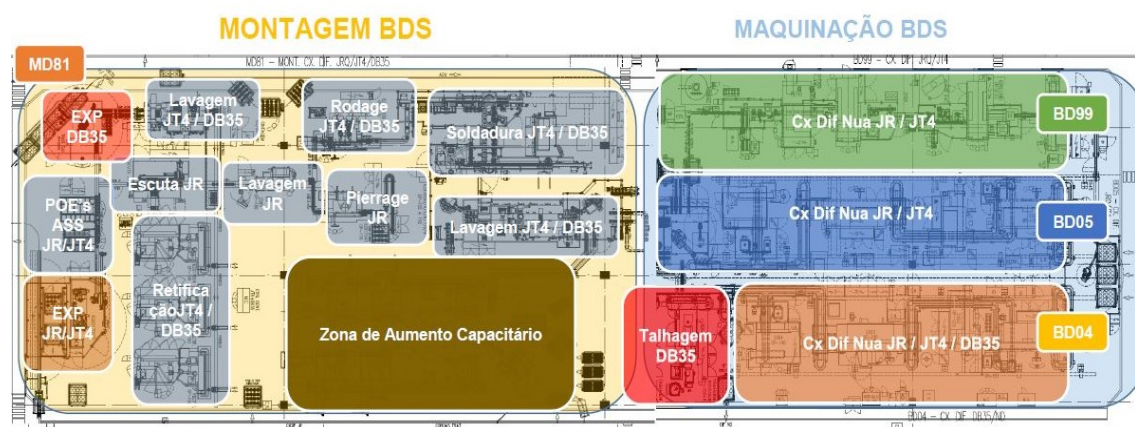
Assim, o principal projeto que envolve esta organização está relacionado com a produção da nova caixa de velocidade JT4, uma caixa de seis velocidades que virá substituir a caixa JR de apenas cinco velocidades, tendo em consideração um processo *ramp-up*. Este projeto será desenvolvido na integra em Cacia, ou seja, os vários componentes que estão envolvidos na constituição da caixa de velocidades, como por exemplo a árvore primária e secundária, a caixa diferencial, o cárter de distribuição e o cárter de embraiagem, são maquinados na totalidade em linhas de maquinação próprias e de seguida transportados para a linha de montagem onde se finaliza todo o processo.

Aliado a este projeto, está em curso um outro, que envolve a produção da caixa diferencial DB35. A caixa diferencial é um dos componentes que integra a caixa de velocidades e tem como objetivo auxiliar a desmultiplicação das velocidades, e conseqüentemente transmitir essa informação às rodas do veículo. Este componente encontra-se dividido em duas partes, a caixa diferencial nua e a coroa do diferencial, que são montadas através de um processo de soldadura, dando origem aquilo que é denominado por caixa diferencial. O novo projeto da DB35, terá como objetivo realizar na Renault Cacia a maquinação completa das duas peças que envolvem a caixa diferencial, mas também efetuar a soldadura através de um processo inovador baseado em reações químicas. Após, finalizado este processo, as peças são embaladas e enviadas para outra fábrica do Grupo, para ultimar o processo de montagem da caixa diferencial e para que esta seja integrada numa caixa de velocidades híbrida.



Figura 21 – Posicionamento e Constituição da Caixa Diferencial

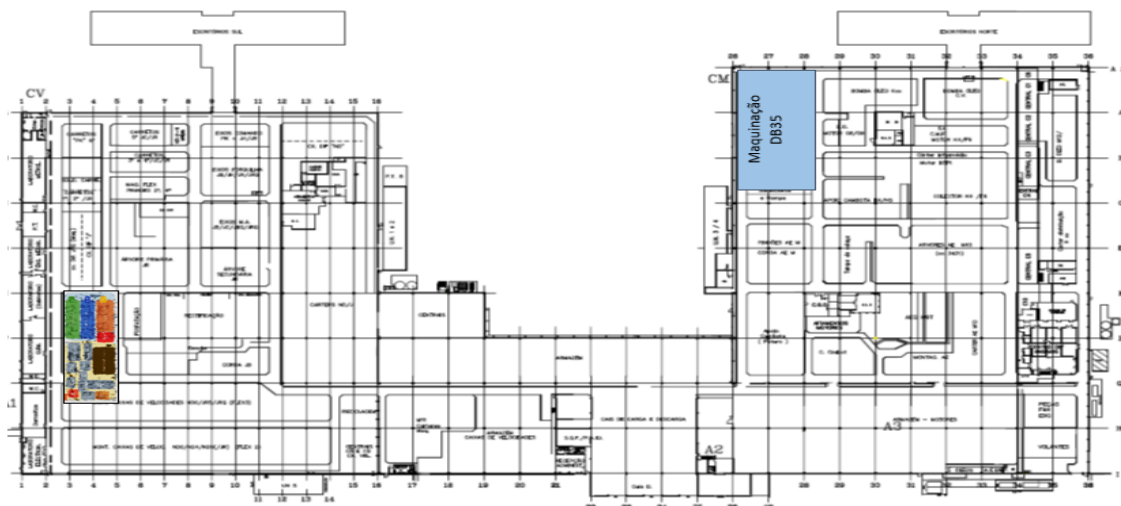
Atualmente, encontra-se implementada na Renault Cacia a linha MD81, responsável pela produção da caixa diferencial. Esta linha encontra-se dividida em duas fases, a de maquinação e a de montagem. A fase de maquinação é composta por três linhas idênticas, que realizam diversas operações de torneamento e desbaste. Nesta fase, como ainda não existem grandes volumes de produção para a caixa diferencial JT4 e para a DB35, tem-se conciliado a produção das três diversidades. Ou seja, as três linhas de maquinação encontram-se preparadas para maquinar tanto JR como JT4 e a linha BD04 integra ainda a maquinação da caixa diferencial DB35. Esta última diversidade, distingue-se no facto de necessitar de um processo de talhagem para se encontrar totalmente maquinada. Após estar finalizada a maquinação, as peças seguem para o processo de montagem onde se integram várias tarefas, de entre as quais se evidencia a soldadura.



*Figura 22 - Representação Atual da Linha MD81*

No futuro, com o aumento dos níveis de produção, esta linha deixa de ser capacitária. Assim, torna-se fundamental reestruturar o sistema, para isso será perentório criar e desenvolver novas linhas, que permitam corresponder aos objetivos dos projetos. Desta forma, pretende-se que em 2021 existam três linhas a realizar a maquinação da caixa diferencial JT4, duas linhas para a maquinação da DB35, bem como duas linhas de montagem que tenham a capacidade de integrar estas duas diversidades. Portanto, para concretizar este objetivo, a organização definiu numa primeira fase, que as linhas de maquinação já existentes passam a dedicar-se a 100% à diversidade JT4, mas também que a zona de aumento capacitário, vai ser aproveitada para que seja desenvolvida uma nova linha de montagem. Contudo, a segunda fase implicou uma decisão mais complexa e onde, conseqüentemente surgiram diversas questões. Isto porque, é necessário criar uma nova linha na Renault Cacia, que realize a maquinação da caixa diferencial DB35. No entanto, como a área das caixas de velocidades já se encontra totalmente lotada, a única solução encontrada foi desenvolver esta nova linha na área dos componentes motores. Todavia, esta mudança leva, inevitavelmente a uma grande reestruturação da empresa, uma vez que a fase de montagem vai continuar a ser realizada no mesmo local.

Assim, perante todas estas mudanças e com o objetivo de auxiliar a estratégia de reestruturação, optou-se por desenvolver um estudo de simulação, baseado nas várias etapas propostas por (Law & Kelton, 1991), que é apresentado de seguida.



*Figura 23 - Localização da Linha de Montagem e da Futura Linha de Maquinação da Caixa Diferencial DB35*

#### **4.2.1. Formulação do Problema e Planejamento do Estudo**

Perante as mudanças organizacionais que têm vindo a ocorrer na Renault Cacia, existiram decisões que inevitavelmente tiveram de ser tomadas. Desta forma, sendo o objetivo de qualquer empresa o aprimoramento dos seus processos de negócio, o que se pretendeu com este estudo foi anteciper a implementação física do sistema, analisando e definindo várias questões que ainda se encontravam em aberto. Assim, foi possível auxiliar todo o processo de tomada de decisão e, conseqüentemente aperfeiçoar o sistema em estudo, prevenindo as possíveis falhas e posteriores modificações.

Contudo, inicialmente foi essencial definir o problema e o sistema a ser simulado, de modo a estruturar e planificar o estudo, logo à partida. Assim, juntamente com toda as partes interessadas, definiu-se que o grande problema, do cenário apresentado anteriormente, estava relacionado com a criação de uma linha bastante desafiante e complexa, principalmente a nível da logística interna da organização. Isto porque, tem de existir uma grande coordenação entre a fase de maquinação da caixa diferencial DB35 e a fase de montagem, uma vez que existe um grande percurso a efetuar, entre estas duas linhas. Para além disto, subsistiram outras questões que foram definidas, analisadas e solucionadas, para que o sistema se tornasse mais dinâmico e com melhores resultados.

Assim, após ser analisada uma das grandes modificações que acontecerá na organização e que, conseqüentemente tornou-se o tema central do estudo de simulação, devido às questões e aos problemas que estão inevitavelmente associados à criação de uma nova linha de produção, foram definidas as fronteiras do sistema a estudar. Portanto, determinou-se que o estudo iria abranger todo o processo de maquinação da caixa diferencial DB35, ou seja, desde a entrada dos brutos na linha de maquinação até à chegada na linha de montagem, o que significa que também a fase de transporte foi incluída na análise, visto ser um dos pontos críticos deste sistema.

Desta forma, tendo em conta as inúmeras incertezas associadas à implementação deste novo sistema, pretendeu-se através do estudo de simulação, dar resposta às principais questões relacionadas com esta reestruturação. Portanto, no final desta análise, foram vistas definidas as seguintes indeterminações:

- O Stock entre a maquinação e a talhagem;
- O número de AGV's necessários para realizar o transporte entre as duas linhas;
- O Stock existente no final do processo de talhagem.

Todavia, tornou-se fundamental determinar as medidas de desempenho, que permitiram distinguir e avaliar dinamicamente os diferentes cenários, que poderão ser aplicados no sistema real. Assim, tendo em conta os objetivos do estudo de simulação, bem como todas as inerências associadas ao sistema que foi simulado, definiu-se como medidas de desempenho, os seguintes pontos:

- Número de unidade produzidas;
- Lead Time do processo;
- Tempo de ciclo;
- Taxa média de utilização das máquinas/transportador.

Para além de tudo isto, por todas as razões apresentadas anteriormente, definiu-se que o *software* de simulação a utilizar, neste estudo, seria o Witness. Assim, realizado o primeiro enquadramento e a definição dos objetivos que se pretendiam ver concretizados, através do estudo de simulação, passou-se para a próxima etapa, de forma a dar continuidade a todo o processo.

#### **4.2.2. Recolha de Dados e Definição do Modelo Concetual**

Nesta fase, o objetivo central passou por desenvolver o modelo concetual. Para isso, foi fulcral conhecer e analisar todas as particularidades do sistema, para que este estudo contemplasse uma recolha de dado mais eficiente e eficaz, bem como a obtenção de resultados mais conclusivos e realistas. Desta forma, para além da observação direta à linha, que atualmente realiza a maquinação da caixa diferencial DB35, optou-se por junto com o *Concepteur Système Industriel*, que tem a seu cargo a realização da implantação da nova linha, perceber a forma como foi idealizado o modo de funcionamento deste novo sistema. Ou seja, uma vez que a linha estudada, ainda não se encontra fisicamente na organização, o processo de recolha de dados teve em conta dois aspetos, a linha que neste momento realizada o processo, visto existirem diversas semelhanças, mas também todos os dados e valores que já se encontravam totalmente definidos e validados para o funcionamento desta nova linha. Assim, com o intuito de se conseguir obter uma representação clara e assertiva do sistema real, inicialmente foi analisado o modo de funcionamento proposto para a linha a estudada, o que permitiu identificar com maior precisão os dados que deveriam ser recolhidos e aplicados no modelo.

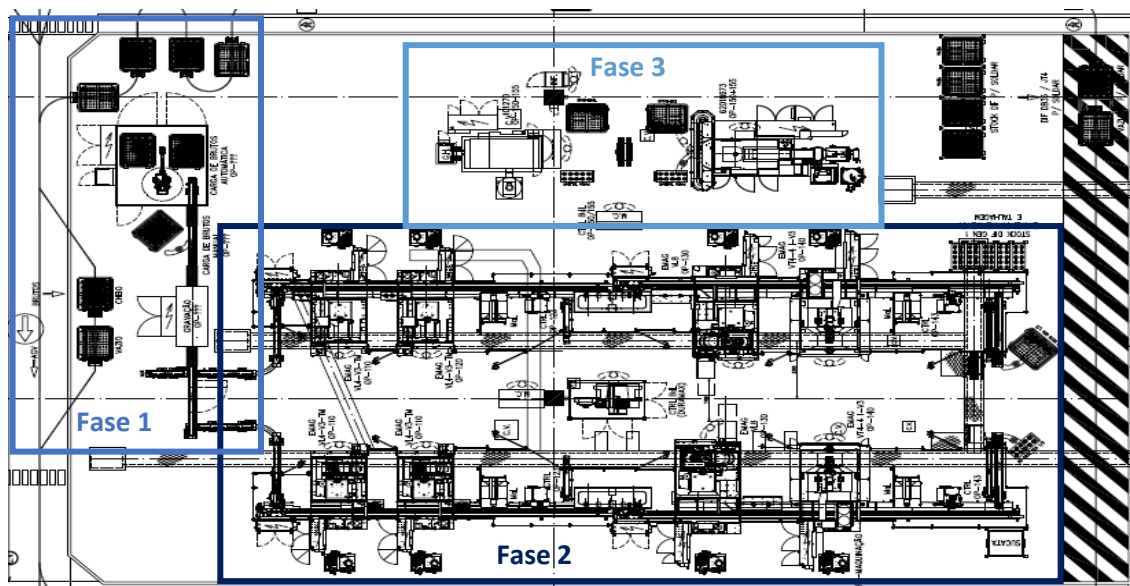


Figura 24 - Implantação da Nova Linha de Maquinação da Caixa Diferencial DB35

Desta forma, perante a implantação que se encontrava validada para a construção da nova linha de maquinação da caixa diferencial DB35, tornou-se importante evidenciar que o sistema simulado, encontra-se dividido em três fases primordiais. Portanto, a primeira etapa contempla a recessão das peças em bruto na linha, ou seja, a caixa diferencial nua é transportada através de um AGV e de seguida descarregada automaticamente do contentor de brutos, a partir de um sistema *Bin Picking*. Em seguida, com a colaboração de um braço robotizado, as peças seguem para o sistema de marcação automática de *datamatrix*, que tem como objetivo identificar cada uma das peças e assim possibilitar a realização da traçabilidade. Portanto, após estar finalizado o ciclo de marcação automática, as peças seguem através de um transportador para a segunda fase do processo.

