

Pull by Pushing: aplicação de um modelo híbrido de planeamento industrial

João Sousa Soares Sousa Guedes

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Luís Moura Borges

Orientador na Empresa: Eng.º Pedro Reina



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2019-07-01

Resumo

A empresa X fabrica o produto Y e há pouco mais de um ano construiu uma linha de produção de PVD (*Physical Vapor Deposition*). O PVD é um tipo de revestimento em vácuo que se aplica sobre o produto Y e que lhe confere, não só uma durabilidade consideravelmente maior, como também a mudança de cor (Prirev - Surface Technology 2019). A aplicação deste revestimento é feita dentro de câmaras, num processo muito sensível, ou seja, é muito difícil monitorizar os seus parâmetros (exemplo: tempo que o produto está dentro da câmara ou intensidade de ionização) que determinam o resultado final do processo. Esta sensibilidade aliada à vulnerabilidade da peça (uma simples marca de um dedo pode afetar uma peça) torna o processo de revestimento muito susceptível ao erro. Estes erros podem ter origem quer numa má programação da câmara, como também num dos vários processos pelos quais o produto tem que passar antes de ser aplicado o revestimento. A esta grande ocorrência de erros que, com facilidade geram defeitos, junta-se ainda uma grande variedade de referências que confere a esta linha de produção um elevado grau de complexidade.

Desde que a empresa começou a aplicar o revestimento PVD, a procura deste tipo de produto cresceu de forma acentuada; contudo, a produção não teve a capacidade de acompanhar este forte crescimento. Esta falta de capacidade teve como consequência o agravamento do número de encomendas em atraso. Para que a empresa possa continuar a vender os seus produtos e não perca nenhuma das encomendas que já recebeu, a linha de PVD terá que produzir em maior quantidade e de acordo com as prioridades das encomendas em atraso. Só desta forma garante que está a produzir de forma eficaz.

O objectivo deste projecto passa pela implementação de um sistema de planeamento eficaz com base num algoritmo de agrupamento e alocação que permita um melhor desempenho da linha. O algoritmo deve ser capaz de calcular os agrupamentos de peças que devem ser processadas em conjunto e aloca-los às câmaras de PVD para que as peças possam ser revestidas. Este sistema de planeamento deverá trazer grandes mais valias em três aspectos:

- **Output** - um melhor agrupamento e alocação das encomendas que deverá permitir reduzir o tempo de paragem das câmaras de PVD, aumentando o *output* da linha.
- **Eficácia** - o sistema deverá conferir à linha a capacidade de produzir as referências correctas, de acordo com as prioridades das encomendas em atraso.
- **Qualidade** - O algoritmo de planeamento deverá permitir organizar as peças de forma a evitar a intervenção manual no processo, pois o facto de as peças serem muito sensíveis possibilita que o seu manuseamento por parte dos colaboradores origine defeitos.

O algoritmo de agrupamento e alocação foi desenvolvido utilizando o Microsoft Excel com Visual Basic e SQL. Como esta é uma linha de produção sujeita a inúmeros contratemplos e apesar do método desenvolvido ter em vista reduzi-los, a flexibilidade no que toca à possibilidade de readaptação e alteração de parâmetros em qualquer instante, foi um factor prioritário na construção do algoritmo.

No final do projecto a linha atingiu uma produção semanal de 43 000 peças, mais 8 000 do que a média inicial, o que permite classificá-lo, neste domínio, como um caso de sucesso. Contudo, as encomendas em atraso não estão a ser reduzidas de forma eficaz. O que pode ser explicado pela grande quantidade de problemas que o desenvolvimento deste projecto permitiu identificar, tanto nos processos internos como naqueles a montante e a jusante da linha.

Pull by Pushing: application of a hybrid model of industrial planning

Abstract

Company X manufactures product Y, and one year ago has started to apply PVD (Physical Vapor Deposition) to it. PVD is a vacuum coating that, when applied to a product, increases its durability and changes its colour (Prirev - Surface Technology 2019). The application of PVD is an extremely sensitive process developed inside chambers, which hinder the monitorization of parameters that control the quality of results, such as the time a product is inside the chamber or the intensity of the ionization. This sensitivity combined with the vulnerability of the pieces (a simple fingerprint can damage a piece), makes this process very liable to errors. These can be originated by a poor regulation of the chamber, or at any of the several preparation processes that must occur before each piece enters the chamber, which are very vulnerable to errors as well. This probability of errors and production of defects is also enhanced by the wide number of references produced. These two aspects together, grant high complexity to this production line.

Since the company implemented to application of PVD, the demand for product Y increased. As the production line failed the capacity to the incremented demand, the company's back orders were deeply affected. If company X wants to keep selling the PVD coated product without losing any received orders, the production line must be able to increase production capacity and produce the references included in the orders backlog, ensuring the more effective production possible.

This project aims to implement an effective planning system based on an aggrupation and allocation algorithm that improves production line performance. This algorithm must be able to calculate the group of pieces that should be processed together and allocate those to the PVD chambers. This planning system should present big benefits in three aspects:

- **Output** – a better aggrupation and allocation of the orders allows a reduction of the stoppages time in the PVD line, increasing the output.
- **Effectiveness** – the new planning system should be able to produce the references considering the priority of the backlog orders.
- **Quality** – due to the high sensitivity of the pieces the handling of piece by workers enhances the probability of defects in the final products. The algorithm will allow the organization of references in such a way that the number of manual stages of the process is reduced.

The aggrupation and allocation algorithm was developed using Microsoft Excel with Visual Basic and SQL. Since the production line is exposed to several setbacks and even though this system has the goal of reducing those, ensuring flexibility to readapt and change of parameters at any moment of the process, was a major factor to consider while developing the algorithm.

At the end of the project, the line was producing weekly 43 000 pieces, 8 000 more than the average in the beginning of the project. Though the project can be evaluated as successful in terms of output, the reduction of the backlog orders was not accomplished, which can be justified by the several issues detected throughout project implementation, both in processes of the affected production line and external stages before and after the line.

Agradecimentos

Ao meu orientador na FEUP, Prof. José Luís Moura Borges e ao meu orientador no Instituto Kaizen, Engº Pedro Reina por todo o acompanhamento e proveitosos comentários ao longo de todo o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Tiago Abreu que ao longo de todo o processo de desenvolvimento do algoritmo se disponibilizou para me dar todo o apoio necessário.

Ao Nuno Vasconcelos e ao Rafael Henriques e a todos os outros colegas do Instituto Kaizen, por todo o incentivo e conhecimento partilhado.

Ao meu pai, às minhas irmãs e ao meu cunhado que me ajudaram na construção deste relatório.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Mercado decorativo de produtos revestidos em PVD	2
1.3	Situação inicial e descrição do projecto	2
1.4	Objetivos do projecto	3
1.5	Metodologia.....	4
1.6	Estrutura da dissertação	5
2	Revisão de literatura	6
2.1	Técnica de revestimento PVD.....	6
2.2	Filosofia <i>Kaizen</i>	7
2.3	<i>Pull by Pushing</i>	8
3	Situação inicial da linha de PVD	11
3.1	Âmbito, indicadores e impacto do projecto.....	11
3.2	Descrição do processo actual	13
3.3	Estratégia a adoptar	18
3.4	Síntese	19
4	Análise detalhada da solução	21
4.1	Agrupamento da produção.....	21
4.1.1	Abastecimento normalizado de componentes	22
4.1.2	Eliminação dos stocks intermédios.....	23
4.1.3	Produção em fluxo	25
4.1.4	Controlo da operação	25
4.2	Ferramenta de planeamento	25
4.2.1	Particularidades do sistema produtivo	26
4.2.2	<i>Inputs</i>	31
4.2.3	Funcionamento do algoritmo	33
4.3	Síntese	41
5	Evolução da solução e resultados obtidos.....	43
5.1	As várias fases da solução.....	43
5.2	Resultados obtidos ao longo do projecto	44
5.3	Síntese	48
6	Conclusões e perspetiva de trabalho futuro	49
6.1	Principais conclusões.....	49
6.2	Trabalho futuro	50
	Referências	52
	ANEXO A: Fluxo de informação ao longo da linha	54
	ANEXO B: Esquema de cores para a produção por turno	55
	ANEXO C: Processo produtivo após implementação da solução	56
	ANEXO D: Sessões de desenvolvimento e aperfeiçoamento da ferramenta.....	57
	ANEXO E: Tabela para construção de mesas.....	59
	ANEXO F: Ferramenta de Planeamento.....	60

Siglas e Abreviaturas

<i>Backlog</i>	– palavra inglesa que significa: atraso. Utilizada para se referir às encomendas que a empresa tem em atraso
BD	– base de dados
BOM	– (<i>bill of materials</i>) lista de componentes que constituem o produto final
FIFO	- (<i>First in first out</i>) sistema de armazenagem que significa que o primeiro a entrar deverá ser o primeiro a ser consumido
Gemba	– palavra japonesa que significa: local onde se acrescenta valor
Kaizen	– palavra japonesa que significa: melhoria contínua
<i>Layout</i>	– palavra inglesa que significa: planta. Utilizada para referir a forma como o chão de fábrica está organizado.
Muda	– palavra japonesa que significa: desperdício
<i>Output</i>	– palavra inglesa que significa: resultado de um processo. Utilizada, em ambiente industrial, para identificar a quantidade produzida.
PDCA	– <i>Plan Do Check Act</i>
PVD	– (Physical Vapor Deposition) técnica de revestimento.
SAP	– (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung) é <i>software</i> de gestão utilizado por muitas empresas para controlo da sua actividade.
<i>Stakeholders</i>	– palavra inglesa que serve para identificar todas as partes interessadas num determinado assunto
<i>Stock</i>	– palavra inglesa que significa inventário
VA	– valor acrescentado

Linguagem de programação

If ---- Then ---- Else → Se ---- Então ---- Senão

Rounddown → Arredondar para baixo

Índice de Figuras

Figura 1 - Produção semanal nas 6 semanas que antecederam o início do projecto	3
Figura 2 - Comparação do produzido face ao planeado nas 6 semanas que antecederam o projecto	4
Figura 3 - Câmara de PVD in: http://www.pvd-plating.com/photo/pc18670345-medical_instruments_pvd_plating_machine_surgical_device_pvd_titanium_coating_machine.jpg , consultado em 2019-06-15 09:50	6
Figura 4 - Push, pull e hybrid planning, adaptado de: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commo-ns/thumb/e/e6/CONWIP.png/390px-CONWIP.png , consultado em 01/06/2019 12:50	9
Figura 5 - VA Semanal das 6 semanas que antecederam o projecto	13
Figura 6 - Processo produtivo da linha de PVD	14
Figura 7 - Transformação: peça virgem em referência final	15
Figura 8 - Direcções de lixamento.....	16
Figura 9 - Colocação de uma peça no espeto	16
Figura 10 - Transformação do modelo produtivo.....	19
Figura 11 - Esquema de implementação do <i>Pull by Pushing</i>	22
Figura 12 - Folha de identificação de uma mesa	23
Figura 13 - <i>Layout</i> da linha de PVD	24
Figura 14 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto ao Lixamento.....	25
Figura 15 – Particularidades do processo produtivo	26
Figura 16 - Tipos de lixamento para peças normais e tubulares	28
Figura 17 - Aplicação do PVD para duas cores distintas	29
Figura 18 - Tipos de Programa	30
Figura 19 - Funcionamento da ferramenta de Planeamento	33
Figura 20 - Interface do utilizador para a alocação de mesas às diferentes máquinas e turnos	41
Figura 21 - Produção Semanal.....	45
Figura 22 - VA Semanal	45
Figura 23 - Produção semanal face ao Plano.....	46
Figura 24 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto à Carga	54
Figura 25 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto às Câmaras	54
Figura 26 - Esquema de cores para a produção por turno	55
Figura 27 - Processo produtivo da linha de PVD após implementação da solução	56
Figura 28 - Esquema para explicação da ferramenta.....	57
Figura 29 - Esquema para explicação da ferramenta (planeamento antes)	57
Figura 30 - Esquema para explicação da ferramenta (produção antes).....	58
Figura 31 - Esquema para explicação da ferramenta (planeamento depois)	58
Figura 32 - Esquema para explicação da ferramenta (produção depois).....	58

Figura 33 - Sala de controlo da ferramenta	60
Figura 34 - <i>Dashboard</i> da ferramenta para analisar os agrupamentos calculados	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Estratégias de planeamento. Vantagens e Desvantagens	10
Tabela 2 - Cálculo das quantidades necessárias para a mesma referência com prioridades distintas.....	35
Tabela 3 - Arredondamento à quantidade por espeto	35
Tabela 4 - Distribuição das quantidades com diferentes prioridades pelo pelos espetos	36
Tabela 5 - Distribuição de <i>stocks</i> seguindo a ordem de prioridades	36
Tabela 6 - Distribuição de <i>stock</i> dentro da mesma prioridade	37
Tabela 7 - Resultado do cálculo realizado nos passos 1, 2 e 3	38
Tabela 8 - Quantidade válidas para produção distribuídas por espetos.....	38
Tabela 9 - Principais pontos de comparação entre o antes e o depois.....	42
Tabela 10 - Resumo da evolução dos indicadores no decorrer do projecto	47
Tabela 11 - Construção de mesas de espetos.....	59

1 Introdução

Este projecto de dissertação ocorre no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e foi realizado numa linha de produção em que se aplica um revestimento em vácuo chamado PVD (*Physical Vapor Deposition*) ao tipo de peças Y.

Este capítulo tem como objectivo a contextualização do projecto, descrevendo os objectivos definidos e ainda a apresentação da estrutura da presente dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O projecto desenvolveu-se na empresa X numa parceria com o Instituto Kaizen. Como a empresa enfrentava grandes dificuldades na gestão da sua linha de PVD, o objectivo do projecto foi definido como o aumento da produção semanal em pelo menos 14%, passando de uma produção de 35 mil para 40 mil peças semanais. Este aumento deve ser acompanhado de uma redução no número de peças fabricadas que não estão contidas num plano definido semanalmente.

A empresa produz o produto Y há várias décadas e há pouco mais de um ano começou a aplicar o revestimento PVD aos seus produtos. A aplicação deste revestimento neste tipo de produtos foi um sucesso imediato, e as vendas do produto revestido subiram de forma acentuada.

O PVD é uma tecnologia de revestimento muito complexa (Makhlouf 2011), o que torna lenta a curva de aprendizagem para a sua aplicação, assim como muito difícil a monitorização dos parâmetros que definem a qualidade do produto final. O acentuado crescimento das encomendas dos produtos Y e a consequente introdução de 4 novas câmaras de PVD, resultou num aumento da capacidade da linha sem que antes, o processo de produção estivesse devidamente definido e controlado. Isto levou a um grande aumento do volume de encomendas em atraso. A este conjunto de encomendas em atraso dá-se o nome de *backlog*. O *backlog* aumenta sempre que a linha não consegue produzir dentro do prazo limite de entrega ao cliente. Este atraso tem lugar, porque a linha não consegue produzir a quantidade semanal que determinou como sendo a sua capacidade, para além de, muitas vezes, não serem produzidas as referências que constam no plano semanal. São processadas outras devido à forma arbitrária como são escolhidas as peças no processo vigente; são os colaboradores de cada turno que escolhem as peças que pretendem processar. O plano semanal é construído por uma equipa do departamento de Logística, contém encomendas em atraso, encomendas futuras e indica quais as referências que devem ser produzidas na semana em questão e com que prioridade. Essa prioridade varia com o atraso ou prazo da encomenda e a importância do cliente.

Este projecto tem como finalidade o desenho e desenvolvimento de um processo de planeamento adaptado a esta linha. Esta mudança terá de ser acompanhada de mudanças no fluxo material da linha, assim como da construção de uma ferramenta informática capaz de suportar o processo implementado. O novo método de planeamento deverá apresentar

resultados positivos a nível de *output*, tornando a linha de montagem mais eficiente. Isto é, foi definido como objectivo manter aquele que é o recurso mais caro da linha, as câmaras de aplicação do PVD, sempre em funcionamento e com elevadas taxas de utilização. Sendo que as câmaras devem estar ocupadas com as peças que estão no plano semanal e respeitando as prioridades associadas. Outro dos resultados esperados é em termos de qualidade, pois um fluxo de material que evite o manuseamento de peças, que na produção das peças Y é a maior causa de defeitos, conduzirá à redução do número de peças rejeitadas.

Uma vez que, paralelamente a este projecto, existe um outro relativo à qualidade, não será possível listar qual a proporção dos ganhos em qualidade que têm origem nas medidas propostas nesta dissertação. Assim, foram definidos como critérios de sucesso deste projecto: o aumento do volume de produção, o aumento do cumprimento do plano semanal, a redução de peças produzidas que não constem no plano semanal elaborado e ainda garantir um aumento do valor acrescentado da linha para a empresa.

1.2 Mercado decorativo de produtos revestidos em PVD

O *Physical Vapour Deposition* (PVD), em português: deposição física a vapor, é um processo de revestimento em que um metal é convertido em átomos ou moléculas que são depositadas na peça que se pretende revestir. Este é um revestimento capaz de conferir uma cor à peça processada e também uma elevada resistência a manchas ou riscos (David Gawne 2010). Como tal, este revestimento é aplicado em diversos tipos de objectos: componentes electrónicos para computadores, ferramentas de construção como alicates e anilhas, ou componentes decorativos (Chen 2012), onde se enquadram as peças produzidas pela empresa.

O revestimento em PVD garante também uma maior resistência ao desgaste e à corrosão, para além de conferir à peça revestida uma cor luxuosa, o que torna este método muito atractivo na sua aplicação a materiais decorativos. As peças Y inserem-se dentro da categoria de materiais decorativos, cuja procura tem vindo a crescer de forma acentuada. Para além de todas as vantagens que a aplicação do revestimento de PVD apresenta para o produto revestido, o processo é ecológico, não apresentando por isso desvantagens perante um dos temas mais sensíveis da actualidade (David Gawne 2010).

Ainda assim, a aplicação do revestimento PVD não apresenta só vantagens. Trata-se de um processo com um elevado custo de produção para *outputs* relativamente baixos. É ainda muito difícil executar o revestimento de objectos com formas geométricas particulares, para além claro, da complexidade inerente ao processo. (Makhlouf 2011)

1.3 Situação inicial e descrição do projecto

O projecto teve o seu início num momento em que a situação da empresa relativamente aos produtos com revestimento de PVD, se encontrava em estado de alerta. Nessa altura, a linha de produção estava a produzir há várias semanas muito abaixo da sua capacidade teórica, sendo que dentro dessa produção uma grande quantidade de peças não constavam no plano semanal. A produção de referências fora do plano contribuiu para o aumento do volume de encomendas em atraso. O estado de alerta no seio da empresa levou a que fosse decidida a implementação de uma forma disruptiva de planear e que essa implementação se realizasse num curto espaço de tempo.

Como referido anteriormente, a empresa tem uma equipa Logística dedicada ao planeamento da produção, sendo esta equipa que define que referências que compõem o plano semanal, acrescentando ainda a prioridade que deve ser dada a cada referência. Esse plano semanal é enviado para a equipa de produção, também denominada por equipa PVD. A equipa PVD tem

uma pessoa dedicada à programação da produção que procura garantir que o plano semanal que a equipa Logística construiu seja realizado. Esta tarefa afigurava-se muito complicada com o método de funcionamento da produção em vigor na fase anterior ao projecto.

O âmbito deste projecto começou por estar limitado à área de acção da equipa de PVD, sendo o seu foco o aumento da produção e a diminuição do fabrico de peças fora do plano elaborado pela equipa de Logística. Contudo, após grandes melhorias no que toca aos dois pontos referidos, a empresa continua a apresentar grandes volumes de encomendas em atraso, o que permitiu identificar importantes oportunidades de melhoria a fazer no que toca às funções de planeamento da equipa Logística da empresa. No capítulo 5, está descrito o processo de identificação de melhorias no planeamento e a necessidade de uma integração do trabalho destas duas equipas, a Logística e a PVD. Surgiu assim a necessidade de alargar o âmbito do projecto até parte da área de acção da equipa Logística.

1.4 Objetivos do projecto

O projecto tem como principais objectivos:

- Atingir uma produção semanal de 40.000 peças, sendo que a média de produção nas 6 semanas que antecederam o início do projecto foi de 35.000 peças (Figura 1).

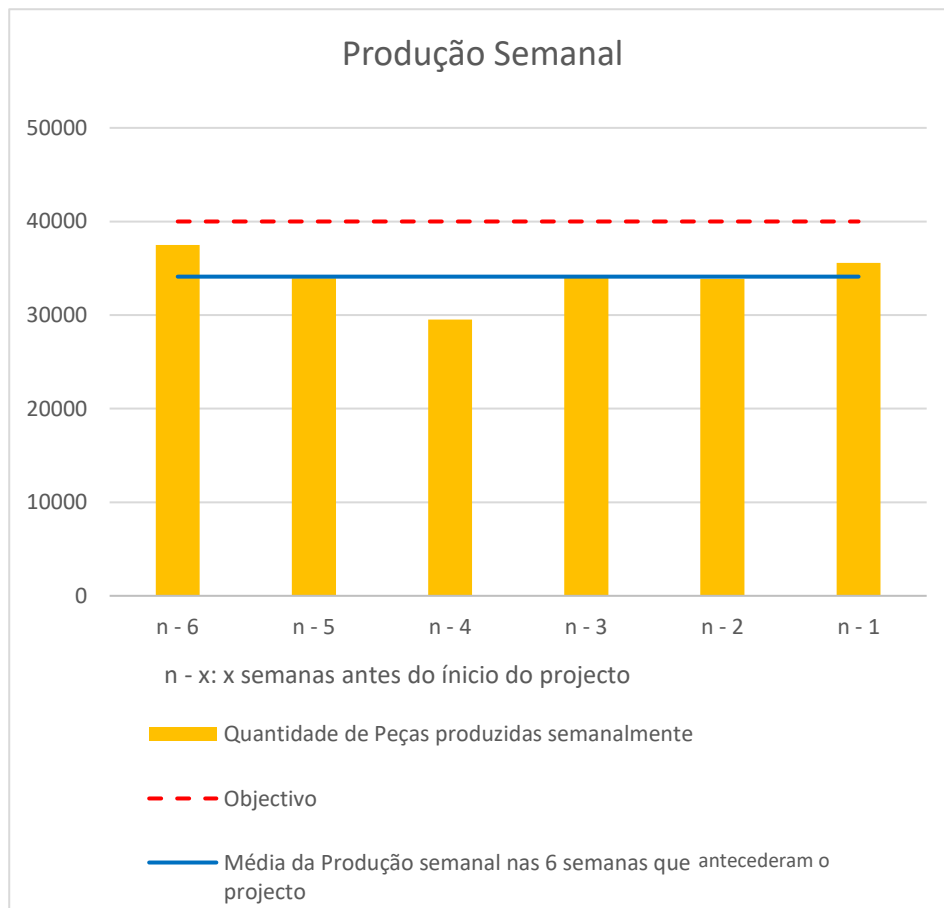


Figura 1 - Produção semanal nas 6 semanas que antecederam o início do projecto

- Aumentar a percentagem de plano realizado face às 6 semanas que antecederam o início do projecto em pelo menos 20% e diminuir a percentagem de produção fora do plano em também 20% (Figura 2).

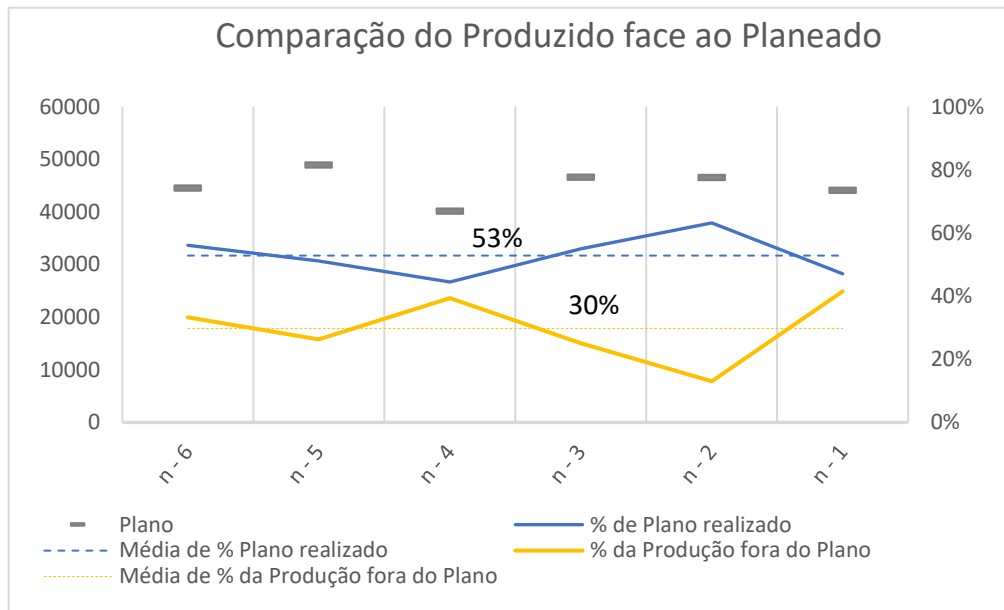


Figura 2 - Comparação do produzido face ao planeado nas 6 semanas que antecederam o projecto

A acrescentar a estes dois objectivos quantitativos surgiu a necessidade de promover uma cultura de melhoria contínua e de entreaajuda entre as equipas dos departamentos de Logística e PVD, principalmente no que diz respeito às questões relativas às funções de planeamento e controlo de produção, respectivamente. Apenas com uma forte ligação entre estes dois departamentos se poderá melhorar substancialmente o desempenho das suas funções.

1.5 Metodologia

Devido à grande urgência na obtenção de melhorias substantivas no curto-prazo, o projecto dividiu-se em duas etapas.

A primeira etapa consiste na redefinição e rápida implementação de um novo processo de planeamento, em conjunto com a construção de uma primeira versão da ferramenta de suporte ao planeamento e controlo de produção.

