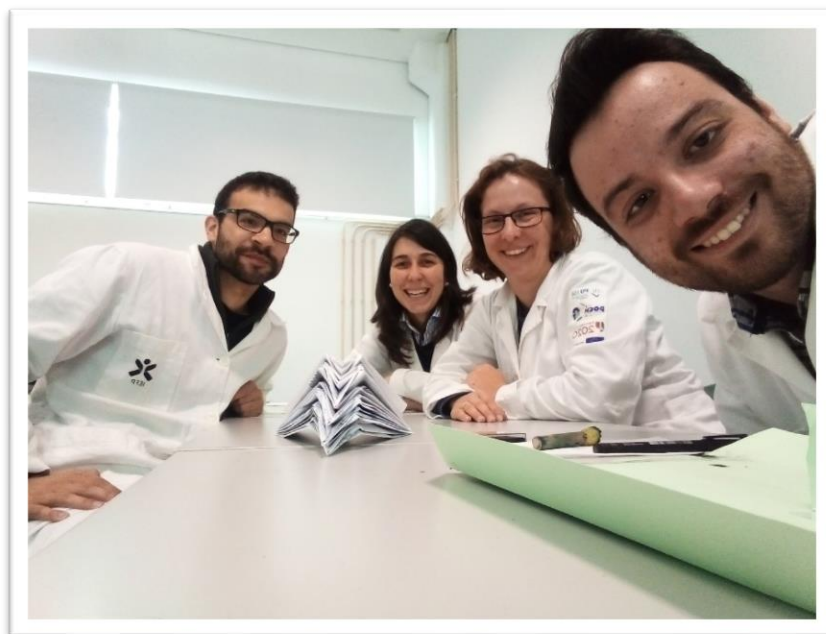




INSTITUTO DO EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL  
CENTRO DE EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE ÉVORA

## **Técnico de Produção Aeronáutica- Qualidade e Controlo Industrial**

### **5793- Critério de Excelência Aeronáutica- Lean**



## **Simulação de Linha de Produção de Aviões de Papel**

**Formadora: Isabel Pereira**

**Formandos: Ana Almeida**

**Eszter Szabó**

**João Fouto**

**Rui Nunes**



**Évora, fevereiro de 2020**

## Índice

Introdução .....	2
Objetivos.....	2
Conceitos teóricos .....	2
A filosofia Lean Manufacturing.....	2
Ciclo PDCA.....	3
Ferramentas da qualidade .....	4
Planeamento (Plan).....	6
Ponto de partida.....	6
Requisitos da linha montagem .....	6
Requisitos do cliente.....	6
Materiais utilizados.....	7
Instruções de montagem do avião .....	7
Estratégia inicial.....	8
Testes e melhorias.....	9
Estratégia final.....	10
Fazer (do) .....	11
Verificar (check) .....	11
Controlo da qualidade .....	11
Tabela resumo .....	13
Diagramas de Pareto .....	13
Exemplos de não conformidades .....	14
Gráfico do balanceamento .....	15
Mapeamento do fluxo de valor (VSM) .....	15
Atuar (act) .....	17
Conclusões.....	17
Ações de melhoria .....	18
Anexo I: Formulas e definições .....	19

## Introdução

### Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos:

1. Desenvolver uma linha de produção capaz de produzir aviões de papel de acordo com os requisitos do cliente;
2. Aplicar os princípios Lean na linha de produção de aviões;
3. Aplicar o ciclo PDCA;
4. Utilizar as ferramentas da qualidade (no mínimo o diagrama de pareto);

### Conceitos teóricos

O desenvolvimento de uma linha de produção, independentemente da sua natureza ou objetivo é uma tarefa altamente complexa. Requer um planeamento exímio, que vai desde a sincronização dos diferentes processos, a antecipação de problemas e respetiva resolução, até aos métodos e materiais a serem utilizados. Todos eles, elementos de extrema relevância que exigem uma coordenação apropriada, para que no final as expectativas da qualidade e do valor do produto sejam alcançados.

É no seguimento destas preocupações todas que filosofias como o Lean manufacturer, o ciclo PDCA e as ferramentas da qualidade constituem um valiosíssimo suporte. São ferramentas que quando bem interpretadas e implementadas, nos oferecem uma grande garantia de êxito no resultado final.

#### A filosofia Lean Manufacturing

A filosofia lean, desenvolvida no Japão pela Toyota na década de 1950, visa, acima de tudo, reduzir desperdícios e aumentar simultaneamente, a produtividade e a qualidade. Para isso, todas as atividades que não agregam valor ao processo devem ser eliminadas, garantindo que o cliente recebe somente o que foi requisitado, no momento definido e na quantidade acordada.