Relativamente à etapa intermédia, esta caracteriza-se por ser a base do sistema, uma vez que é nesta fase que se realizam as principais operações de maquinação. Desta forma, com o objetivo de aumentar a capacidade do sistema e atingir os níveis de produção desejados, foram idealizadas duas linhas paralelas e totalmente simétricas, que realizam as várias operações de torneamento, desbaste e de controlo, tal como está sintetizado no Anexo 1. Assim, a partir da primeira operação de maquinação, a OP110, o transporte das peças e o carregamento das sucessivas operações é realizado automaticamente através de transportadores, pórticos e manipuladores. Contudo, existem ainda duas máquinas entre linhas que realizam o controlo de determinadas peças, segundo regras previamente definidas.

Após a OP143, a caixa diferencial maquinada DB35 é descarregada manualmente pelo operador e acondicionada num contentor, para dar seguimento à última fase do processo. Esta contempla duas máquinas que realizam a operação de talhagem, bem como uma máquina de controlo bordo de linha. No entanto, existe uma particularidade que afeta esta etapa, uma vez que as peças depois de serem talhadas ficam com resíduos de óleo, o que prejudica o processo de soldadura, caso este não seja realizado num curto espaço de tempo. Portanto, para minimizar esta

questão, definiu-se que a fase de talhagem só funcionaria consoante as necessidades da linha de montagem. Todavia, para que isto se torne totalmente exequível e com o objetivo de diminuir as situações de falta de peças, foi importante criar dois stocks intermédios. Assim, um dos stocks foi aplicado entre a maquinação e a talhagem, para que quando surja um pedido da linha de montagem, a fase da talhagem consiga iniciar o trabalho, sem que a etapa da maquinação esteja a executar o processo. Isto, enquanto o segundo stock entre a talhagem e a montagem, surgiu com o objetivo de permitir que os AGV's, que realizam o transporte entre linhas, consigam concretizar o seu trabalho continuamente e ciclicamente.

Assim, após a realização de uma análise geral ao modo de funcionamento da nova linha, prosseguiu-se para a recolha de dados, que foram utilizados na construção do modelo lógico. Para isso, organizou-se a seguinte lista com os dados que tiveram de ser recolhidos e analisados:

- A quantidade e a forma como os produtos são abastecidos na linha;
- A capacidade e a velocidade dos transportadores;
- As máquinas que estão afetas ao sistema;
- A quantidade de peças que cada máquina consegue processar em simultâneo;
- O tempo de ciclo de cada máquina;
- O tempo de paragem que está previsto para as máquinas (mudança de Rafale);
- Paragens não previstas;
- A forma como as peças são controladas;
- A taxa de produtos rejeitados;
- O horário de funcionamento da linha;
- O horário de trabalho dos operadores, incluindo paragens;
- Alocação dos operadores;
- Distâncias e tempos de deslocação;
- A produção planeada.

Como referido anteriormente, o processo analisado inicia-se com o abastecimento à linha, da caixa diferencial nua DB35, tendo em conta as necessidades da linha de montagem. Contudo, uma vez que, ainda não existe uma definição concreta para as imposições reais do processo de montagem, optou-se por definir o abastecimento para os momentos em que as linhas estão a funcionar de forma sincronizada e continua. Assim, tendo em conta este período, a nova linha é abastecida a uma frequência de 3 horas, através de um AGV que transporta um contentor com 224 peças prontas a serem trabalhadas.

Toda esta linha é caracterizada por ser bastante automática, funcionando continuamente e com raras interferências dos operadores, até ao final da segunda fase do processo. A esta conjuntura, deve-se a existência e a coordenação de vários transportadores, onde se realça a presença dos AGV's e dos tapetes. Relativamente aos AGV's, estes estão presentes na entrada e na saída de peças da linha, transportando contentores com 224 peças a uma velocidade média de 15 m/mim. Por outro lado, os tapetes são a grande essência deste dinamismo e de toda a autonomia da linha, uma vez que permitem interligar a grande maioria das operações existentes

em todo o processo de maquinação. Dependendo do seu posicionamento, a dimensão do tapete alterar-se, no entanto nunca deverá exceder a capacidade das 15 peças. Para além disto, a velocidade do tapete também pode variar, todavia como ainda não existia uma definição clara e concisa sobre estes valores, foi definida uma velocidade que permitiu abranger o pressuposto de que o tapete nunca pode ser o tampão do sistema.

Apesar das vantagens dos transportadores, a performance do sistema está inevitavelmente relacionada com as máquinas que se encontram afetas ao processo e que permitem desenvolver o produto com as características desejadas. Desta forma, tornou-se importante referir que o sistema em análise caracteriza-se por ter em funcionamento um total de 19 máquinas, três das quais se encontram em bordo de linha. Neste caso, todas estas máquinas têm apenas a capacidade de processar uma peça por ciclo, o que de certa forma exige que tanto a fase dois como a fase três do sistema tenham duas máquinas a realizar a mesma operação. Outro dos fatores que tem influência na duplicação dos recursos, está relacionado com o tempo de ciclo de cada uma das máquinas.

O tempo de processamento de cada operação não é totalmente estável, o que de certa forma faz denotar alguma variabilidade no sistema. Assim, com o objetivo de tornar o modelo de simulação mais realista, optou-se por associar uma distribuição de probabilidade ao tempo de ciclo de cada máquina. Para isso, seguiram-se dois processos distintos, ou seja, para as máquinas que realizam a OP110, OP120, OP130, OP140 e uma das talhadoras que realiza a OP150, foi utilizada uma distribuição triangular, tendo em conta o valor contratual de cada máquina e o histórico na organização sobre a taxa de variação dos recursos com a mesma funcionalidade e do mesmo fornecedor, como sintetizado na Tabela 5. Por outro lado, como nas restantes operações as máquinas que estão implementadas na linha que atualmente realiza a maquinação da caixa diferencial DB35, são em tudo idênticas às da nova linha, optou-se por recolher 25 amostras durante o normal funcionamento da linha e considerando diferentes dias de produção, para de seguida se utilizar uma funcionalidade do Witness, que permite identificar a distribuição que melhor se ajusta aos dados recolhidos. Assim, a distribuição de probabilidade que ficou afeta ao tempo de ciclo de cada operação, encontra-se compilada no Anexo 2.

*Tabela 5 - Recursos Associados ao Tempo de Ciclo Contratual / Taxa de Variação*

<b>Operação</b>	<b>Quantidade de Recursos</b>	<b>Tcy Contratual (min)</b>	<b>Taxa de Variação</b>
OP110	2	1,31	9 %
OP120	2	1,52	9 %
OP130	2	1,30	9 %
OP140	2	1,55	9 %
OP150	1	1,61	11 %



Relativamente às paragens previstas na linha, estas estão associadas à mudança de *Rafale*, ou seja, os tornos que realizam a OP110, OP120, OP130 e OP140 são compostos por umas pastilhas que tem como função fazer o desbaste da peça, no entanto em simultâneo também elas se deterioram tendo de ser trocadas com uma certa frequência. Desta forma, contabilizou-se este período de mudança de ferramenta como uma paragem prevista, que sucede uma vez por turno e que demora cerca de 15 minutos por cada máquina. Todavia, apesar de existirem situações que são programadas, há sempre imprevistos que obrigam as linhas a parar, o que inevitavelmente prejudica a produção. Neste caso, como a linha ainda não existe fisicamente, não foi possível recolher dados históricos sobre as paragens não previstas, no entanto tornou-se relevante ter sempre em atenção esta situação aquando da análise dos resultados, uma vez que estes podem sofrer uma certa variação.

Outro fator que foi bastante importante ter em consideração, durante o desenvolvimento do modelo de simulação, teve a ver com controlo de qualidade realizado durante todo o processo de maquinação. Para isso, existem duas operações, a OP123 e a OP143, que estão integradas na segunda fase do processo e tem como objetivo fazer a verificação integral de todas as peças que estão no incurso do sistema. Portanto, o que se pretende é analisar e conferir que todas as peças maquinadas estão dentro dos parâmetros de qualidade desejados, caso isto não aconteça, as peças são retiradas do sistema e levadas para uma posterior análise, que pretende apurar as possíveis causas do problema.

Para além destas operações de verificação, existem ainda mais três postos que permitem fazer um controlo de qualidade mais específico e minucioso, a determinadas peças que se encontram no sistema. Ou seja, existe um primeiro posto intitulado de controlo bordo de linha e um segundo posto que é composto por uma máquina denominada de Duramax, que são utilizados para analisar as peças de ambas as linhas que compõem a segunda fase do processo. Neste caso, o que sucede é que, após a maquinação da peça 50 na OP110, esta será levada pelo operador para o controlo bordo de linha e o mesmo faz a análise à peça, caso esta se encontre conforme, segue para OP120, onde será novamente maquinada e levada pelo operador para um novo controlo. Portanto, esta verificação ocorre de 50 em 50 peças e a peça que é analisada após a OP110 é a mesma que é controlada após a OP120, neste caso ambos os controlos de qualidade acontecem no mesmo posto. De seguida, acontece um processo idêntico entre a OP130 e a OP140, onde com a mesma frequência de análise são verificadas as peças no posto da Duramax. Relativamente ao terceiro posto, este também é um controlo bordo de linha e neste caso, localiza-se na terceira fase do processo. O método de controlo de qualidade não deixa de ser semelhante aos anteriores, porém neste caso como só existe a OP150, a peça só é analisada uma vez e com uma frequência menor, ou seja, de 25 em 25 peças é realizada a verificação total à caixa diferencial DB35 e, se a peça se encontrar apta, segue para o contentor onde é colocado o material totalmente maquinado e em perfeitas condições.

No entanto, como referido anteriormente, existem peças que não se encontram dentro dos parâmetros de qualidade exigidos e desta forma, são excluídas do sistema. Perante esta situação, foi importante definir a taxa de rejeição de peças, em cada operação de controlo. Para isso, foi

feita uma projeção juntamente com o atual coordenador da linha em funcionamento, onde foram tidos em conta os dados históricos sobre a produção e o controlo da caixa diferencial DB35. Assim, tal com pretendido, foi definida uma percentagem de peças que são rejeitadas do processo, tendo em conta a operação de controlo que está a ser efetuada, tal com sintetizado de seguida:

*Tabela 6 - Taxa de Rejeição Associada a cada Posto de Controlo*

Controlo de Qualidade							
Operação a Controlo	OP123	OP143	OP110 (CTRL_BDL)	OP120 (CTRL_BDL)	OP130 (Duramax)	OP140 (Duramax)	OP150 (CTRL_BDL_2)
Taxa de Rejeição	8%	7%	5%	2%	4%	2%	1%

Um dos temas que também foi importante considerar, para uma definição ainda mais clara e concisa do modelo de simulação, teve a ver com os períodos de funcionamento da linha. Neste caso, ainda não há uma definição totalmente precisa sobre este tema, contudo o objetivo será ter um funcionamento contínuo da linha, trabalhando esta 24 horas por dia, todos os dias da semana. Todavia, apesar de neste regime de produção estar implícito, é sempre necessário ter em conta que se existir algum desfasamento entre a fase de maquinação e a de montagem, o processo de talhagem deve inevitavelmente funcionar consoante as necessidades da soldadura.

Para dar resposta a um funcionamento integral da linha, são necessárias três equipas durante o período semanal e duas equipas de fim de semana. Neste caso, as equipa da semana trabalham 8 horas por cada dia, onde se inclui as pausas previstas que representam cerca de 20 minutos. Por outro lado, os turnos de fim de semana são de 12 horas, com um total de paragens de 1 hora. Todavia, apesar das pausas previstas dos operadores, o que acontece na prática é uma uniformização deste período, ou seja, as pausas são realizadas de forma coordenada entre os operadores, de modo a que haja uma reestruturação, permitindo que o trabalho realizado pelo operador em pausa continue a ser concretizado pelos restantes trabalhadores, viabilizando que a linha de maquinação não pare.

Relativamente à maquete de efetivos da linha, esta foi definida tendo em conta questões ergonómicas, ou seja, as deslocações que são realizadas, o peso que é necessário movimentar e também o plano de cargas de cada operador. Assim, tornou-se evidente a necessidade de envolver no sistema 3 operadores, para que a linha fique associada a uma cota ergonómica positiva. Portanto, optou-se por afetar dois operadores à segunda fase do processo e o terceiro à última fase. Neste caso, os primeiros trabalhadores estão individualmente associados a cada uma das linhas, ou seja, tendo em conta que a segunda fase é composta por duas linhas paralelas, cada um dos operadores passa a responsável por cada uma delas. O terceiro operador fica associado ao processo de talhagem e a todo o seu envolvente. No que diz respeito à função de cada operador, esta é bastante semelhante, uma vez que todos são responsáveis por realizar o controlo bordo de linha, por movimentar as bases rolante, por realizar a condução de meios e por na fase final fazer a descarga manual das peças maquinadas, no caso do terceiro operador, acresce o facto de ter de realizar o carregamento das peças nas talhadoras.

Como se torna evidente, este sistema é necessariamente impactado pelo transporte de material, ou seja, este está presente tanto na realização dos processos de controlo de qualidade, como na interligação das fases do sistema e ainda na articulação entre a maquinação e a montagem. Desta forma, foi importante analisar as distâncias que estão associadas a cada um dos transportes, bem com os tempos de deslocação e ainda os tempos de carga e descarga. Para isso, tornou-se relevante recolher informação sobre a velocidade média do recurso que realiza o processo de transporte, uma vez que este dado permite, juntamente com a distância associada, definir os tempos de deslocação. Portanto, relativamente às distâncias que são necessárias percorrer, estas foram recolhidas através da análise à implantação que se encontra validada. Em relação à velocidade média, definida para cada um dos recursos, foi tido em conta os valores *standards* utilizados pela organização, ou seja, a velocidade de deslocação de um operador está representada como sendo de 90 m/min e a velocidade média de um AGV de 15 m/min. Assim, para uma melhor estruturação de toda esta temática, encontra-se apresentado no Anexo 3 uma sintetização dos valores definidos para as deslocações associadas ao sistema analisado.