A segunda etapa representa a entrada num ciclo de melhoria do tipo PDCA (Plan Do Check Act). Uma abordagem por ciclos que começa com uma primeira fase de identificação do problema, planeamento de melhorias e a criação de um plano de ação. De seguida, inicia-se a fase de execução do plano, desenvolver e implementar soluções. A fase posterior, *Check*, é a fase em que se avalia os resultados e se verifica se tudo aquilo que foi planeado foi executado com êxito. Por último temos a fase de padronização das acções implementadas em conjunto com a recolha de lições aprendidas (Johnson 2002). No final de cada ciclo inicia-se de imediato um novo ciclo PDCA. Este ciclo de melhoria foi utilizado tanto para a melhoria do método produtivo, como também na construção da ferramenta informática, que se revelou essencial para que esta nova forma de produção seja possível. Este desenvolvimento foi sempre realizado de acordo com o objectivo de manter a ferramenta flexível, pois a linha de produção de PVD está sujeita a inúmeros imprevistos.

O projecto envolveu a criação de uma *task-force* com elementos da equipa de PVD e da equipa informática, incorporando mais tarde elementos da equipa Logística.

1.6 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, onde é possível encontrar, de forma organizada, todo o contexto e metodologia do projecto desenvolvido.

O primeiro capítulo faz um pequeno enquadramento do projecto, introduzindo-o quanto aos seus objectivos e método como foi desenvolvido.

O segundo capítulo descreve a análise do estado da arte referente ao planeamento *Pull by Pushing* e ainda uma contextualização teórica dos conceitos e métodos utilizados para a resolução do problema.

No capítulo 3 realiza-se uma caracterização do estado inicial da linha de PVD, analisando com detalhe o problema, o processo produtivo e os seus indicadores.

De seguida, no capítulo 4, é feita a descrição detalhada do planeamento *Pull by Pushing* implementado. Este capítulo apresenta ainda as implicações que as particularidades do processo e a redefinição do planeamento têm na ferramenta de suporte e no funcionamento da mesma.

No capítulo 5 é apresentada a evolução da solução e as várias iterações na construção da ferramenta, juntamente com todas as ações necessárias para a implementação do mesmo. Neste capítulo é ainda descrito o processo de integração do trabalho realizado pela equipa Logística e do PVD. Os resultados obtidos são também apresentados neste capítulo.

Por fim, no último e sexto capítulo são espelhadas as principais conclusões do projecto e ainda indicações sobre o trabalho futuro a realizar.

2 Revisão de literatura

Serve o presente capítulo o propósito de realizar uma revisão de literatura da técnica de revestimento PVD, da filosofia kaizen e dos seus princípios, como também do *Pull by Pushing*.

2.1 Técnica de revestimento PVD

O PVD, *Physical Vapor Deposition*, é uma técnica de revestimento realizada dentro de uma câmara (Figura 3) em vácuo e sujeita a pressões muito baixas (10^{-2} a 10^{-4} mBar). Neste processo é aplicada uma camada muito fina (entre 0,05 e os 7 μm) capaz de providenciar um conjunto de propriedades adicionais ao material revestido. A camada exterior aplicada protege o produto, pois apresenta uma grande resistência a processos químicos, ao impacto, como também à descoloração. Por isso, esta técnica é utilizada em produtos que estão sujeitos a condições externas adversas e que precisam de prolongar a sua durabilidade e resistência à corrosão. (Exemplos: *hardware* informático, cutelaria e lâminas de corte, acessórios para automóveis ou componentes sanitários) (David Gawne 2010).

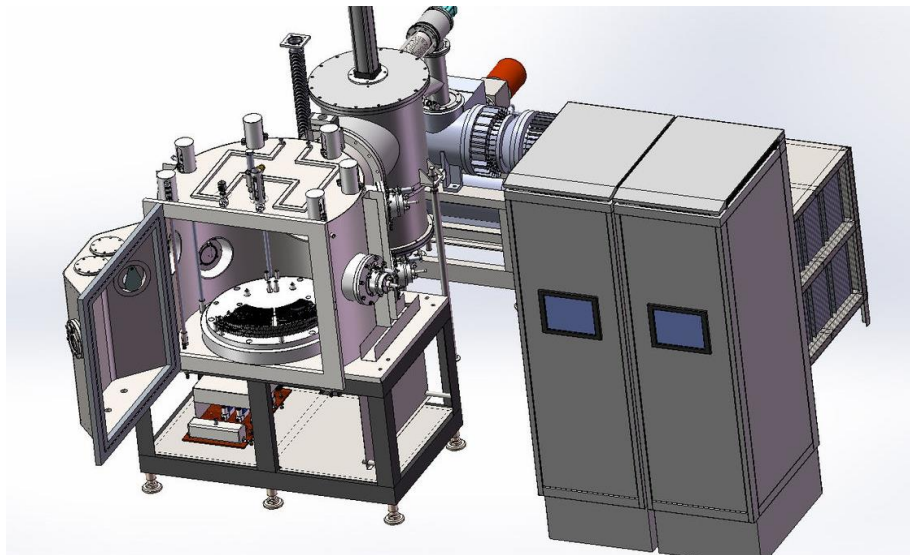


Figura 3 - Câmara de PVD in: http://www.pvd-plating.com/photo/pc18670345-medical_instruments_pvd_plating_machine_surgical_device_pvd_titanium_coating_machine.jpg, consultado em 2019-06-15 09:50

Desde meados da década de 1990, o revestimento em PVD estabeleceu-se como um acabamento de qualidade para o mercado decorativo, não só devido à durabilidade como também à aparência que confere às peças revestidas (PVD Coatings s.d.). Hoje, é cada vez mais importante que o ciclo de vida dos produtos seja prolongado devido a factores económicos e à globalização. Como tal, o PVD tem vindo a ser cada vez mais utilizado em peças decorativas. Neste tipo de aplicação o revestimento é utilizado para dar uma aparência de luxo, como por exemplo o negro ou o dourado.

O PVD tem como principal desvantagem apresentar grandes custos de produção e não ser possível a sua aplicação em materiais baratos (Matthews, Leyland e Stessnson 1996). Por esta razão, para que o PVD possa ser aplicado de forma económica, os produtos têm que ser produzidos em grandes lotes (Michiel Eerden 2016).

2.2 Filosofia Kaizen

Kaizen é um termo de origem japonesa que significa melhoria contínua. Este termo é composto por duas palavras: Kai, que significa mudar e Zen, palavra relacionada com a procura da perfeição e que quer dizer melhor. (Imai 1997)

Imai (1997) indica que, como a filosofia kaizen está directamente ligada com a melhoria, as principais áreas de aplicação desta metodologia são aquelas em que a melhoria é mais necessária: qualidade, custo e entrega. A qualidade deve ser considerada tanto nos produtos finais ou serviços, como também nos processos associados. O custo que deve ser melhorado é o custo total, desde o desenho à venda de produto. Por entrega entende-se a capacidade da empresa de entregar ao cliente o produto ou serviço na quantidade certa e à hora pretendida.

O conceito base da filosofia consiste em procurar implementar uma cultura de melhoria contínua em todos os elementos e equipas das organizações. Para tal, o modelo de desenvolvimento organizacional kaizen tem como base 5 princípios que são utilizados na implementação da melhoria contínua da organização.

- **Criar valor para o cliente**

Qualquer organização tem como principal objectivo criar o maior valor acrescentado possível para o seu cliente. Por norma, este conceito é resultado das três áreas mencionadas anteriormente: qualidade, custo e entrega. Em termos de qualidade, um produto ou serviço deve apresentar todas as características esperadas pelo cliente. Já quanto ao custo, um produto não deve apresentar um valor superior ao que o cliente está disposto a pagar. A satisfação do cliente quanto à entrega (produto/serviço certo, à hora certa) define o valor acrescentado gerado pela empresa neste âmbito. A filosofia kaizen propõe ainda um alargamento deste conceito de valor acrescentado para todos os envolvidos numa operação posterior, sejam clientes, sejam outros *stakeholders* do negócio.

- **Eficiência de Fluxo (Eliminar os Muda)**

Muda é uma palavra de origem japonesa que significa desperdício. Taichi Ohno (um dos fundadores do TPS – *Toyota Production System*) foi a primeira pessoa a identificar uma grande quantidade de desperdícios existentes no terreno. Para Ohno todas as actividades que não acrescentam valor, sejam realizadas pelo humano ou pela máquina, são classificadas como desperdício e deve-se procurar eliminá-las. Estes desperdícios foram organizados em sete tipos de muda (palavra japonesa que significa desperdício) (Kaizen_Institute 2018):

1. Muda da espera de pessoas
2. Muda da espera de materiais e informação
3. Muda do movimento das pessoas
4. Muda do movimento de material e informação
5. Muda da produção em excesso
6. Muda do sobreprocessamento
7. Muda de erros

- **Eficácia do gemba**

Um dos principais factores de sucesso na implementação da filosofia kaizen nas organizações é a aproximação ao local onde se acrescenta valor: o gemba. A gestão eficaz de uma empresa deve ser feita o mais próximo do gemba possível, pois não é viável comandar uma organização exclusivamente dentro de uma sala de controlo. É necessária uma maior aproximação ao gemba para identificar as

oportunidades de melhoria e acções correspondentes, que podem efectivamente melhorar os resultados da empresa.

- **Envolvimento das pessoas**

Para a implementação da melhoria nas organizações é necessário que haja um envolvimento e motivação de todos: administradores, gestão de topo, chefes de turno e colaboradores; só desta forma é possível uma concentração e efectiva melhoria dos níveis de qualidade, custo e entrega. Este envolvimento só é possível com um exemplo muito forte, por parte da liderança, no alinhamento de todos os esforços para a criação de novos hábitos de trabalho que sustentem a implementação da melhoria contínua.

- **Gestão Visual**

A gestão visual tem duas funções principais, a primeira é tornar os problemas no terreno visíveis e a segunda é ajudar tanto colaboradores como responsáveis a fazerem uma leitura rápida do que se passa no terreno. A gestão visual serve, portanto, para ter uma rápida percepção da produção. Ou indica que está sob controlo, ou lança um alerta no momento em que uma anomalia surgir. (Imai 1997)

Todos os projectos do Instituto Kaizen são desenvolvidos tendo por base estes 5 princípios, independentemente do seu domínio: aumento de produtividade, diminuição de prazos de entrega, melhoria do nível de serviço ou aumentar índices de qualidade (Vasconcelos 2015). O projecto desenvolvido não é excepção, por esta razão, estes princípios podem ser identificados ao longo do mesmo.

2.3 *Pull by Pushing*

O sistema *Pull by Pushing* consiste num modelo híbrido que integra tanto conceitos de sistemas *pull* como de sistemas *push*. Para que se possa compreender esta integração, procura-se descrever os dois sistemas originais para posteriormente referir quais os conceitos utilizados no modelo misto. Contudo, segundo M.C. Bonney (1999) existe pouca consistência na descrição dos sistemas *push* e *pull*. Diferentes autores focam-se em diferentes aspectos para a distinção entre os dois modelos, tanto é dado ênfase ao tempo de entrega, como ao método de alocação, à produção *lean* ou à origem de informação que induz a produção. Neste artigo (M.C. Bonney 1999) são analisadas várias formas de diferenciar os dois sistemas. Venkatesh (1988), por exemplo, distingue o sistema *push* do sistema *pull* da seguinte forma: “Num sistema *push* uma máquina produz sem que haja um pedido de produção da máquina que a sucede. Por outro lado, num sistema *pull* uma máquina produz apenas depois de receber um pedido da máquina posterior.” Para Goddard e Brooks (1984) o que define se um sistema é *push* ou *pull* é a fonte de informação que origina a produção: em *push* a produção começa com base numa antecipação da necessidade futura, enquanto em *pull* apenas se inicia a produção quando existe uma encomenda.

Estes dois sistemas apresentam vantagens e desvantagens e, por essa razão, deve procurar-se um modelo híbrido para reduzir as desvantagens de um e de outro e fortalecer as respectivas vantagens. (Cochran e Kim 1988). Segundo Ming-Wei e Shin-lian (1992) nos casos práticos há sempre a necessidade de aplicar um meio termo entre os dois sistemas, ou seja, que um sistema puro é muito difícil de encontrar.

Nesta dissertação, a distinção entre os dois sistemas utilizada é a de Venkatesh, et al. (1988). Segundo esta definição, na Figura 4, pode observar-se um sistema *push* puro. Uma ordem de produção é introduzida no início da linha para que seja processada e a matéria-prima passa em todas as fases do processo sem que haja comunicação entre as mesmas. Por outro lado, no sistema *pull* é introduzida uma ordem de produção no fim da linha e as várias fases do processo comunicam com a fase anterior à medida da necessidade, evitando, desta forma, grandes volumes de stocks intermédios. No sistema híbrido, tal como no modelo *pull* é introduzida uma ordem de produção no fim da linha. Posteriormente a última fase do processo não estabelece comunicação com a fase imediatamente anterior, mas sim com a primeira fase do processo. Depois da passagem desta informação para a fase inicial do processo o sistema funciona como o modelo *push*, sem que haja comunicação entre as várias fases. (“... uma máquina produz sem que haja um pedido da máquina que a sucede.”)

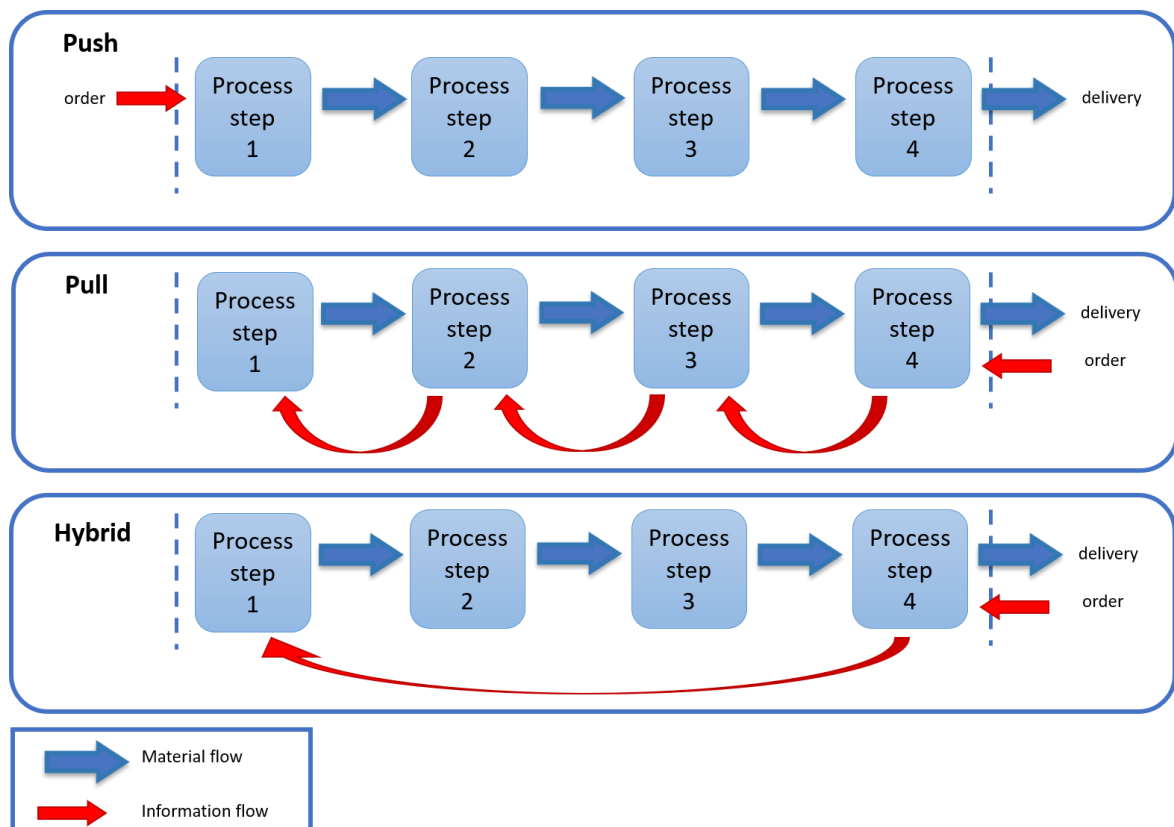


Figura 4 - Push, pull e hybrid planning, adaptado de: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e6/CONWIP.png/390px-CONWIP.png>, consultado em 01/06/2019 12:50

De seguida procede-se, com a ajuda da Tabela 1, a uma comparação de duas características que indicam qual a melhor estratégia a adotar. No caso de uma produção com uma procura estável, com previsões fiáveis e com grandes reduções de custos da produção em grande escala, a estratégia *push* deverá ser a mais adequada. Na perspectiva contrária, em que a procura é muito instável, de muito difícil previsão e em que a importância da produção por lote, com o objectivo de reduzir custos, é baixa, a melhor estratégia a implementar é o *pull*. Nos casos em que a incerteza da procura e a importância das economias de escala são ambas relevantes deverá ser adoptada parte da estratégia *push* e parte da estratégia *pull* procurando dessa forma rentabilizar as vantagens de um e de outro modelo. Aplica-se, nesse caso, o modelo híbrido.

Tabela 1 - Estratégias de planeamento. Vantagens e Desvantagens

	ESTRATÉGIA		
	PUSH	PULL	MODELO HÍBRIDO
INCERTEZA NA PROCURA	Baixa (previsões da procura são fiáveis)	Alta (incerteza na previsão da procura)	Alta (incerteza na previsão da procura)
IMPORTÂNCIA DAS ECONOMIAS DE ESCALA NA REDUÇÃO DE CUSTOS	Alta (produção por lote leva a uma grande redução dos custos de produção)	Baixa (agregação por lote não reduz custos)	Alta (produção por lote leva a uma grande redução dos custos de produção)

3 Situação inicial da linha de PVD

Um projecto de mudança deve iniciar-se com a identificação dos problemas existentes, seguida de um plano de acções para solucionar os problemas identificados. É esta abordagem inicial que permite delimitar o âmbito de atuação de um projecto. Contudo, neste caso, porque se estava perante uma situação de emergência, a fase de diagnóstico foi muito curta, servindo apenas para compreender o funcionamento da linha, com o intuito de rapidamente se aplicar um conjunto de soluções que, pelo menos, estancassem os maiores problemas da linha de produção de PVD. Esses problemas eram a produção semanal abaixo da capacidade teórica e o aumento do *backlog*. Foi no decorrer desta curta fase de diagnóstico que se identificou a necessidade de fazer alterações disruptivas no que toca ao processo de planeamento e nasceu este projecto.

Este capítulo tem como objectivo clarificar o âmbito em que se insere o projecto e também identificar os indicadores que serão utilizados para medir o sucesso do mesmo. Define-se ainda o objectivo do projecto e o impacto que o mesmo pode ter na empresa. Posteriormente, descreve-se a situação inicial encontrada na linha de PVD e, por fim, indica-se a estratégia a adoptar na aplicação da solução.

3.1 Âmbito, indicadores e impacto do projecto

Âmbito

À data de começo do projecto a empresa tinha um *backlog*, ou seja, um atraso de entrega das suas encomendas de cerca de 30 000 peças. Para que não tivesse que encerrar a actividade da sua linha de revestimento de PVD, por incumprimento do prazo de entrega aos seus clientes, era necessário reduzir este *backlog* de forma rápida e eficaz. Nessa altura, a linha de PVD tinha uma capacidade de produção calculada de 40 000 peças semanais. Contudo como podemos analisar na Figura 1, nas últimas 8 semanas a empresa tinha uma produção média semanal de 35 000 peças. Acresce que dessas 35 000 peças semanais, parte não correspondia ao plano semanal estabelecido e não deveria existir. De facto, a percentagem de cumprimento com o plano semanal estabelecida era de 53%.

Assim a redução de *backlog* devia ser conseguida através de um planeamento mais cuidado e uma produção mais controlada, o que se traduz pelos seguintes factores:

- Aumento do *output*;
- Aumento da percentagem de plano semanal que é produzido, diminuindo a produção de peças não contempladas no plano.

Estes dois factores implicam várias mudanças estruturais no processo de produção da linha de PVD. Assim, este projecto teve como objectivo definir e implementar essas mudanças, através da adoção de uma cultura de melhoria contínua.

Indicadores

O sucesso deste projecto vai ser medido a partir de três indicadores. São eles:

$$\text{Produção Semanal} = \text{Qtd de peças produzidas semanalmente} \quad (3.1)$$

$$\% \text{ de Plano realizado} = \frac{\text{Total de Peças Produzidas com Plano}}{\text{Quantidade Peças do Plano}} \quad (3.2)$$

$$\% \text{ de Produção fora do plano} = \frac{\text{Quantidade Peças Produzidas sem Plano}}{\text{Quantidade Peças Produzidas}} \quad (3.3)$$

Apesar de um planeamento melhor poder ter repercussões directas na qualidade, nomeadamente quanto ao número de rejeições, optou-se pela não introdução de um indicador referente a este aspecto, pois as melhorias de qualidade não resultam apenas das melhorias do planeamento, mas principalmente de ações levadas a cabo pela equipa responsável por esta área. De facto, simultaneamente a este projecto a equipa da qualidade desenvolveu um conjunto de acções com o objectivo de reduzir a rejeição de peças. Por isso, não seria correcto associar ao desenvolvimento deste projecto todas as melhorias relativas à área da qualidade e não será também possível quantificar a proporção dessa melhoria total, que tem origem nas acções levadas a cabo em cada um dos projectos.

As principais metas definidas para este projecto são: obter uma produção semanal de 40 000 peças, de forma consistente; aumentar a % de plano realizado e diminuir a quantidade de peças produzidas fora do plano de produção semanal.

Impacto do projecto

Para além dos 3 indicadores referidos é muito importante aumentar o impacto financeiro da linha nos resultados da empresa. A forma mais directa de medir este impacto é através do valor acrescentado que as peças produzidas representam. Este valor é calculado como indicado na equação seguinte:

$$VA = VF - VI \quad (3.4)$$

Onde:

VA, é o valor acrescentado,

VF, é o valor final de uma peça, após a aplicação do PVD,

VI, é o valor inicial de uma peça, antes a aplicação do PVD.

No processo de produção actual, a linha de produção de PVD tem duas formas de impactar negativamente o VA:

- Produzindo abaixo da sua capacidade em termos de quantidade de peças;
- Produzindo apenas peças de baixo grau de dificuldade e como tal com valores de VA mais baixos.

Como podemos verificar Figura 5, o valor de VA semanal desde a semana n-6 (6 semanas antes do início do projecto) tem uma média de 142 000 €, o que representa um valor anual de 7 384 000€ (142 000€ x 52). Assumindo que a mistura de peças produzidas semanalmente é constante, ou seja, que a percentagem de peças de maior e menor VA se mantém, mas que a linha passa a produzir 40 000 peças semanais em vez das 35 000 actuais, o VA semanal deverá passar a ser 162 000 € o que no final do ano representa um valor de 8 424 000 € e, por isso, um aumento de 1 040 000 € face ao estado inicial.

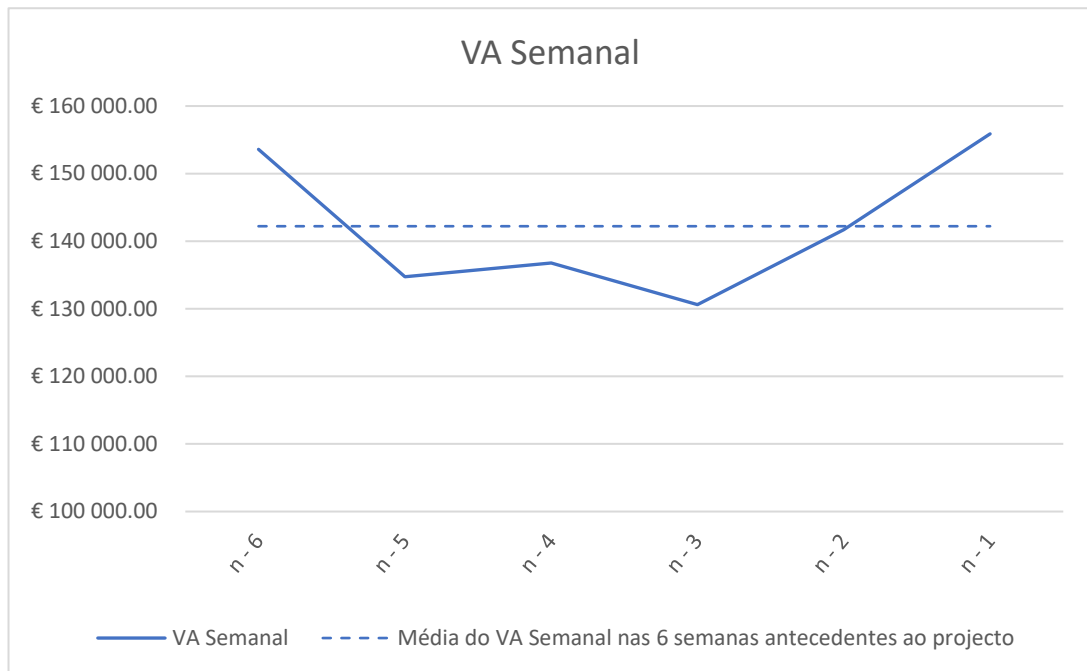


Figura 5 - VA Semanal das 6 semanas que antecederam o projecto

3.2 Descrição do processo actual

Como se pode observar na Figura 6, o processo produtivo começa no Armazém, passa por um conjunto de etapas até entrar nas Câmaras de PVD, é controlado num processo de Inspeção e retorna ao Armazém da fábrica. O processo começa com material virgem que é transformado e devolvido ao Armazém sob a forma de referência final, sendo que cada material virgem pode ser transformado em 10 referências distintas: 2 estados de lixamento [com e sem] x 5 cores = 10 referências finais. Na Figura 7, podemos observar um exemplo da transformação de um material virgem numa referência final, com informação sobre se a peça passou ou não no Lixamento e para que cor é que foi transformada. Considerando que a linha de produção que aplica o PVD tem cerca de 750 tipos de peças virgem diferentes, temos que a mesma é capaz de produzir 7500 referências finais.