Toda esta filosofia assenta nos seguintes princípios:

1. **Definição de valor para o cliente:** há que entender as necessidades do cliente e procurar fornecer somente o que ele deseja.
2. **Mapear a cadeia de valor:** identificar as etapas necessárias para criar um bem ou serviço, distinguindo as que criam, efetivamente, valor das que podem ser eliminadas;
3. **Criar o fluxo do produto:** o produto deve fluir continuamente pelos processos sem interrupções, de forma simplificada e otimizada, a fim de equilibrar as etapas de produção;
4. **Estabelecer o pull:** apenas é produzido aquilo que é requisitado;
5. **Empreender a perfeição:** Estabelecidos os princípios anteriores, é hora de iniciar um novo ciclo, ambicionando o valor ideal com zero desperdício.

Para além destes princípios, existe ainda alguns conceitos e formulas utilizados neste relatório, relativos à filosofia lean, que se encontram devidamente explicados no Anexo I.

#### Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é uma ferramenta que permite o aprimoramento contínuo da qualidade, quando aplicado na gestão de processos da empresa ou na resolução de problemas.

Conforme o nome indica é um ciclo, cuja iteração implica as seguintes quatro fases:

1. **Plan:** tem o foco na parte da estratégia. É pretendido estabelecer os objetivos, métodos e metas a atingir;
2. **Do:** fase em que se coloca em prática o que foi delineado na fase do planeamento;
3. **Check:** tem como objetivo fazer a verificação do que foi executado, isto é, comparar o resultado final da execução com as metas delineadas;
4. **Act:** consiste numa reflexão de tudo o que aconteceu, tanto positivo como negativo. No caso positivo, deve-se padronizar essas mesmas ações. Já ao que correu menos bem, deve-se perceber as causas e fazer sugestões de melhoria para um novo ciclo PDCA.

Este trabalho foi todo ele, um exemplo de como fazer um ciclo PDCA, pelo que a estrutura deste relatório será de acordo com o mesmo.

## Ferramentas da qualidade

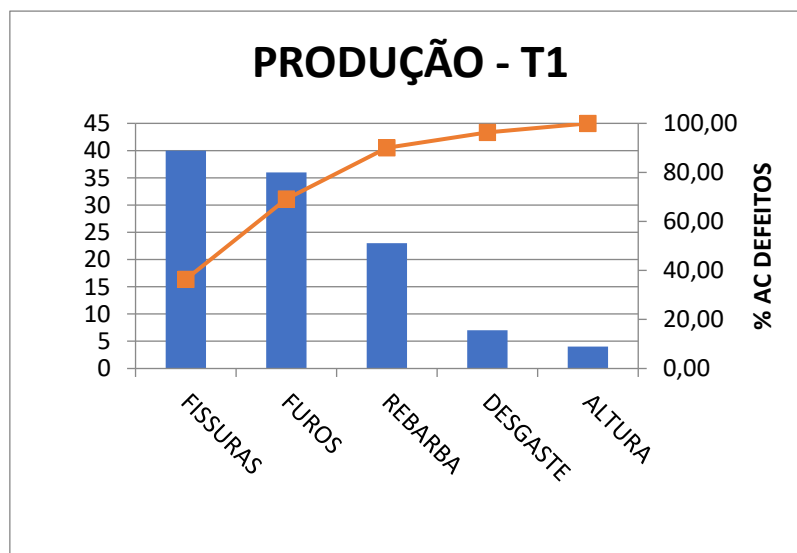
De modo a facilitar uma melhoria contínua, otimizando a identificação de oportunidades de melhoria e das causas dos problemas, é imprescindível a utilização das ferramentas de qualidade. As ferramentas clássicas da qualidade são sete:

1. Folhas de registo;
2. Diagrama de Pareto;
3. Diagrama causa-efeito;
4. Histogramas;
5. Gráfico de dispersão;
6. Fluxogramas;
7. Cartas de controlo.

No caso deste trabalho, será apenas utilizado o diagrama de pareto, pelo que só se fará uma breve introdução a esta ferramenta.

### *Diagrama de Pareto*

O diagrama de pareto é uma fusão de dois tipos de gráficos, um de barras e outro de linha, onde são apresentadas as frequências absolutas de determinados eventos, ordenadas da maior para a menor (gráfico de barras) e a frequência relativa acumulada desses mesmos eventos (gráfico de linha).