No que se refere aos tempos de carga e descarga, uma vez que não existe um grande fator de complexidade no processo, todos estes valores são bastante semelhantes entre as diferentes deslocações. Desta forma, o que se optou por fazer, foi perceber entre que valores é que estes tempos normalmente variam e ainda por definir o tempo mais comum para a realização deste processo. Assim, após se proceder à análise de diversas tarefas semelhantes às que ocorrem no sistema estudado, verificou-se que os períodos de carga e descarga variam entre os 0,15 min e os 0,28 min. Para além disso, segundo os dados avançados pela organização o valor que é normalmente definido para estas tarefas, ou seja, o valor mais comum é de 0,20 min. Desta forma, uma vez que não foi possível realizar um estudo estatístico no sistema real e por outro lado, como se tornou possível definir uma gama dos valores mais prováveis e como existe informação sobre o valor mais comum, optou-se por utilizar a distribuição de probabilidade triangular para associar tanto o período de carga como o de descarga.

Para finalizar, identificou-se que seria de extrema importância recolher os dados relativos à *performance* prevista da linha, de modo a comparar esses valores com os resultados do modelo lógico, averiguando a sua veracidade e fiabilidade. Desta forma, verificou-se que esta linha foi projetada para conseguir corresponder a um *step* de 345 mil caixas diferenciais DB35, por ano. Perante este dado, foi ainda definido que a fase 2 do processo deve ter a capacidade de maquinar cerca de 53 peças por hora, para que assim seja possível corresponder aos valores de produção pretendidos.

Assim, perante a análise ao modo de funcionamento que está previsto para a nova linha, que irá executar a maquinação da caixa diferencial DB35, bem como todo o processo de recolha de dados para identificar todas as particularidades do sistema, optou-se por ilustrar na Figura 25, uma síntese do modelo concetual. Desta forma, foi possível verificar de forma global e organizada, as operações que estão na base do sistema, mas também a forma como estes se sucedem. Para além disto, este modelo foi o grande suporte no desenvolvimento do modelo lógico.

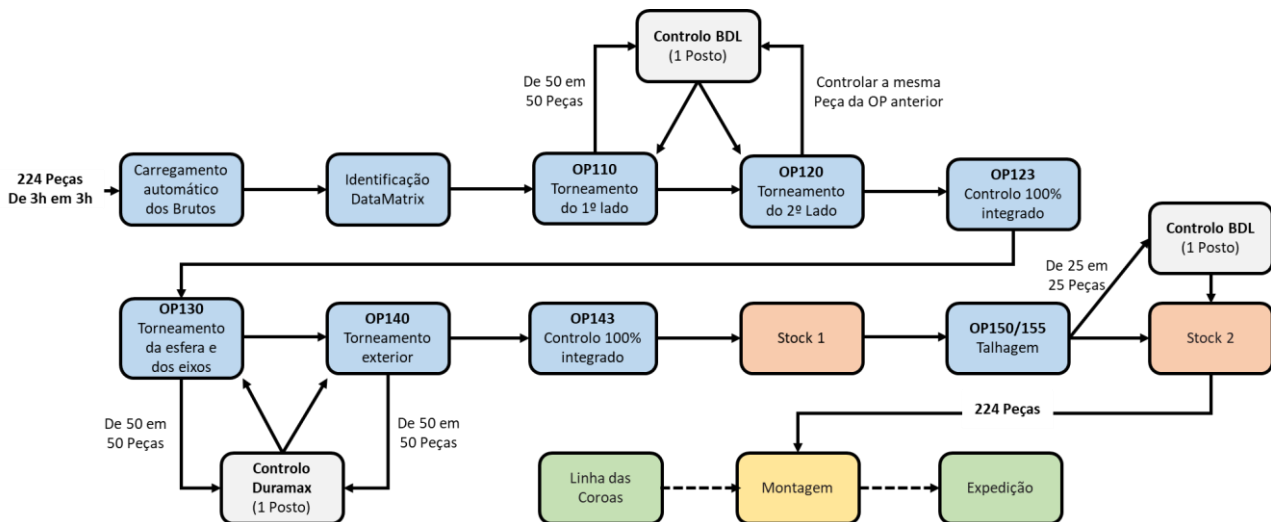


Figura 25 - Modelo Concetual

Terminado o desenvolvimento do modelo concetual, este foi analisado juntamente com os envolvidos no processo, de modo a verificar que todos os pressupostos e todos os dados que foram reunidos se encontravam em conformidade e que nenhum pormenor foi descorado ou invalidado.

#### 4.2.3. Construção e Validação do Modelo Lógico

O desenvolvimento do modelo lógico é um dos processos mais importantes na elaboração de um estudo de simulação, uma vez que o principal objetivo passa por contemplar, através de um programa de simulação, todas as informações que foram estruturadas e recolhidas nas etapas anteriores. Assim, foi possível compreender tanto a importância do planeamento, como a necessidade de identificar os dados que são essenciais para o funcionamento do modelo, de acordo com a representatividade do sistema. Desta forma, foi essencial ter em conta dois aspetos aquando da concretização do modelo lógico, o primeiro esteve relacionado com a necessidade de verificar ao longo da construção, se a linguagem utilizada estava de acordo com a lógica do modelo. O segundo ponto, passou pelo processo de validação, ou seja, foi importante analisar se o modelo criado expressava a realidade, o que foi feito tanto através da observação da animação criada, como a partir de uma comparação entre os resultados obtidos e aquilo que são os objetivos da linha.

Contudo, antes de chegar a este último momento de análise, é fundamental perceber de que forma, foi contruído o modelo lógico. Neste caso, tal como anteriormente mencionado, optou-se por utilizar o *software* de simulação Witness, para desenvolver o estudo em causa. Tomada esta decisão e construído o modelo concetual, foi possível verificar a necessidade de agregar vários elementos na elaboração de um modelo realista e que atenta a vários detalhes. Assim, com o objetivo de garantir todas as particularidades que se encontram associadas ao sistema, foram aplicados os seguintes *Designer Element: Part; Machine; Conveyor; Buffers; Labor; Path; Shift; Vehicles; Tracks; Variable e Attribute*.

Desta forma, o ponto de partida no desenvolvimento do modelo lógico, passou inicialmente pela criação do abastecimento à linha, que neste caso é concebido através da definição do elemento *Part*, ou seja, a caixa diferencial DB35 chega ao sistema de 3 em 3 horas (180 minutos), em lotes de 224 peças, tal como se encontra representado na Figura 26. Este sistema é caracterizado por contemplar apenas uma diversidade de peça, visto que a sua principal tarefa é a maquinação, desta forma, apenas existe um elemento *Part* associado ao modelo.

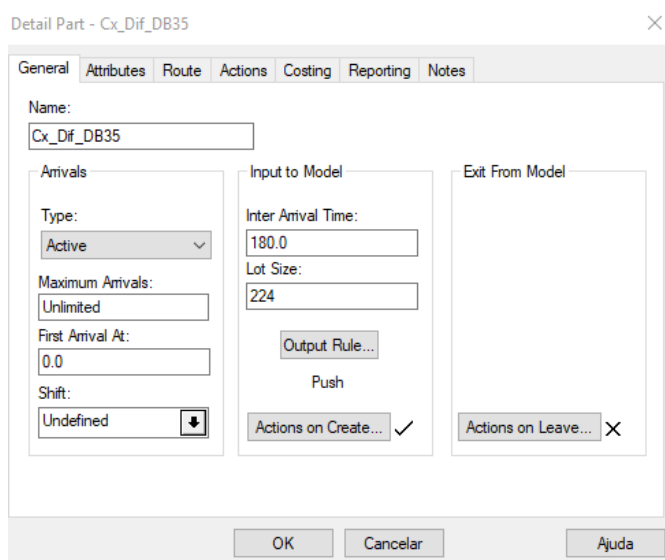


Figura 26 – Criação do Elemento Part

Seguidamente, foram inseridas no modelo todas as máquinas que se encontram associadas ao sistema, mesmo aquelas que se caracterizam por estar numa posição bordo de linha. A cada um destes equipamentos, foi de seguida anexado o tempo de ciclo que lhe está afeto, bem como o tipo de produção que é executada, isto é, quantas peças são produzidas em simultâneo em cada ciclo produtivo. Para além disto, através do elemento *Shift*, foi possível associar a cada máquina, já referenciada, as paragens que estão previstas para mudança de *Rafale*. Finalizado este processo de colocação das máquinas no modelo, optou-se por posicionar os *Conveyors*, uma vez que estes, têm um grande impacto na realização do transporte entre máquinas. Relativamente a estes tapetes transportadores, foi necessário introduzir no *software* de simulação, alguns dados sobre o seu funcionamento, entre os quais o número de peças que o tapete consegue suportar e o tempo que demora a ser efetuado o processo de transporte. Quanto a este último ponto, considerou-se um período de tempo residual, visto existir o pressuposto de que o tapete nunca deverá ser considerado um tampão do sistema.

Posteriormente, foram introduzidos no modelo os três operadores que estão envolvidos no sistema, agregado a este fator foi essencial colocar o elemento *Path*, pois é este que permite que o operador se desloque e que consiga movimentar material entre elementos. Desta forma, tornou-se preponderante associar a cada um dos caminhos, qual o elemento de partida e o de destino, bem como tempo que demora a realizar esse trajeto. De seguida, foi fundamental associar através de uma conexão, qual o operador responsável pela execução do processo.

Relativamente aos pontos cruciais do problema, ou seja, as incógnitas sobre o transporte que é realizado entre o processo de talhagem e a linha de montagem, mas também os *stocks* que foram contemplados no sistema, consideraram-se na execução do cenário base, no entanto, seguido determinados pressupostos.

Assim, numa primeira fase, optou-se por agregar ao modelo, um veículo de transporte (AGV). Todavia, existe a necessidade de integrar o elemento *Track*, uma vez que é este elemento que define o circuito a realizar, através da distância a percorrer, mas também permite definir os tempos que estão associados ao processo de carga e descarga. Quanto ao elemento *Vehicle*, definiu-se como pressuposto, a utilização de apenas um AGV para realizar o transporte entre linhas, uma vez que é a quantidade mínima que poderá concretizar este processo. Para além disto, foi introduzido no modelo, que o veículo tem a capacidade de transportar 224 peças, que corresponde a um contentor completo, bem como a velocidade média a que este se desloca.

O elemento *Buffer* é o que permite definir as condições de funcionamento dos *stocks* aplicados no sistema. Contudo, para a realização do cenário base, definiu-se que este elemento apenas funcionaria como um ponto de troca, relativamente à forma como está a ser feito o transporte, ou seja, a condição definida e implementada nos dois *stocks* criados, dita que quando está um contentor no local do *Buffer*, logo que possível este avança. Porém, este elemento permite ainda definir outras funcionalidades que são necessárias agregar ao modelo. Um destes exemplos, passa pela estruturação dos contentores, que estão bastante associadas à movimentação de peças na linha. Neste caso, os contentores só se deslocam caso estejam completos, isto é, quando existir um *Buffer* com 224 peças. Desta forma, foi fundamental criar uma condição que venere esta característica, tal como é exemplificado na Figura 27.

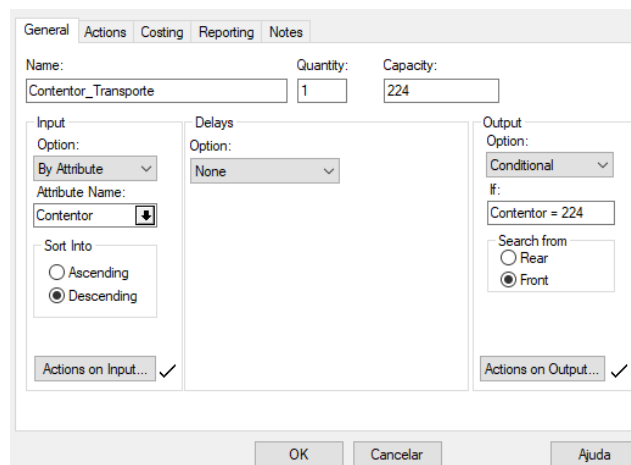


Figura 27 - Criação do Elemento Buffer

No que se refere às variáveis que foram incrementadas no modelo, estas foram criadas, na sua maioria, com o objetivo de permitir fazer uma contabilização do número de peças que estão envolvidas nos diversos processos da linha. Contudo, para além desta funcionalidade, foram ainda aplicadas outro tipo de variáveis, juntamente com o elemento *Attribute*, o que possibilitou a definição das condições, que determinam as propriedades de conexão entre elementos, tal como se verifica de seguida.

Incorporados os elementos no modelo, passou-se à última fase do processo, que tal como analisada no caso de estudo anterior, é de extrema importância, uma vez que permite demarcar o modo como os elementos se interligam entre si. Para isso, foram utilizadas as principais regras de conexão existentes no *software* de simulação Witness, contudo como o sistema tem alguns processos mais complexos, foi também fundamental aplicar algumas regras lógicas para se poder tornar o modelo o mais realista possível.

Assim, primeiramente foram estabelecidas as conexões mais simples, utilizando a regra *Push/Pull*. Neste caso, esta regra foi aplicada em situações onde entre um elemento de partida e outro de chegada, circula apenas uma peça/contentor, como por exemplo, entre os tapetes transportadores e as máquinas, entre as máquinas que realizam a maquinação e os postos de controlo, mas também entre os caminhos onde circula o AGV. Posteriormente, foi aplicada a regra *Percent*, com o objetivo de afiliar a cada máquina de controlo, a taxa de material rejeitado, ou seja, associou-se a percentagem de peças que seguem para um outro elemento do processo e a percentagem de peças que são suprimidas sistema. Quanto à regra *Sequence*, esta foi utilizada aquando da existência de uma bifurcação, como por exemplo, a máquina que antecede a existência das duas linhas paralelas, para que esta possa enviar de forma desfasada uma peça para a primeira máquina de cada linha.

Apesar da generalidade das interligações entre os elementos estar concluída, faltava ainda definir no modelo a forma como é realizado o processo de controlo de qualidade das peças. Contudo, este procedimento é bastante característico, não permitindo a aplicação de nenhuma das regras básicas de conexão. Desta forma, tornou-se inevitável a definição, através de condições lógicas, de uma regra que permitiu ao modelo realizar a tarefa de forma sistemática e realista. Para este processo, foi fundamental a criação de variáveis e a definição de atributos, uma vez que são estes a base para a construção de uma condição, como se pode verificar nas figuras seguintes.