O controlo de produção da linha está a cargo de um membro da equipa de PVD, ao qual chamaremos Programador. À Quinta-feira o Programador recebe um plano de 40.000 peças (proveniente do departamento de Logística) que devem ser produzidas ao longo da semana que começa na Segunda-feira seguinte. Compara esse mesmo plano com as peças que estão a ser produzidas e considera que essas peças vão percorrer toda a linha. Depois desconta as peças que estão a ser produzidas ao novo plano semanal recebido, para que não haja a duplicação da produção e acrescenta uma taxa de segurança pretendendo prever rejeições que aconteçam durante a produção. Desta forma, pede ao Armazém para entregar as peças virgem necessárias para começar a produção da semana que se segue. Contudo, nem todas as peças que estão em curso são processadas até ao final da semana, dado que a produção semanal é inferior à sua capacidade teórica, que é utilizada para elaborar o plano semanal. Assim o volume de peças entre as fases do processo vai aumentando e, como são os colaboradores que decidem o que processar em cada momento, o Programador não tem forma de garantir que as peças que pretende que sejam produzidas nessa semana, sejam efectivamente processadas. Nos *stocks* intermédios podem, por isso, constar tanto peças que pertençam ao plano semanal da semana actual, como outras que pertenceram a planos antigos. Assim o controlo que se tem sobre a

produção é praticamente nulo, fruto da enorme liberdade conferida aos colaboradores para escolher as peças que vão processar, como poderemos constatar ao longo da descrição do método de produção inicial. As várias fases do processo estão detalhadas individualmente e representadas na Figura 6, tal como os *stocks* intermédios de maior volume, localizados antes do Lixamento e da Carga

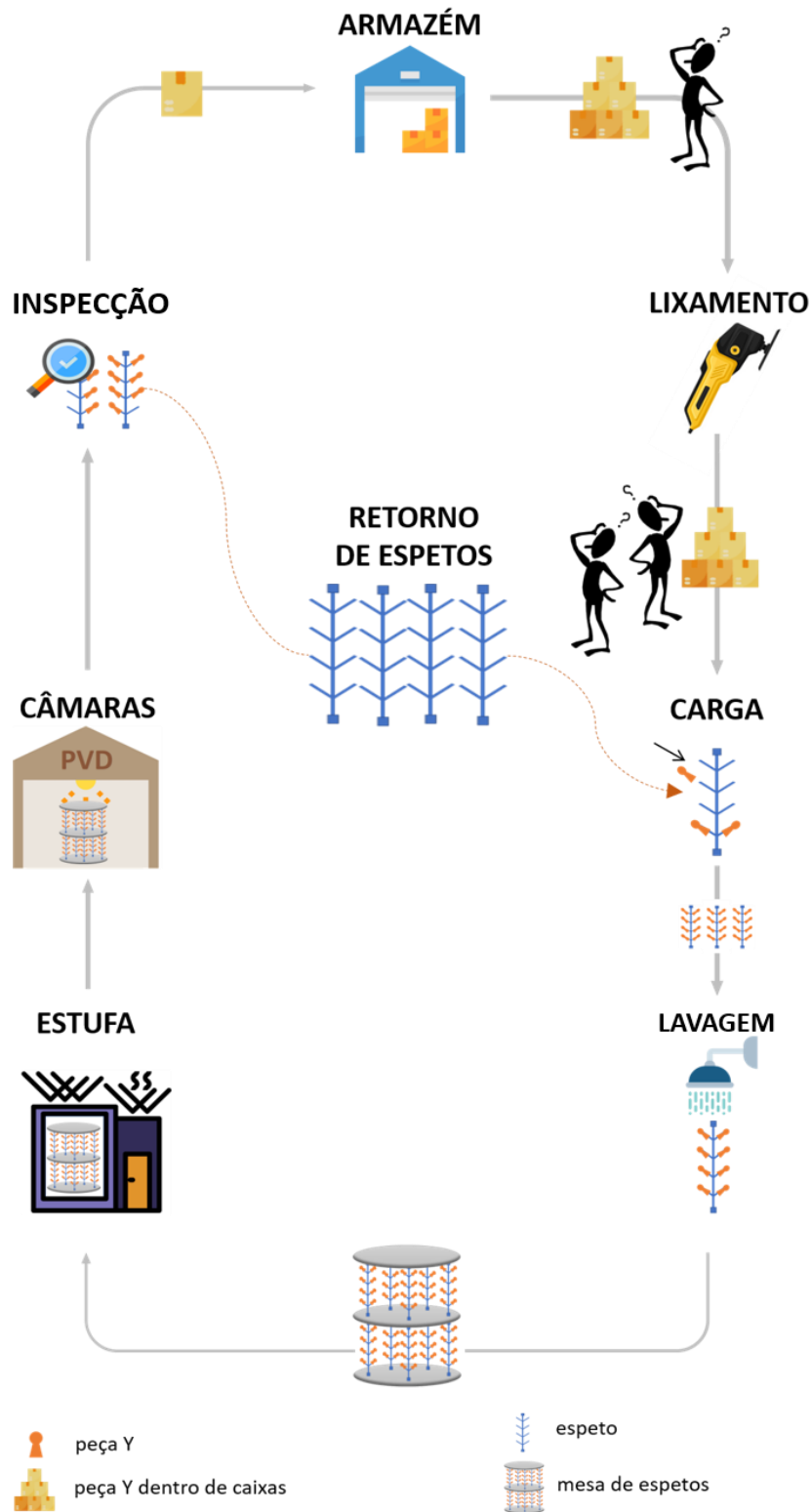


Figura 6 - Processo produtivo da linha de PVD

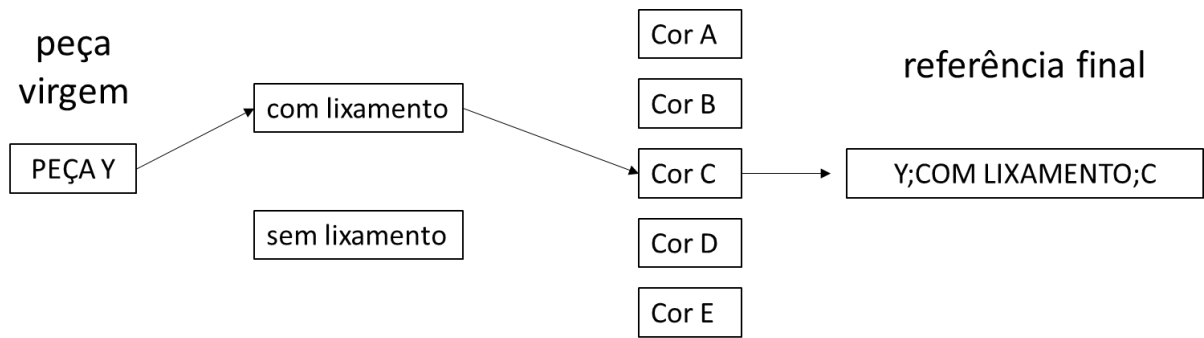


Figura 7 - Transformação: peça virgem em referência final

Segue-se uma breve descrição de cada um dos passos da linha de produção de PVD.

Armazém

No Armazém, o operador recebe uma ordem de transferência de peças virgem para o PVD. Esta ordem de transferência é entregue informaticamente e é transformada numa ordem de trabalho. Os colaboradores retiram o material pretendido das estantes e entregam a encomenda num local de recolha, que se situa na parte exterior da sala dedicada ao Lixamento. O transporte é feito em caixas, pois é sob essa mesma forma que o material está acondicionado no Armazém. O material transportado segue com a informação relativa à referência final em que deve ser transformado e fica à espera que seja dada a entrada por parte dos colaboradores do Lixamento.

Lixamento

Lixar este tipo de peças é uma tarefa com elevado grau de dificuldade, pois tem que ser feito numa determinada direcção (Figura 8) e durante um período de tempo específico que determinará a profundidade do lixamento. Ou seja, quanto mais tempo a peça estiver sujeita ao lixamento mais material da camada exterior da peça será retirado. Se a profundidade obtida no lixamento for superior, ou inferior, à especificada isso pode ter consequências prejudiciais na aplicação do revestimento.

A linha de PVD trabalha com vários tipos de peças virgem. Há peças muito fáceis de lixar e outras muito difíceis, dependendo do respectivo feitio e do material de que são feitas. As peças mais difíceis de lixar exigem uma maior destreza por parte do colaborador. Em cada um dos turnos, o material, que está agrupado numa montanha desorganizada, é distribuído pelo chefe de secção (representado na Figura 6 pela silhueta humana antes do Lixamento) pelos diversos colaboradores que realizarão o lixamento. Esta distribuição é feita em conjunto (em comum acordo) com os próprios colaboradores, conjugando a perícia de cada um, com o grau de dificuldade de cada uma das peças. Por outro lado, nesta fase da distribuição, há tendência a haver manuseamento excessivo e descontrolado das peças por parte do chefe de secção e dos colaboradores. Como há muito por onde escolher e os colaboradores têm vindo a ser pressionados para produzir uma quantidade maior de peças, há uma tendência para escolher as peças mais fáceis de lixar. Nessa escolha, as caixas são atiradas e pousadas de forma bruta, provocando o contacto entre as peças dentro das caixas. Este contacto provoca estragos na superfície das peças, situação que agravará, significativamente, o grau de probabilidade da rejeição das peças numa fase posterior do processo.

Sempre que as peças que compõem uma caixa acabam de ser lixadas, o chefe de secção transporta a caixa para um novo aglomerado de caixas à porta da Carga. As peças que não

precisam de ser lixadas são também transportadas pelo chefe de secção directamente para o *stock* intermédio antes da Carga.

O Lixamento não tem capacidade para processar todo o conjunto de peças que chegam de Armazém, desta forma o *stock* intermédio antes do Lixamento vai aumentando cada vez que chega uma nova entrega de material de Armazém.



Figura 8 - Direcções de lixamento

Carga

O próximo passo consiste em colocar as peças num suporte que tem a função de as manter estáveis e numa posição que permita a passagem tanto na Lavagem, como nas Câmaras de PVD. Para passar na Lavagem a peça deve estar colocada de forma a deixar a água utilizada escorrer. Além disso, essa mesma posição deverá permitir que nas Câmaras a camada de revestimento seja aplicada em todas as superfícies necessárias. A estes suportes chamam-se espetos. Na Figura 9 pode ser observada a colocação de uma peça num espeto.

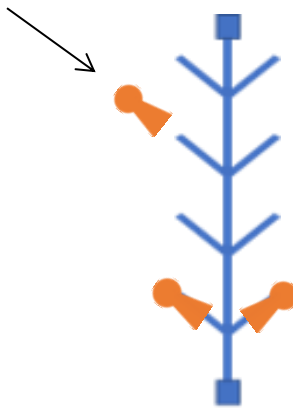


Figura 9 - Colocação de uma peça no espeto

São os chefes de turno (quem coordena as várias etapas da linha de produção), através do seu conhecimento empírico sobre as competências de cada máquina, juntamente com os colaboradores da Carga e das Câmaras, quem coordena a cor final e respectivo programa, que deve ser carregada em cada momento. Depois, os colaboradores da Carga precisam de preparar um conjunto de peças com procura nessa cor final, contudo têm de fazer um cruzamento entre as peças disponíveis e aquela que é a sua maior restrição: a disponibilidade de espetos. Para saberem os espetos disponíveis, um dos colaboradores tem de procurar, no Armazém respectivo, os espetos pretendidos, enquanto outro dos operadores procura peças que possam

ser carregadas nos espetos disponíveis e que têm como destino a cor escolhida. Esta procura feita pelos colaboradores é muito complicada, pois as peças estão colocadas no conjunto de caixas antes da Carga. Por ser complicado e cansativo, este processo é, também ele, feito de forma bruta, provocando o contacto entre as peças. Aumentando, assim, a quantidade de peças que serão rejeitadas mais à frente no processo. Dada a dificuldade desta operação, o cruzamento entre os espetos disponíveis e as peças que se pretende produzir, acontecem duas situações que são pejorativas à ocupação total da mesa de espetos (ver legenda da Figura 6):

- os espetos não são carregados na totalidade e em quantidade inferior à necessária para preencher uma mesa, sempre que não são encontradas as peças suficientes para esse efeito;
- ser necessário muito tempo até ser possível encontrar peças suficientes para ocupar uma mesa na totalidade, o que coloca as Câmaras de PVD em espera.

À data de início do projecto também os operadores da Carga escolhiam as peças que facilitavam a sua tarefa, não só pela pressão a que estavam sujeitos para produzirem mais peças, como também, porque não tinham quaisquer indicações quanto à prioridade das peças a produzir nessa mesma semana.

Nesta actividade, tal como na anterior, à medida que a actividade a montante fornece mais material e a actividade da Carga não tem capacidade de o consumir na totalidade, o *stock* intermédio vai continuando a crescer, aumentando assim a dificuldade da tarefa do colaborador da Carga.

É ainda de realçar que os espetos são de muito difícil e demoroso fabrico, para além do armazém respectivo ter um espaço limitado. Por isso a produção de espetos não servirá, por si só, para eliminar o problema dos espetos. É necessário organizar a produção para que os espetos estejam disponíveis quando necessário.

Lavagem

Após a colocação das peças nos espetos, estas são sujeitas a uma lavagem automática. Esta operação demora cerca de duas horas e, devido à sua simplicidade, é uma operação que não provoca atrasos na produção.

Estufa

À saída da Lavagem, os espetos carregados são agrupados em mesas de espetos (ver legenda da Figura 6) para que possam ser sujeitos ao processo de Estufa. Para a maioria das referências as peças têm um ciclo de duas horas na Estufa, contudo, certas peças têm a necessidade de um período de Estufa de 12 horas. Por norma as peças que necessitam de um período mais longo na Estufa, são agrupadas para passarem por este processo ao Domingo, dia em que a restantes fases da linha estão paradas.

Câmaras

Após a saída da Estufa, as mesas de espetos são transferidas para as Câmaras para lhes ser aplicado o revestimento PVD. Depois de fechadas as Câmaras não podem ser abertas até ao fim do ciclo, quer isto dizer que, se a mesa de espetos não estiver totalmente ocupada no momento de entrada na Câmara, não é possível abrir a Câmara para colocar as peças em falta. Se assim for aquele que é o recurso mais caro de toda a linha, não estará a ser utilizado da melhor forma e o custo de produção por peça subirá consideravelmente. Podemos então afirmar que há grande potencial de mais valias na produção em agrupamentos. Contudo não é só a cor que determina se as peças podem ser transformadas no mesmo ciclo, pois há mais detalhes que definem a possibilidade de juntar dois tipos de peças no mesmo agrupamento. Estes detalhes são revistos

no capítulo 4. É ainda preciso ter em conta que, tal como foi observado anteriormente, nem todas as Câmaras tem a capacidade para aplicar qualquer tipo de cor, não porque estão na sua concepção limitadas, mas porque ainda não foram realizados os testes necessários para conferir essa possibilidade à Câmara.

No final de cada processo de aplicação de PVD, que pode demorar entre 60 a 250 minutos, as mesas são retiradas das Câmaras e os espetos são levados num outro meio de transporte para a Inspeção.

Inspeção

As peças são retiradas dos espetos e passam por uma Inspeção peça a peça para que haja uma triagem entre as peças que podem, ou não, ser expedidas para o cliente. Este é uma actividade que ocorre de uma forma completamente independente das restantes, pois é uma actividade a jusante das Câmaras de PVD e, como tal, não é gerida por forma a garantir uma maximização da utilização das Câmaras. Após a Inspeção, o material pronto a ser expedido é enviado para o Armazém e os espetos são devolvidos à Carga.

3.3 Estratégia a adoptar

Relembra-se neste ponto a definição dos modelos *push* e *pull* de Venkatesh (1988): “Num sistema *push* uma máquina produz sem que haja um pedido de produção da máquina que a sucede. Por outro lado, num sistema *pull* uma máquina produz apenas depois de receber um pedido da máquina posterior.” Tendo por base esta definição, pode observar-se que, no início do projecto, a linha de PVD funcionava segundo um modelo que se assemelha a um modelo *push*. As ordens de produção eram introduzidas no início da linha (Armazém) e eram processadas sem que houvesse comunicação entre as várias fases do sistema até chegarem ao final do processo (Figura 10). Os grandes volumes de *stock* intermédio (antes do Lixamento e da Carga) criados com este método são uma característica comum do sistema *push* (Omar Ghayeb 2009).

O que se pode também verificar através desta descrição do processo produtivo da linha de PVD é que há uma grande variedade de referências a serem produzidas, 7500, que a sua procura depende muito das encomendas de clientes em cada momento e que estas são muito complicadas de padronizar e prever. Podemos ainda afirmar que a produção em agrupamentos de peças que, apesar de serem diferentes podem ser processadas em conjunto, representa grandes mais valias de economias de escala. Estas grandes mais valias são consequência da redução dos custos de produção quando a mesa de espetos entra dentro do ciclo de revestimento totalmente ocupada: cada um dos espetos está carregado com o máximo número de peças e a mesa tem em si alocados o máximo número de espetos.

Perante estas duas características, a difícil previsão da procura e a possibilidade de uma forte redução de custos para uma agregação adequada, ou seja, um grande impacto de economias de escala, o processo de produção mais indicado para ser adoptado é um modelo híbrido.

De acordo com esse método, ordens de produção passarão a ser introduzidas do ponto de vista das Câmaras de PVD, organizadas segundo as suas necessidades e dando origem a um requisito à primeira fase do processo: o Armazém. O facto de as ordens de produção terem origem em encomendas de cliente é por si só uma característica de um modelo *pull* (Goddard e Brooks 1984), acresce que as ordens de produção serão colocadas no final da linha de produção (Câmaras de PVD) e lançado o requisito para os processos a montante. Por esta razão, este é processo *pull*, pois o consumo gera a reposição. Contudo, a partir do momento em que a ordem de produção se encontra no início da linha, o material passa por todos os outros processos em

push, sem que haja comunicação entre as várias fases. O objectivo é produzir em lotes que reduzam os custos de produção. Constituindo assim o sistema de *Pull by Pushing*.

Este sistema deverá trazer enormes vantagens à produção na linha de PVD. Nomeadamente, a decisão de quais as peças que devem ser produzidas deixa de existir e, como tal, a pressão sobre os colaboradores do Lixamento e da Carga será reduzida. Além disso, as Câmaras de PVD estarão menos tempo em espera, pois os operadores da Carga serão mais eficientes e o controlo de produção será maior, pois os grandes volumes de *stocks* intermédios, entre as várias fases do processo, serão reduzidos. Este processo de produção confere à ferramenta de suporte uma importância acrescida, pois só através desta ferramenta será possível calcular os agrupamentos adequados para uma maior ocupação da máquina, sendo que esse cálculo não é exequível sem o auxílio de uma ferramenta informática.

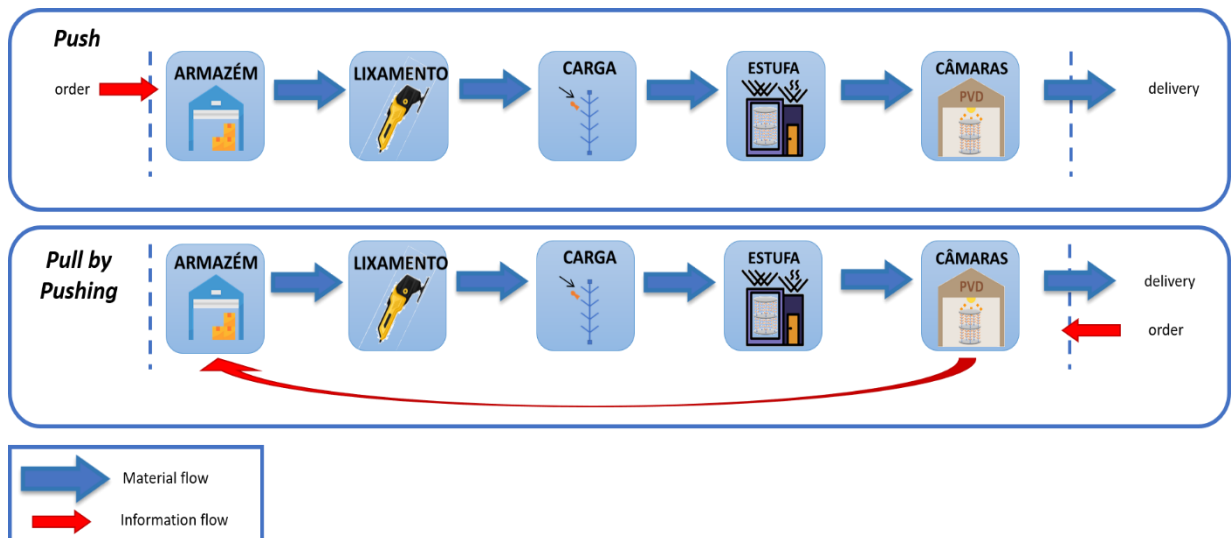


Figura 10 - Transformação do modelo produtivo

3.4 Síntese

À data de início do projecto, à medida que as diferentes encomendas de cliente dão entrada são colocadas ordens de produção no início do processo. Contudo, após dar início ao processo, este dificilmente é controlado, porque estava dependente do conhecimento e capacidade de trabalho dos colaboradores num processo sem um fluxo de material bem definido. Este método de produção não favorece o controlo de produção e causa grandes diferenças entre aquilo que é produzido e aquilo que é efectivamente necessário produzir. Além disso, provoca também a ineficiência das várias actividades que são realizadas, principalmente aquelas em que os colaboradores têm que procurar as peças que pretendem processar. Os dois *stocks* intermédios de maior volume (antes do Lixamento e antes da Carga) prejudicam também a qualidade, pois obrigam a um excesso de manuseamento que provoca grande parte dos defeitos em peças tão vulneráveis como estas.

É ainda de realçar aquela que é a maior restrição da linha: os espetos. Como cada peça só pode ser colocada num espeto, a falta desse espeto por estar em manutenção ou estar a ser utilizado, situação que acontece com grande frequência, faz com que a peça que se pretende produzir fique parada até surgirem os espetos necessários. Contudo, com um aglomerado de *stocks* tão grande, o mais comum é uma peça após não ser carregada pela ausência de espetos ficar no *stock* intermédio sem data prevista para a sua continuidade no processo. Clarifica-se também

que produzir espetos ilimitadamente não é possível e que, como tal, é necessário organizar a produção para que os espetos estejam disponíveis quando necessário.

No próximo capítulo serão abordados os detalhes da solução para esta linha de PVD.

4 Análise detalhada da solução

O mercado de peças com revestimento PVD está muito dependente dos projectos de construção, isto é, se surgir um projecto que tem necessidade de uma grande quantidade de uma determinada referência, a procura dessa referência sobe acentuadamente. Após esta subida pode demorar muito tempo até surgir novamente um projecto que encomende essa mesma referência. Deste ponto de vista, o crescimento do mercado de PVD (Physical Vapor Deposition (PVD) Market 2018), poderia facilitar a estabilização da procura, reduzindo o espaço de tempo em que não há necessidade de processar uma determinada referência. Contudo, nesta linha de PVD é processado um leque alargado de referências, 7500, quantidade que tem vindo a aumentar e que dificulta a possibilidade de padronizar e prever a procura de cada referência. A redução do número de referências disponíveis não é uma opção que a empresa pretenda implementar, desta forma o sistema *pull*, em que são as encomendas que geram ordens de produção, aparenta ser o mais adequado para esta linha de PVD.

Por outro lado, as Câmaras de aplicação de PVD são o recurso mais caro da linha e como funcionam por ciclos de porta fechada, há um aumento ou uma redução de custos no fabrico de cada peça consoante as Câmaras estão mais ou menos ocupadas, respectivamente. Por isso, é uma mais valia para a empresa revestir peças em lotes padronizados que ocupem a totalidade da Câmara, para que haja uma grande redução de custos. Os lotes de produção demonstram-se por isso muito vantajosos para a produção na linha de PVD. A produção em *push*, com vista a reduzir os custos da aplicação do revestimento PVD, apresenta-se, por isso, como a opção mais adequada para esta linha.

Perante esta dicotomia foi definido um sistema híbrido. A produção deverá reagir às encomendas que surgem, introduzindo-as no sistema do ponto de vista das Câmaras de PVD. O consumo por parte das Câmaras deverá gerar a reposição de conjuntos de peças que possam ser colocadas na mesma mesa de espetos, implementando assim um sistema *pull* em que o consumo gera a necessidade de reposição no recurso anterior (Venkatesh, et al. 1988). Contudo, esta necessidade de reposição deverá ser introduzida não no recurso imediatamente anterior, mas no Armazém (Figura 10), após serem calculados os agrupamentos que permitam que as Câmaras realizem ciclos com elevadas taxas de ocupação. Desta forma, as peças deverão ser agrupadas e o seu movimento desde o Armazém até às Câmaras de PVD é feito por agrupamentos de uma forma *push*. Implementando desta forma um sistema *pull*, mas em que o movimento realizado entre as várias fases do processo é em *push*, está-se, portanto, perante um sistema *Pull by Pushing*.

A introdução deste sistema de produção na linha de PVD criou a necessidade do agrupamento da produção em mesas de espetos e consequentemente de algumas alterações na forma como o processo produtivo decorre, ficando tudo baseado na ferramenta de planeamento construída (Figura 11). Neste capítulo analisa-se cada uma das alterações e dá-se especial destaque à ferramenta de planeamento, em relação à qual serão expostas as particularidades da linha que devem ser tidas em conta na sua construção e os *inputs* necessários, para que depois se explique o seu funcionamento.

A Figura 27 do Anexo C representa o novo método de funcionamento da linha e, como tal, quando comparada com a Figura 6, as outras alterações ao processo produtivo evidenciam-se.