*Figura 1 - Exemplo de diagrama de Pareto.*

As principais vantagens deste diagrama são:

- Decomposição de um problema grande em vários de menor dimensão;

- Visibilidade da aplicação ou não do princípio 80%-20%, isto é, 80% dos problemas são devido a 20% das causas;
- priorização da resolução dos problemas e otimização das tomadas de decisão.

## Planeamento (Plan)

Como foi referido na introdução teórica deste documento, a fase do planeamento é onde se desenha a solução do que se pretende alcançar segundo os vários constrangimentos de diferentes níveis. Nesta seção será descrita toda a evolução do projeto, desde os constrangimentos iniciais até à solução final.

### Ponto de partida

#### Requisitos da linha montagem

A linha de trabalho tinha os seguintes requisitos:

- Por cada elemento do grupo tem que existir um posto de trabalho;
- Em cada posto de trabalho tem que ser realizada, no mínimo, uma operação (Ex: uma dobragem ou o pintar das janelas), que acrescente valor ao produto final.
- Produzir 20 aviões em 10 minutos, de acordo com os requisitos do cliente e a instrução de montagem abaixo apresentada;

#### Requisitos do cliente

Já relativamente ao cliente, os requisitos eram os seguintes:

- Janelas Quadradas e pintadas com dimensões de 10 mm e com tolerância de  $\pm 1\text{mm}$ ;
- Posição das Janelas de  $10\pm 1\text{mm}$  (acrescentando informação verbal);
- Planicidade das asas (variável atributo);
- Simetria das asas  $a-b \leq 2\text{ mm}$ , sendo que **a** e **b** representam a largura das asas;
- Cumprir a traçabilidade de 1º nível.

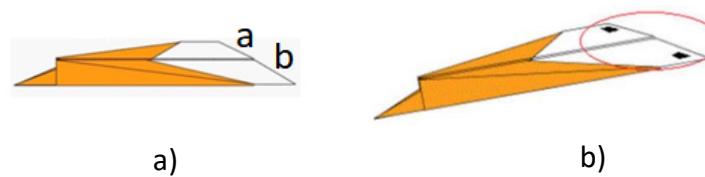


Figura 2 - Requisitos do cliente: a) simetria das asas, b) planicidade

## Materiais utilizados

No desenrolar do projeto foram usados os seguintes materiais:

- Tinta;
- Papel;
- Carimbo;
- Fita cola;
- Cartolina;
- Caneta;
- Tesoura;
- X-ato;
- Régua;
- Esquadro.

## Instruções de montagem do avião<sup>1</sup>

Na montagem do avião têm que constar todas as dobras da figura abaixo, apesar de que, não existe qualquer ordem específica pela qual têm de ser realizadas.

---

<sup>1</sup> Toda e qualquer referência as dobras do avião neste documento e no excel que o acompanha, serão relativas as dobras apresentadas na Figura 3.



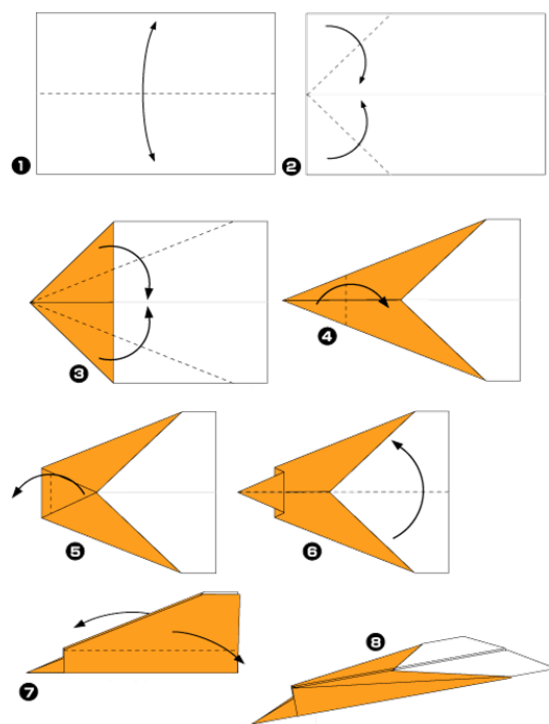


Figura 3 - Dobragens de montagem do avião.