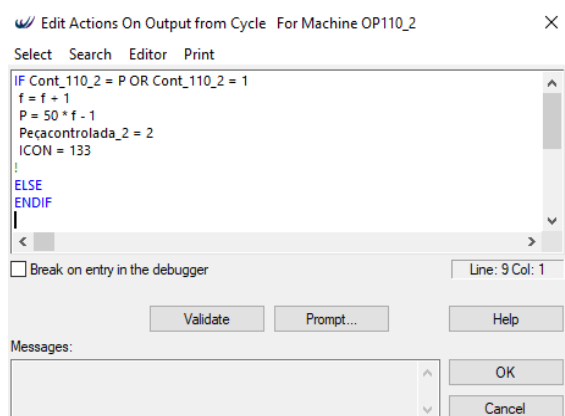


Figura 28 - Condição Utilizada na OP110 para o Controlo de Qualidade

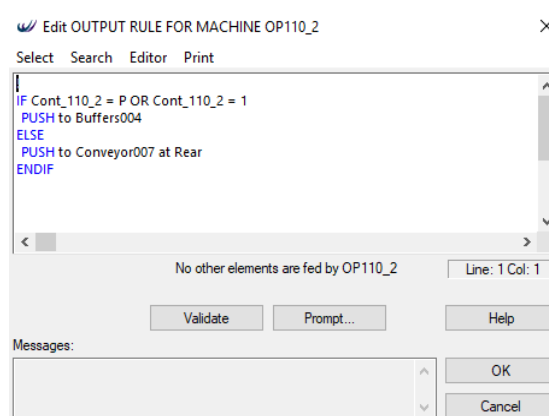


Figura 29 - Regra Aplicada para a Saída de Peça da OP110

Concluída esta fase, foi possível obter o modelo lógico, representado através do modelo de animação (Figura 30), que revelou ser um grande auxílio na análise e validação da forma como é realizado todo o processo, tal como como se verificou ao longo de todo o estudo.

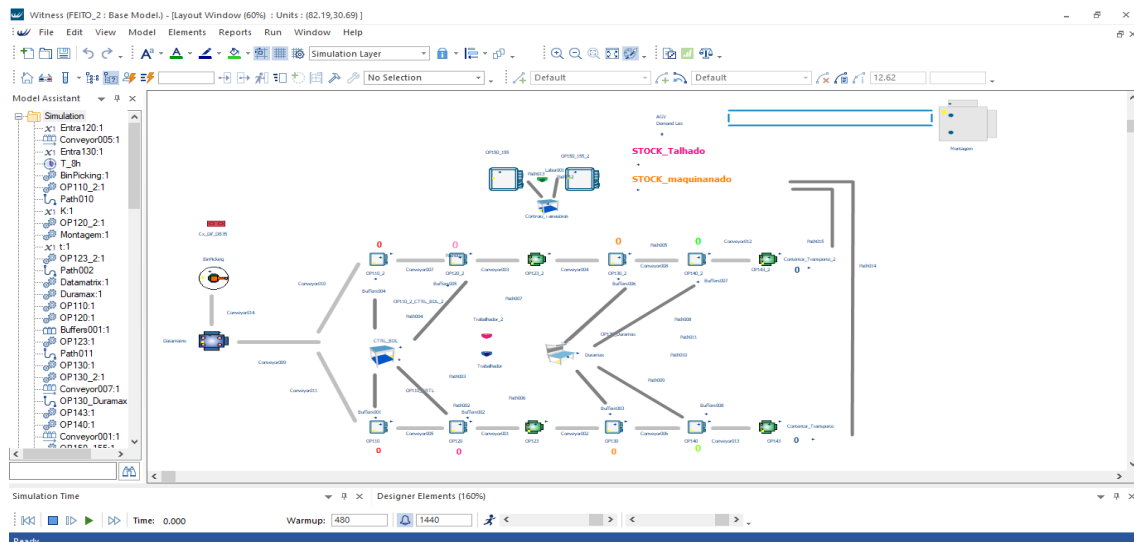


Figura 30 - Modelo de Animação 2D

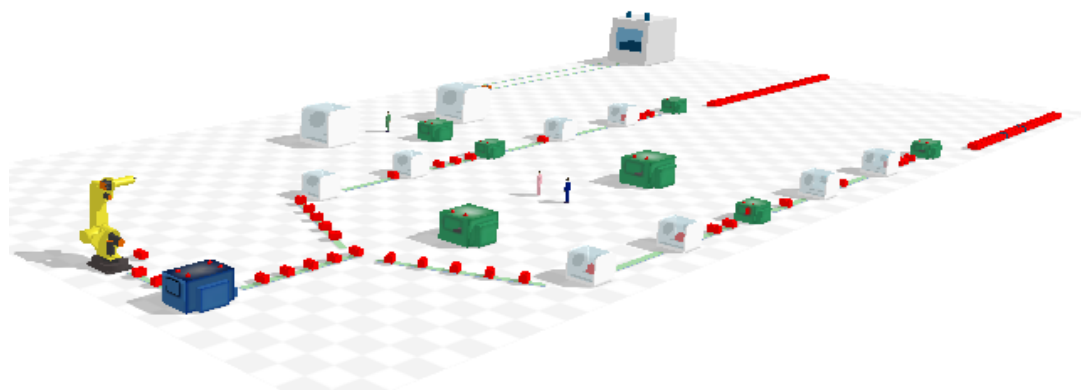
Após a finalização do modelo lógico, este foi sujeito a um processo de análise, de modo a poder ser considerado válido. Para isso, foi necessário perceber se os seus resultados espelhavam a realidade e se não existia nenhuma divergência relativamente ao modelo concetual. Assim, tornou-se essencial a realização de vários testes piloto, para consequentemente ser feita uma observação e análise às variáveis de saída, fornecidas pelo *software* de simulação. Para além deste facto, é ainda relevante referir a importância dada às variáveis geradas pelo *software*, uma vez que a linha em questão é fisicamente inexistente, e com o apoio destas variáveis foi possível analisar alguns dados, onde até este momento, não existia ainda qualquer informação ou estudo realizado.

Desta forma, com o objetivo dos resultados obtidos estarem associados a um intervalo de confiança de 95%, foi preponderante a definição de alguns pressupostos na execução dos testes piloto. Assim, primeiramente foi determinada a realização de 50 replicações ao modelo, pois considerou-se que este seja um número mais que suficiente para que os resultados obtidos atinjam o intervalo de confiança desejado. Para além disso, na realização desta primeira análise ao modelo, optou-se por considerar um período de simulação de um dia de trabalho, ou seja, 24 horas, uma vez que não existe uma grande diferenciação entre cada dia de funcionamento da linha. Agregado a este fator, surgiu ainda a necessidade de incluir um *Warmup* de 480 min, que representa o período de trabalho de um turno, para se poder considerar os resultados quando o sistema está a trabalhar em contínuo, desprezando desta forma todo o período que é necessário para o arranque do sistema.

Nesta fase de validação, também a análise da animação foi um fator preponderante, uma vez que permitiu visualmente verificar se o modelo estava a corresponder aquilo que foi delineado previamente. Um exemplo claro desta situação, foi a observação e consequente validação da forma como o processo de controlo de qualidade é executado, fora do fluxo integral da linha, ou seja, foi possível observar se a peça que é controlada após a OP110 é a mesma peça que é analisada depois de finalizada a OP120. Assim, tendo em conta a importância da animação do



modelo desenvolvido, importa esclarecer que o Witness é um *software* de simulação bastante dinâmico neste processo, uma vez que à medida que se constrói o modelo lógico, também a animação 2D é automaticamente desenvolvida. Para além disto, também a animação 3D é um processo bastante automático e simples, permitindo observar o modelo de forma mais realista, tal como se verifica na Figura 31.



*Figura 31 - Modelo de Animação 3D*

Após a observação e análise do modelo de animação, procedeu-se à comparação entre os objetivos que estão inerentes ao desempenho desejado da linha e os resultados obtidos através da execução do modelo de simulação. Todavia, importa evidenciar que foi através destas duas variedades de análise, que se avaliou a veracidade dos pressupostos da modelação, bem como a credibilidade e realismo do modelo. Contudo, o facto de não existirem dados históricos sobre o funcionamento real da linha em estudo, tornou-se de certa forma uma limitação na avaliação dos resultados obtidos, uma vez que não existiam valores reais para a comparação. No entanto, por outro lado, esta situação também pode tornar-se uma vantagem, isto porque neste género de estudos, ou seja, quando existe a criação de uma linha de produção é porque há um propósito e consequentemente existem objetivos que são previamente definidos. Desta forma, existe a possibilidade de avaliar os parâmetros que já se encontram estabelecidos, de forma a validar o modelo, mas também existe uma maior liberdade na definição de algumas das características do sistema, o que permite estudar um maior número de possibilidades de mudança e assim obter os melhores resultados para o sistema.

Neste caso, para a linha em estudo foi previamente definido que esta deveria corresponder a uma produção de 53 peças por cada hora de trabalho. Esta performance, encontra-se apenas estabelecida para a produção até ao final da segunda fase do processo, visto que ainda existem algumas incertezas relativamente à terceira fase. Porém, este valor não deve ser muito díspar, no final do processo, visto que o principal objetivo a que esta linha deve corresponder, é a uma produção anual de 345 mil caixas diferenciais DB35. Assim, no que se relaciona com os resultados obtidos através do Witness, este foi o principal ponto de análise na validação do modelo lógico. Para isso, foi de extrema importância criar uma variável contadora, que permitiu fazer a contabilização do número de peças que finalizam a segunda fase do processo. Desta forma, verificou-se que o resultado facultado pelo modelo de simulação foi de  $1.522,98 \pm 3,99$  peças, tendo em conta um período de simulação de 24 horas.

Perante o objetivo de ter uma produção horária de 53 peças, ou seja, uma produção diária de 1.272 peças, tornou-se evidente que o valor obtido através da simulação é um pouco superior. No entanto, este foi logo à partida um dado positivo, uma vez que o que seria repreensível era obter um resultado inferior ao objetivo previamente definido, visto que a linha em causa foi contruída e planeada para corresponder a este principal propósito. Todavia, um valor bastante superior, também tornaria o modelo de simulação inválido, uma vez que deixava de fazer sentido, a forma como a linha foi construída e definida.

Neste caso, o resultado obtido superioriza-se ao valor estimado, em cerca de 250 peças (19,65%), o que não deixa de fazer sentido. Isto porque, a simulação foi analisada tendo em conta uma fase de produção contínua e para além disso, como não foram consideradas no modelo as paragens não previstas, não houve uma análise completamente real sobre os processos de retoma de produção, que irão inevitavelmente diminuir o valor obtido através do modelo, aproximando claramente do objetivo. Assim, tanto através da análise do modelo de animação, como perante a comparação entre o desempenho previsto para a linha e o resultado obtido através da simulação, foi possível proceder à validação do modelo lógico. Contudo, apesar do processo de validação, tornou-se ainda importante analisar outras medidas de desempenho, de modo a verificar-se e compreender-se de que forma variaram os resultados obtidos e também observar se todos os resultados faziam sentido, perante o sistema real.

Assim, dando seguimento à análise realizada anteriormente, passou-se à verificação do total de unidades produzidas, considerando o período simulado. Para isso, foi criada uma variável no início da linha de montagem, de modo a observar-se o número de peças que chegam a esta fase, ou seja, as peças que finalizam o sistema em estudo. Desta forma, observou-se que o *output* dado pelo software de simulação é de  $1.568,00 \pm 0,00$  peças (7 contentores) que, neste caso, se encontram totalmente maquinadas e dentro dos parâmetros de qualidade definidos, na chegada à linha de montagem. Neste caso, ao analisar-se esta quantidade de peças produzidas, foi importante ter em conta dois fatores, o primeiro relaciona-se com a utilização de um período de aquecimento, ou seja, os dados recolhidos são relativos a um processo de produção contínuo e neste caso, quando se inicia o processo de recolha de dados, já existem peças a circular na terceira fase do processo. O segundo fator teve a ver com os objetivos de produção previstos para a linha, onde se observou que esta medida de desempenho continuou bastante próxima dessa performance, o que de certa forma deu uma maior veracidade ao modelo, tal como analisado anteriormente.

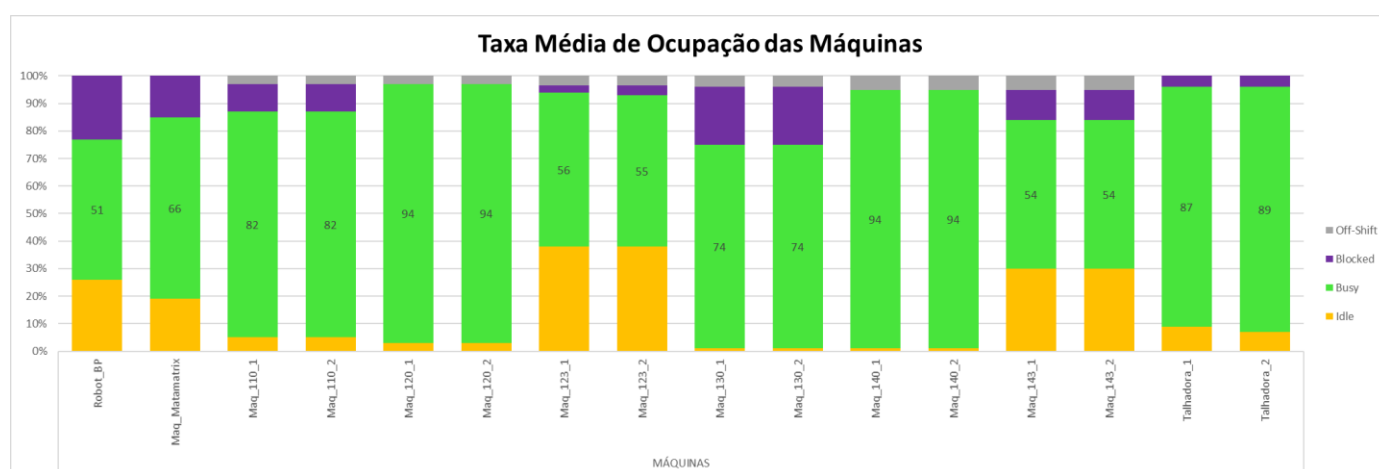
Seguidamente, optou-se por observar duas medidas de desempenho bastante impactantes na análise do funcionamento do sistema, visto que até este momento, apenas estava feita uma estimativa grosseira para estes valores, e desta forma foi possível determinar e definir de forma mais realista e precisa estes parâmetros. Assim, a primeira medida analisada foi o *lead time*, ou seja, o tempo necessário para uma peça percorrer todas as etapas do processo, desde que entra no sistema até que se dá a sua saída. Neste caso, observou-se que esta medida de desempenho estava associada a um período de  $672,90 \pm 4,05$  minutos, que corresponde aproximadamente ao trabalho de um turno e meio, ou seja, uma peça demora cerca de 12h a percorrer todo o sistema.

Posteriormente, determinou-se o tempo de ciclo que se encontrava associado ao sistema, que neste caso, se fez representar pelo tempo entre a chegada de sucessivos contentores, à linha de montagem. Assim, foi possível verificar que a frequência de saída de contentores do sistema é de  $204,81 \pm 1,48$  minutos, ou seja, este valor é representativo do período de tempo que existe entre a chegada de 224 caixas diferencial DB35 totalmente maquinadas, à fase de montagem. Para além disto, quando comparada esta medida de desempenho com o número de unidades produzidas, verificou-se que os valores estão em consonância, dando logicamente, uma maior credibilidade ao modelo.