4.1 Agrupamento da produção

Para a implementação da solução elaborada o primeiro passo será o agrupamento da produção desde o início do processo. Optou-se então por realizar a separação das mesas após a chegada do material ao Lixamento. Esta alteração envolveu a mudança de funções do colaborador que realizava a recepção de material no método de produção anterior. Para além de registar o

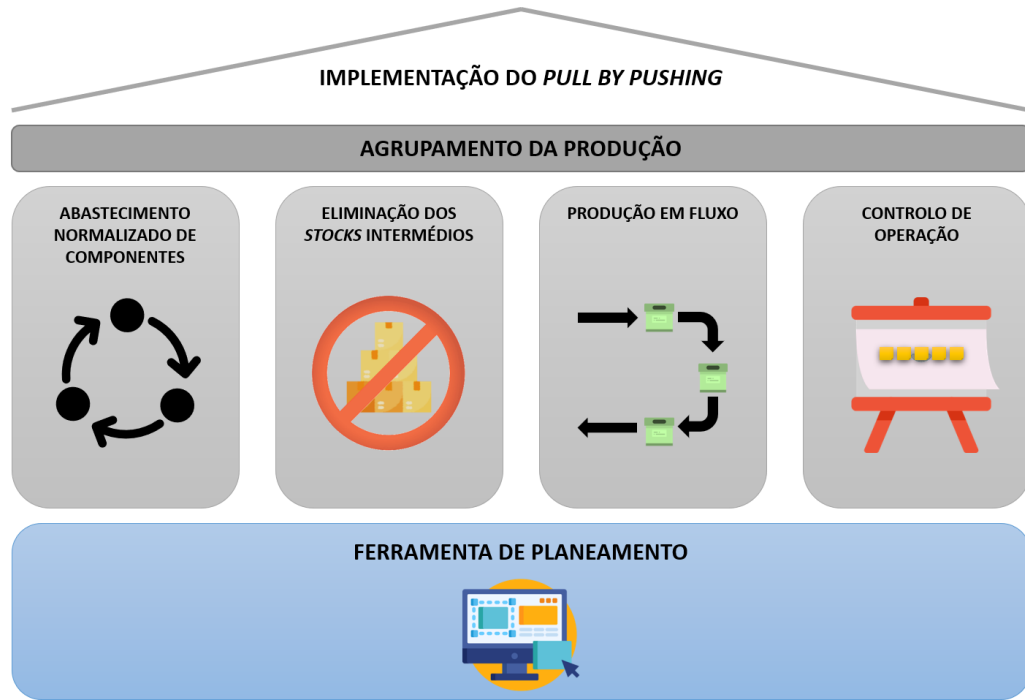


Figura 11 - Esquema de implementação do *Pull by Pushing*

material em sistema, o colaborador passou a ter que agrupar as peças que deverão entrar em conjunto na Câmara e assim constituirão uma mesa. Para que esta tarefa seja possível, o colaborador recebe informação sobre a constituição de mesas no computador que está situado na sua zona de trabalho. Na Figura 12 pode ser observada uma folha que identifica o agrupamento de peças que o colaborador terá que completar. O código a seguir a “Mesa” identifica o agrupamento, cada linha da tabela indica as referências que devem ser agrupadas e em que quantidade. Esta folha acompanhará as peças ao longo de todo o processo produtivo. Este modo de operação permitiu retirar a decisão aos operadores sobre quais as peças a lixar, contudo só poderá ser implementado se forem realizadas as acções expostas de seguida.

4.1.1 Abastecimento normalizado de componentes

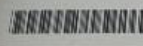
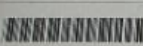
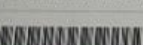
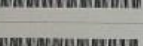
A primeira grande acção que facilitou o agrupamento da produção foi o abastecimento normalizado de componentes, quer isto dizer que, por cada turno (8 horas de trabalho em que uma equipa de colaboradores está alocada a uma fase do processo), é abastecido um conjunto de agrupamentos provenientes do Armazém com destino ao Lixamento. A partir desse momento, todo o fluxo de material é feito neste conjunto de agrupamentos que correspondem a um turno de ciclos nas Câmaras de PVD, mas também à capacidade, por turno, do Lixamento e da Carga. Foi, por isso, necessário nivelar a linha de produção, adaptando o número de colaboradores da Carga e do Lixamento.

Cada conjunto de agrupamentos de peças corresponde a um turno e cada turno tem uma cor identificativa que permite saber em que momento é que este turno é processado em cada uma das fases do processo, como indica o esquema da Figura 26 do Anexo B. As cores associadas aos turnos no Lixamento e na Carga permitem que os colaboradores saibam aquilo que têm que processar durante o seu turno. Como já referido anteriormente, esta mudança traduziu a necessidade de um nivelamento entre as várias fases do processo, contudo com os imprevistos que acontecem ao longo da linha este nem sempre fica garantido. Nesse caso o Programador tem a possibilidade de reduzir ou aumentar o abastecimento de componentes seguinte, procurando garantir um novo nivelamento das fases. Esta produção por turno é uma grande mudança face ao estado inicial do processo.

Vermelho Tempo de Brushing: 120s

Mesa 4837



Material	Cor	QTD Pedida	QTD Recebida	QTD Escovada	Rack ID	Nr Racks	Qd / Rack
 10777GL2	GL	80			128	4	20
 401039GN2	GN	20			59	4	5
 408319GN2	GN	114			38	1	114
 409277GL2	GL	4			54	1	4
 410864GN2	GN	24			45	3	8
 410868GL2	GL	8			142	1	8

1 de 1

Figura 12 - Folha de identificação de uma mesa

Na Figura 13, em que é feita uma representação do *layout* da linha, pode observar-se que, antes da implementação da produção por turno, o material que era abastecido pelo Armazém era recebido e colocado, sem nenhuma ordenação, no espaço destinado ao *stock* intermédio. Este *stock*, à medida que o Armazém entregava o material e que não havia capacidade para o processar na totalidade, ia aumentando gradualmente, tornando ingerível qualquer tipo de controlo de produção. As peças, após serem lixadas, eram transportadas para o *stock* intermédio antes da Carga, onde eram processadas à medida que os colaboradores iam conseguindo cruzar as peças, que há para processar, com os espetos disponíveis.

Resumindo, o Armazém passou então a entregar de forma faseada, uma vez por turno e, após o material ser entregue, é um dos colaboradores do Lixamento a dividi-lo por mesas. Em simultâneo os restantes colaboradores do Lixamento estão a lixar as peças que foram recepcionadas e divididas pelo turno anterior, transportando-as para a Carga após serem processadas. Na recepção da Carga passaram a existir zonas para as peças que devem ser processadas em cada turno. A cada turno está associada uma cor: “vermelho”, “verde” e “amarelo” (que não têm relação com as cores das referências finais, estas são cores que identificam os turnos), ou seja, se o turno do Lixamento está a lixar os agrupamentos de peças correspondentes à cor “vermelho”, à medida que as peças vão sendo processadas, estas são transportadas até à Carga e colocadas no espaço destinado à sua cor. Ao mesmo tempo os colaboradores da Carga estão a carregar as peças correspondentes à cor do turno do Lixamento anterior, o “amarelo”. Esta entrega faseada permite um maior controlo da produção por parte do Programador, que tem a função de aumentar ou reduzir a próxima entrega do Armazém sempre que as várias fases do processo estiverem desniveladas.

4.1.2 Eliminação dos stocks intermédios

No momento inicial da implementação da nova forma de funcionar da linha de PVD, para que se conseguisse começar a utilizar o conceito de mesa (agrupamento) e se eliminasse a produção de peças à escolha do colaborador, foi necessário devolver ao Armazém todo o *stock* intermédio

que estava colocado antes do Lixamento. O *stock* intermédio da Carga não poderia ser devolvido ao Armazém pois grande parte já tinha sido processado no Lixamento, e, por isso, já não se encontrava em estado virgem. Assim, estas peças foram consumidas num dia em que se optou pela paragem de produção do Lixamento. A criação de novos *stocks* intermédios será impedida pelo Programador que aumenta ou diminui o conjunto entregue pelo Armazém, consoante o atraso ou avanço da produção.

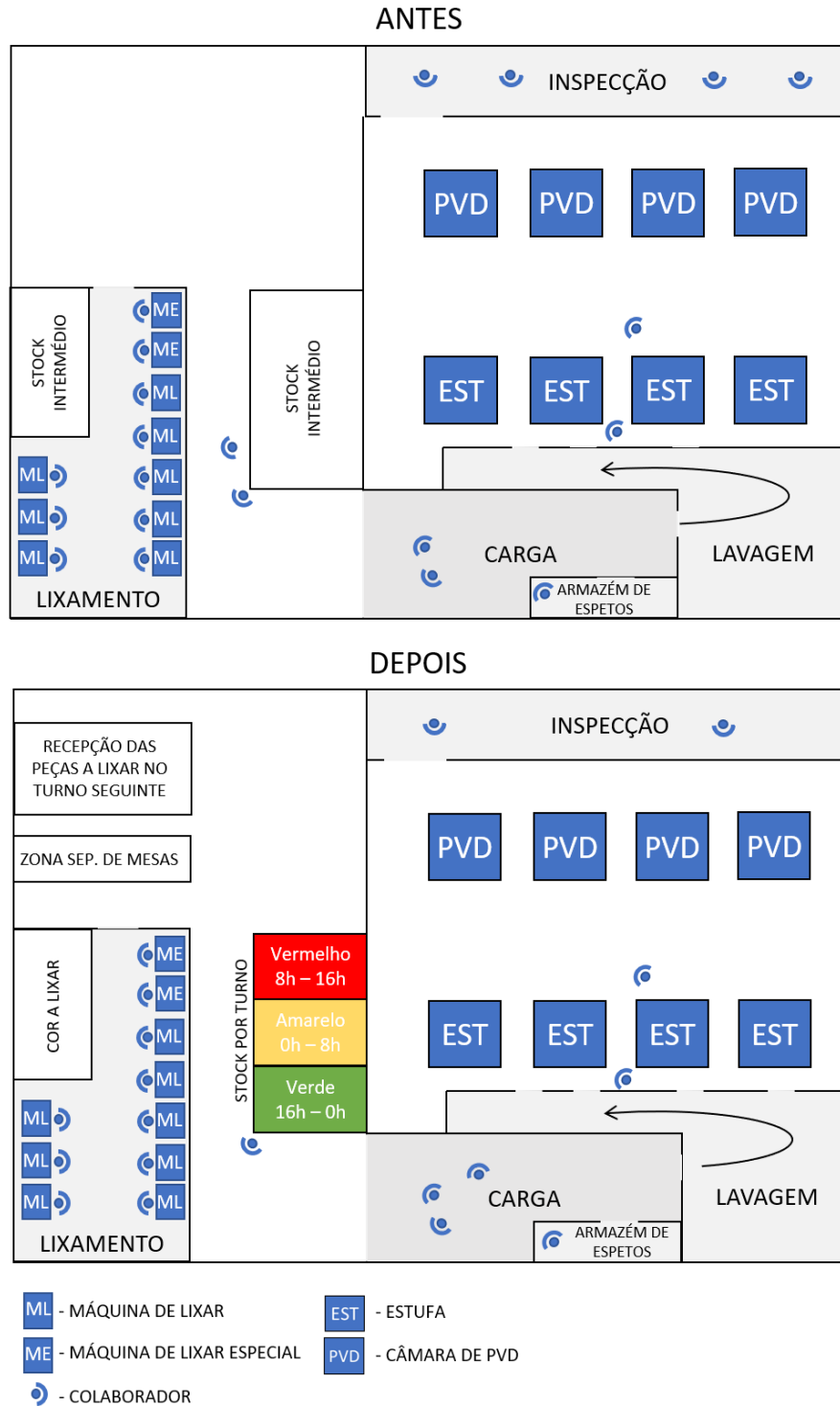


Figura 13 - *Layout* da linha de PVD

4.1.3 Produção em fluxo

Com a introdução do abastecimento normalizado de componentes e das cores que representam que devem ser processadas nos turnos de cada fase do processo, passou a ser mais fácil garantir a produção em *FIFO (first in first out)*, pois os colaboradores têm indicações claras do que devem produzir no seu turno. Ainda assim os colaboradores da Carga, por vezes, processavam peças que pertenciam a agrupamentos de outros turnos. Foi por isso necessário dar formação a estes colaboradores para que não misturassem produção do seu turno com a destinada para os turnos seguintes. Conseguiu-se, assim, garantir uma produção em fluxo sem que as peças ficassem “esquecidas” nos *stocks* intermédios.

4.1.4 Controlo da operação

O novo método de produção implica um fluxo de informação acerca do material que vai sendo processado pelas várias fases do processo, tendo como objectivo que, em cada fase do processo, o colaborador responsável saiba que agrupamentos deve processar. Para fazer esta gestão por turno foi utilizado um dos princípios fundamentais do Kaizen: Gestão Visual (Kaizen_Institute 2018), como podemos observar o quadro de acompanhamento da Figura 14 que ficou colocado no Lixamento. Este quadro permite que os colaboradores saibam que agrupamentos devem lixar no seu turno (“Manhã”, “Tarde” e “Noite”). Outros dois quadros semelhantes a este foram colocados na Carga e junto às Câmaras (Anexo A), este último com a particularidade de permitir o alocação de mesas que serão processadas em cada uma das Câmaras de PVD.

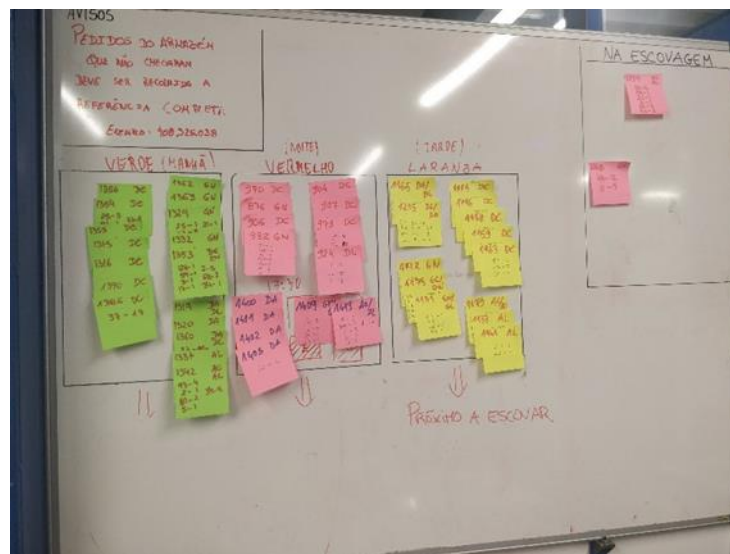


Figura 14 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto ao Lixamento

4.2 Ferramenta de planeamento

A ferramenta de planeamento é basilar no novo método de produção da linha de PVD e grande parte do sucesso da implementação depende do bom funcionamento e aplicabilidade da ferramenta. Como tal as várias particularidades do processo produtivo a ter em conta na ferramenta, as informações que foram necessários recolher e a construção da mesma devem ter especial destaque neste relatório.

A introdução deste novo sistema produtivo tem como base a possibilidade de calcular que agrupamentos deverão ser realizados, para que as peças de encomendas de cliente entrem em

conjunto nas Câmaras de PVD. Este cálculo não é possível de realizar manualmente, o que suscitou a necessidade de construir uma ferramenta informática com um algoritmo que permita esse mesmo cálculo, considerando todas as particularidades da linha. Contudo não foi possível incorporar todas estas particularidades antes da construção da primeira versão da ferramenta, pois muitas delas estavam “escondidas” pelo método de produção anterior e, como a situação era de elevado grau de urgência, a implementação de uma nova forma de produzir para a obtenção de melhores resultados teve que ser realizada ainda antes que todos os detalhes do processo pudessem ser compreendidos na sua plenitude.

Para a ferramenta ter em conta todas estas particularidades no cálculo das peças que formam cada mesa de espetos, é necessário criar fluxos de informação entre operadores, engenheiros de processo e o Programador (capítulo 3.2). Os operadores, porque, através do seu conhecimento empírico, conhecem bem os detalhes das peças e do processo, os engenheiros de processo para validarem as opiniões dos operadores e ainda o Programador para actualizar a informação fornecida à ferramenta de planeamento.

4.2.1 Particularidades do sistema produtivo

As particularidades do sistema que deverão ser tidas em conta para a construção do algoritmo serão descritas seguindo a lógica apresentada na Figura 15. Observaremos as várias questões associando-as a uma das fases do processo produtivo. A Estufa, por exemplo, tem a si associado a particularidade: Tempo de ciclo de 12h na Estufa. Enquanto em relação às Câmaras de PVD são observadas 4 diferentes particularidades com impacto na construção da ferramenta.

Quase todas estas particularidades foram identificadas à medida que o algoritmo foi sendo desenvolvido e utilizado, facto que pode ser visto de duas perspetivas: por um lado, a implementação deste novo método de produção associado a uma redução de *stocks* permitiu que grandes problemas da linha de produção de PVD se revelassem (Kaizen_Institute 2018), por outro, os problemas que foram surgindo durante a implementação causaram grandes entropias ao desenvolvimento da ferramenta.

As particularidades da linha de PVD serão expostas e numeradas para que, posteriormente, possa ser entendido de que forma impactam a construção da ferramenta de planeamento.

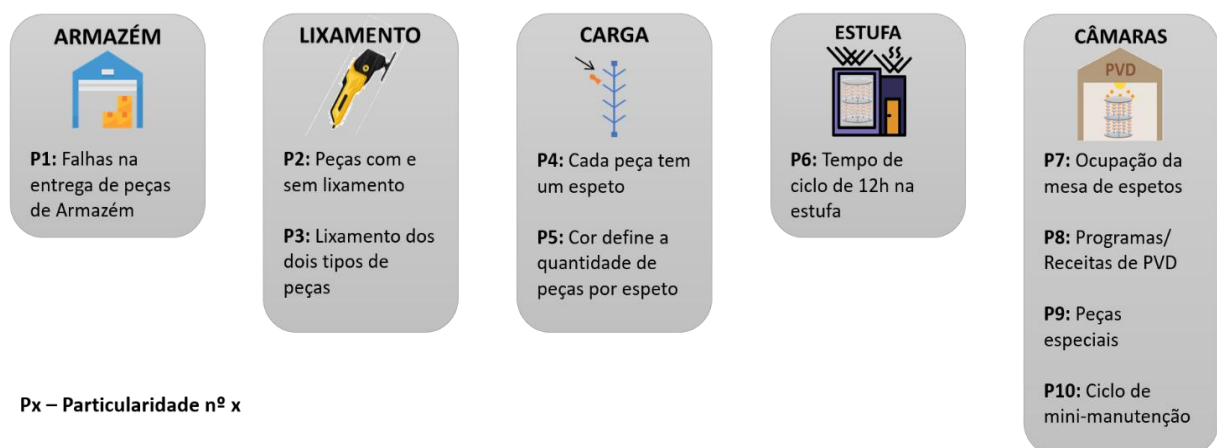


Figura 15 – Particularidades do processo produtivo

ARMAZÉM

Particularidade 1: Falhas na entrega de peças de Armazém

As peças vindas do Armazém para a entrada do Lixamento chegam muitas vezes na quantidade errada. Este era um problema que não era tido em conta, pois, com a linha a funcionar da forma anterior, não era necessária a confirmação das quantidades de peças vindas de Armazém, havia sempre material suficiente para processar. A alteração para o funcionamento com a programação por mesa implica que as quantidades que chegam de Armazém estejam correctas para que, quando as peças são carregadas no espeto, este fique ocupado na totalidade.

Para a compreensão do leitor convém referir que este problema tinha duas origens:

- Falhas de inventário;
- Partilha de materiais com outra linha sem PVD. O mesmo Armazém fornece duas linhas que têm materiais partilhados e, por isso, quando o inventário é lido para a construção das mesas e se verifica que o material existe efetivamente em Armazém, considera-se que é possível utilizá-lo para uma mesa futura; contudo, como não é feita qualquer reserva, quando os responsáveis de Armazém iam buscar o material para entregar à linha de PVD, este podia já ter sido consumido pela linha paralela.

LIXAMENTO

Particularidade 2: Peças com e sem lixamento

Como podemos verificar na Figura 7, as peças são revestidas com o processo de PVD após terem sido lixadas ou sem terem passado pelo Lixamento. As peças que não passam pelo Lixamento são chamadas brilhantes. Quando uma peça está direccionada para ser brilhante o algoritmo deve ter em consideração que a mesma não vai ocupar recursos no Lixamento.

As peças que não passam no Lixamento estão sujeitas a uma Inspeção mais rigorosa antes de chegarem à Carga. Esta Inspeção é necessária porque as peças podem ter marcas à superfície que, como não são anuladas pelo lixamento, podem gerar peças defeituosas na aplicação do revestimento. Com alguma frequência, pode verificar-se que uma parte das peças que estão direccionadas para serem brilhantes são rejeitadas pela Inspeção pré-Carga, pelo que a mesa que seria carregada mais à frente já não tem as peças necessárias para entrar na Câmara devidamente ocupada. Assim sendo e não havendo maneira de resolver este problema no curto-prazo, com, por exemplo, uma Inspeção rigorosa à entrada de Armazém quando a peça virgem chega do fornecedor, tem que ser possível cancelar uma mesa que não tenha a ocupação necessária para que seja aceitável processá-la nas Câmaras. Esta possibilidade introduz a necessidade do algoritmo considerar não só os stocks existentes em Armazém como também aqueles que estão junto ao Lixamento (por pertencerem a uma mesa cancelada) para que sejam processados o mais rápido possível e não gerem um novo *stock* intermédio.

Particularidade 3: Dois tipos de máquinas de lixamento

Para que a programação por mesa seja possível é necessária uma monitorização de todos os passos do processo, ou seja, é necessário saber quanto tempo é que cada uma das peças vai demorar a passar em cada uma das fases. No Lixamento é necessário ter em conta que nem todas as máquinas de lixar são iguais, ou seja, o tempo que cada peça demora a passar nesta fase tem que ser dividido em dois: o tempo que a peça está alocada à máquina especial e o tempo que tem que estar afectada em qualquer uma das restantes máquinas (Figura 16). Na

ferramenta de programação é necessário ter em conta a ocupação dos dois tipos de máquinas em separado, contabilizando o tempo que as peças demoram a ser processadas em cada uma delas.

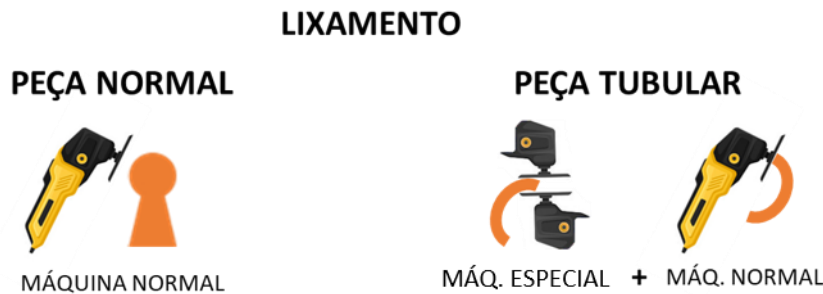


Figura 16 - Tipos de lixamento para peças normais e tubulares

CARGA

Particularidade 4: Cada peça tem um espeto

Como até à data existem cerca de 150 tipos de espetos e 7500 referências, isso significa que cada tipo de espeto está associado a várias peças virgem, mas não o contrário: cada uma das peças virgem está associada a um tipo de espeto onde pode ser carregada. Consequentemente os espetos são um recurso escasso nesta linha de PVD e, como tal, uma das principais dificuldades do processo. O algoritmo deve, por isso, garantir que aquilo que vai ser carregado em cada momento tem o tipo de espeto necessário disponível desde o carregamento até ser devolvido ao Armazém de espetos após a vistoria das peças. Está estimado que o tempo que uma peça demora a percorrer o percurso entre a Carga e a Inspeção são cerca de 6 horas. Fixou-se então que o algoritmo deve precaver alguns atrasos no sistema, garantindo que durante um período de 8 horas correspondente a um turno, não há colisão de espetos, isto é, que não há uma necessidade de quantidade de espetos de cada tipo superior à disponível.

Contudo, as inúmeras falhas nos *inputs* utilizados para o cálculo das mesas por parte do algoritmo, como também a falta de um sistema de inventário de espetos actualizado, suscitou a necessidade de criar uma funcionalidade na ferramenta que permita replanear as peças que não são processadas no carregamento. Uma peça pode não ser carregada em qualquer um dos seguintes casos:

- Quantidade de peças por espeto introduzida erradamente na base de dados (ver particularidades da quantidade de peças por espeto no ponto seguinte);
- Quantidade de espetos de um determinado tipo mal registada;
- Espeto com traves partidas que impede que o número total de peças possa ser carregado.

É necessário ainda assinalar que uma peça que tenha sido lixada e tenha sido identificada como sobra não pode ser redireccionada para uma referência final “brilhante”. Este é mais um factor a ter em conta na ferramenta de planeamento.

Particularidade 5: Cor define quantidade de peças por espeto

Cada tipo de peça tem um tipo de espeto associado. Contudo, consoante a cor final para a qual vão ser transformadas, a quantidade de peças que podem ser colocadas no espeto varia. Esta diferença é explicada pela aplicação do PVD nas Câmaras. Como se pode ver na Figura 17 a aplicação da cor A é uniforme dentro da Câmara, mas pode-se observar que a cor B tem uma aplicação disforme ao longo da Câmara, ou seja, as peças no anel superior e inferior da

Câmara não terão uma aplicação satisfatória. Os espetos não devem ser, por isso, carregados nas partes inferiores e superiores quando as peças colocadas estão direccionadas para cores que têm uma aplicação disforme.