### Estratégia inicial

O nosso grupo era constituído por quatro pessoas, pelo que tivemos que dividir todo o trabalho por quatro postos. A estratégia inicial passou por algo muito simples, que foi dividir as 10 tarefas (oito dobragens, mais o pintar das janelas e a traçabilidade), pelos diferentes postos tendo em conta que o pintar das janelas e traçabilidade teriam que ser operações realizadas em primeiro lugar. Todas as operações, à exceção da pintura das janelas que foram feitas com o auxílio já de um gabarito, foram totalmente manuais sem quaisquer utensílios de apoio.

Dito isto, as tarefas foram distribuídas da seguinte maneira:

Posto de trabalho	Tarefas
<b>PT1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintura das janelas com caneta de filtro e com auxílio do gabarito;</li> <li>• Colocar número de serie (traçabilidade);</li> <li>• Efetuar dobragem 1, totalmente manual;</li> </ul>
<b>PT2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragem 2 e 3, totalmente manuais;</li> </ul>
<b>PT3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragens 4,5 e 6, totalmente manuais;</li> </ul>

<b>PT4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragem 7;</li> <li>• Realizar a inspeção final;</li> </ul>
------------	---

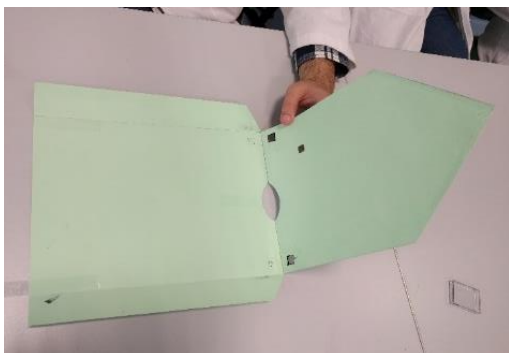
*Tabela 1 - Tabela com a distribuição das tarefas por posto de trabalho*

## Testes e melhorias

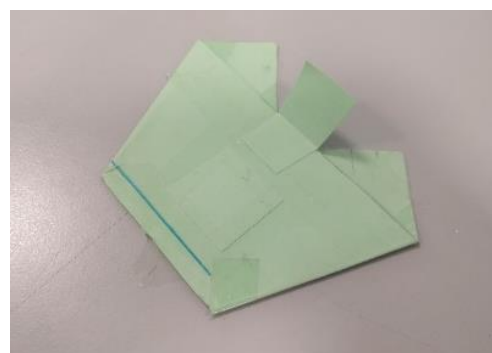
Após a primeira configuração da linha de montagem foram efetuados vários testes com o intuito de verificar o cumprimento de todos os requisitos. O que se constatou foi que não seria possível cumprir com a produção dos 20 aviões no tempo estipulado, pelo que, obviamente, tiveram que se implementar algumas modificações na linha de montagem.

Como era de esperar todo este processo foi efetuado iterativamente de modo a ser refinado e a poder atingir o objetivo de produção, assim como o balanceamento entre os vários postos de trabalho. De seguida apresentam-se as principais modificações que resultaram de todo este processo:

- O gabarito do PT1 foi melhorado para poder ser feita a dobra 2;
- Foi introduzido um gabarito no PT3 para se poder facilitar as dobragens 4 e 5;
- No PT4 foi, igualmente, introduzido um gabarito para facilitar a dobragem 7;
- A pintura das janelas passou a ser feita através de um carimbo, substituindo a caneta de filtro;
- Apesar das dobras 4 e 5 serem realizadas no PT3, passaram a ser efetivadas somente no PT4. Isto para facilitar a dobragem 6 e equilibrar o tempo de ciclo do PT3 e PT4.



*Figura 4 - Gabarito PT1*



*Figura 5 - Gabarito PT3*



Figura 6 – Gabarito PT4.

## Estratégia final

Realizados todos os testes e modificações na linha de montagem, no final, a divisão das tarefas foi a seguinte:

Posto de trabalho	Tarefas
<b>PT1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintura das janelas com carimbo e com auxílio do gabarito;</li> <li>• Colocar número de serie (traçabilidade);</li> <li>• Efetuar dobragem 2, com auxílio do gabarito;</li> </ul>
<b>PT2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragem 1 e 3 de modo totalmente manual;</li> </ul>
<b>PT3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragens 4 e 5 com auxílio do gabarito;</li> <li>• Efetuar dobragem 6, manualmente;</li> </ul>
<b>PT4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efetuar dobragem 7, com o auxílio do gabarito;</li> <li>• Efetivar as dobragens do nariz (4 e 5);</li> <li>• Realizar a inspeção final;</li> </ul>

## Fazer (do)

Com a linha preparada, foi tempo de iniciar a produção dos aviões. O resultado obtido foi 20 aviões produzidos dentro dos 10 minutos pretendidos.