*Tabela 7 - Resultados Obtidos no Cenário Base*

Medidas de Desempenho	
Número de <b>Peças Maquinadas</b> até ao final da fase 2	1.522,98 ± 3,99 Peças
Número de <b>Peças Produzidas</b>	1.568,00 ± 0,00 Peças
<b>Lead Time</b>	672,90 ± 4,05 Minutos
<b>Tempo de Ciclo</b> (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos

Para além das medidas de desempenho observadas e analisadas anteriormente, optou-se ainda por verificar a taxa de ocupação das máquinas que se encontravam associadas ao sistema, pois este foi considerado um dos fatores mais importantes para perceber a dinâmica envolvida no modo de funcionamento da linha. Contudo, optou-se por não incluir nesta análise os postos que realizam o controlo de qualidade fora do fluxo integral da linha, visto que estes são apenas utilizados segundo uma frequência pré-definida e também porque estes postos não têm um impacto direto na taxa de ocupação das restantes máquinas. Assim, perante os resultados que foram fornecidos pelo Witness, foi possível realizar um estudo mais completo sobre este tema, visto que para além de se observar taxa média de utilização das máquinas, pode analisar-se também a causa origem das paragens, tal como se verifica no gráfico seguinte.



*Figura 32 – Taxa Média de Ocupação das Máquinas Afetas ao Sistema*

Desta forma, foi possível observar que na maioria das máquinas existe uma elevada taxa de utilização, o que significa que no global há um bom aproveitamento dos recursos. Contudo, existem sempre exceções, neste caso o *robot* que é responsável por realizar o processo de *Bin Picking*, é o que tem uma menor taxa de utilização ( $51,42 \pm 0,00$ ) e analisando os seus *outputs*, foi possível verificar que esta situação ocorre por duas razões. A primeira está relacionada com as paragens por falta de peças, o que acontece, porque o abastecimento só é realizado de 3 em 3 horas. Por outro lado, também ocorre a situação do *robot* ficar bloqueado, tanto porque o tempo de ciclo é menor que o da máquina seguinte, mas também pelo facto de existirem paragens previstas para a mudança de Rafale, o que leva a que o transportador fique completo, e logo a operação fique bloqueada. A máquina seguinte, apesar de ter uma taxa de utilização superior ( $66,47 \pm 0,00$ ), os problemas analisados foram bastante idênticos, porém verificou-se que já existe uma compensação que é feita pela operação anterior.

Para além das máquinas já analisadas, existem mais quatro que se fazem representar pela OP123 e pela OP143, que também se caracterizam por ter uma taxa de utilização mais baixa. Neste caso, a situação analisada não deixa de ser semelhante, ou seja, para as duas máquinas que realizam a OP123, o que está em causa é principalmente a falta de peças, que ocorre porque a operação anterior tem um tempo ciclo superior. Para além disso, o que também acontece, que proporciona a diminuição da taxa de utilização, são as paragens previstas, que inevitavelmente afetam toda a linha. Relativamente às máquinas que realizam a OP143, a situação de falta de peças é idêntica, todavia existe um outro acontecimento que proporciona um aumento na taxa de bloqueio, que está relacionado com a descarga de peças. Ou seja, como o processo de descarga é realizado pelos operadores, por vezes estes encontram-se ocupado a realizar outras tarefas, o que leva a que o tapete final fique completo e bloqueie as operações em questão.

Assim, de forma generalizada verificou-se que existem quatro causas principais que afetam a taxa de utilização das máquinas, a primeira tem a ver com o abastecimento à linha, a segunda com as diferenças entre os tempos de ciclo das máquinas, a terceira com as paragens previstas para a linha e a última relaciona-se com a ocupação dos operadores para a realização do processo de descarga. Desta forma, o que se constatou foi que os principais motivos que levam a uma diminuição da utilização das máquinas são quase inevitáveis e que estão necessariamente relacionados com o modo de funcionamento da linha. A única exceção, tem a ver com o abastecimento à linha, todavia o que se observa é que a linha consegue fazer uma compensação deste fator, o que faz com os níveis de produção não sejam atingidos.

Desta forma, após a análise e validação do modelo lógico, passou-se a uma das principais fases de um estudo de simulação, onde neste caso, o objetivo primordial foi tentar definir algumas questões que ainda se encontram em aberto no desenvolvimento do sistema.

#### 4.2.4. Análise e Discussão dos Resultados

Tendo em conta o principal propósito para o desenvolvimento do estudo de simulação, esta etapa teve como objetivo final definir e analisar algumas das restrições do sistema, que ainda se encontravam numa fase de planeamento e estudo. Ou seja, o que realmente se pretendeu foi utilizar a simulação com uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, para estabelecer o modo de funcionamento dos stocks e também para analisar as necessidades acerca do número de AGV's, que são fundamentais para realizar o transporte entre a maquinaria e a montagem. Desta forma, torna-se importante esclarecer, que a estratégia utilizada neste processo, passou primeiramente por definir as variáveis em causa e de seguida verificar e analisar os resultados devolvidos pelo modelo. Para além disso, pretendeu-se dividir esta análise em três passos, onde o primeiro está relacionado com o estudo do stock entre a segunda e a terceira fase do processo, o passo seguinte, com a análise simultânea do stock que existe no final do processo de talhagem e o transporte que é realizado entre a maquinaria e a montagem. Enquanto o último passo, passou por um estudo conjunto destes fatores, percebendo de que forma podem variar os resultados obtidos.

##### **Stock 1 – Entre a Fase 2 e a Fase 3**

A utilização de um *stock* é sempre uma situação questionável, uma vez que passa a existir uma paragem de material. Desta forma, deve-se primeiramente analisar a sua necessidade e as vantagens que poderão existir perante a sua aplicação. Neste caso, tornou-se bastante relevante a utilização de um *stock*, visto que talhagem deve funcionar consoante as necessidades da linha de montagem, ou seja, sempre que a montagem precisar de peças a talhagem deve iniciar logo o seu processo. No entanto, o que acontece, principalmente devido a paragens na linha, é que a talhagem fica sem peças para iniciar o processo. Desta forma, o que se pretendeu foi criar um *stock* que venha trazer esta segurança, sendo capaz de abastecer a talhagem, desde o momento que existe o abastecimento à linha até que as peças chegam à terceira fase do processo.

Assim, a estratégia delineada para definir o número máximo de contentores (224 peças), que devem estar em stock, passou por analisar o período de tempo que está associado às tarefas desde o abastecimento até ao processo de talhagem, bem como o período afetado a este processo. Ou seja, neste caso pretendeu-se estudar o nível de stock, capaz de suportar um recomeço da linha, sem que o processo de talhagem seja afetado. Contudo, como esta linha ainda se encontra em fase de projeto, optou-se por recorrer ao modelo de simulação para recolher os dados relativos ao funcionamento do sistema.

Desta forma, pode verificar-se que o tempo de ciclo máximo entre chegada de contentores ao início do processo de talhagem é de 503.47 minutos. Enquanto, o tempo de ciclo mínimo para completar um contentor de peças totalmente talhadas é de 174.96 minutos. Neste caso, optou-se por utilizar o tempo máximo no primeiro valor e o tempo mínimo no segundo, visto que esta é sempre a pior das situações, e logo a que exige um maior número de peças em stock. Assim, tendo em conta estes valores, percebeu-se que entre o período de abastecimento e a chegada de um contentor à fase 3 do processo, a talhagem consegue completar cerca de 2.88 contentores. Portanto, a partir desta análise, verificou-se a necessidade de manter em stock três contentores,

com 224 peças, entre a fase 2 e a fase 3 do processo, visto que desta forma é possível ter uma garantia de que talhagem funciona continuamente, caso ocorra um recomeço da linha de maquinação.

Assim, tendo em conta que o objetivo passou por tentar manter sempre três contentores em stock, de forma a prevenir a existência de paragens, tornou-se relevante analisar de que forma é que esta alteração tem impacto no sistema. Para isso, recorreu-se ao modelo de simulação já desenvolvido e alteraram-se as propriedades do stock, ou seja, o máximo que este pode reter são três contentores e para além disso, sempre que as talhadoras tiverem menos de 15 peças em espera, também o stock é utilizado, permitindo uma melhor utilização destas máquinas.

Contudo, importa referir que o método de simulação foi mantido nos mesmos moldes, ou seja, verificou-se o impacto do stock numa fase contínua do processo, desprezando o fluxo inicial de peças. Desta forma, pelas razões já apresentadas, realizaram-se 50 replicações ao modelo e considerou-se um período de simulação de um dia. Todavia, como nesta situação foi necessário ter em conta que o stock tem de ser abastecido para o processo estar a funcionar de forma contínua, o *Warmup* considerado foi de também um dia de trabalho (24 horas), pois desta forma garante-se que o modelo está a funcionar em pleno e que é desprezada a fase de arranque do processo.

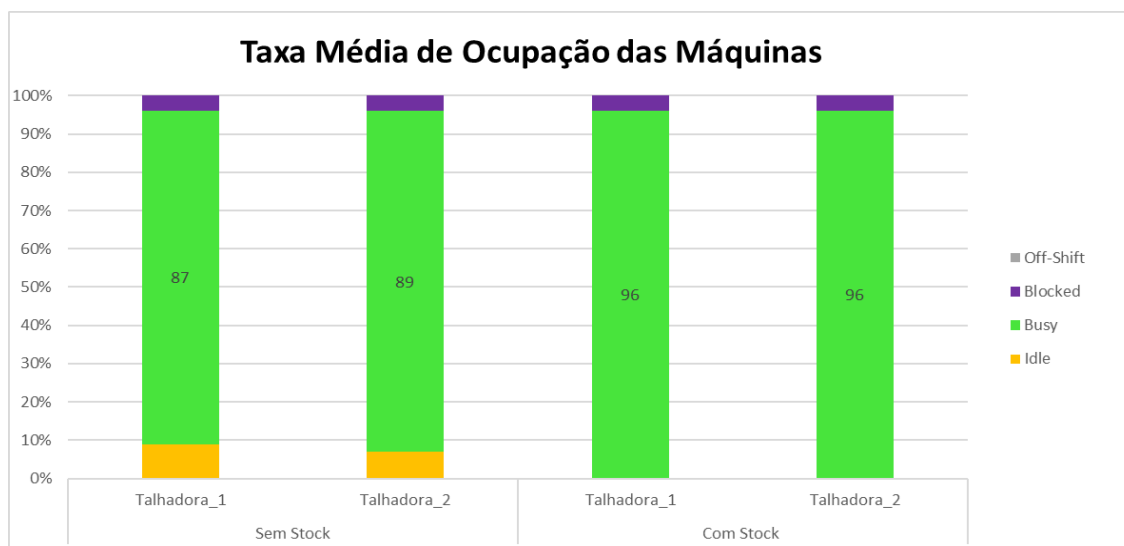
Assim, definidas todas as particularidades que envolvem o modelo a simular, passou-se à análise dos resultados obtidos através do Witness. Desta forma, primeiramente verificou-se que o número de peças maquinadas até à fase 2 se manteve inalterado, o que faz sentido, visto que as alterações foram realizadas numa fase posterior. Para além disso, compararam-se as restantes mediadas de desempenho obtidas no modelo base com os resultados do modelo, após a aplicação de um stock de três contentores, tal como detalhado na Tabela 8.

*Tabela 8 - Resultados Obtidos - Stock 1 com 3 Contentores*

Medidas de Desempenho	Sem Stock	Stock - 3 Contentores	Varição
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.792,00 ± 0,00 Peças	+ 1 Contendor
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	985,53 ± 5,13 Minutos	+ 46,43 %
Tempo de Ciclo (1 Contendor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	179,79 ± 1,29 Minutos	- 12,22 %

De uma forma global, a comparação de resultados, fez denotar uma melhor performance da linha, uma vez que o número de peças que chegam ao final do processo aumentou. Perante este aumento, o tempo de ciclo segue a tendência inversa, isto porque, para que cheguem mais contentores ao início da linha de montagem, estes têm de chegar com um menor tempo entre eles, visto que o período de simulação analisado foi idêntico. Contudo, apesar destes dados serem positivos, o grande impacto da utilização de um stock está claramente representado no aumento do *lead time*, uma vez que as peças ficam paradas no incurso do sistema, o que inevitavelmente aumenta o período de tempo que estas demoram a percorrer todo o processo.

Tendo em conta, que a alteração feita no sistema procedeu a terceira fase do processo, foi importante analisar as modificações que ocorreram na taxa média de ocupação das talhadoras, visto serem as únicas máquinas que sofreram um impacto direto. Desta forma, analisada a Figura 33, verificou-se uma melhor utilização destas máquinas, uma vez que deixam de ocorrer paragens devido a falta de peças. O facto de existir esta melhoria, foi o que tornou o sistema mais dinâmico e com melhores resultados, tanto em termos de tempo de ciclo, como no aumento dos níveis de produção.



**Figura 33** - Taxa Média de Ocupação das Talhadoras - Stock 1 com 3 Contentores

No entanto, apesar dos bons resultados que se conseguiram obter com a utilização de um stock intermédio de três contentores, esta dimensão pode tornar-se desmedida. Visto que, o principal objetivo da linha é que esta funcione de forma contínua, evitando o mais possível as suas paragens, mesmo que parciais. Contudo, o facto de a talhagem ter de corresponder às necessidades da linha de montagem, nunca pode ser invalidada, todavia a sua análise pode ser pensada de forma mais ligeira. Assim, optou-se por realizar um estudo idêntico ao anterior, porém tendo em conta os valores médios do tempo de ciclo, uma vez que se considerou ser uma estratégia não tão rígida, mas que continua a permitir que o sistema reaja, em certa medida, aos possíveis recomeços do processo.

Assim, ao analisar-se o modelo base, verificou-se que o tempo médio entre a chegada de um novo contentor ao processo de talhagem é de  $213,50 \pm 1,50$  minutos, enquanto o tempo médio entre a conclusão de um contentor com peças talhadas é de  $211,50 \pm 0,80$  minutos. Desta forma, observou-se que estes dois tempos são bastante semelhantes, ou seja, à medida que ocorre o consumo de peças por parte da talhagem, também existe um abastecimento a esta fase do processo. Contudo, apesar do ligeiro desfasamento, pressupôs-se que basta um contentor em stock, para combater as paragens que podem ocorrer no sistema.