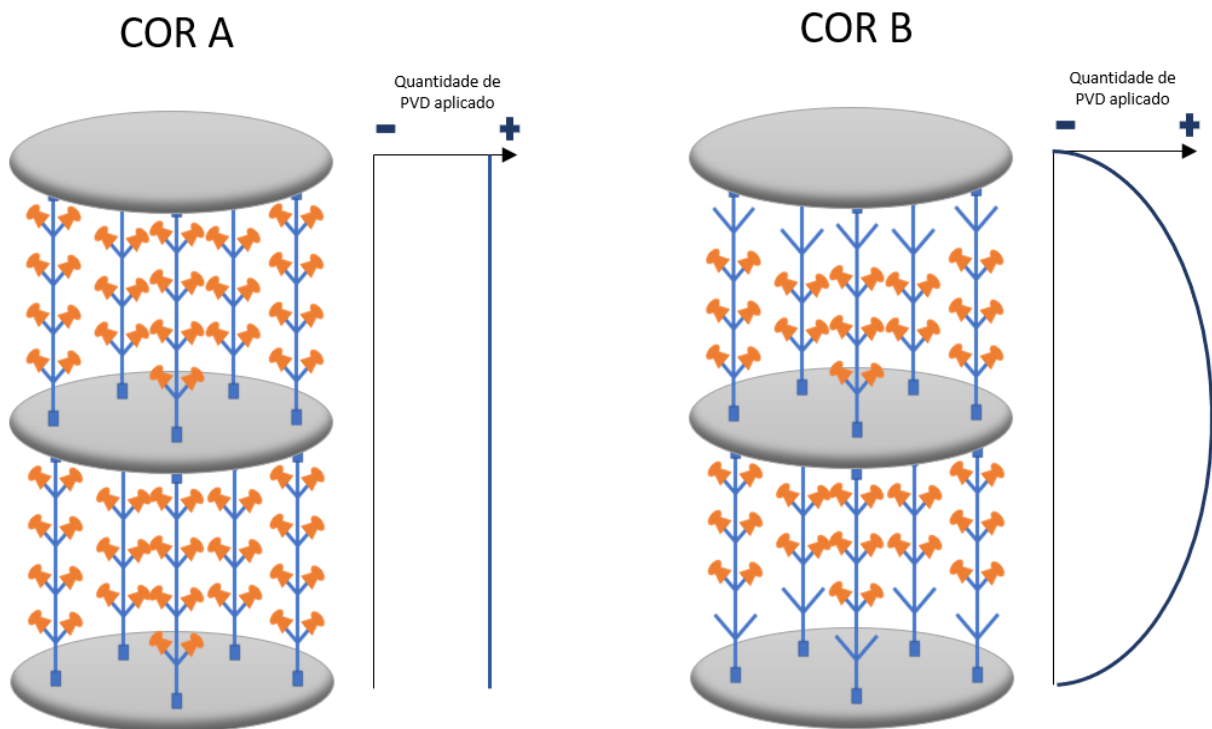


Figura 17 - Aplicação do PVD para duas cores distintas

ESTUFA

Particularidade 6: Tempo de ciclo de 12h na Estufa

1,2% das referências têm um tempo de ciclo na Estufa de 12 horas e devem ser agrupadas por forma a realizarem essa fase do processo em conjunto. Este tempo de Estufa deve ser realizado quando a linha está parada, entre sábado e domingo, evitando entropia ao longo da semana. As restantes referências têm um tempo de ciclo na Estufa de 2 horas.

CARGA

Particularidade 7: Ocupação da mesa de espetos

Cada mesa de espetos tem 18 espaços para colocar espetos, contudo há espetos que carregam peças de maior volume e, como tal, ocupam mais do que um espaço de espeto. Esta quantidade de espetos por mesa deve ser tida em conta e, por isso, registada na base de dados das referências finais.

Particularidade 8: Programas/Receitas de PVD

A aplicação do revestimento de PVD é realizada com recurso a uma receita que define a cor que será aplicada ao material. A receita monitoriza, entre outros, o tempo de ciclo dentro da máquina, a temperatura do substrato aplicado ou o rácio de deposição. Todos eles são factores controláveis na aplicação do revestimento (Rickerby e Burnett 1988).

Existem 15 programas de PVD que as Câmaras podem realizar, que correspondem a 3 tipos de material vezes as 5 cores finais para as quais o material pode ser transformado (Figura 18).

		PROGRAMA
TIPO DE MATERIAL	COR FINAL	METAL_COR A
		METAL_COR B
		METAL_COR C
		METAL_COR D
		METAL_COR E
METAL	COR A	PLÁSTICO_COR A
		PLÁSTICO_COR B
		PLÁSTICO_COR C
		PLÁSTICO_COR D
		PLÁSTICO_COR E
PLÁSTICO	COR B	FRÁGIL_COR A
		FRÁGIL_COR B
		FRÁGIL_COR C
		FRÁGIL_COR D
		FRÁGIL_COR E
FRÁGIL	COR C	
	COR D	
	COR E	

Figura 18 - Tipos de Programa

Cada referência final está associada a um destes programas e apenas referências que partilhem o mesmo programa podem ser agrupadas na mesma mesa.

O algoritmo deve ainda ter em conta que nem todas as máquinas podem fazer todos os programas e que o tempo de ciclo de um programa não é igual em todas as máquinas.

As Câmaras de PVD não estão preparadas para realizar todos os programas que determinam a cor final que se pretende transmitir às peças. Isto pode acontecer tanto porque a Câmara não tem o programa desejado instalado e testado, mas também porque apesar da máquina estar preparada para realizar um determinado programa, num dado momento, não o pode realizar. Situação que pode ocorrer em função dos ciclos realizados anteriormente: há programas que não podem ser realizados em sequência sem que a máquina realize no entretanto um ciclo de mini-manutenção (ver Característica 10) e consequentemente tenha um período de paragem prolongado

Particularidade 9: Peças especiais

Há referências produzidas que têm necessidades especiais, tendo por isso que ser colocadas na Câmara separadamente, sem outro tipo de peças, devendo esses casos ser devidamente acautelados na ferramenta de planeamento. É o caso de uma peça W que não é carregada num espeto, mas colocada directamente na mesa de espetos e que, por essa razão, pode entrar na Câmara apenas em conjunto com outras peças W que estejam direccionadas para a mesma cor.

Particularidade 10: Ciclo de Mini-Manutenção

As Câmaras de PVD têm que realizar um ciclo de mini-manutenção de cada vez que fazem três ciclos de revestimento. Este ciclo de mini-manutenção tem uma duração de 60 minutos, em que a Câmara não pode estar ocupada com peças. Contudo, foi realizado um estudo e o programa “METAL_COR_D” realiza durante o seu ciclo, um ciclo de mini-manutenção. Como as referências, que são submetidas a este programa são as com maior procura, o

algoritmo deve procurar que, por máquina, a cada dois ciclos de programas diferentes, esteja planeado um programa “METAL_COR_D”.

4.2.2 Inputs

A ferramenta de planeamento necessita de vários *inputs* (entradas de dados) para que possa calcular quais os melhores agrupamentos a realizar em cada momento e determinar a alocação desses mesmos agrupamentos às Câmaras de PVD. Definir como é que estes *inputs* podem ser obtidos foi uma tarefa de elevado grau de dificuldade, em alguns casos porque os *inputs* não existiam, noutros porque as informações que existiam estavam desactualizadas. Houve ainda *inputs* relativamente aos quais foi complicado obter um consenso entre todos os intervenientes no processo.

Procura associada a uma prioridade

O primeiro *input* necessário é um plano semanal que deve ser fornecido pela equipa do departamento Logístico. Este plano define quais as referências que deverão ser produzidas, a quantidade a produzir e a prioridade que essa produção tem face às restantes. A ferramenta concebida permite 6 níveis de prioridade que têm como objectivo a alocação de peças virgem às referências finais que devem ser produzidas com maior urgência. A prioridade serve ainda para definir quais os agrupamentos que deverão entrar na linha em primeiro lugar.

Quantidades produzidas e planeadas

Como o plano recebido é um plano fixo para uma semana e se pretende ter entregas faseadas de material, a ferramenta de planeamento deve ser capaz de calcular o material a produzir num espaço temporal de um ou dois dias. Para tal a ferramenta, deve descontar ao plano semanal todas as quantidades que já foram totalmente produzidas ou que estão em fase de produção. Só assim poderá calcular novas mesas de espetos com as peças que faltam produzir da semana em questão.

Peça virgem de cada referência final

Cada referência final tem a si associada um tipo de peça virgem. Para que a ferramenta possa saber que peças virgem tem disponíveis para a produção da referência tem que ter a indicação de qual o código da peça virgem correspondente. Chama-se a esta tabela, BOM, termo em inglês: *Bill of Materials*.

Stocks de peças virgem

A ferramenta de planeamento necessita de ter informações quanto à quantidade em *stock* de peças virgem em cada momento, para que saiba aquilo que é possível produzir. Para além do *stock* em Armazém foi também necessário criar uma forma de a ferramenta ter informação sobre as peças que estão paradas no decorrer do processo, tanto na parte exterior do Lixamento como na Carga, devido às particularidades 1 e 4.

Informação sobre cada referência

O cálculo da quantidade de peças por espeto e ainda da quantidade de espetos por mesa depende exclusivamente da base de dados sobre as informações de cada referência. No início do projecto existia uma lista já com bastante informação, mas grande parte dela não estava actualizada ou não era consensual entre operadores e engenheiros de processo, o que exigiu uma reactualização da mesma. Para esta reactualização foi necessário desenhar um fluxo de informação entre colaboradores, engenheiros de processo e Programador. De referir que é complicado conseguir a lista actualizada na totalidade, pois tratam-se de 7500 referências, às quais acrescem as que forem sendo introduzidas (novos produtos). Esta extensa lista contém os seguintes campos:

- **Código da referência;**
- **Tipo de material** (Metal, Plástico ou Frágil) – para saber a que programa na Câmara de PVD é que a referência deverá ser sujeita (Particularidade 8);
- **Tempo de ciclo na Estufa** – com o objectivo de saber quais as referências que estão sujeitas a passar mais tempo na Estufa, para que essas sejam processadas em conjunto (Particularidade 6);
- **Cor** – cada referência tem uma cor de destino e só peças com a mesma cor final podem ser agrupadas (Particularidade 8);
- **Agrupamento especial** – quase todas as referências podem ser agrupadas, considerando o material por que são constituídas, a sua cor final e o tempo de ciclo dentro da Estufa; contudo, há peças especiais que não podem ser agrupadas com outras, mesmo que sejam sujeitas ao mesmo programa, e essas têm que estar devidamente assinaladas (Particularidade 9);
- **Tipo de espeto** – permite saber em que espeto é que a referência deve ser colocada (Particularidade 5);
- **Ocupação do espeto na mesa** – permite saber quanto espaço da mesa, ocupa um espeto carregado com a referência em questão (Particularidade 7);
- **Peças/Espeto** – permite saber quantas peças podem ser carregadas no espeto, que, como vimos nas particularidades do sistema, pode variar consoante a cor da referência final (Particularidade 6).

Tempos de Lixamento

No método de produção anterior, em nada importava o tempo que demorava a lixar cada peça, pois o Lixamento tinha um *stock* intermédio que era necessário lixar sem que houvesse a preocupação de que esse *stock* acabasse e os colaboradores ficassem sem peças para lixar. Por isso, não havia registos dos tempos de lixamento para grande parte das referências. Foi então necessário fazer um tratamento de dados, através das descrições de cada tipo de peça, procurando organizá-las por grupos e extrapolando os registos existentes para as referências sem registos.

Informação sobre cada tipo de espeto

Para que a ferramenta saiba quantas peças pode permitir que sejam consumidas em cada turno, deverá ter informação sobre a quantidade de espetos de cada tipo existentes. O objectivo com esta informação é que os agrupamentos (mesas) que serão processados no mesmo turno não necessitem de mais espetos de um determinado tipo do que os existentes. No começo do projecto existia já uma lista que tinha a informação necessária:

- Tipo de Espeto
- Quantidade de Espetos disponíveis de cada tipo

Contudo esta informação não estava actualizada e foi necessário fazer um inventário a estes 150 tipos de espetos. Para que a lista se mantivesse actualizada nomeou-se um responsável por todos os espetos que passou a ter a seu cuidado toda a manutenção e encomenda de novos espetos, mantendo a base de dados coerente com a realidade.

Tempos de Ciclo nas Câmaras de PVD

Para que seja possível a alocação de mesas às máquinas, ou seja, indicar quais as mesas que devem ser processadas em que máquina, a ferramenta necessita de saber que programas é que cada Câmara tem competência para realizar e quanto tempo demora o ciclo de revestimento, que, para a mesma receita, pode variar de máquina para máquina (Particularidade 8).

4.2.3 Funcionamento do algoritmo

A ferramenta de planeamento foi desenvolvida ao longo dos 3 meses de projecto e a sua estrutura foi sendo desenvolvida à medida que os problemas na linha de PVD foram surgindo, alterando, por vezes radicalmente, o funcionamento das linhas. Optou-se então por descrever o funcionamento mais actualizado da ferramenta com exceção de alguns casos em que o passo em questão, no modo de funcionamento antigo, tenha alguma relevância. No capítulo 5, estão detalhadas as várias fases de desenvolvimento da ferramenta e cada uma delas é analisada quanto aos resultados obtidos.

O funcionamento da ferramenta foi sempre partilhado com todos, dada a sua complexidade e a vontade por parte dos colaboradores de ajudarem na construção da mesma. O que proporcionou várias sessões de explicação do funcionamento dos vários protótipos que se foram desenvolvendo. Nas figuras do ANEXO D está representado o esquema desenhado numa dessas sessões. Estas reuniões serviram para a especificação e aperfeiçoamento do funcionamento da ferramenta.

Para compreender o funcionamento da ferramenta vamos recorrer Figura 19, que explica cada uma das fases do algoritmo que a compõe.

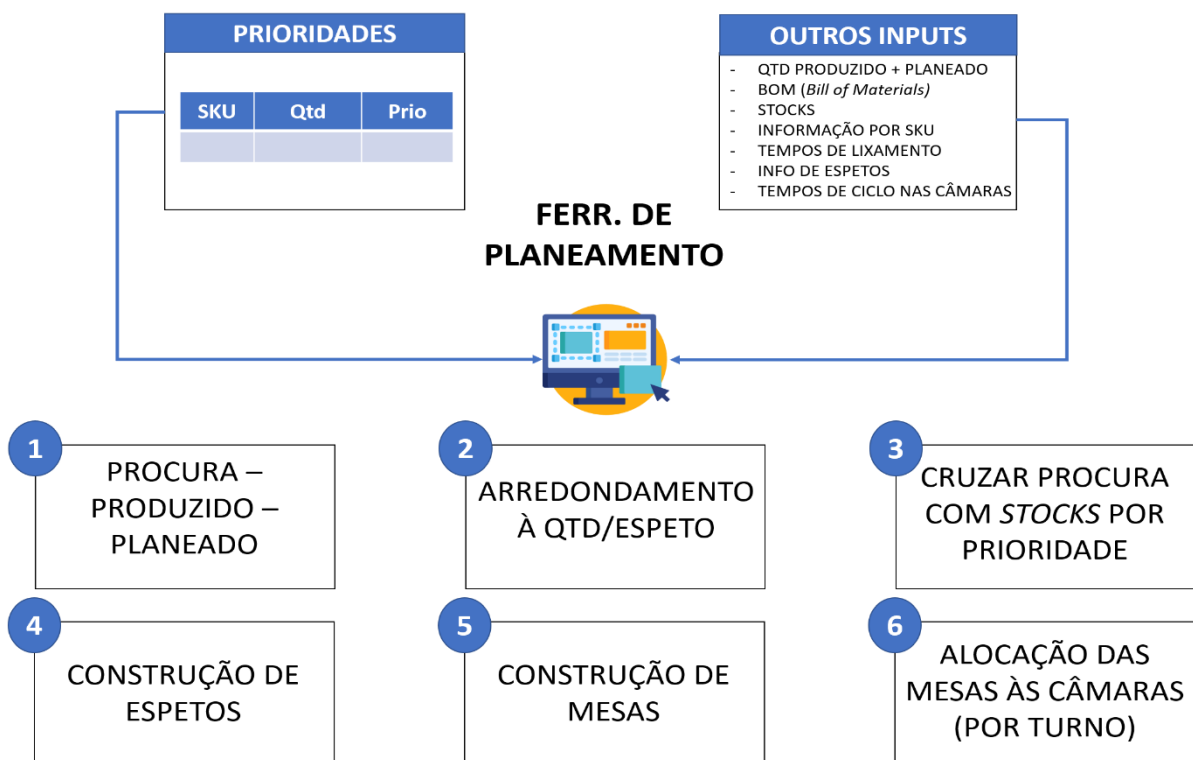


Figura 19 - Funcionamento da ferramenta de Planeamento

LEITURA DE INPUTS

A ferramenta de planeamento é utilizada várias vezes ao longo da semana, com o objectivo de planear o que vai ser processado num curto período de tempo (um, dois ou três dias) à escolha do utilizador. A ferramenta deve começar por ler um ficheiro que contém o plano semanal; este ficheiro indica os *SKU's*, referências finais, a serem produzidas ao longo dessa semana e a prioridade que deve ser dada a cada quantidade. Este plano é construído uma vez por semana, o que implica que a ferramenta de planeamento deve ser capaz de calcular, a meio da semana, a quantidade que permanece necessária, face ao plano fornecido no início da mesma.

De seguida, a ferramenta necessita de ler todos os *inputs* que estão detalhados em 4.2.2. – Fluxos de informação, e que são necessários para o fazer o cálculo das peças que devem ser produzidas em cada turno.

PASSO 1: Procura – Produzido – Planeado

O plano semanal construído pela equipa de planeamento é mantido ao longo de toda a semana, o que significa que a ferramenta deve calcular a quantidade que permanece necessária desde a introdução do plano, descontando a quantidade que já foi produzida e a que está em curso, para cada referência.

Quando o projecto começou, a linha de PVD tinha taxas de rejeição muito elevadas, entre os 20 e os 30%, situação que exigia planear quantidades superiores às necessárias, para que, no final do processo, a quantidade necessária fosse aprovada pela Inspeção e pudesse ser expedida. Assim, o cálculo das quantidades que permanecem necessárias era realizado como indica na equação 4.1

$$\text{Nec} = (\text{Plano} - \text{Produzido}) * (1 + \text{TR}) - (\text{Planeado}) \quad (4.1)$$

Onde:

Nec, são as quantidades que permanecem necessárias, por referência

Plano, é a quantidade que foi indicada no plano semanal, por referência

Produzido, é a quantidade produzida, por referência

TR, é a taxa de rejeição utilizada para planear

Planeado, é a quantidade já planeada, por referência

Mais tarde, ao fim de dois meses de projecto, foi decidido, entre todos os elementos da equipa do projecto, que a taxa de rejeição a ser considerada nos pedidos ao Armazém passaria a ser 0%, pois as rejeições baixaram acentuadamente até aos 10% e a falta de peças virgem começou a revelar-se um problema grave. A aplicação de uma taxa de 0% para realizar o planeamento permite que não se processem peças virgem para uma cor onde a procura já foi totalmente satisfeita. Caso haja peças rejeitadas, essas poderão ser introduzidas no pedido ao Armazém seguinte, situação que passa a ser possível graças ao abastecimento normalizado de componentes.

Num terceiro passo foi ainda necessário desenvolver o algoritmo de forma a permitir que a mesma referência apresentasse vários níveis de prioridade. Desta forma será possível alocar as peças virgem pelas referências com uma prioridade mais elevada com maior rigor. No sistema anterior aglomerava-se a procura para uma determinada referência na prioridade mais alta para essa referência, pelo que passou a ser necessário caracterizar a quantidade que se mantém em falta. A Tabela 2 apresenta os resultados do cálculo efectuado, sendo que, na fase do projecto em que a necessidade de ter várias prioridades apareceu, já estava acordado que não se iria acrescentar uma quantidade para cobrir a taxa de rejeição no pedido ao Armazém. A referência 123COR_A tem, num determinado plano, uma necessidade total de 30 peças divididas por 3 prioridades, 10 em cada nível de prioridade. Desde que este plano é utilizado, já foram produzidas 10 peças desta referência e existem ainda 5 que já foram planeadas, isto é, pedidas ao Armazém. Ou seja, um total de 15 peças, que devem ser descontadas às necessidades iniciais. Assim aquilo que o algoritmo da ferramenta calcula é a quantidade que deve ser utilizada para descontar nas necessidades de cada nível de prioridade. Neste caso das 15 peças, 10 vão ser utilizadas para descontar à necessidade com prioridade mais alta e as outras 5 à prioridade imediatamente inferior. Se a quantidade a descontar às necessidades, por alguma razão, for

superior à quantidade total de necessidade, então a necessidade de peças dessa mesma referência é anulada.

Tabela 2 - Cálculo das quantidades necessárias para a mesma referência com prioridades distintas

REF	Qtd	Prio	Acumulado	Produzido	Planeado	Qtd a descontar	Qtd Utilizada	Qtd (falta planejar)
123COR_A	10	Prio1	10	10	5	15	10	0
123COR_A	10	Prio2	20	10	5	15	5	5
123COR_A	10	Prio3	30	10	5	15	0	10

PASSO 2 – Arredondamento à QUANTIDADE/ESPETO

Numa primeira fase, o programa apenas permitia que houvesse uma prioridade por referência, ou seja, o cálculo da quantidade que deveria ser requisitada ao Armazém era feito com base num múltiplo da quantidade de peças que podem ser carregadas no espeto. Na Tabela 3 temos representados dois dos casos que podem acontecer como consequência do algoritmo utilizado para realizar o arredondamento à quantidade que pode ser carregada.

Tabela 3 - Arredondamento à quantidade por espeto

CASO	REF	NEC	NEC c/ TR	Qtd/Espeto	Múltiplo da Qtd/Espeto	Qtd a pedir ao Armazém
Caso 1	Ref A	6	7	4	4	8
Caso 2	Ref A	4	5	4	4	4

Em ambos os casos o múltiplo da “Qtd/Espeto” (quantidade que pode ser carregada neste espeto), é igual a 4. Contudo no “Caso 1” o valor do “Múltiplo da Qtd/Espeto” (representa o múltiplo da “Qtd/Espeto” imediatamente inferior à quantidade necessária com taxa de rejeição, “Nec c/TR”) é inferior à necessidade real da referência em questão e, como tal, será necessário pedir a quantidade equivalente ao múltiplo da “Qtd/Espeto” que seja superior à necessidade real. Enquanto no “Caso 2” o valor do “Múltiplo da Qtd/Espeto” é igual ou superior à necessidade real e, como tal, representa também a quantidade que deverá ser encomendada ao Armazém. Aplicou-se por isso o algoritmo descrito em (4.2).

$$Mult_Qtd_Espeto = \text{ROUND}\text{DOWN}(Nec_c_TR/Qtd_Espeto) * Qtd_Espeto \quad (4.2)$$

IF Mult_Qtd_Espeto < Nec THEN

Qtd_pedir_armazem = Nec

ELSE

Qtd_pedir_armazem = Mult_Qtd_Espeto

END IF

Onde:

Mult_Qtd_Espeto, é o múltiplo da quantidade por espeto inferior ao Nec_c_TR

Nec_c_TR, é a quantidade necessária considerando uma determinada taxa de rejeição

Qtd_Espeto, é a quantidade de peças que pode ser carregada em cada espeto

Nec, é a quantidade de peças necessárias sem taxa de rejeição

Em todo o caso, no desenrolar do projecto, devido à redução dos stocks intermédios que levou a grandes acertos nas quantidades inventariadas, o constrangimento relativo à falta de peças virgem tornou-se cada vez mais evidente, passando assim a ser necessário mudar de estratégia relativamente ao arredondamento das quantidades. Decidiu-se então que a quantidade de peças por espeto nunca deveria ser arredondada à quantidade que pode ser carregada, mas sim que a quantidade necessária é o que determina o valor máximo que se pode requisitar ao Armazém para ser produzido. Como nesta fase a ferramenta já permitia a existência de várias prioridades para cada referência foi necessário reprogramar a forma de arredondamento ao espeto. No caso presente na Tabela 4, e para todas as outras referências em que exista mais do que um nível de prioridade, a ferramenta de planeamento começa por arredondar para cima cada uma das necessidades referentes a cada prioridade, por forma a ocupar um espeto na sua totalidade. No caso representado, como são necessárias 5 peças com uma prioridade superior e mais 10 peças com uma prioridade inferior, que devem ser carregadas num espeto que fica totalmente ocupado com 8 peças, cada um dos conjuntos “Referência/Prioridade” vai ver a sua necessidade arredondada para completar um espeto. Após este arredondamento, é calculada a quantidade acumulada de peças necessárias para se obter espetos 100% ocupados em cada nível de prioridade; com esse cálculo e comparando com a necessidade total de peças para uma determinada referência obtém-se a quantidade que deve ser utilizada em cada nível de prioridade, para cada espeto. Resumindo, a ferramenta permite que, caso a quantidade de uma determinada prioridade não seja suficiente para completar um espeto, o mesmo seja carregado com quantidades de uma prioridade imediatamente inferior e assim sucessivamente. Neste caso da Tabela 4, as 5 peças não são suficientes para carregar um espeto que fica completo com 8 peças, então o algoritmo vai confirmar se há, com uma prioridade inferior, uma quantidade necessária que possa ser adicionada ao espeto com prioridade superior; a existir, essas peças são alocadas ao espeto de maior prioridade, reduzindo a necessidade da prioridade inferior.

Tabela 4 - Distribuição das quantidades com diferentes prioridades pelo pelos espetos

REF	Qtd	Prio	Qtd (falta planear)	Qtd / Espeto	Qtd (falta planear) - Necessária	Qtd (falta planear) Acumulada	Qtd (falta planear) - Total SKU	Qtd a produzir
123COR_A	10	Prio1	5	8	8	8	15	8
123COR_A	10	Prio2	10	8	8	16	15	7

PASSO 3 – Cruzar a necessidade com os stocks, por prioridade

O cruzamento da necessidade restante após os passos 1 e 2 com a quantidade de *stock* existente para cada referência, permite que se saiba qual a quantidade de peças que existem em Armazém e para as quais se pode criar uma ordem de produção. Esse *stock* ainda está no formato de peças virgem e, como tal deve ser distribuído entre as referências finais que partilham a mesma peça virgem, seguindo a ordem de prioridades (Tabela 5).