*Figura 7 - Produto final*

## Verificar (check)

Nesta seção serão apresentados todos os elementos para poder concluir acerca do cumprimento de todas as metas estabelecidas na fase do planeamento.

## Controlo da qualidade

Através da Tabela 2, pode-se perceber em que requisito ocorreu a não conformidade, a causa de ter ocorrido a não conformidade e ainda o posto de trabalho onde essa mesma não conformidade ocorreu.

Nº do avião	Janelas		asas		Número de série	Geometria geral	Veredicto geral	Causa raiz
	Posição	Dimensões	Planicidade	Simetria				
1	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
2	ok	nok - PT1	Ok	ok	ok	nok - PT3	nok	Falta de tinta no carimbo (PT1). Incorreta execução da dobragem 6 (PT3).
3	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
4	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
5	ok	nok - PT1	Ok	ok	ok	ok	nok	Falta de tinta no carimbo (PT1)
6	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
7	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
8	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
9	ok	ok	Ok	ok	ok	nok - PT3	nok	Incorreta execução da dobragem 6 (PT3).
10	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
11	ok	ok	Ok	ok	ok	nok - PT1, PT3	nok	Incorreta execução das dobragens 2 e 3 (PT1 e PT2).
12	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
13	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
14	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
15	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
16	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
17	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
18	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
19	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	
20	ok	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	...

Tabela 2 - Tabela do controlo de qualidade de todos os aviões produzidos

A tabela anterior serve também de base para a construção de novos elementos que oferecem diferentes perspectivas sobre os mesmos dados, que serão apresentados de seguida.

#### Tabela resumo

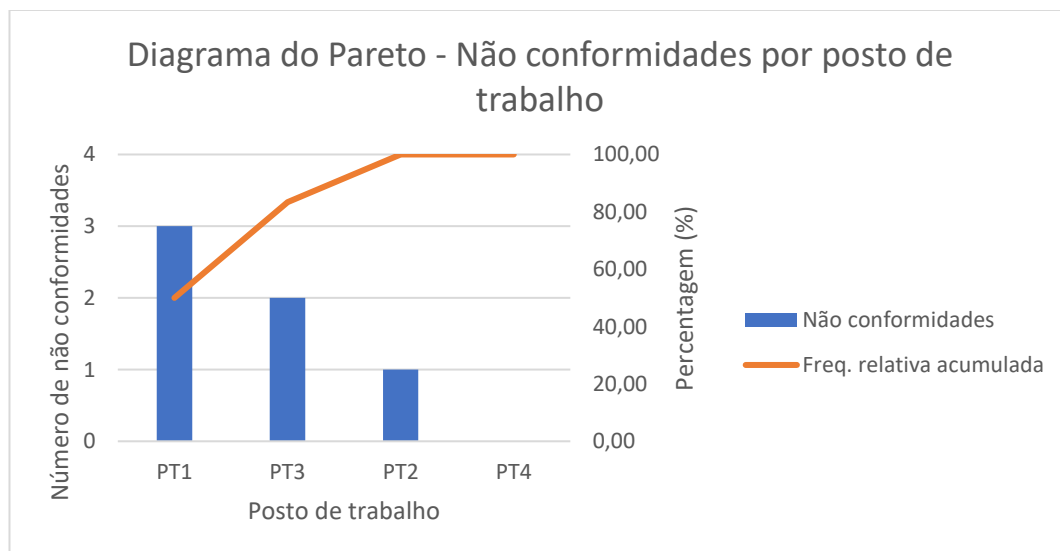
Relativamente ao panorama geral, pode-se resumir ao seguinte:

		(#)	(%)
Aviões	Conformes	16	80
	não conformes	4	20
Total		20	100

*Tabela 3 - Tabela de resultados gerais*

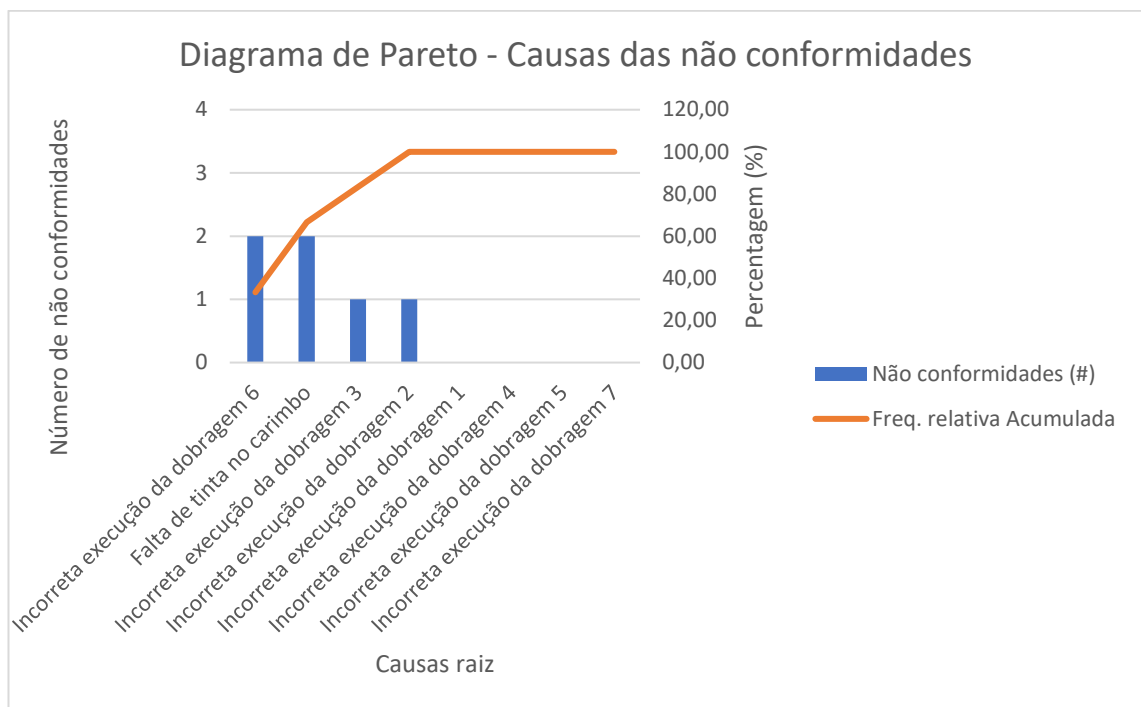
Observando a Tabela 3, verifica-se desde logo o não cumprimento de um dos requisitos: produzir 20 aviões em conformidade com os requisitos de cliente.

#### Diagramas de Pareto



*Figura 8 - Diagrama de pareto com as não conformidades por posto de trabalho*

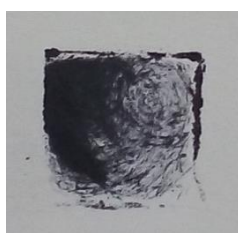
Observa-se, na Figura 8, que cerca de 80% dos problemas tiveram origem em 50% dos postos de trabalho, nomeadamente o PT1 e PT3.



*Figura 9 - Diagrama de pareto mostrando as não conformidades por causas raiz*

Já no diagrama da Figura 9, é notória a concentração de cerca de 80% das não conformidades em três das causas (cerca de 38% das causas).

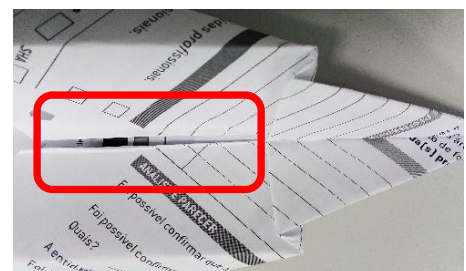
#### Exemplos de não conformidades



a)



b)



c)

*Figura 10 - Exemplos de não conformidades nas dimensões da janela a), e nas dobragens do nariz b) e c).*

## Gráfico do balanceamento

Ao analisar o gráfico apresenta na Figura 11, pode-se retirar as seguintes observações:

- **O takt time da linha é inferior ao takt time do cliente** – era o expectável, uma vez que foram produzidos os 20 aviões dentro do tempo esperado;
- **O balanceamento está nivelado** – Os tempos de ciclo nos diferentes postos é muito semelhante, que era o pretendido, já que o objetivo é ter um fluxo contínuo entre os vários postos;
- **O TC do PT2 e PT3 é superior ao takt time** – este fato é indicador de que algo errado se passa. As devidas conclusões serão retiradas mais à frente neste documento.