Seguindo um processo idêntico ao anterior, consideraram-se os mesmos pressupostos na simulação, à exceção do número máximo de contentores em stock, que neste cenário passou a ser de um contentor. Desta forma, pretendeu-se comparar os resultados obtidos com o cenário

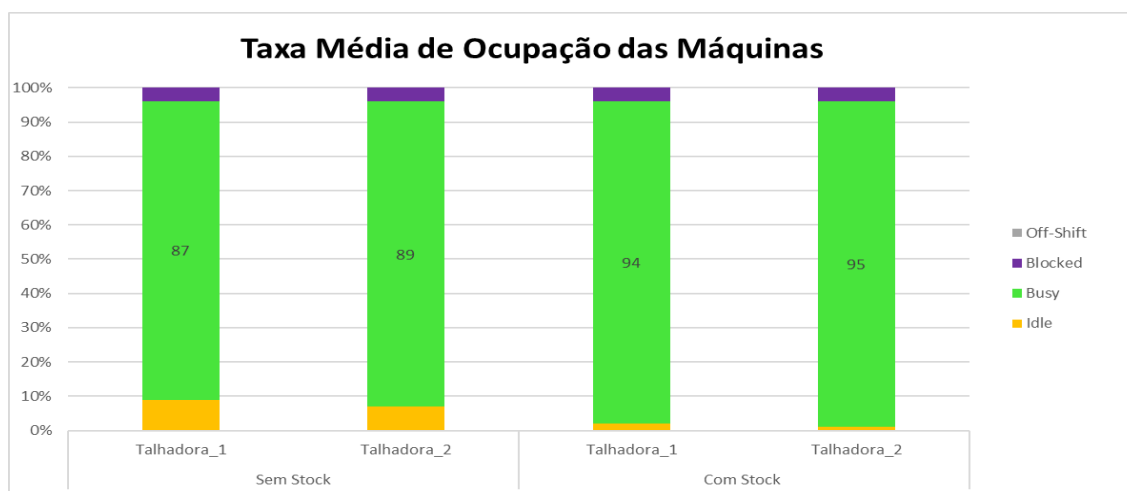
base, onde não foi considerado qualquer stock intermédio. Porém, também foi importante confrontar estes valores, com a utilização de um stock de três contentores, uma vez que este processo é importante no auxílio à tomada de decisão.

*Tabela 9 - Resultados Obtidos - Stock 1 com 1 Contentor*

Medidas de Desempenho	Sem Stock	Stock - 1 Contentor	Variação
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.657,60 ± 152,32 Peças	+ 5,71 %
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	755,52 ± 4,27 Minutos	+ 12,28 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	191,47 ± 1,33 Minutos	- 6,51 %

Perante os resultados demonstrados na Tabela 9, observou-se primeiramente que o nível de produção aumenta. Porém, ao realizar-se uma análise mais de detalhada ao valor obtido, foi possível verificar que existe instabilidade no resultado, ou seja, dependendo de alguns fatores que proporcionam variabilidade ao sistema, num dia de trabalho, tanto podem chegar 7 contentores à linha de montagem, com 8 contentores. Desta forma, verificou-se que com a utilização de 3 contentores em stock, os níveis de produção para além de serem melhores, são também mais rígidos, uma vez que se sabe à partida que são produzidos 8 contentores.

Relativamente ao *lead time* do processo, este inevitavelmente aumentou, uma vez que há peças retidas em stock. Contudo, esta diferença foi menor, quando comparada com o cenário anterior, visto existirem menos contentores em stock. Por sua vez, o tempo de ciclo que envolve a chegada de contentores à linha de montagem diminuiu, mantendo a conformidade com o nível de produção da linha. Contudo, como analisado anteriormente, o fator que tem uma grande influência no desempenho do sistema é taxa média de ocupação das talhadoras. Desta forma, tornou-se imperativo analisar esta questão, tendo em conta o modo de funcionamento da linha, uma vez que esta tem algumas particularidades, que alteraram a forma como os resultados são interpretados e compreendidos. Para isso, tornou-se fundamental observar o modelo de animação, mas também o seguinte gráfico:



*Figura 34 - Taxa Média de Ocupação das Talhadoras - Stock 1 com 1 Contentor*



Ao analisar-se a Figura 34, verificou-se que apesar de haver uma melhor utilização de ambas as talhadoras, ainda ocorrem paragens devido a falta de material. Contudo, torna-se importante ter em conta, que esta situação surge, mesmo havendo um contentor de stock, imediatamente antes do processo de talhagem. Desta forma, a análise ao modo de funcionamento da linha e a observação da animação, tiveram um papel preponderante na avaliação e na compreensão da taxa média de ocupação destas máquinas. Assim, pode verificar-se que a utilização do stock é um processo dinâmico, ou seja, apesar de este ter como principal objetivo permitir que a fase 3 funcione perante um recomeço da linha, o que também sucede é que caso as talhadoras tenham menos de 15 peças em espera, é utilizado o contentor que se encontra em stock. No entanto, foi importante evidenciar o modo com este processo ocorre, isto é, cada talhadora utiliza um contentor para se abastecer e como estas têm um tempo de ciclo bastante idêntico, finalizam o processo de maquinação, quase simultaneamente, permitindo que apenas uma das talhadoras aceda ao material em stock. Para além disso, tal como analisado previamente, existe um certo desfasamento entre os tempos de ciclo médios das etapas, o que também explicou o facto de o stock ficar sem contentores à disposição. Todavia, apesar desta situação acontecer esporadicamente e durante um curto período de tempo, é um fator determinante para que os níveis de produção diminuam relativamente ao cenário anterior.

Assim, tendo em conta os resultados obtidos e a análise realizada, verificou-se que uma solução que pode ser plausível é a utilização de um stock intermédio com 2 contentores. Isto porque, este cenário traz mais garantias relativamente às paragens e ao abastecimento das talhadoras, mas também porque há menos peças paradas em comparação com o primeiro cenário que foi estudado. Desta forma, para uniformizar esta análise com as restantes, optou-se por seguir os mesmos pressupostos e normas na simulação, tendo em conta o stock máximo de 2 contentores. Por conseguinte, confrontaram-se os resultados obtidos com os do cenário base, onde não é contemplado qualquer stock, mas também se fez um paralelismo com os cenários anteriormente analisados.

*Tabela 10 - Resultados Obtidos - Stock 1 com 2 Contentores*

Medidas de Desempenho	Sem Stock	Stock - 2 Contentores	Varição
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.792,00 ± 0,00 Peças	+ 1 Contentor
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	869,53 ± 4,82 Minutos	+ 33,23 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	179,79 ± 1,29 Minutos	- 12,22 %

Deste modo, tendo em conta os resultados demonstrados na Tabela 10, pode observar-se uma estabilização dos resultados, ou seja, os valores relativos ao nível de produção e ao tempo de ciclo são idênticos aos obtidos no primeiro cenário. Porém, como era expectável o valor do *lead time* é superior ao do cenário base e fica entre os resultados das hipóteses anteriormente testadas. Relativamente à utilização das talhadoras, os dados obtidos mantem-se de acordo com o primeiro cenário, o que de certa forma, justifica toda a igualdade de resultados que existe comparativamente com a hipótese que testa a utilização máxima de um stock de 3 contentores.

Desta forma, observou-se que a utilização de um stock intermédio de 2 contentores, permite que quando a produção for contínua as talhadoras não tenham de ficar à espera de material, mas também proporciona uma maior garantia à produção, quando houver a necessidade de realizar um recomeço da linha.

*Tabela 11 - Resultados Obtidos no Estudo do Stock 1*

Medidas de Desempenho	Número de Peças Produzidas	Lead Time	Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	Taxa Média de Utilização Talhadoras
Sem Stock	1.568,00 ± 0,00 Peças	672,90 ± 4,05 Minutos	204,81 ± 1,48 Minutos	T1_87%   T2_89%
Stock1 - 1 Contentor	1.657,60 ± 152,32 Peças	755,52 ± 4,27 Minutos	191,47 ± 1,33 Minutos	T1_94%   T2_95%
Variação	+ 5,71 %	+ 12,28 %	- 6,51 %	+ 7%   + 6%
Stock1 - 2 Contentor	1.792,00 ± 0,00 Peças	869,53 ± 4,82 Minutos	179,79 ± 1,29 Minutos	T1_96%   T2_96%
Variação	+ 1 Contentor	+ 33,23 %	- 12,22 %	+ 9%   + 7%
Stock1 - 3 Contentor	1.792,00 ± 0,00 Peças	985,53 ± 5,13 Minutos	179,79 ± 1,29 Minutos	T1_96%   T2_96%
Variação	+ 1 Contentor	+ 46,43 %	- 12,22 %	+ 9%   + 7%

Ao realizar-se uma análise conjunta a todas as medidas de desempenho, tendo em conta os cenários testados, pode verificar-se que a solução que traz mais vantagens ao sistema, é a que utiliza um stock com dois contentores entre a fase 2 e a fase 3 do processo. Uma vez que, em relação ao cenário base e à segunda hipótese analisada (Stock1 – 1 contentor), há uma melhor utilização das talhadoras, o que consequentemente proporciona um menor tempo de ciclo e um maior número de peças a chegar ao início da linha de montagem. Para além disso, os resultados obtidos, são idênticos ao primeiro cenário, que testa a utilização de 3 contentores em stock, ou seja, é possível manter as mesmas metas sem que seja necessário ter tanto material parado, o que por conseguinte leva a que o *lead time* do processo diminua. Desta forma, prevê-se que a solução de utilizar dois contentores em stock, é a que tornará o sistema mais dinâmico, em virtude de melhores resultados.

### **Stock 2 – No Final da Fase 3 | Número de AGV's - Maquinação / Montagem**

A necessidade de aplicar um stock no final do processo de talhagem, surgiu com o intuito de sustentar o transporte que ocorre entre a fase de maquinação e de montagem, uma vez que subsistiu a problemática relacionada com as distâncias a percorrer. Assim, optou-se por realizar uma análise conjunta a estes dois fatores, visto que existe uma grande correlação e um objetivo comum.

Contudo, como referido anteriormente, para a análise ao cenário base não foi considerado qualquer stock, porém utilizou-se um AGV para realizar o transporte entre linhas. Perante este facto e antes de proceder à concessão de cenários hipotéticos, analisou-se primeiramente a taxa média de utilização do transportador, de modo a identificar algumas particularidades do sistema e a dinâmica que se encontra associada à forma como o AGV é utilizado. Assim, observou-se que a taxa de utilização média, durante um dia de trabalho (24h), do AGV é de 51,81 ± 0,00 %.

Tendo em conta, tanto o resultado obtido, como a observação da animação do modelo, foi possível verificar que apesar de existir uma grande distância entre a maquinação e a montagem, o tempo que demora a encher um contentor com 224 peças talhadas, é superior ao processo completo entre a saída do transportador da linha de maquinação e o seu regresso. Desta forma, com esta primeira análise, tornou-se possível determinar, que basta um AGV a circular entre linhas para que se obtenham os melhores resultados, em termos de produção.

Porém, a utilização de um AGV é um processo bastante dispendioso para a organização, e por isso, há uma preocupação constante em tentar usar estes transportadores da melhor forma possível. Neste caso, o facto de apenas ser necessário um AGV para realizar o transporte, foi logo à partida um dado positivo, uma vez que há um menor investimento. Todavia, o que se pretendeu foi que este processo seja realizado da forma mais dinâmica possível, permitindo obter os mesmos níveis de produção, utilizando um método mais vantajoso na execução do transporte.

Perante a análise ao cenário base, percebeu-se que o transporte entre linhas é realizado de forma intermitente, ou seja, sempre que um contentor no final da talhagem fica completo o AGV transporta-o para a montagem. Contudo, o que por vezes acontece é que ao regressar ao local onde se realiza o carregamento, tem de ficar novamente à espera que um contentor acabe de ser finalizado. Desta forma, ao ser identificada esta problemática, percebeu-se que este fator também podia ser uma oportunidade de melhoria, adaptando a forma como o AGV trabalha. Assim, o objetivo passou por utilizar este veículo de transporte só em ocasiões específicas e de forma contínua, permitindo que o AGV possa, por exemplo, ser utilizado noutra linha que use um método de transporte idêntico. Isto é, o conceito passou por criar um stock no final da fase 3 do processo, que funcione como um impulso, permitindo que nos momentos que o AGV esteja a trabalhar no sistema em questão, as paragens sejam praticamente inexistentes. No entanto, apesar de o transporte só funcionar em determinados períodos, a talhagem deve abastecer de forma contínua o stock, uma vez que vez que o consumo é relativamente mais rápido que o aprovisionamento. Porém, importa ainda recapitular que a peça depois de talhadas convém ser soldada num período de tempo, que não deverá ultrapassar mais de um dia, para que o processo obtenha bons resultados.

Assim, após estar identificada esta estratégia de atuação, foi realizada uma análise conjunta com todos os envolvidos no processo, com o objetivo de identificar alguns cenários que podem ser aplicados no sistema. Desta forma, consideraram-se três hipóteses a contemplar no estudo de simulação, com o objetivo de verificar a que melhor se adequa ao processo e a que proporciona os melhores resultados. Neste caso, todos os cenários considerados, seguiram o mesmo padrão, visto ser a solução encontrada para corresponder a todas as particularidades que envolvem o processo. Ou seja, optou-se por considerar que o período de tempo é segmentado por turnos de 8h, pois foi a forma encontrada para corresponder aos critérios da soldadura. Para além disso, importa ainda referir, que nos turnos onde existe o processo de transporte, continua a ser executada a talhagem das peças. Assim, as hipóteses definidas e analisadas foram as seguintes:

**H1** – 1 turno produz + 2 turnos transportam

**H2** – 2 turnos produzem + 1 turno transporta

**H3** – 1 turno produz + 1 turno transporta

Definidos os cenários em análise, pretendeu-se estudar individualmente de que forma variam os resultados obtidos num dia de trabalho, tendo como comparação o cenário base. Desta forma, com o objetivo de todas as hipóteses considerarem os mesmos critérios e para que se mantenha a analogia com o restante estudo, optou-se por utilizar os mesmos pressupostos na simulação. Assim, para cada cenário foram executadas 50 replicações ao modelo, considerando um período de simulação e um *Warmup* de 24 horas, de modo a garantir que o sistema está a funcionar numa fase contínua do processo, desprezando todo o processo de arranque do sistema. Porém, importa ainda evidenciar, que apesar da taxa de utilização do AGV ser analisada durante todo o período de trabalho, encontravam-se previamente definidos no modelo, os períodos específicos em que o meio de transporte estava em atividade no sistema.

### Hipótese 1

A primeira proposta que surgiu para o modo de funcionamento do stock 2 em sinergia com o período em que o AGV está a executar o processo de transporte para o sistema em questão, procede-se da seguinte forma, num dia de trabalho existe sempre produção que vai para stock, contudo este só começa a ser transportado nos dois últimos turnos do dia. Desta forma, a condição que se optou por utilizar, que permite a concretização deste procedimento, passou por determinar que o stock só liberta peças de 24 em 24 horas, durante um período de tempo de 16 horas e que o início desta condição só acontece após as primeiras 8 horas de trabalho.