Tabela 5 - Distribuição de *stocks* seguindo a ordem de prioridades

SKU	Qtd	Prio	Qtd a produzir	Procura Peças V. Acumulado	% da Procura Acumulada	Stock para distribuição	Qtd (válida para prod.)
123COR_A	40	Prio1	40	40	100%	50	40
123COR_B	20	Prio2	20	20	100%	50	10
123COR_C	10	Prio3	10	10	100%	50	0

Também para este passo há casos especiais. Acontecem quando várias referências finais partilham a mesma peça virgem e a sua necessidade somada é inferior ao *stock* disponível. A Tabela 6 reflete esse mesmo caso: várias referências que partilham a mesma peça virgem e, após os cálculos dos passos 1 e 2, representam uma necessidade acumulada (62 peças) superior à quantidade de *stock* existente (30 peças). Assim, por forma a conceder igualdade entre necessidades que têm a mesma prioridade, o *stock* é distribuído pelas referências consoante a sua representatividade na quantidade total de peças virgem necessárias. Para a referência “123COR_B”, por exemplo, que tem uma representatividade na procura de peças virgem acumulada de 11%, vão ser destinadas 3 peças ($11\% \cdot 30$) do *stock* total disponível para distribuição.

Tabela 6 - Distribuição de *stock* dentro da mesma prioridade

SKU	Qtd	Prio	Qtd a pedir ao Armazém	Procura Peças V. Acumulada	% da Procura Acumulada	Stock para distribuição	Qtd (válida para planear)
123COR_A	15	Prio2	10	62	16%	30	5
123COR_B	7	Prio2	7	62	11%	30	3
123COR_C	80	Prio2	45	62	73%	30	22

Este cruzamento de *stocks* com as necessidades, realizado antes da separação por espeto e agrupamento por mesa para estas serem colocadas dentro das Câmaras, permite que nunca uma peça virgem seja direcionada para uma referência final com uma prioridade mais baixa do que uma outra que não é requisitada ao Armazém porque não entrou num agrupamento vantajoso para a alocação. A ferramenta permite desta forma que as peças virgem fiquem reservadas para as referências mais prioritárias.

PASSO 4 – Construção de espetos

No passo 4 a quantidade final que é válida para planear deve ser dividida por espetos por forma a que cada um desses espetos possa ser agrupado numa mesa. A Tabela 7 tem nela exemplificado um resultado de todos os passos anteriores.

Agora que as quantidades que podem ser produzidas foram validadas, é necessário calcular quantos espetos deverão ser produzidos de cada tipo. No “Caso 1” da Tabela 7 a quantidade válida para produção é de 40 unidades; contudo, a quantidade necessária para preencher um espeto é de 12 unidades, o que possibilita que as 40 unidades podem formar 3 espetos completos, cada um com 12 unidades. No total 36 das 40 unidades já estão alocadas a um espeto. Desta forma, ficam a sobrar 4 unidades disponíveis para produção. Com essas unidades pode ser formado um espeto incompleto, ficando o mesmo escasso em 8 unidades, ou esperar que entrem novas encomendas da mesma referência para juntar à procura que fica por satisfazer. Existindo estas duas possibilidades estabeleceu-se que para as necessidades que tenham uma prioridade igual ou inferior a 3 (Prio1, Prio2, Prio3), que correspondem a encomendas em atraso ou próximas dessa condição, o algoritmo deve optar pela primeira opção, criar um espeto que não vai estar 100% completo. Como, por exemplo, o espeto nº4 da Tabela 8, proveniente do “Caso 1”. Para as restantes necessidades, opta-se pela segunda opção, como podemos observar no “Caso 2”: das 20 peças que estão válidas para produção, apenas 15 serão colocadas num espeto (espeto nº 5), e as restantes 5 não são suficientes para formar um espeto completo, do

tipo “Espeto_24”, e aguardarão por um crescimento da necessidade daquela referência ou que a sua data de entrega se aproxime

Tabela 7 - Resultado do cálculo realizado nos passos 1, 2 e 3

Caso	SKU	Prio	Qtd (valid para produção)	Tipo de Espeto (Espeto ID)	Qtd / Espeto
Caso 1	123COR_A	Prio1	40	Espeto_14	12
Caso 2	111COR_C	Prio4	20	Espeto_24	15

Tabela 8 - Quantidade válidas para produção distribuídas por espetos

Caso	Nº Espeto	SKU	Prio	Tipo de Espeto (Espeto ID)	Qtd
Caso 1	1	123COR_A	Prio1	Espeto_14	12
Caso 1	2	123COR_A	Prio1	Espeto_14	12
Caso 1	3	123COR_A	Prio1	Espeto_14	12
Caso 1	4	123COR_A	Prio1	Espeto_14	4
Caso 2	5	111COR_C	Prio5	Espeto_24	15

PASSO 5 – Construção de mesas

Após a separação por espetos, é necessário proceder ao agrupamento de espetos, constituindo cada agrupamento uma mesa, por forma a estas poderem ser alocadas às Câmaras de PVD. As particularidades 6, 7, 8, 9 do capítulo 4.2.1., são aquelas que devemos ter em conta para o agrupamento de espetos. As referências que podem ser alocadas na mesma Câmara são aquelas que partilham o mesmo tipo de **material** (Metal, Plástico, Frágil), a mesma **cor final** (Cor_A, Cor_B, Cor_C, Cor_D, Cor_E), o mesmo **tempo de ciclo na Estufa** (2 horas ou 12 horas) e, por último, a mesma **necessidade especial**. Como os espetos são mono-referência, apenas podem ser preenchidos com uma referência de cada vez, cada um dos espetos tem a si associado um **código de agrupamento** (CA) que é composto da seguinte forma:

$$CA = \text{“Tipo de Material”} + \text{“Cor final”} + \text{“Tempo de ciclo na Estufa (em minutos)”} + \text{“Necessidade especial” (caso tenha)}$$

Exemplo: CA = “MetalCorA120Especial1”

Permite-se então que todos os espetos que tenham como código de agrupamento “MetalCorA120Especial1” sejam agrupados na mesma mesa de espetos. A Tabela 11 do ANEXO E representa um conjunto de espetos já construídos e que foram agrupados por mesas. Alguns deles, os que partilham o mesmo código de agrupamento, são os espetos que podem ser agrupados na mesma mesa. A Tabela 11 é ordenada primeiro por código de agrupamento e depois, dentro dos espetos com o mesmo código, pela prioridade, com o objectivo de agrupar, na mesma mesa, espetos de elevada prioridade. Esta tabela serve como representação da tabela utilizada pelo algoritmo para fazer o cálculo dos agrupamentos por mesa. O algoritmo faz uma leitura da tabela linha a linha seguindo passos descritos em (4.4).

(4.4)

1. Percorrer a lista de espeto e verificar se algum ainda não está alocado a uma mesa.
2. Abertura de uma nova mesa e alocar à mesma o espeto encontrado.

3. *Percorrer a lista de espetos em busca de um espeto para agrupar, na mesa aberta, cumprindo as seguintes restrições:*
 - a. *O espeto não está alocado a outra mesa;*
 - b. *Tem o mesmo código de agrupamento;*
 - c. *Há espaço livre para a colocação do novo espeto;*
 - d. *Tipo de espeto não ultrapassa o máximo de utilização que um tipo de espeto pode ter numa mesa (restrição que tem como finalidade promover a multiplicidade de tipos de espeto dentro da mesma mesa).*
4. *No fim de percorrer esta lista, se a mesa ainda não estiver completa, voltar ao passo 3, eliminando a restrição d. (serve este passo para permitir que uma mesa fique completa, mesmo não havendo a possibilidade de construir uma mesa com vários tipos de espeto).*
5. *Quando não houver mais espetos que possam ser alocados à mesa em estudo, fechar a mesa e voltar ao passo 1. até que todos os espetos estejam alocados a uma mesa.*

No final de percorrer o algoritmo todos os espetos estão alocados a uma mesa, mesmo que a mesma seja constituída por um só espeto. O algoritmo deve então proceder à alocação das mesas às Câmaras nos diferentes turnos.

PASSO 6 – Alocação das mesas às Câmaras

Durante os primeiros 2 meses do projecto não foi possível programar este passo da ferramenta, pelo que foi necessário que o utilizador elaborasse a alocação das mesas às Câmaras, não garantido que as mesas escolhidas fossem as mais prioritárias. Contudo, com a urgência de resolver as várias dificuldades que se foram apresentando ao longo do caminho, esta foi uma funcionalidade que apenas se pôde implementar ao fim de dois meses de projecto. Para a automatização deste passo foi necessário ter em especial atenção a particularidade 8 (nem todas as máquinas podem realizar todos os programas e há máquinas que são mais rápidas que outras a realizar determinados programas) e a particularidade 10 (o programa METAL_COR_D tem em si incorporado um ciclo de mini-manutenção necessário para o funcionamento da máquina). Para o cumprimento deste ciclo de mini-manutenção estabeleceu-se que cada máquina deve ter a si alocada uma mesa com o programa “METAL_COR_D”, por turno. O algoritmo de alocação segue os pontos descritos em (4.5).

(4.5)

1. *Organizar as mesas por prioridade ponderada.*
2. *Criar uma lista de todas as alocações que podem ser feitas (Mesa-Câmara) e ordená-las por tempo de ciclo de forma ascendente, ou seja a câmara em que o programa para o processamento da mesa tem um tempo de ciclo mais curto, deve ser prioritária face às outras.*
3. *Restringir a alocação às mesas que são METAL_COR_D e aplicar uma delas por turno a cada máquina. Permitindo que uma mesa seja alocada a uma Câmara num determinado turno, se a alocação cumprir com as seguintes restrições:*

- a. A mesa tem uma ocupação de no mínimo 80%;*
- b. A Câmara tem tempo de processamento suficiente para realizar o ciclo em causa;*
- c. O Lixamento tem capacidade para lixar as peças que estão dentro daquela mesa;*
- d. As Máquinas Especiais do Lixamento têm capacidade para lixar as peças que estão incluídas dentro daquela mesa;*
- e. Nenhum dos tipos de Espeto que estão incluídos na mesa que vai ser alocada vai ultrapassar a sua utilização dentro do mesmo turno em mais de 100% (Exemplo: Se existem 12 espetos do tipo “Espeto_24” então não podem ser utilizados mais de 12 desses espetos por todas mesas que vão ser processadas nesse turno);*
- f. Nenhum dos tipos de Espeto que estão incluídos na mesa que vai ser alocada vai ultrapassar a sua utilização total dentro do mesmo turno e dos adjacentes em mais de 150% (Exemplo: se existem 12 espetos do tipo “Espeto_24” então só podem ser utilizados 18 espetos no total dos 3 turnos, o anterior, o posterior, e o turno em que se está a tentar alocar a mesa).*

O ponto 3. é repetido até cada uma das Câmaras tiver a si alocada pelo menos 1 mesa com o programa METAL_COR_D ou não existirem mais mesas com esse programa, cumprindo com pelo menos uma destas condições o algoritmo passa para o ponto 4.

- 4. Neste ponto o universo de mesas que se pode alocar a cada Câmara é alargado para todas as mesas, com qualquer programa. Assim, por ordem de prioridade ponderada de mesa, o algoritmo procura alocar a mesa numa das Câmaras num dos turnos, desde que respeitando as mesmas restrições que foram declaradas em 3. (a, b, c, d, e). Apenas após tentar alocar todas as mesas, num determinado turno, a uma Câmara, é que o algoritmo finaliza o seu trabalho de alocação.*

É importante referir que no ponto 1. de (4.5) as mesas são ordenadas pela prioridade ponderada, e que esta prioridade é calculada somando o grau de prioridade de cada espeto presente na mesa e dividindo esse total pela quantidade de espetos existentes na mesa, permitindo desta forma uma ordenação das mesas por prioridade.

No final deste sexto passo o utilizador pode forçar que a ferramenta coloque outras mesas em cada turno, mesmo que isso ultrapasse as restrições estabelecidas; assim, se for necessário gerir uma alocação manualmente o utilizador mantém essa possibilidade. A Figura 20 representa a interface do utilizador para a alocação de mesas a turnos, interface que permite ao utilizador escolher outras mesas, que não as escolhidas automaticamente, verificando as restrições necessárias. O utilizador pode experimentar alocar uma mesa a uma determinada máquina e, com ajuda de alertas visuais, perceber se alguma das restrições foi ultrapassada ou não.

	S1	Início	13:30	Fim	21:30	S2	Início	21:30	Fim.	05:30
Maq_1			360					480		
Maq_2			360					480		
Maq_3			180					480		
Maq_4			115					480		
Maq_5			165					480		
Utilização de Espeto			100%					0%		
Espeto com máx util.			40					1		
Tempo Lixamento	4858	/	5040	●	100%	0	/	5040	●	0%
Tempo Lixamento (Maq. Esp)	419	/	840	●	50%	0	/	840	●	0%
Maq_1	11257									
Maq_2	11253									
Maq_3	11246	11254								
Maq_4	11250	11252	11277							
Maq_5	11258	11278								
ID da Mesa	CA	Ocupação da Mesa	Prio Max	Tipos de Espetos na Mesa						
11242	FrágilCOR_A120	100.00%	1.3	29						
11243	FrágilCOR_A120	100.00%	1.5	29						
11244	FrágilCOR_E120	90.00%	2	29						
11245	MetalCOR_A120	55.56%	2.4	9998,19						
11246	MetalCOR_A120	88.89%	2.6	121,69,34,29						

Figura 20 - Interface do utilizador para a alocação de mesas às diferentes máquinas e turnos

Enviar pedidos ao Armazém

No final do cálculo daquilo que deverá ser produzido nos próximos turnos (a quantidade de turnos é escolhida pelo utilizador), a ferramenta cria uma lista que pode ser exportada para um outro *software*, *software* esse que executa os pedidos ao Armazém.

4.3 Síntese

Neste capítulo, são abordadas as implicações que o novo método de planeamento tem na linha de produção de PVD, sendo que o agrupamento da produção necessitou de 4 acções para ser implementado e tem como base a ferramenta de planeamento concebida. Com este novo método de planeamento é possível eliminar a decisão sobre que peças processar, das funções do colaborador. Oferece ainda a possibilidade à equipa de cada fase do processo de saber se está atrasada ou adiantada face àquilo que foi previsto pela equipa de gestão da produção. Esta programação por turno permite também que a equipa da Carga saiba que os espetos, que estão planeados para o seu turno, não vão entrar em colisão, desde que todos cumpram com o processamento de peças destinado para cada turno.

É ainda tema deste capítulo a importância da ferramenta de planeamento para o novo método de programação. Desta forma, as particularidades do processo que devem ser tidas em conta, a informação necessária e o funcionamento da ferramenta são também abordadas com detalhe.

A Tabela 9 tem como finalidade resumir as principais diferenças entre o processo produtivo inicial e aquele que foi construído durante este projecto.

No capítulo 5 retrata-se as várias fases do projecto até chegar à solução final, analisando-as através de um conjunto de indicadores.

Tabela 9 - Principais pontos de comparação entre o antes e o depois

ANTES	DEPOIS
• O Armazém recebia uma ordem de transferência por cada referência final. • Muitas viagens para ir recolher todo o material necessário. O processo era muito lento e realizado com pouco cuidado.	• O Armazém recebe uma ordem de transferência por cada peça virgem. • Redução do número de viagens necessário. O processo é mais célere e facilitado.
• Registo de entrada de grandes volumes de peças no Lixamento. • Peças tinham um <i>lead time</i>, tempo de atravessamento, que pode ser de dias, semanas ou até meses, devido aos grandes volumes de <i>stock</i> intermédio.	• Divisão das peças recepcionadas, organizando-as por mesas de espetos. • As peças passam a ter um tempo esperado de atravessamento de no máximo 30 horas.
• Eram os colaboradores que escolhiam o que pretendiam processar em cada momento. • Não havia controlo sobre as peças processadas.	• Cada turno deve processar os agrupamentos de peças que lhe estão destinados. • Maior controlo sobre o processamento de peças.
• Os colaboradores da Carga tinham um trabalho de muita tensão, pois era muito difícil de conjugar as peças que deviam processar com os espetos disponíveis. • Grande quantidade de defeitos originados em pancadas.	• Os colaboradores da Carga têm o seu trabalho facilitado, pois é feita uma primeira validação para que os espetos necessários no decorrer do turno estejam disponíveis. • Redução de stress nos colaboradores e redução de defeitos com origem em pancadas.
• O material era processado e transportado de processo em processo sem que o processo seguinte fosse informado. • <i>Stocks</i> intermédios desorganizados e muito volumosos.	• O material é processado e transportado de processo em processo em conjunto com uma etiqueta de identificação • <i>Stocks</i> intermédios organizados e reduzidos.

5 Evolução da solução e resultados obtidos

Este foi um projecto em que a urgência e pressão para a implementação de uma solução disruptiva para a produção ao longo da linha de PVD, proporcionaram a implementação de uma primeira solução sem que houvesse a oportunidade de realizar um diagnóstico aprofundado. A falta dessa oportunidade levou a que a solução inicial não salvaguardasse uma parte dos problemas ao longo da linha. A estes problemas, acresceram todos os problemas que surgiram devido à implementação de um método de produção totalmente distinto do vigente no começo do projecto e ainda às comuns alterações necessárias a meio de um projecto *agile software development* (Kaizen_Institute 2018). Por essa razão foi necessário fazer alterações e melhorias diárias tanto no fluxo físico do material como na ferramenta de planeamento, sem que por isso haja a possibilidade de caracterizar todas as alterações da solução com detalhe. Se cada alteração fosse analisada individualmente, estaríamos a analisar períodos muito curtos no tempo e alguns deles sem grande relevância. Neste capítulo procura-se, por isso, agrupar as várias melhorias na solução em diferentes fases do projecto, por forma a conseguir estudar os resultados do projecto tendo em vista todas as acções que foram introduzidas ao longo do mesmo. Estas fases são caracterizadas por um conjunto de acções implementadas na ferramenta de planeamento ou no terreno.

5.1 As várias fases da solução

1ª Fase – Início da produção agrupada

A primeira fase da solução que se irá estudar caracteriza-se pelo seguinte conjunto de acções:

(FP – representa uma acção na ferramenta de planeamento; T – representa uma acção no terreno, no fluxo físico do material):

- Implementar a produção por agrupamento que dará entrada em conjunto na Câmara de PVD (T);
- Poder apenas associar uma prioridade a cada referência (FP);
- Planear a produção contemplando uma taxa de rejeição de 20% para todas as referências (FP);
- Alocar as mesas, agrupamentos de espetos, manualmente às diferentes máquinas nos diferentes turnos (FP);
- Considerar apenas a prioridade máxima presente em cada mesa (FP);
- Verificar a utilização de cada tipo de espeto apenas dentro do mesmo turno de 8 horas, garantindo que não sejam necessários mais espetos do que os existentes (FP);
- Eliminar todos os *stocks* intermédios existentes ao longo da linha (T);
- Redesenhar o *layout* da linha, promovendo uma boa gestão visual para permitir uma produção por turno (T);
- Introduzir o colaborador do Lixamento responsável pela recepção de material, à sua nova função de separar as peças que chegam do Armazém por agrupamento em que vão ser processadas (T);
- Adaptar as funções dos colaboradores da Carga para a produção por mesa, introduzindo as folhas de caracterização das mesas e a utilização do quadro de gestão de agrupamentos (Figura 24) (T);

Esta primeira fase teve uma duração de 3 semanas. Foi uma fase complicada e com a necessidade de muito acompanhamento no terreno por ser uma fase de transição entre duas formas de produção muito distintas entre si.

2ª Fase – Ajustes na produção agrupada

A segunda parte do projecto durou 5 semanas e caracteriza-se, também ela, por um conjunto de acções incluindo as realizadas na fase anterior, com excepção das acções que sejam opostas às que identificam esta nova fase.

- Produzir sem contabilizar taxas de rejeição, por forma a diminuir a produção de peças sem que haja procura (FP);
- Promover a multiplicidade de tipos de espeto dentro da mesma mesa, para que haja uma maior possibilidade de conjugar a produção de mesas dentro do mesmo turno (FP);
- Corrigir erros no cálculo da quantidade necessária realizado pelo algoritmo (FP);
- Realizar os testes necessários para aumentar a matriz de competência de cada Câmara de PVD, ou seja, permitir que cada uma das Câmaras esteja capacitada para realizar mais programas de revestimento (T);
- Criar fluxos de informação para a correcção dos *inputs* requeridos pela ferramenta, para que esta produza resultados mais fidedignos, sendo a actualização e manutenção da tabela com os dados referentes às 7500 referência a mais difícil (T);
- Nomear um responsável por toda a gestão de espetos. Este passa a ter que garantir uma maior produção e manutenção de espetos, para além de manter o inventário *online* sempre actualizado (T).

3ª Fase – Melhorias na ferramenta de planeamento

A terceira e última fase estende-se até ao fim do projecto, representando dessa forma um período temporal de 3 semanas. Tal como a fase anterior, também esta se caracteriza por todas as acções antecedentes, salvo aquelas que são opostas às acções que definem esta terceira fase:

- Alocar as mesas às Câmaras e turnos de forma automática e considerando a prioridade ponderada do agrupamento (FP);
- Verificar a utilização dos espetos também entre turnos adjacentes (FP);
- Possibilidade de reintroduzir peças que ficaram paradas a meio do seu processamento, para impedir a realimentação de *stocks* intermédios (FP).

5.2 Resultados obtidos ao longo do projecto

As diferentes fases do projecto deverão ser analisadas quanto aos indicadores estabelecidos aquando do início do mesmo. A juntar a esta análise também outros aspectos que não estavam contemplados nos objectivos iniciais devem ser observados para, dessa forma, se poder estudar todas as principais diferenças, face à situação inicial, que tiveram como origem este projecto.

Os diferentes aspectos serão primeiramente analisados de forma individual para compreender o impacto que o projecto teve nos mesmos. Depois realiza-se uma análise de desempenho global do projecto. Para além dos objectivos iniciais (aumentar a produção semanal para 40 000 peças; aumentar a % de plano realizado e diminuir o processamento de peças sem plano), também outras questões que sofreram alterações devido à realização deste projecto, são analisados de seguida.

Produção Semanal

A partir do gráfico presente na Figura 21 pode-se observar que, apesar de numa frase transitória o *output* semanal ter descido face às semanas que antecederam o projecto, o resultado do projecto foi um aumento das peças produzidas semanalmente de uma média de 35 000 para 45 000 peças, ultrapassando em 5 000 o objectivo estabelecido inicialmente. Esta produção semanal está sempre sujeita a alguma volatilidade, pois há peças de grande e de pequeno volume

e que, por isso, ocupam mais ou menos espaço na Câmara de PVD. O número de peças produzidas está também dependente das referências que é necessário produzir.

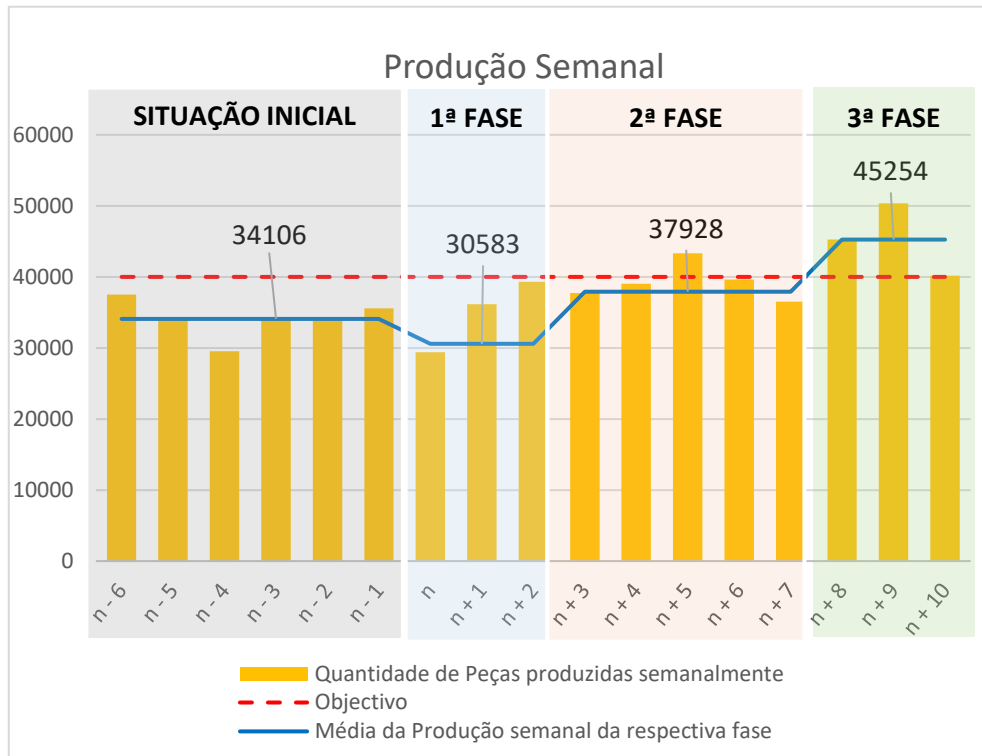


Figura 21 - Produção Semanal

Valor acrescentado

O valor acrescentado semanal da linha de PVD era, antes da realização do projecto, de cerca de 142 000 € para uma produção semanal de 35 000 peças, ou seja, aumentando a produção para uma média de 45 000 peças semanais o valor acrescentado, subindo proporcionalmente deveria aproximar-se do valor de 182 000 €. Contudo, na realidade o valor de VA semanal no final do projecto situava-se numa média de cerca de 195 000 € semanais como pode ser observado na Figura 22. Esta diferença indicia que a mistura de peças produzidas semanalmente é distribuída

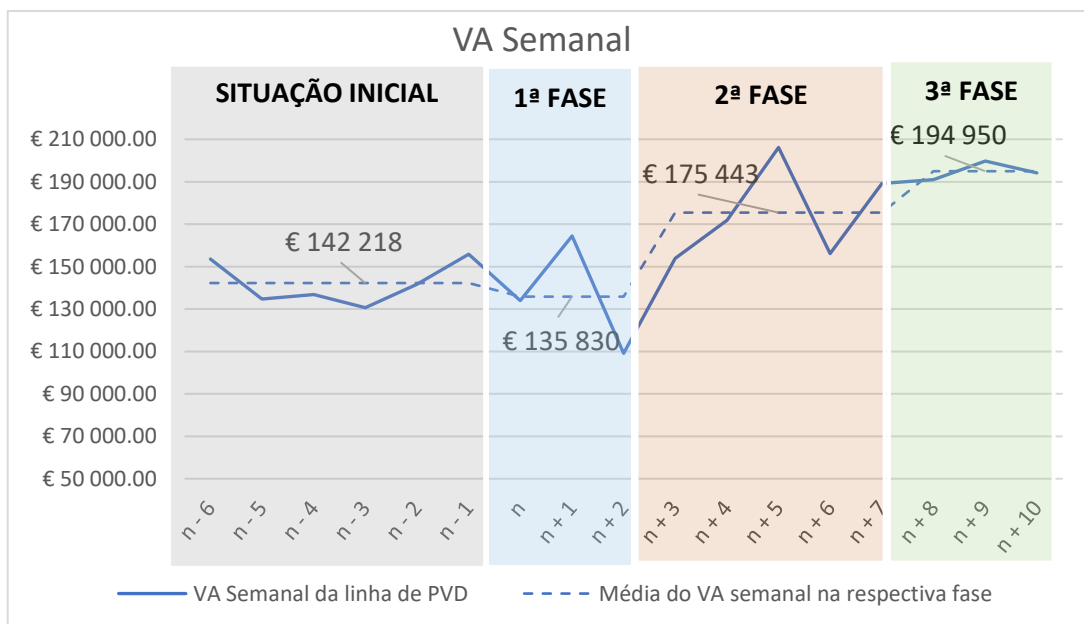


Figura 22 - VA Semanal

de forma diferente. Isto é, antigamente os colaboradores escolhiam as peças que processavam e por isso havia a tendência para que apenas as peças mais fáceis (as que representam menor valor acrescentado) fossem processadas. Após a mudança no método produtivo os operadores deixam de ter esta escolha do seu lado tendo, por isso, de processar as peças que estão destinadas para o seu turno, independentemente da facilidade do seu processamento ou valor acrescentado.