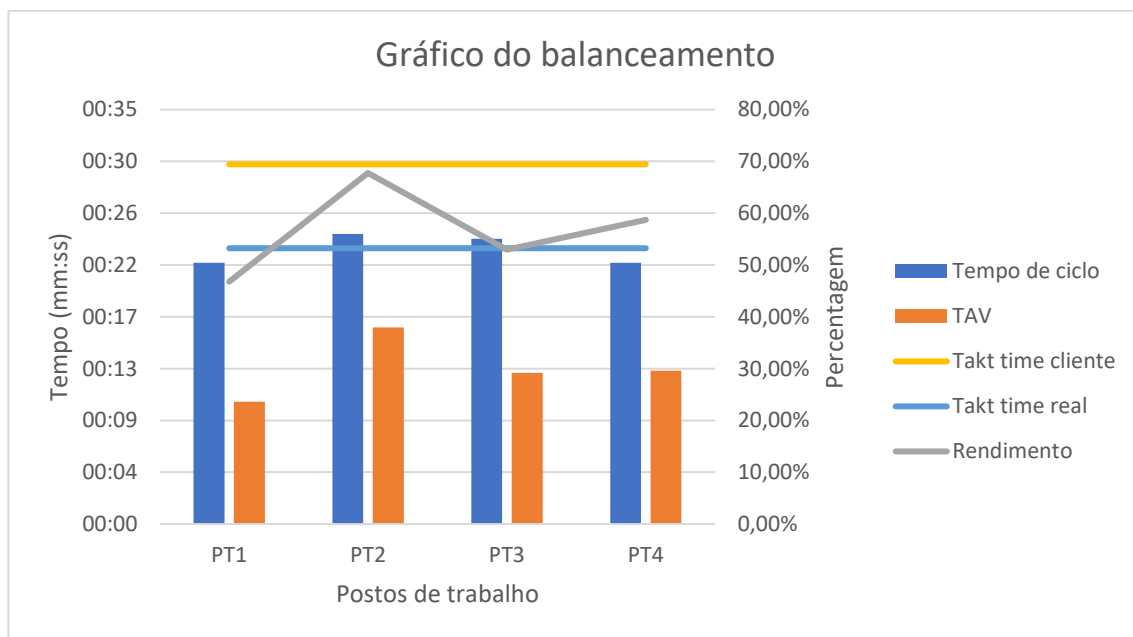


Figura 11 - Gráfico do balanceamento da linha de produção.

## Mapeamento do fluxo de valor (VSM)

Relativamente ao VSM, apresentado na Figura 12, há duas informações de relevo a frisar:

1. **A acumulação de stock entre postos** – não é o expectável nem o desejado. O ideal seria ter um fluxo contínuo dos aviões, sem qualquer tipo de paragem.
2. **FPY de 80%** - o expectável seria de 100%.