Assim, definida a condição de funcionamento do stock entre a talhagem e a montagem, passou-se à sua aplicação no modelo de simulação. Posteriormente e tendo em conta todos pressupostos a aplicar para a execução da simulação, passou-se à análise dos resultados obtidos. Para isso, foram comparadas as medidas de desempenho obtidas, com as do cenário base. Neste caso, optou-se por verificar a taxa média de utilização do AGV em virtude da taxa de utilização das máquinas, visto que estas não sofrem qualquer alteração, uma vez que são utilizadas numa fase anterior à modificação que é realizada no modelo.

*Tabela 12 - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H1*

Medidas de Desempenho	H0 - Sem Stock	Hipótese 1	Varição
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.568,00 ± 0,00 Peças	0 %
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	968,92 ± 5,11 Minutos	+ 43,99 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	204,30 ± 1,41 Minutos	- 0,25 %
Taxa Média de Utilização do AGV	51,81 ± 0,00 %	52,17 ± 0,00 %	+ 0,36 %

Portanto, tendo em conta os resultados observados na Tabela 12, pode verificar-se que não há qualquer alteração no número de contentores que chegam, à linha de montagem, o que se torna um dado positivo. Apesar desta situação, o *Lead Time* aumenta, visto que o stock obriga a que as peças estejam paradas, principalmente no primeiro turno. Outro dado relevante, é o tempo ciclo, visto existir uma pequena diminuição deste valor comparativamente ao cenário base. Esta situação ocorre, porque está em análise o valor médio e apesar do tempo de ciclo do cenário base ser quase sempre idêntico, o que acontece nesta hipótese é que até ao final do primeiro turno não chega material à montagem, contudo nos turnos seguintes os contentores chegam a esta linha com uma boa cadencia, uma vez que o stock consegue suportar o processo de transporte, diminuindo as paragens do AGV. Assim, seguindo a tendência do tempo de ciclo, também a taxa média de utilização do AGV teve um pequeno aumento. Contudo, a principal vantagem está em saber o período em que transportador vai estar ativo na linha, ou seja, o AGV tem um turno (8h) para poder ser utilizado noutras tarefas, conseguindo manter a sua taxa média de utilização diária idêntica.

## Hipótese 2

O segundo cenário analisado, pretende estudar de que forma o sistema se comporta perante o condicionamento do stock 2. Neste caso, a estratégia aplicada foi semelhante à hipótese 1, todavia só no último turno é que passou a existir o processo de transporte. Desta forma, foi possível perceber se o AGV tem a capacidade de transportar o mesmo número de peças, em apenas um turno, o que pode ser uma vantagem visto que este transportador pode ser agregado a um maior número de tarefas.

Assim, a condição lógica utilizada para a execução do stock, determinou que este apenas liberta material uma vez por dia (24h), durante o último turno (8h), ou seja, após 16 horas de produção, o stock começa a abastecer o AGV, que durante 8 horas faz o transporte entre a linha de maquinaria e a linha de montagem. Terminada a associação desta condição ao modelo, foi realizada a execução do modelo de simulação, seguindo os pressupostos determinados na fase inicial. Desta forma, foi possível obter os resultados das mediadas de desempenho, podendo fazer-se uma comparação com o modelo que apenas determina que quando existir um contentor em stock, este avança logo que possível, tal como se pode visualizar na Tabela 13.

*Tabela 13 - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H2*

Medidas de Desempenho	H0 - Sem Stock	Hipótese 2	Varição
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.120,00 ± 0,00 Peças	- 2 Contentores
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	1284,45 ± 6,59 Minutos	+ 90,88 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	288,69 ± 2,02 Minutos	+ 40,95 %
Taxa Média de Utilização do AGV	51,81 ± 0,00 %	37,53 ± 0,00 %	- 14,28 %

Analisados os resultados obtidos no *software* de simulação, foi possível verificar que, no global, esta é uma má solução a aplicar no sistema. Isto porque, os níveis de produção são inferiores, passando de uma produção diária de 7 contentores para apenas 5 contentores. Para além disto, o *Lead time* do processo sofreu quase uma duplicação, o que significa que as peças estão demasiado tempo paradas, uma vez que o AGV não tem capacidade de resposta no processo de transporte, perante o último turno de trabalho. Seguindo a mesma lógica, também o tempo de ciclo sofreu um grande aumento, uma vez que só no terceiro turno é que chegam peças à linha de montagem. Relativamente à taxa média de utilização do AGV, como se considerou a aplicação diária e como apenas este transportador funciona no último turno, a sua taxa de utilização diminuiu consideravelmente.

### **Hipótese 3**

A terceira hipótese contemplada neste estudo, pretendeu analisar de que forma variam as medidas de desempenho, comparativamente ao cenário base, quando é alterada a forma de funcionamento do stock, que está afeto ao final do processo de talhagem. Assim sendo, a estratégia aplicada passa por utilizar o AGV de forma escalonada, ou seja, num turno não há transporte entre linhas e no seguinte já existe, acontecendo isto sempre de forma alternada. Porém, ao analisar-se esta estratégia mais detalhadamente, foi possível verificar que acontecem alterações, na forma como se procede ao transporte de material entre linhas, entre cada dia de trabalho de forma intercalada. Isto porque, o que foi considerado, foi uma base de apenas dois turnos (16h), em virtude de um dia de produção de 24 horas, o que proporciona que esta hipótese contemple dois cenários diferentes, dependendo do dia produtivo que está a ser estudado.

**Cenário A** – 1º turno transporta + 2º turno apenas produz + 3º turno transporta

**Cenário B** – 1º turno apenas produz + 2º turno transporta + 3º turno apenas produz

Perante estas duas vertentes, optou-se por estudar individualmente cada um dos cenários, utilizando pressupostos idênticos aos aplicados nas hipóteses simuladas anteriormente. Antes da execução do modelo, foi importante definir as condições a associar ao stock, de modo a que o modelo correspondesse aquilo que era pretendido. Desta forma, para o cenário A optou-se por determinar que o stock é libertado de 16 em 16h, num período de 8h, sendo que o início desta operação é efetuado aquando do começo do primeiro turno. Para o cenário B foi definida uma condição lógica idêntica, no entanto em vez de a libertação do stock se dar no início do primeiro turno, esta acontece em simultâneo com o começo do segundo turno, isto é, após as primeiras 8 horas de trabalho, estarem concretizadas. Finalizada a execução do modelo, procedeu-se à observação dos resultados obtidos em ambos os cenários e conjuntamente também se analisou a variação destes valores com os obtidos no cenário base, tal como era o objetivo inicial.

**Tabela 14 - Resultados Obtidos - Stock 2 com a Condição H3**

Medidas de Desempenho	H0 - Sem Stock	Hipótese 3 - A	Variação	Hipótese 3 - B	Variação
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.568,00 ± 0,00 Peças	0 %	1.120,00 ± 0,00 Peças	- 2 Contentores
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	961,55 ± 5,04 Minutos	+ 42,90 %	1037,55 ± 5,97 Minutos	+ 54,19 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	204,13 ± 1,36 Minutos	- 0,33 %	283,73 ± 1,94 Minutos	+ 38,53 %
Taxa de Utilização do AGV	51,81 ± 0,00 %	52,55 ± 0,00 %	+ 0,74%	41,02 ± 0,00 %	- 10,79 %

Assim, analisada a Tabela 14 foi possível verificar que no dia em que existem dois turnos a realizar o transporte entre linhas (cenário A), os resultados obtidos comparativamente com o cenário B, são em todos os aspetos analisados, melhores. Esta situação ocorre, porque o AGV está menos tempo parado, visto existir uma melhor taxa de utilização, conseguindo transportar mais material até à linha de montagem, o que tem influência tanto no *Lead time* do processo, como no tempo de ciclo. Porém, foi importante ter em conta que estes dois cenários devem ser observados de forma agregada, uma vez que esta é uma hipótese comum, ou seja, se num dos dias de trabalho a produção for de 1.568,00 peças (7 contentores), sabe-se à partida que, no dia seguinte esta irá sofrer uma diminuição, passando a ser 5 os contentores que chegam à linha de montagem, sucedendo esta situação de forma alternada. Desta forma, foi possível entender, que esta é uma hipótese que tem dois dias de produção distinto, no entanto este não é um fator que invalide a sua aplicação no sistema, é apenas uma situação que teve de ser tida em conta.

Analisados individualmente todos os cenários que foram propostos para aplicar no sistema, pretendeu-se ainda realizar uma análise conjunta, de modo a ter uma perceção mais global de todas as estratégias. Para além disto, o objetivo passou ainda por apoiar o processo de tomada de decisão, através da identificação da hipótese que melhor se adequa ao sistema e que pode trazer mais benefícios ao modo de funcionamento da linha. Desta forma, verificaram-se todos os resultados obtidos neste estudo, tendo como principal foco o cenário base, tal como se encontra representado na tabela seguinte.

**Tabela 15 - Resultados Obtidos no Estudo do Stock 2**

Medidas de Desempenho	Número de Peças Produzidas	Lead Time	Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	Taxa de Utilização AGV
H0 - Sem Stock	1.568,00 ± 0,00 Peças	672,90 ± 4,05 Minutos	204,81 ± 1,48 Minutos	51,81 ± 0,00 %
Hipótese 1	1.568,00 ± 0,00 Peças	968,92 ± 5,11 Minutos	204,30 ± 1,41 Minutos	52,17 ± 0,00 %
Variação	0 %	+ 43,99 %	- 0,25 %	+ 0,36 %
Hipótese 2	1.120,00 ± 0,00 Peças	1284,45 ± 6,59 Minutos	288,69 ± 2,02 Minutos	37,53 ± 0,00 %
Variação	- 2 Contentores	+ 90,88 %	+ 40,95 %	- 14,28 %
Hipótese 3 - A	1.568,00 ± 0,00 Peças	961,55 ± 5,04 Minutos	204,13 ± 1,36 Minutos	52,55 ± 0,00 %
Variação	0 %	+ 42,90 %	- 0,33 %	+ 0,74%
Hipótese 3 - B	1.120,00 ± 0,00 Peças	1037,55 ± 5,97 Minutos	283,73 ± 1,94 Minutos	41,02 ± 0,00 %
Variação	- 2 Contentores	+ 54,19 %	+ 38,53 %	- 10,79 %

Deste modo, tendo em conta os resultados obtidos, foi possível aferir que o segundo cenário testado, define a estratégia que proporciona piores resultados ao sistema. Por comparação, a terceira hipótese analisada distingue-se das restantes, como anteriormente referido, uma vez que é indispensável associar os resultados dos dois cenários, que são a base da estratégia considerada, para se poder compreender de que forma foi impactado o sistema em estudo. Desta forma, foi possível constatar que apesar de num dos cenários, os resultados obtidos demonstrarem serem os que trazem mais benefícios para o sistema, o cenário que implica apenas um dos turnos a realizar o processo de transporte entre linhas, provoca algumas limitações a esta estratégia, visto os resultados obtidos não serem os melhores. Em contrapartida, e comparando com os restantes cenários, a primeira hipótese testada é a que, no global, demonstra ter a potencialidade de originar melhores resultados para o sistema, uma vez que permite definir um período específico, para que ocorra o transporte entre linhas, sem que os resultados sofram grandes alterações comparativamente com o cenário base.

Finalizados os estudos individuais de simulação, que permitiram apoiar a tomada de decisão, no que se refere aos dois *stocks* que foram idealizados, para a nova linha de maquinaria da caixa diferencial DB35, optou-se ainda por perceber como as hipóteses identificadas como sendo as que trazem mais benefícios para o sistema, reagem de forma conjunta. Assim, através desta análise, foi possível ter uma ideia mais adequada de como estes dois fatores têm influência nos resultados obtidos, em comparação com o cenário base. Desta forma, foi definido que o stock entre a fase 2 e a fase 3 do processo está associado a dois contentores, mas também que o stock no final do processo de talhagem funciona seguindo a condição de que, apesar de existir sempre produção, as peças só são libertadas nos dois últimos turnos do dia (16h), para que o transporte seja realizado num período específico, utilizando apenas um AGV.

Para a execução deste novo modelo, foram aplicados pressupostos idênticos aos utilizados nas simulações anteriores, ou seja, realizaram-se 50 replicações ao modelo, tendo em conta um período de simulação e um *Warmup* de um dia (1440 minutos). Posteriormente, foi feita uma análise comparativa aos resultados obtidos, tendo por base o cenário base, que em certa medida, não agrega qualquer um destes stocks.

*Tabela 16 - Resultados Obtidos com a Aplicação dos Dois Stocks*

Medidas de Desempenho	H0 - Sem Stocks	H_Final - Com Stocks	Varição
Número de Peças Produzidas	1.568,00 ± 0,00 Peças	1.792,00 ± 0,00 Peças	+ 1 Contentor
Lead Time	672,90 ± 4,05 Minutos	1350,03 ± 7,94 Minutos	+ 100,63 %
Tempo de Ciclo (1 Contentor = 224 Peças)	204,81 ± 1,48 Minutos	175,59 ± 1,13 Minutos	- 14,27 %
Taxa Média de Utilização das Talhadoras	T1_87%   T2_89%	T1_96%   T2_96%	+ 9%   + 7%
Taxa de Utilização do AGV	51,81 ± 0,00 %	54,37 ± 0,00 %	+ 2,56 %



Perante os resultados apresentados na Tabela 16, foi possível verificar que a aplicação dos *stocks* no sistema, pode proporcionar inúmeras vantagens, como uma diminuição no tempo de ciclo do processo, que está associada a uma melhor utilização dos recursos e que é refletido, no aumento do número de contentores que, no final de um dia de trabalho, chegam ao início da linha de montagem. Contudo, como referido inicialmente, a aplicação de um stock envolve material parado no sistema, o que de certa forma pode ser um inconveniente, uma vez que o *lead time* do processo, inevitavelmente padece de um aumento. Para além disto, importa evidenciar que os resultados obtidos, são representativos do que sucede em cada cenário analisado de forma individual, todavia a taxa de utilização do AGV sofre um ligeiro aumento. Esta situação ocorre, uma vez que as talhadoras estão menos tempo paradas, conseguindo que a produção aumente, o que em certa medida, proporciona que no segundo turno onde existe transporte, haja mais material para ser transportados, o que leva a que o AGV tenha um melhor aproveitamento.