% de plano realizado e produção de peças sem plano

Relembro que o objectivo do projecto era um aumento de 20% da percentagem de plano realizado e a redução da percentagem de produção fora do plano semanal também em 20%. Podemos avaliar, recorrendo à Figura 23, o primeiro objectivo como ultrapassado pois, antes do início do projecto, a percentagem de plano realizado era de cerca de 53% e no final do projecto este indicador situa-se nos 66%, o que representa uma melhoria de 24% face a situação inicial. Contudo, o segundo objectivo da redução da percentagem de produção fora do plano não foi cumprido, apresentando até piores resultados no final do projecto do que no início. A falha de cumprimento deste objectivo foi imediatamente analisada e elaborado um conjunto de acções que devem ser realizadas para uma melhoria deste aspecto.

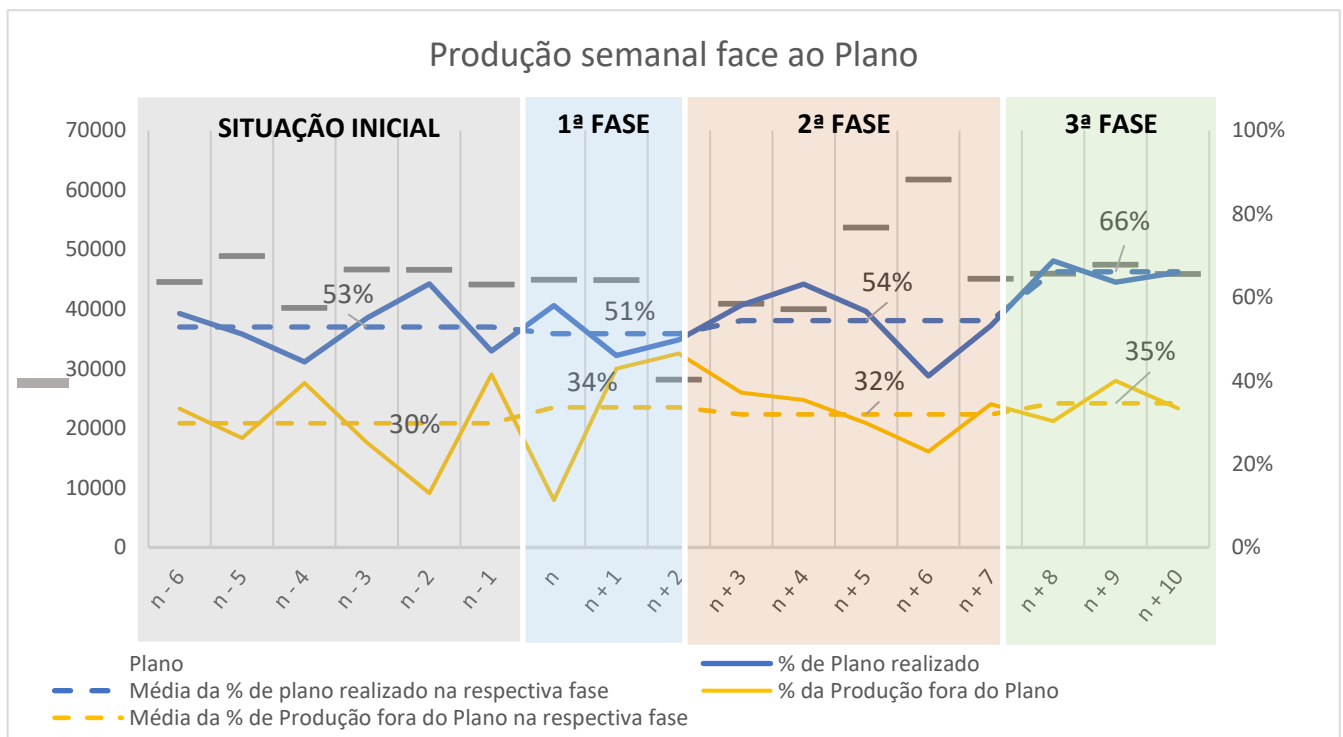


Figura 23 - Produção semanal face ao Plano

Tempo utilizado pelo Programador para o planeamento de produção

O Programador no método de produção antigo e sem o auxílio da ferramenta de planeamento demorava cerca de 3 horas a planear a produção. Com a introdução da ferramenta passou a demorar 2 horas, pois ainda era necessário ser o próprio a fazer a alocação das mesas às máquinas em cada turno. Na 3ª fase – Melhorias na ferramenta de planeamento, com a introdução da alocação automática das mesas, o Programador passou a ver o tempo despendido nesta tarefa reduzido a 10 minutos.

Análise geral

Procede-se agora a uma análise geral do projecto. Para isso recorre-se à Tabela 10, que resume os indicadores analisados. O desenvolvimento do indicador da % de peças produzidas sem plano revela a não obtenção dos resultados pretendidos relativamente a esse aspecto. O fraco desenvolvimento deste indicador tem origem nos vários fluxos paralelos de material que chegam à linha de PVD, como também no cálculo pouco preciso das peças que estão planeadas e que tem como finalidade indicar as peças que permanecem necessárias. Estes dois aspectos foram identificados e representam o mais importante trabalho futuro a realizar. Numa análise global podemos classificar este projecto como bem sucedido, principalmente quando observados os aumentos significativos que houve na produção semanal e na % de plano realizado. Para além destes dois principais objectivos, também se deve referir as melhorias no Valor Acrescentado semanal, a redução do *lead time* de processamento de uma peça (desde o momento em que sai do Armazém até voltar como produto já revestido) e ainda a redução de 3 horas para 10 minutos do tempo que o Programador necessita para o planeamento da produção. Ficam ainda por analisar os ganhos de qualidade, obtidos graças ao novo modo de processamento de peças em que a intervenção manual foi reduzida. No geral, desde o início do projecto até ao fim, as taxas de rejeição de peças desceram de 22.3% para 8.5%, não sendo no entanto possível, calcular a proporção desta melhoria que tem como origem a introdução do novo modelo de produção e consequente redução do manuseamento. Por outro lado, os aspectos menos positivos do desenvolvimento do projecto representam o trabalho futuro que deverá ser realizado no curto-prazo. Valerá mencionar que esta perspetiva de futuro não seria possível sem antes passar por todas as fases deste projecto.

Tabela 10 - Resumo da evolução dos indicadores no decorrer do projecto

Indicadores	SITUAÇÃO INICIAL	1ª FASE – Início da produção agrupada	2ª FASE – Ajustes na produção agrupada	3ª FASE – Melhorias na ferramenta de planeamento	Δ (%)
Média da Produção Semanal	35 000	30 500	38 000	45 000	+ 29%
Média da % de Plano realizado	53%	51%	54%	66%	+24%
Média da % de peças produzidas fora do plano	30%	34%	32%	35%	-16%
Média do VA Semana	142 000 €	136 000 €	175 000 €	195 000 €	+ 37%
Pessoa responsável por espetos	X	X	1	1	+ 1
<i>Lead Time</i> (tempo de atravessamento da peça)	Indefinido	48 horas	32 horas +- atrasos	32 horas +- atrasos	-
Tempo para Planeamento da Produção (Programador)	3 horas (180 minutos)	2 horas (120 minutos)	2 horas (120 minutos)	10 minutos	- 94%

5.3 Síntese

Neste capítulo a solução é dividida em fases para que possa ser avaliada quanto ao desenvolvimento dos diferentes indicadores. As 3 fases caracterizam-se por um conjunto de acções levadas a cabo, tanto no terreno como na ferramenta de planeamento. Quando avaliada, a solução implementada demonstrou-se frágil no objectivo de reduzir o número de peças produzidas fora do plano e muito eficaz no que toca ao aumento de produção da linha. Conclui-se por isso que este projecto pode ser classificado como bem sucedido dentro do espaço temporal avaliado neste relatório (apenas 2 meses e meio), mas que ainda há muito para ser desenvolvido no futuro.

6 Conclusões e perspetiva de trabalho futuro

Numa altura em que a empresa se encontrava numa situação delicada relativamente à sua linha de produção de revestimentos de PVD, era inadiável a implementação de uma solução disruptiva. Essa solução deveria ser capaz de introduzir melhorias no processo produtivo, nomeadamente no controlo das referências que são produzidas e na produtividade dos vários colaboradores ao longo da linha. A urgência e pressão por resultados tornou este problema mais desafiante e interessante.

6.1 Principais conclusões

O projecto teve uma duração curta de apenas 3 meses, tendo como principais objectivos o aumento da produção semanal, o aumento da % de plano realizado e a diminuição da % de peças realizadas que não estivessem no plano. A obtenção dos resultados foi conseguida através de um conjunto de melhorias com origem neste projecto, destacando-se as seguintes:

- Diminuir a dependência do processo dos operadores e do seu conhecimento sobre o mesmo, através da produção por agrupamento. Esta acção foi extremamente importante, pois cada vez mais o trabalho precário em Portugal é uma realidade (Costa 2018) e, por isso, este enorme grau de dependência dos operadores era motivo de preocupação para os responsáveis da empresa;
- Desenvolver uma nova ferramenta de planeamento que permita um controlo de produção maior e uma redução de *stocks*, contribuindo, desta forma, para desvendar um conjunto de problemas que estavam escondidos devido às grandes quantidades de *stock* (Kaizen_Institute 2018). É ainda de realçar a capacidade da ferramenta de se adaptar aos diferentes imprevistos de que a produção pode ser alvo, como a possibilidade de contabilizar as peças que ficaram paradas a meio do processo para agrupamentos futuros.
- Criar fluxos de informação que garantem os *inputs* necessários para a ferramenta informática. A criação destes fluxos de informação serviu não só para a implementação da ferramenta, como também para a melhoria dos cálculos já realizados pelos colaboradores. É disso exemplo o cálculo da ocupação de Câmara que depende da informação constante na base de dados sobre todas as referências da linha.
- Nomear uma pessoa que esteja dedicada apenas à gestão dos espetos. Esta pessoa tem como função a manutenção de todos os espetos existentes, mas também a produção de novos para que estes deixem de ser uma preocupação tão grande na linha de produção de PVD.
- Reduzir o *lead time* de processamento de uma peça na linha de PVD. Na situação inicial não era possível calcular este tempo de processamento, pois uma peça poderia demorar entre dias ou semanas até ser processada. No final do projecto o tempo de processamento de uma peça não deverá ser superior a 30 horas.
- Reduzir o manuseamento de peças, que teve repercussões diretas na redução da taxa de rejeição do processo.

Este projecto teve ainda outras grandes vantagens, não mensuráveis, dado o seu carácter qualitativo: a promoção da partilha de conhecimento sobre o processo entre todos os intervenientes e a aproximação das equipas dos departamentos de Logística e PVD. A comunicação entre estes dois departamentos era muito reduzida e pouco construtiva, sendo certo que as muitas reuniões promoveram uma maior e melhor comunicação entre os membros dos dois departamentos. Será esta grande vantagem trazida para o dia-a-dia da empresa que permitirá a resolução dos problemas que ainda ficaram por resolver após o término do projecto e também aqueles que surgirão, fruto do normal desenvolvimento da empresa.

6.2 Trabalho futuro

Este projecto permitiu desvendar diversas falhas ao longo de toda a linha, pelo que o trabalho futuro a realizar é ainda bastante volumoso e diverso. É importante referir que a melhoria dos processos realizada no decurso de todo o projecto sofreu bastantes contratempos devido aos diversos problemas que foram surgindo com a implementação da solução. Alguns destes contratempos estavam directamente ligados ao âmbito do projecto, outros levaram à necessidade de expandir o olhar para lá do âmbito do projecto, pois os problemas que surgiram a montante e a jusante da linha de PVD impediam o bom funcionamento da linha. Aborda-se o trabalho futuro primeiro numa perspectiva dentro do âmbito do projecto, mas também numa perspectiva mais alargada. Faz sentido referenciar estes problemas que devem ser resolvidos num âmbito mais alargado que o do projecto, porque foi o trabalho desenvolvido que permitiu a descoberta dessas questões.

Dentro do âmbito do projecto o trabalho futuro a desenvolver é:

- Eliminar por completo a produção de peças que não aparecem indicadas no plano, obtendo dessa forma uma maior sustentabilidade do processo físico e aumentando a correspondência entre a ferramenta e o processo físico. Este é o trabalho futuro mais importante a realizar.
- Monitorizar fluxos paralelos de peças que chegam ao PVD e não são provenientes do Armazém: a execução desta acção é essencial para conseguir eliminar por completo a produção de peças sem plano.
- Tornar os fluxos de informação mais robustos para que a ferramenta de planeamento se mantenha actualizada face à realidade. Deverá ser dada especial atenção à entrada de um produto novo no portfolio e também à medição de tempos de processamento das peças no Lixamento, pois os dados que existem não estão correctamente actualizados.
- Adaptar toda a produção a um aumento do número de Câmaras de PVD presentes na linha. Este aumento de capacidade representa uma natural dificuldade para todos os intervenientes.
- Desenvolver um algoritmo de alocação que permita uma maior optimização da produção. Este desenvolvimento só deverá ser considerado após a consolidação do processo físico e a adaptação da linha à nova capacidade.
- Continuar o trabalho relativo à questão dos espetos. Este ponto será de ainda maior importância, aquando do aumento da capacidade, pois mais espetos estarão em utilização em simultâneo.

Já no âmbito mais alargado, que vai desde o momento da recepção das encomendas até à expedição de peças para os diferentes clientes, o projecto permitiu que muitos outros problemas fossem desvendados e como tal devem ser mencionados para que possam ser resolvidos.

- Corrigir as graves falhas que foram identificadas nos dados do sistema de gestão da empresa. Estas falhas complicam tanto o aprovisionamento de peças virgem como a indicação das encomendas de cliente que necessitam de ser satisfeitas.
- Desenhar os processos relativos à subcontratação de revestimento PVD. A empresa X para além de revestir as peças na sua linha de produção, também faz a subcontratação desse serviço, após o Lixamento. Este projecto permitiu perceber que este processo de subcontratação deve ser revisto e melhorado.
- Melhorar o processo de expedição por forma a garantir que as encomendas com maior prioridade são aquelas que são abastecidas em primeiro lugar quando as peças estão disponíveis.

Este trabalho surgiu com o objectivo de ajudar a empresa a obter melhores resultados produtivos de uma forma sustentável. Para além disso, permitiu a utilização de um conjunto de

conhecimentos obtidos ao longo do curso de Engenharia e Gestão Industrial e ainda a obtenção de muitas outras aprendizagens com os membros do Instituto Kaizen.

Referências

- Chen, Wen-Hao Arthut. 2012. *A Market Analysis for PVD Coating System of Aurora North America*. University of Canterbury.
- Cochran, J.K., and S.-S. Kim. 1988. "Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems." *International Journal of Production Research* 1141-1155.
- Costa, Rita Marques. 2018. *Público*. 17 10. Accessed 06 10, 2019. <https://www.publico.pt/2018/10/17/economia/noticia/precario-e-desigual-assim-e-o-emprego-em-portugal-no-poscrise-1847837>.
- David Gawne, Cor Schrauwen, Arjan de Bruin. 2010. *Guide to exploitation of PVD*. Project, KennistransferCentrum Bouw & Industrie (KCBI).
- E. Budke, J.Krempel-Hesse, H. Maidhof, H.Schüssler. 1999. "Decorative hard coatings with improved corrosion resistance." *Surface & Coatings Technology* 108-113.
- Goddard, W.E., and R.B. Brooks. 1984. "Just-in-time: a Goal for MRP II, Readings in Zero Inventory." *Conference in APICS*.
- Imai, Masaaki. 1997. *Gemba Kaizen, a commonsens approach to a continuous improvement strategy*. Kaizen Institute, Ltd.
- Johnson, Corinne N. 2002. "The Benefits of PDCA." *Quality Progress* 120.
- Kaizen_Institute. 2018. Manual KMS.
- KCBI, KennistransferCentrum Bouw & Industrie. 2010. "Guide to exploitation of PVD."
- M.C. Bonney, Zongmao Zhang, M.A. Head, C.C. Tien, R.J.Barson. 1999. "Are push and pull systems really so different?" *international journal of production economics* 53-64.
- Makhlouf, A.S.H. 2011. "Nanocoatings and Ultra-Thin Films."
- Matthews, A., A. Leyland, and P. Stessnson. 1996. "Widening the market for advanced PVD coatings." *Journal of Materials Processig Technology* 757-764.
- Michiel Eerden, Geert-Jan Fransen, Pascal Evers. 2016. "Trends in PVD Coating Technologies and Their Markets." *SVC Bulletin* 42-46.
- Ming-Wei, J., and Shin-lian, L. Lian. 1992. "A hybrid system of manufacturing resource planning and just-in-time manufacturing." *Computer in Industry* 151-155.
- Omar Ghrayeb, Nupa Phojanamongkolkij,. 2009. "A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment." *J Intell Manuf* 379-387.
2018. *Physical Vapor Deposition (PVD) Market*. Market Analysis, Grand View Research.
2019. *Prirev - Surface Technology*. Accessed 06 09, 2019. <http://www.prirev.com/en/company/firm>.
- n.d. *PVD Coatings*. Accessed 05 10, 2019. <https://www.pvd-coatings.co.uk/>.
- Rickerby e Burnett, D. S., Burnett, P. J. 1988. "Correlation of Process and System PArAmeters with Structure and Properties of physically Vapour deposited Hard Coating." In *Metallurgical and Protective Coatings*, 195-222.
- V. Daniel R.Guide Jrº, Vaidyanathan Joayaraman, Rajesh Srivastava. 1999. "Production planning and control for remanufacturing: a state-of-the-art survey." *Robotics Computer-Integrated Manufacturing* 221-230.

- Vasconcelos, Nuno Beleza de. 2015. *Redefinição de um Processo de Planeamento Industrial*. Dissertação de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Venkatesh, K., M.-C. Zhou, M. Kaighobadi, and R. Caudill. 1988. "A Petri net approach to investigation push and pull paradigms in flexible factory automated systems." *International Journal of Production Research* 35-51.

ANEXO A: Fluxo de informação ao longo da linha

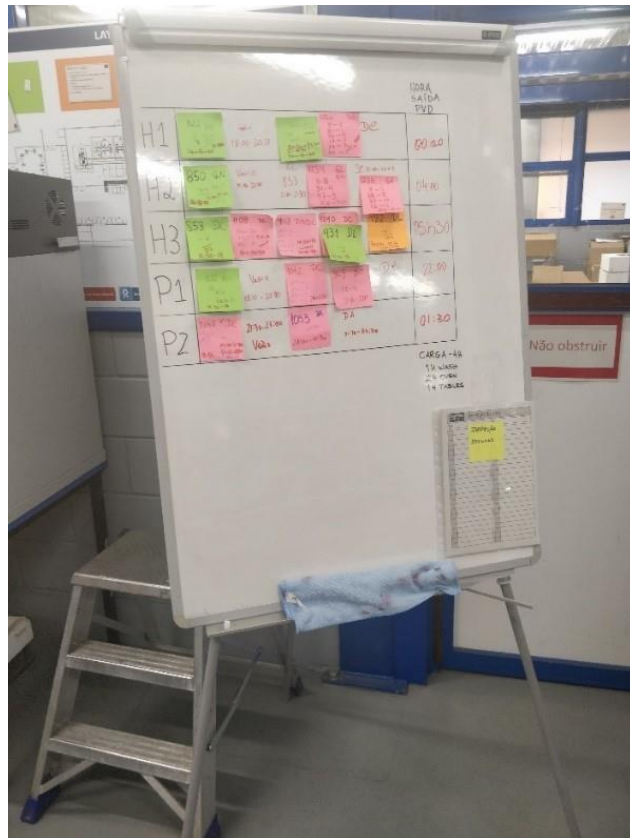


Figura 25 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto às Câmaras

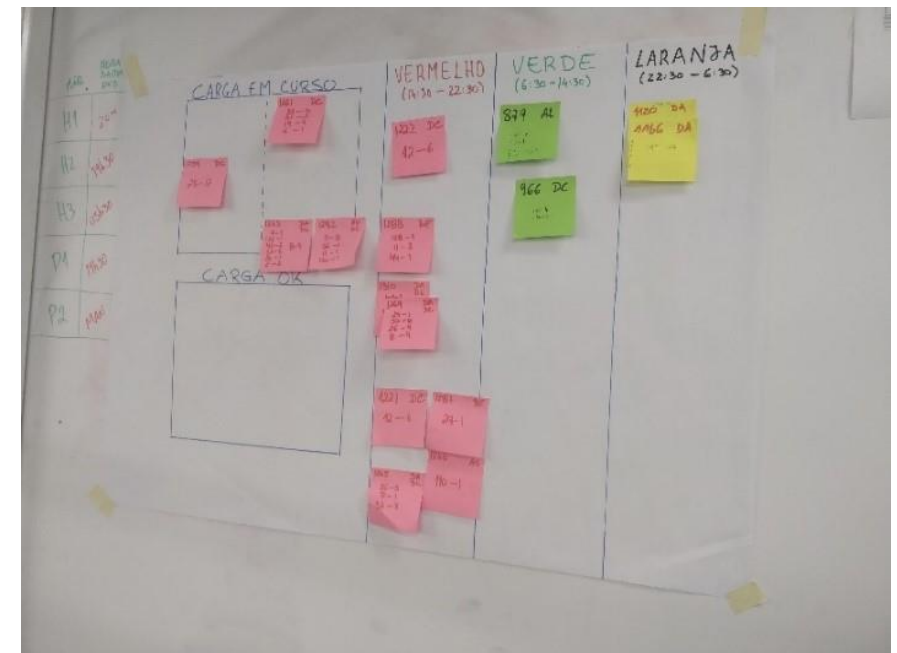


Figura 24 - Quadro com informação dos agrupamentos, colocado junto à Carga

ANEXO B: Esquema de cores para a produção por turno

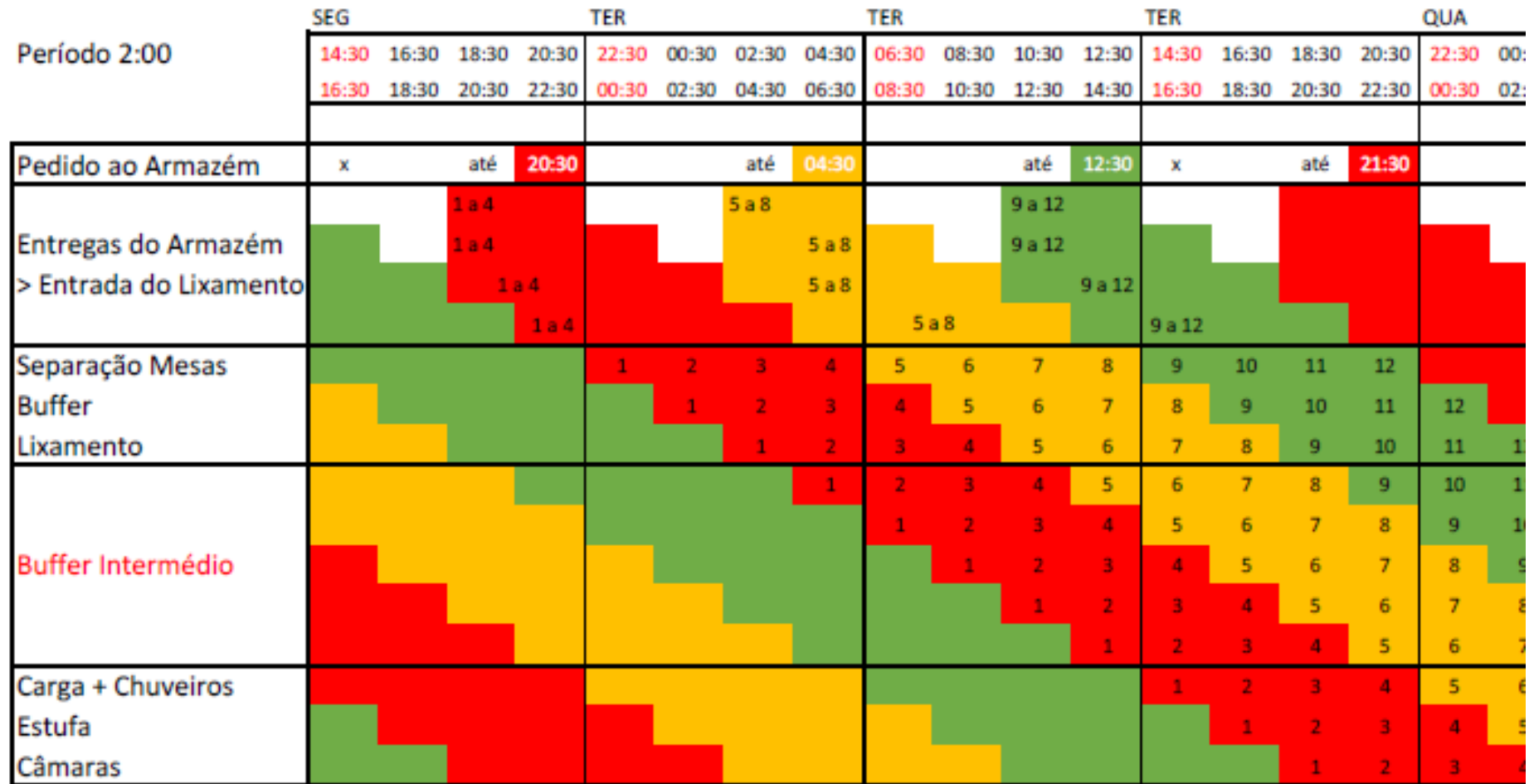


Figura 26 - Esquema de cores para a produção por turno

ANEXO C: Processo produtivo após implementação da solução

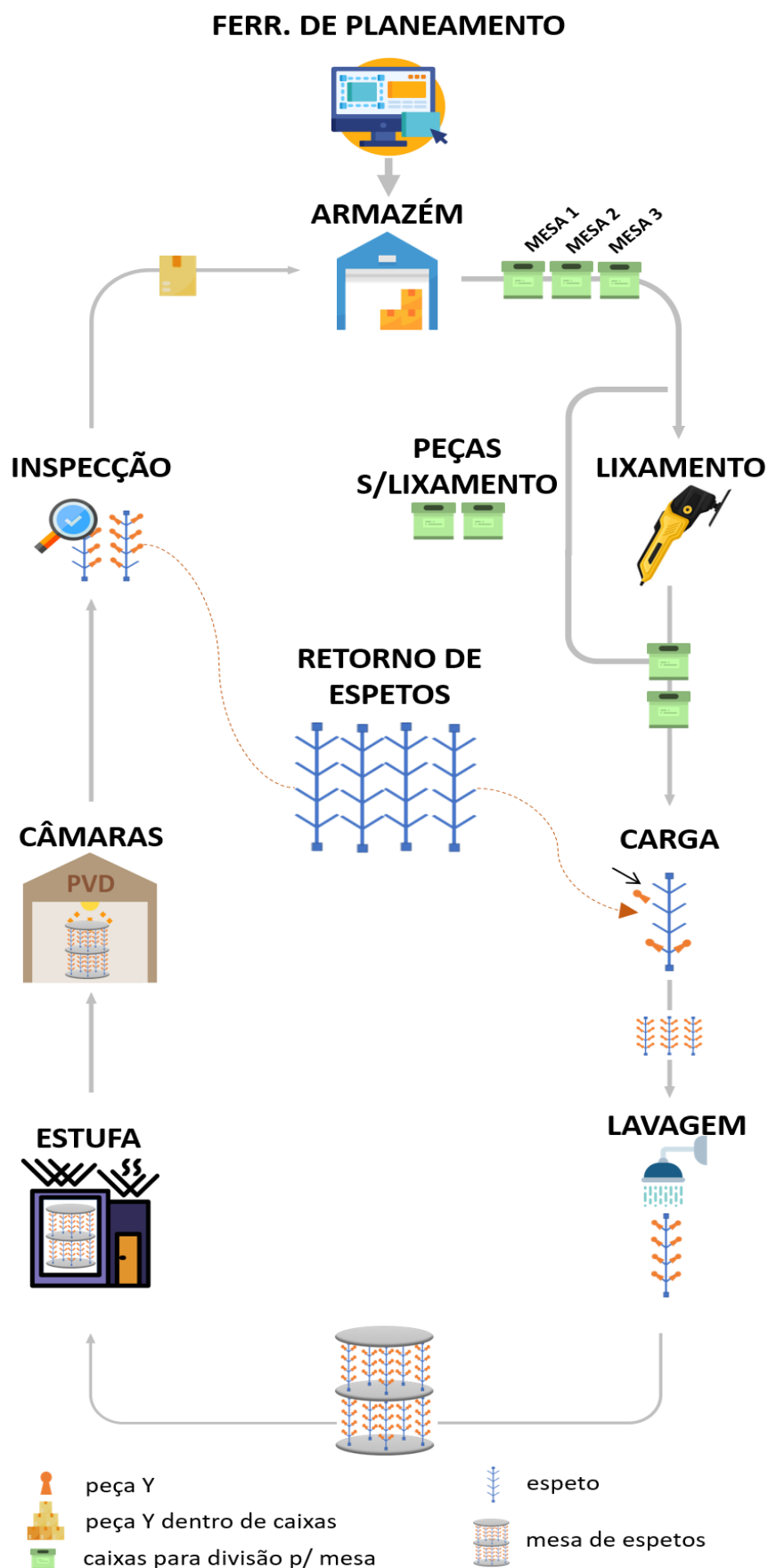


Figura 27 - Processo produtivo da linha de PVD após implementação da solução

ANEXO D: Sessões de desenvolvimento e aperfeiçoamento da ferramenta

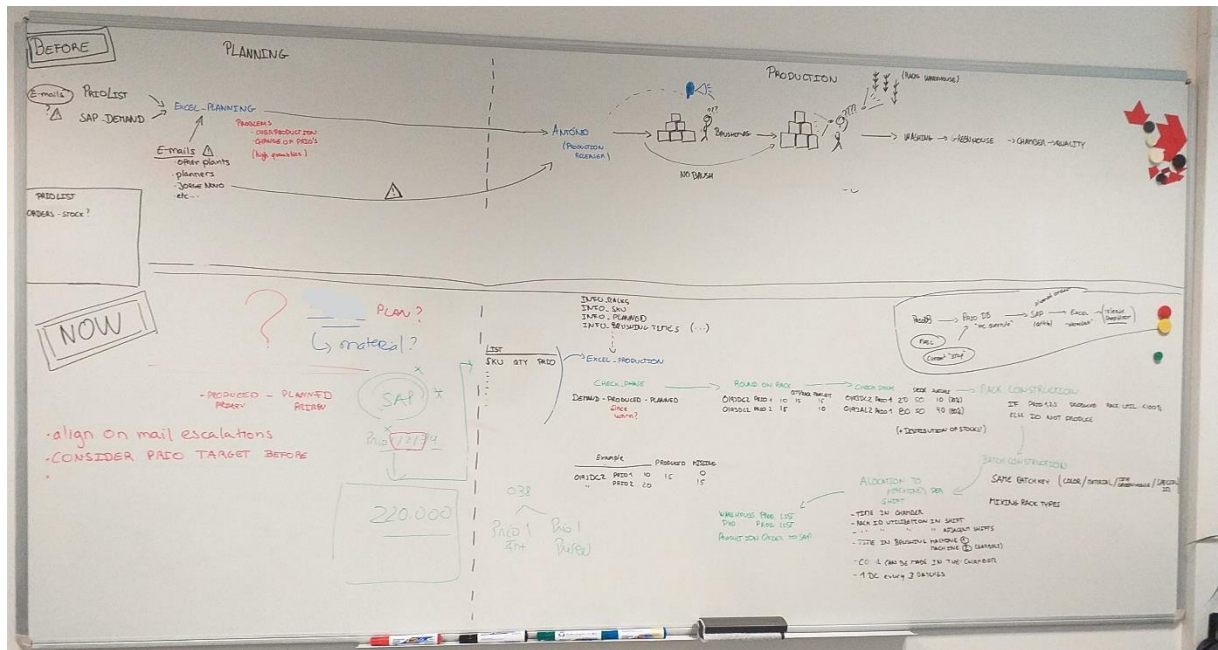


Figura 28 - Esquema para explicação da ferramenta

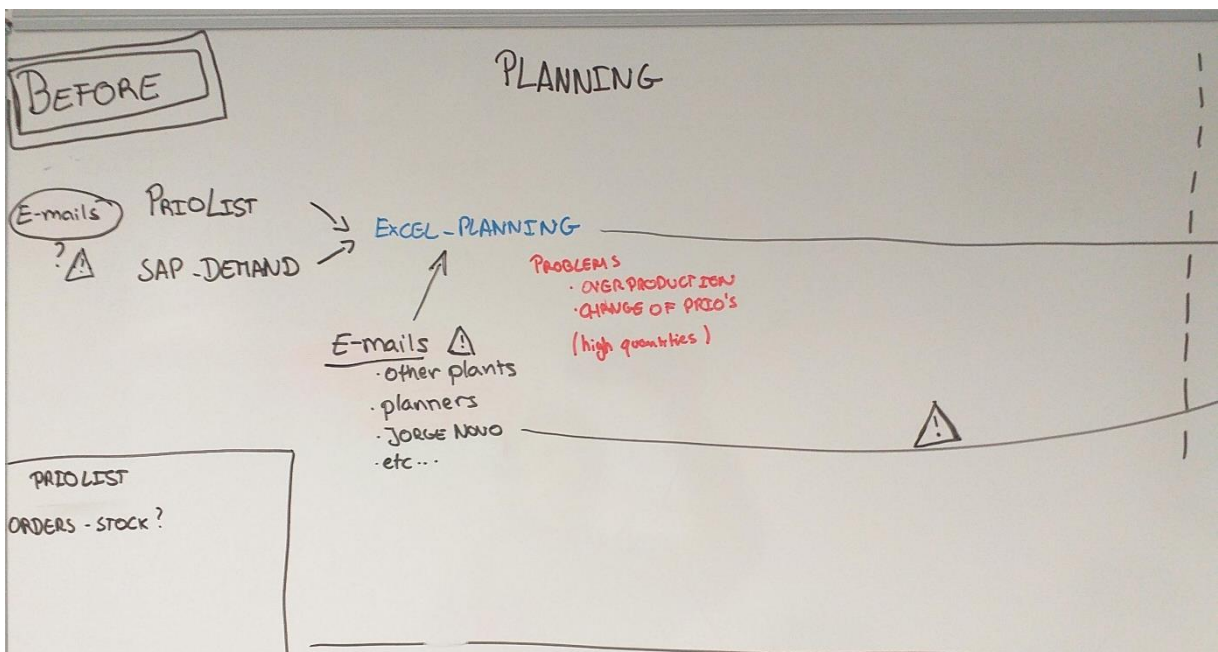


Figura 29 - Esquema para explicação da ferramenta (planeamento antes)

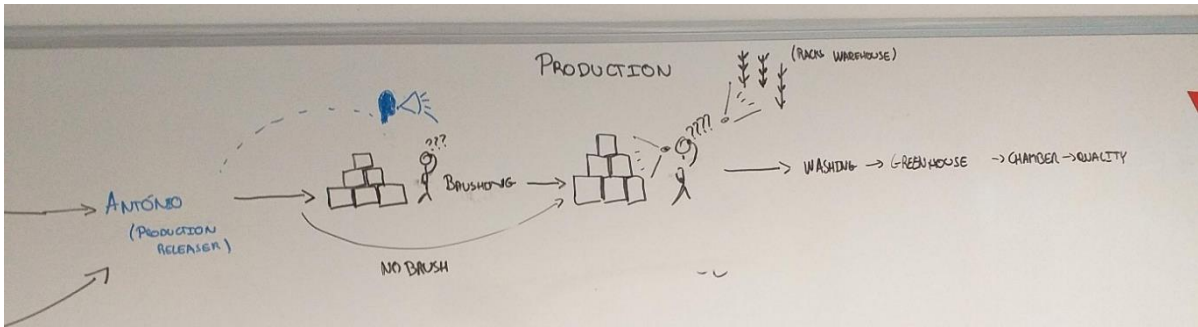


Figura 30 - Esquema para explicação da ferramenta (produção antes)

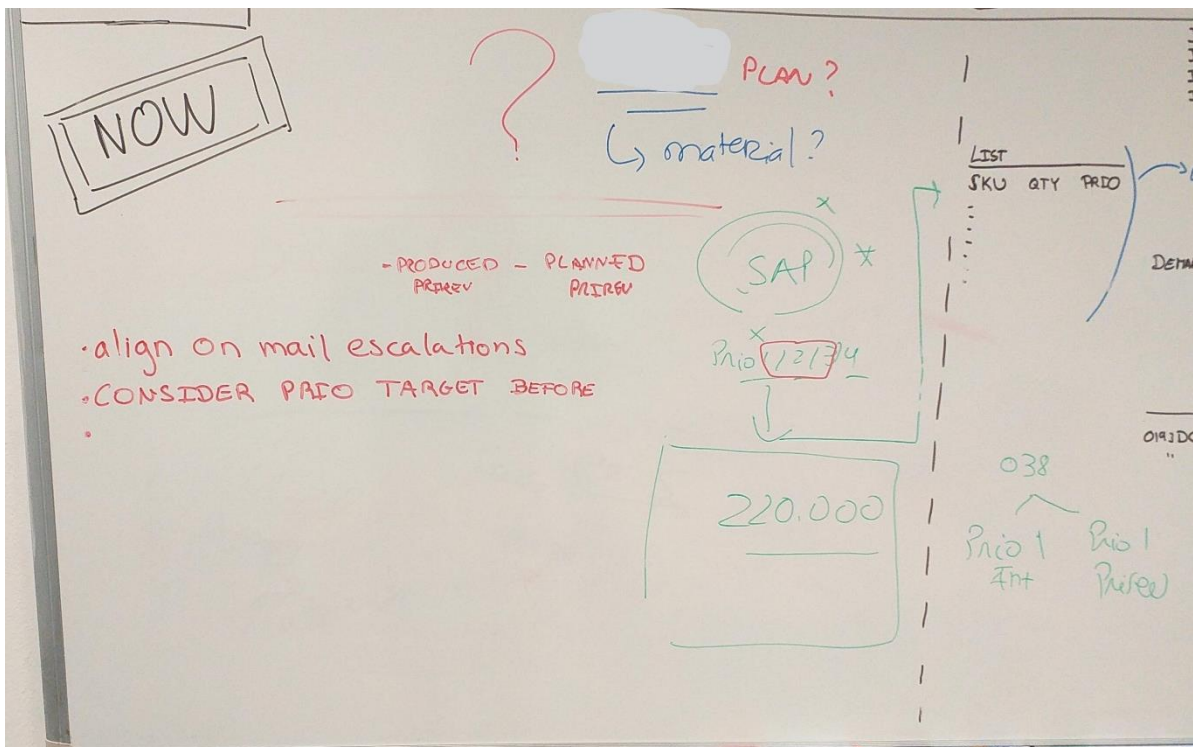


Figura 31 - Esquema para explicação da ferramenta (planeamento depois)

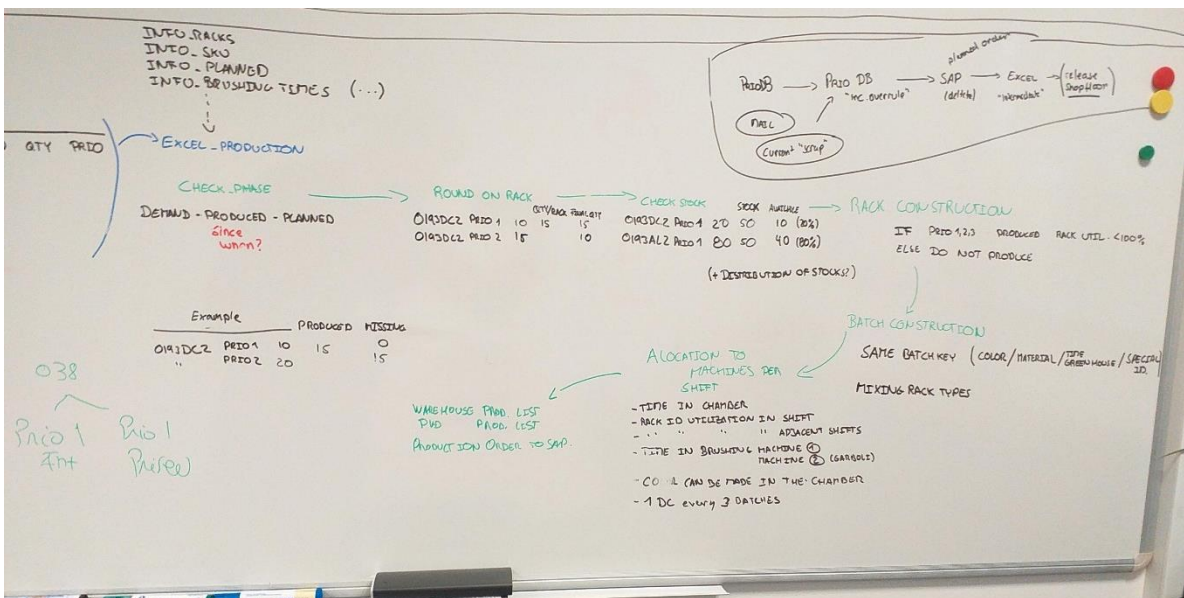


Figura 32 - Esquema para explicação da ferramenta (produção depois)

ANEXO E: Tabela para construção de mesas

Tabela 11 - Construção de mesas de espetos

nº Espeto	REF	Prio	Qtd	Tipo de Espeto (Espeto ID)	Qtd / Espeto	Utilização da Câmara	Utilização do Tipo de Espeto	CA	ID da Mesa	Ocupação da Mesa
160	123COR_A	Prio1	60	Espeto_29	60	5.56%	3.85%	FrágilCorA120	11242	11.11%
25	123COR_A	Prio1	54	Espeto_29	60	5.56%	3.85%	FrágilCorA120	11242	11.11%
198	345COR_B	Prio4	18	Espeto_29	60	5.56%	3.85%	FrágilCorB120	11243	5.56%
46	345COR_C	Prio1	20	Espeto_29	120	5.56%	3.85%	FrágilCorC120	11244	5.56%
60	678COR_A	Prio1	2	Espeto_121	2	5.56%	33.33%	MetalCorA120	11246	72.22%
154	678COR_A	Prio2	2	Espeto_121	2	5.56%	33.33%	MetalCorA120	11246	72.22%
67	410COR_A	Prio2	3	Espeto_69	9	5.56%	25.00%	MetalCorA120	11246	72.22%
193	410COR_A	Prio3	2	Espeto_69	9	5.56%	25.00%	MetalCorA120	11246	72.22%
79	402COR_A	Prio3	7	Espeto_34	20	5.56%	6.25%	MetalCorA120	11246	72.22%
128	402COR_A	Prio3	8	Espeto_29	60	5.56%	3.85%	MetalCorA120	11246	72.22%
34	409COR_A	Prio3	8	Espeto_19	20	5.56%	3.03%	MetalCorA120	11246	72.22%
19	411COR_A	Prio3	4	Espeto_6	5	5.56%	2.70%	MetalCorA120	11246	72.22%
146	411COR_A	Prio3	3	Espeto_2	22	5.56%	2.63%	MetalCorA120	11246	72.22%
158	411COR_A	Prio3	18	Espeto_2	22	5.56%	2.63%	MetalCorA120	11246	72.22%
194	410COR_A	Prio3	12	Espeto_2	22	5.56%	2.63%	MetalCorA120	11246	72.22%
57	410COR_A	Prio3	3	Espeto_2	22	5.56%	2.63%	MetalCorA120	11246	72.22%
139	425COR_A	Prio1	13	Espeto_2	22	5.56%	2.63%	MetalCorA120	11246	72.22%
20	999COR_A	Prio4	1	Espeto_28	8	30%	2.56%	MetalCorA120Especial1	11248	60%
108	406COR_A	Prio4	2	Espeto_28	16	30%	2.56%	MetalCorA120Especial1	11248	60%
10	678COR_E	Prio1	3	Espeto_9998	3	11.11%	11.11%	MetalCorE120	11245	55.56%
159	678COR_E	Prio1	3	Espeto_9998	3	11.11%	11.11%	MetalCorE120	11245	55.56%
118	678COR_E	Prio2	3	Espeto_9998	3	11.11%	11.11%	MetalCorE120	11245	55.56%
158	678COR_E	Prio2	2	Espeto_9998	3	11.11%	11.11%	MetalCorE120	11245	55.56%
192	000COR_E	Prio3	20	Espeto_19	20	5.56%	3.03%	MetalCorE120	11245	55.56%
162	000COR_E	Prio5	8	Espeto_19	20	5.56%	3.03%	MetalCorE120	11245	55.56%
195	410COR_D	Prio2	3	Espeto_69	9	5.56%	25.00%	PlasticoCorD120	11247	11.11%
70	410COR_D	Prio3	7	Espeto_29	60	5.56%	3.85%	PlasticoCorD120	11247	11.11%

ANEXO F: Ferramenta de Planeamento

PREPARAR NOVO PLANO
Copiar a PrioList actual
REFRESH_1
REFRESH
- Consultar folha "Dashboard"
- Resolver os Problemas da BOM e do Info_Mat
CRIAR RACKS/BATCHES
GERAR ALOCAÇÃO

⚠ Atenção:
o programa não funciona se uma das tabelas tiver um . (ponto)

DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE A PLANEAR	
Taxa de Rejeição - Inspecção	0%
Taxa de Rejeição - Armazem até Carga	0%
COMPOSIÇÃO DE RACKS	
Mínima ocupação de um rack para que seja construído	100%
COMPOSIÇÃO DAS MESAS	
Ocupação máxima de um rack ID numa mesa	80%
Salto (da ocupação máxima de um rackID)	50%
TEMPO ENTRE CICLOS	
Setup entre ciclos de PVD [min]	10
Nº TURNOS A PLANEAR	
Quantidade de Turnos a Planear	1

ALOCAÇÃO	
Duração Slot [min]	480
Brushing	
Min/Operador	420
Nº Operadores	16
Capacidade [min]	6720
Garbolis	
Min/Máquina	420
Nº Maquinas	2
Capacidade	840
Outros	
Minimo Ocupação do Bach	70%
Limite Ocupação RackID Consecutiva	150%
Tipo Solução	Sequencial

NOTAS:
- Para acrescentar máquinas basta colocá-la no Info_Mat com os devidos tempos de ciclo

Figura 33 - Sala de controlo da ferramenta

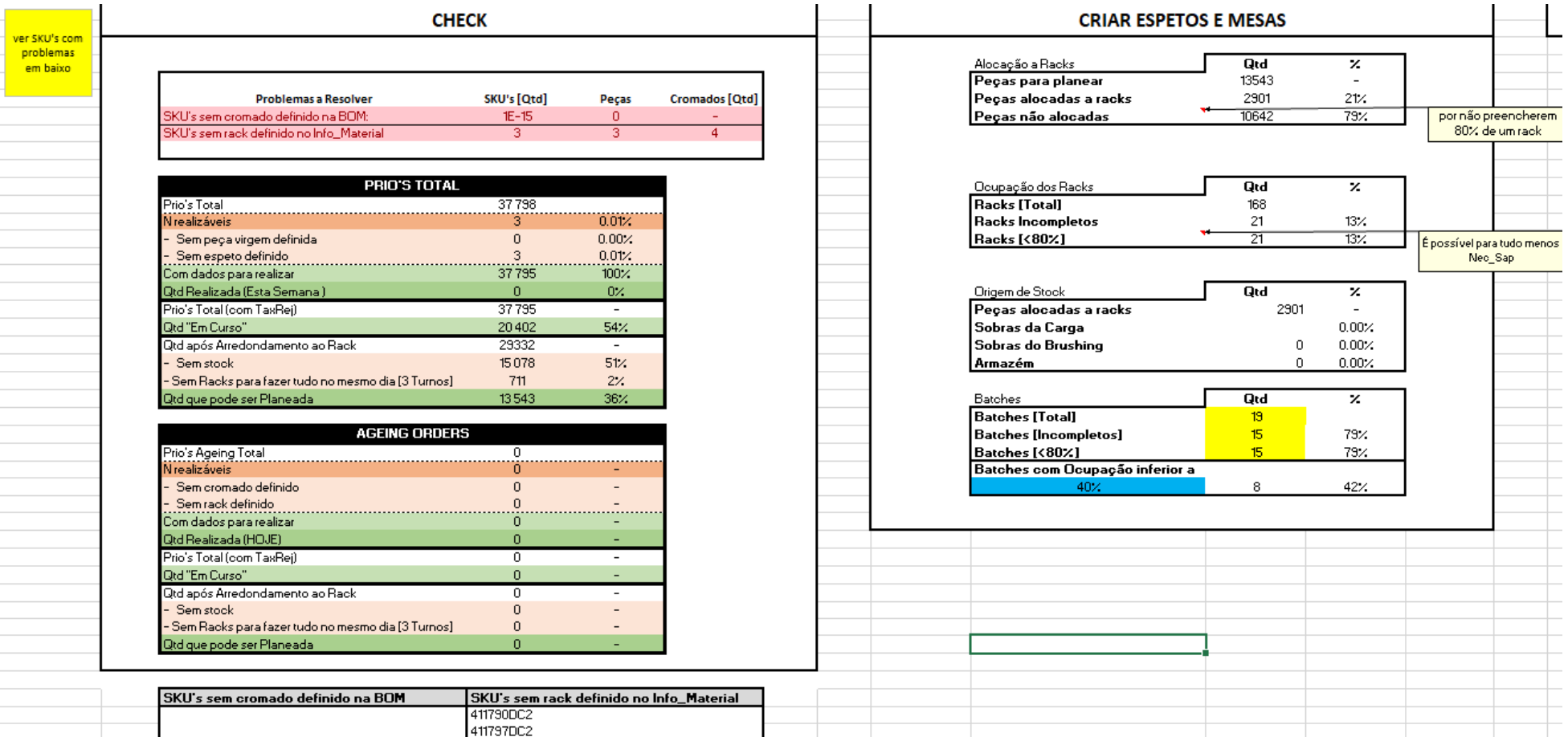


Figura 34 - Dashboard da ferramenta para analisar os agrupamentos calculados