Dado como finalizado este segundo caso de estudo, onde o principal objetivo passou por apoiar a tomada de decisão, relativamente à definição de algumas propriedades do sistema, uma vez que esta é uma linha que ainda se encontra em fase de projeto, foi possível perceber os benefícios que um estudo de simulação pode proporcionar a este tipo de projetos. Ou seja, além da identificação de uma proposta para o modo de funcionamento dos *stocks* em paralelo com o transporte entre linhas, foi possível verificar algumas propriedades do sistema, como o *lead time* e o tempo de ciclo do processo, que até então eram as medidas de desempenho, que não tinham sido propriamente estudadas. Posto isto, foi possível concluir que esta é uma ferramenta extremamente útil, tanto no apoio à tomada de decisão, como na visualização da forma como a linha irá trabalhar, sem que esta esteja fisicamente implantada, possibilitando o teste a vários cenários alternativos, mas também a identificação de algumas medidas de desempenho que estão agregadas ao modo de funcionamento do sistema.



## 5. Conclusão

O projeto realizado surgiu com objetivo de perceber de que forma é que a ferramenta de simulação, permite apoiar os processos de tomada de decisão, uma vez que atualmente as organizações tem de decidir tudo de forma mais rápida, mas também cometendo menos erros. Assim, numa fase inicial foram identificados dois projetos com bastante impacto para a Renault Cacia, onde havia a necessidade de responder a algumas questões de forma sustentada e tendo em conta alguns critérios. Desta forma, optou-se por realizar dois casos de estudo distintos, com o objetivo de efetuar um estudo de simulação para cada um dos projetos, de modo a contribuir para o processo de tomada de decisão.

Neste caso, as premissas associadas a cada projeto foram um pouco distintas, o que foi bastante importante, uma vez que permitiu demonstrar melhor, todas as potencialidades que estão associadas à ferramenta de simulação. Desta forma, para o primeiro caso de estudo foram analisadas três hipóteses relativas ao modo de funcionamento, a aplicar na linha que realiza a maquinação de BOCV, visto existir uma nova diversidade de peça que irá ser integrada neste processo. Assim, para cada uma das hipóteses testadas, verificou-se os níveis de produção para cada uma das diversidades, mas também foi analisada taxa de ocupação das máquinas, um fator bastante importante para perceber toda a dinâmica associada ao sistema. Contudo, em dois dos cenários estudados, como existe um stock intermédio entre fases de maquinação, optou-se ainda por analisar o número de peças que, ao longo do modelo, são enviadas para este local, com o objetivo de observar as diferenças que existem entre estas duas hipóteses.

Relativamente ao segundo caso de estudo, este distinguiu-se do primeiro, uma vez que a linha onde foi integrado o estudo de simulação, ainda não existe fisicamente na organização, estando apenas em fase de projeto. Neste caso, o sistema em questão tem como objetivo proceder à maquinação da caixa diferencial DB35, que será incluída na nova caixa de velocidades híbrida da Renault. Desta forma, o propósito para a aplicação da ferramenta de simulação nesta linha, foi determinar algumas propriedades do sistema que ainda se encontram em aberto, como o caso dos stocks que são necessários implementar na linha, mas também perceber de que forma será realizado o transporte que é necessário fazer entre a linha de maquinação e a de montagem. Para isso, numa primeira fase do estudo, procedeu-se à identificação de como irá funcionar todo este sistema, tendo por base a implantação validada e também a linha que atualmente realiza a maquinação das várias diversidades da caixa diferencial. Posto isto, foram identificados os dados que seriam importantes obter e após realizada essa recolha, foi contruído o modelo concetual do sistema. Seguidamente, tendo por base este modelo, foi desenvolvido o modelo lógico do cenário base, onde se considerou que sempre que haja material em stock este segue, logo que possível para a etapa seguinte, mas também que apenas um AGV irá executar o transporte entre linhas. Posteriormente, foram testados individualmente vários cenários para cada um dos stocks em análise, onde se verificou de que forma variam as medidas de desempenho, de modo identificar as hipóteses que proporcionam mais benefícios ao sistema. Para finalizar, optou-se ainda por observar de que forma variam os resultados, quando aplicados em conjunto, os cenários que mais vantagens trazem ao funcionamento do sistema.

Quanto ao *software* de simulação aplicado no desenvolvimento de ambos os casos de estudo, optou-se por utilizar o *Witness*, uma vez que é o *software* adquirido pela Renault e assim permite que qualquer trabalhador do Grupo possa aceder ao estudo. Para além disto, havia o objetivo de demonstrar e divulgar todas as potencialidades desta ferramenta/*software*, para que a sua utilização na Renault Cacia, fosse uma constante no apoio à tomada de decisão, permitindo apoiar novos projetos. Assim, com o desenvolvimento destes estudos, foi possível perceber que o *Witness* é um *software* de simulação bastante dinâmico, uma vez que possibilita a associação de várias propriedades ao modelo e a obtenção dos resultados de forma estruturada e com bastante informação. Porém a grande vantagem identificada, está relacionada com processo de construção do modelo de animação, uma vez que este é desenvolvido à medida que o modelo lógico é criado. Para além disto, importa evidenciar que o modelo de animação foi bastante impactante e relevante no desenvolvimento de ambos os casos de estudo, permitindo analisar o modo de funcionamento do sistema e também apoiar o processo de validação dos modelos em análise. Agregado a este fator, também é possível verificar que mesmo uma pessoa que não se encontre familiarizada com a simulação, consegue analisar o funcionamento do modelo a partir da animação. Em contrapartida, a principal dificuldade identificada, foi a necessidade de utilizar várias regras de programação, para condicionar alguns elementos do modelo.

Assim, através deste projeto, foi possível concluir que a simulação é uma ferramenta versátil e bastante dinâmica, possibilitando executar estudos com diferentes princípios e objetivos, não havendo qualquer restrição relativamente ao tamanho e ao grau de complexidade do sistema. Para além disto, verificou-se que a simulação pode ter um papel crucial na determinação de algumas propriedades do sistema, quando este ainda estiver numa fase de planeamento ou de mudança. Neste caso, a possibilidade de testar vários cenários, fazendo variar os períodos de simulação e o modo de funcionamento dos recursos e dos elementos que estão agregados ao sistema, é uma grande mais valia, uma vez que passa a ser possível prever os resultados que se irão obter sem ser necessário alterar ou criar a linha em questão, poupando tempo e dinheiro.

Para concluir, importa referir que o primeiro caso de estudo foi alvo de uma análise por parte da organização, tendo tido um grande impacto na decisão tomada. Relativamente ao segundo caso, este ainda está a ser verificado, com o objetivo de analisar se as estratégias determinadas pelo estudo serão as aplicadas, aquando da implementação da nova linha.

## **5.1. Trabalhos Futuros**

Relativamente a trabalhos futuros, seria interessante complementar este trabalho com um estudo de simulação que tivesse como objetivo melhorar um sistema já totalmente definido e aplicado, de modo a demonstrar outra das potencialidades da ferramenta. Para além disso, como o *Witness* não é dos softwares mais utilizados, seria importante criar um manual de utilização ilustrativo, que permita apoiar no desenvolvimento de um estudo de simulação. Agregado a este fator, surge a ideia de criar um Excel dinâmico, onde seria mais fácil e intuitivo definir as condições do modelo, uma vez que estes dois programas facilmente se interligam.

## 6. Bibliografia

- Airehrour, D., Gutierrez, J., & Ray, S. K. (2016). Secure routing for internet of things: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 66, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.006>
- Al-Aomar, R., Williams, E. J., & Ulgen, O. M. (2015). *Process Simulation Using WITNESS*. Wiley.
- Banks, J. (1999). Introduction to Simulation. In AutoSimulation (Ed.), *Winter Simulation Conference* (pp. 7–13). <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429315>
- Barbosa, C., & Azevedo, A. (2017). Hybrid Simulation for Complex Manufacturing Value-chain Environments. *Procedia Manufacturing*, 11, 1404–1412. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.270>
- Blöchl, S. J., & Schneider, M. (2016). Simulation Game for Intelligent Production Logistics - The PuLL<sup>®</sup> Learning Factory. *Procedia CIRP*, 54, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.100>
- Caggiano, A., Caiazzo, F., & Teti, R. (2015). Digital factory approach for flexible and efficient manufacturing systems in the aerospace industry. *Procedia CIRP*, 37, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.015>
- Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., & Oliveira, G. A. B. P. J. A. (2013). Discrete Simulation Software Ranking – a Top List of the Worldwide Most Popular and Used Tools. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Garcia, M. C., Sanz-Bobi, M. A., & del Pico, J. (2006). SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance. Application to the health condition monitoring of a windturbine gearbox. *Computers in Industry*, 57(6), 552–568. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.02.011>
- Goldsman, D., Nance, R. E., & Wilson, J. R. (2010). A brief history of simulation revisited. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 567–574. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679129>
- Gregor, S. (2009). Building theory in the sciences of the artificial. *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, DESRIST '09*. <https://doi.org/10.1145/1555619.1555625>
- Gunal, M. M. (2019). *Simulation for Industry 4.0 - Past, Present, and Future* (M. M. Gunal, Barbaros Naval Science and Engineering Institute, & N. D. U. Tuzla, Eds.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios - A Literature Review. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Kellner, M. I., Madachy, R. J., & Raffo, D. M. (1999). Software Process Modeling and Simulation: Why, What, How. *Journal of Systems and Software*, 46(2), 1–18. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.9324&rep=rep1&type=pdf>
- Lanner Group. (2018). TECHNOLOGY WITNESS HORIZON. Retrieved from <https://www.lanner.com/en-gb/technology/witness-simulation-software.html>
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling & Analysis* (2nd ed., Vol. 1). <https://doi.org/10.1201/9781351074681-5>

- Lee, J., Han, S., & Yang, J. (2011). Construction of a computer-simulated mixed reality environment for virtual factory layout planning. *Computers in Industry*, 62, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.07.001>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lugaresi, G., & Matta, A. (2018). Real-time simulation in manufacturing systems: Challenges and research directions. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 3319–3330. <https://doi.org/10.1109/WSC.2018.8632542>
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Winter Simulation Conference Proceedings*, 7–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/268437.268440>
- Michniewicz, J., & Reinhart, G. (2014). Cyber-physical Robotics – Automated Analysis, Programming and Configuration of Robot Cells based on Cyber-physical-systems. *Procedia Technology*, 15, 566–575. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.09.017>
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Oberkampf, W. L., & Trucano, T. G. (2008). Verification and validation benchmarks. *Nuclear Engineering and Design*, 238(3), 716–743. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2007.02.032>
- Pirvu, B. C., & Zamfirescu, C. B. (2017). Smart factory in the context of 4 th industrial revolution: challenges and opportunities for Romania. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 227(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/227/1/012094>
- Rennung, F., Luminosu, C. T., & Draghici, A. (2016). Service Provision in the Framework of Industry 4.0. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.127>
- Robinson, S. (2006). *Conceptual Modeling For Simulation: Issues and Research Requirements*. 792–800. <https://doi.org/10.1109/WSC.2006.323160>
- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193–207. <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017>
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *The Boston Consulting Group*. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution* (W. E. Forum, Ed.). Retrieved from [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=ST\\_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+Fourth+Industrial+Revolution&ots=DTmz9Vxv\\_K&sig=LL98rJNqnPIATAObBxLLnkzAZG4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=The Fourth Industrial Revolution&f=false](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=ST_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+Fourth+Industrial+Revolution&ots=DTmz9Vxv_K&sig=LL98rJNqnPIATAObBxLLnkzAZG4&redir_esc=y#v=onepage&q=The+Fourth+Industrial+Revolution&f=false)
- Sumari, S., Ibrahim, R., Zakaria, N. H., & Ab Hamid, A. H. (2013). Comparing Three Simulation Model Using Taxonomy: System Dynamic Simulation, Discrete Event Simulation and Agent

- Bases Simulation. *International Journal of Management Excellence*, 1(3), 54–59. <https://doi.org/10.17722/ijme.v1i3.9>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>
- Wu, Z., Gao, Z., Cao, Y., Ye, X., & Yang, J. (2015). Tolerance design and adjustment of complex customized product based on cloud manufacturing. *Procedia CIRP*, 27, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.061>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zhang, Z., Wang, X., Wang, X., Cui, F., & Cheng, H. (2019). A simulation-based approach for plant layout design and production planning. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 1217–1230. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0687-5>
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>





## 7. Anexos

### Anexo 1 – Operações de Maquinação da Caixa Diferencial Nua DB35

*Tabela 17 - Operações que Envolvem a Fase 2 e a Fase 3 do Processo*

Maquinação Caixa Diferencial Nua DB35	
Operação	Designação
110	Torneamento do 1º lado
120	Torneamento do 2º lado e desbaste dos Furos Satélite
123	Controlo 100% integrado do diâmetro interno e externo
130	Torneamento da esfera e dos Eixos Satélite
140	Torneamento exterior em acabamento dos diâmetros ext. canelado e gola
143	Controlo 100% integrado do diâmetro externo
150 – Fase 3	Talhagem do canelado

### Anexo 2 – Distribuição de Probabilidade Aplicado ao Tempo de Ciclo das Máquinas

*Tabela 18 - Tempo de Ciclo Que foi Aplicado em cada Máquina*

Tempo de Ciclo		
Operação	Nº de Máquinas	Distribuição de Probabilidade (min)
Bin Picking	1	TRIA (0.32, 0.335, 0.37)
Marcação Datamatrix	1	UNIF (0.49, 0.54)
OP110	2	TRIA (1.19, 1.31, 1.43)
OP120	2	TRIA (1.38, 1.52, 1.66)
OP123	2	$0.48 + 0.79 \times \text{BETA}$ (1.27, 1.14)   NORM (0.806, 0.133)
OP130	2	TRIA (1.18, 1.30, 1.42)
OP140	2	TRIA (1.41, 1.55, 1.69)
OP143	2	$0.5 + 0.56 \times \text{BETA}$ (1.19, 1.23)   UNIF (0.54, 1)
OP150	2	TRIA (1.43, 1.61, 1.79)   UNIF (1.59, 1.66)
Controlo BdL_1	1	UNIF (2, 4)
Duramax	1	$1.52 + 2.25 \times \text{BETA}$ (0.996, 1.24)
Controlo BdL_2	1	NORM (0.984, 0.104)

### Anexo 3 – Deslocações Associadas ao Sistema

*Tabela 19 - Velocidade e Distancia a Percorrer para cada Deslocação*

Deslocações / Transporte			
Recurso	Percurso	Velocidade (m/min)	Distância (m)
Operador 1/2	OP110 – Controlo BdL	90	15
Operador 1/2	OP120 – Controlo BdL	90	8
Operador 1/2	OP130 – Duramax	90	8
Operador 1/2	OP140 – Duramax	90	15
Operador 1	OP143 – Stock 1	90	12
Operador 2	OP143 – Stock 1	90	21
Operador 3	Stock 1 – OP150	90	13
Operador 3	OP150 – Controlo BdL	90	5
Operador 3	OP150 – Stock 2	90	5
Operador 3	Controlo BdL – Stock 2	90	13
AGV	Stock 2 – Montagem	15	820
AGV	Montagem – Stock 2	15	795