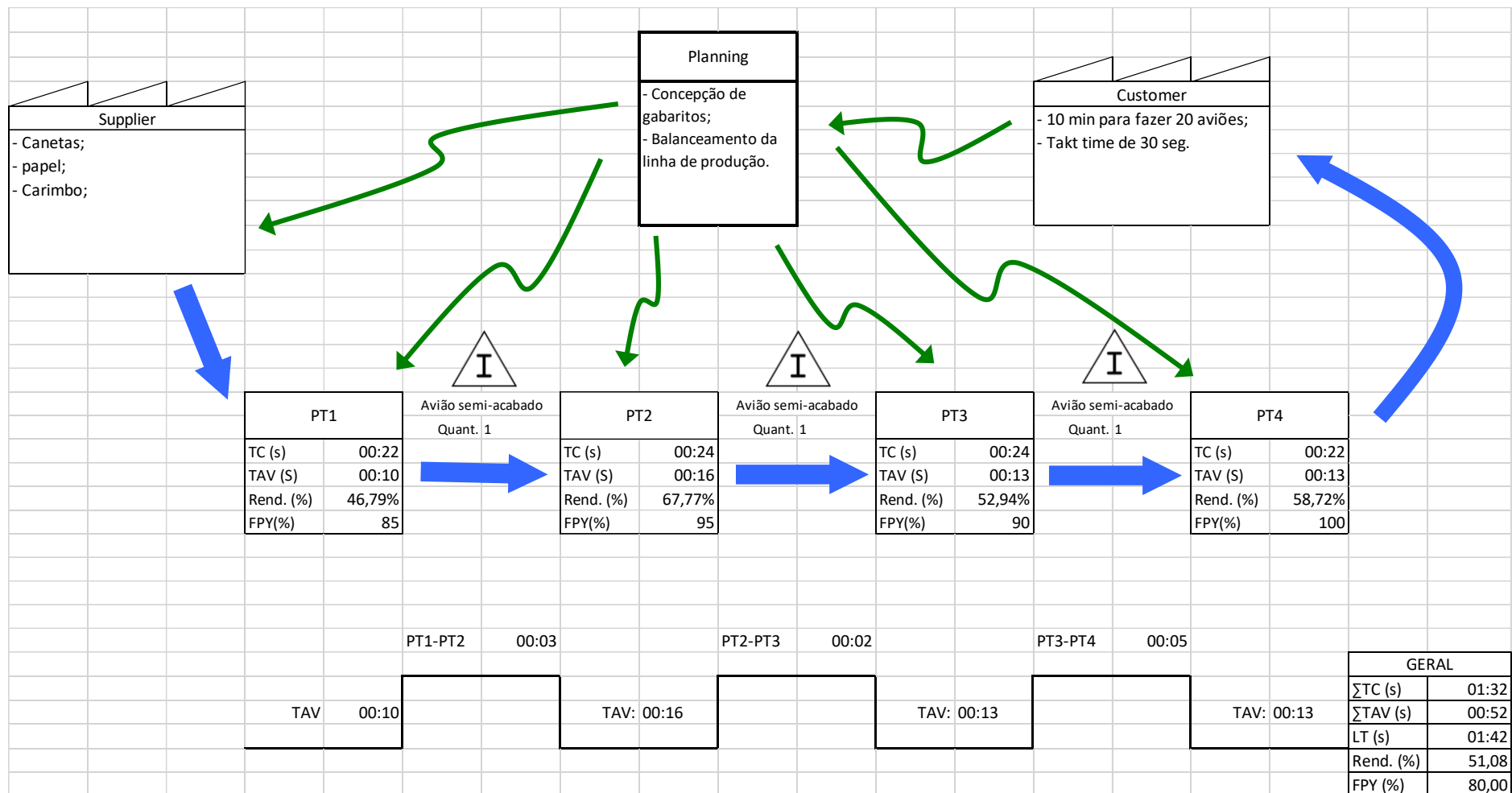


Figura 12 - Mapeamento do fluxo de valor da linha de produção

## Atuar (act)

### Conclusões

No final de todo o trabalho executado e os dados recolhidos e analisados, podem-se retirar as seguintes conclusões:

- **Falta de eficácia no projeto** – apesar de terem sido produzidos 20 aviões em 10 minutos, só 16 aviões dos 20 estavam conforme os requisitos do cliente (FPY de 80%).
- **Falta de formação dos operadores** – analisando as causas raiz dos problemas detetados na inspeção final do produto, são todas elas reveladoras de falta de treino dos operadores, uma vez que, se deveram a más execuções das dobragens ou a um mau manuseamento do carimbo.
- **Processo instável ou falta de dados para se concluir acerca do takt time** – Como se observou no gráfico do balanceamento, dois dos tempos de ciclo são superiores ao takt time, o que não pode acontecer. Este fato é indicador que algo de errado se passa no processo. Na tabela dos tempos (que não se encontra neste documento, mas que pode ser consultada no ficheiro excel que acompanha este relatório), verifica-se que realmente existe uma grande amplitude nos valores dos tempos de ciclo nos 4 postos de trabalho, o que leva à suspeita de que o processo não é estável. Suspeita, porque existe um outro aspeto relevante que tem influência na conclusão final, que é o fato de os dados de amostragem poderem não ser representativos do processo, pelo que no final, não se pode retirar qualquer conclusão com 100% de certeza.
- **Balanceamento equilibrado** – outro dado do gráfico de balanceamento, são os tempos relativamente semelhantes de ciclo de cada um dos postos de trabalho (sempre com a devida ressalva da representatividade dos valores não ser válida), o que indica um bom balanceamento. Apesar disso, conforme se pode observar no VSM, existe, por vezes tempos de espera entre postos, o que não é o ideal quando se ambiciona por um fluxo contínuo. Este seria um ponto de melhoria a ter em conta numa próxima iteração no processo.

## Ações de melhoria

Para uma segunda fase do projeto, sugerem-se as seguintes melhorias:

- Para melhorar o processo de pintura das janelas, sugere-se que se use um carimbo construído com as dimensões exatas das janelas, de modo a garantir a uniformidade da pintura das janelas.
- Para garantir as dimensões das janelas, sugere-se fazer o respetivo gabarito com um material mais forte do que cartolina, por exemplo, plástico, que permita construir as dimensões da janela de forma a melhor garantir as dimensões requeridas.
- Para assegurar uma melhor qualidade das dobragens, recomenda-se que os operadores façam formação específica na área das dobragens.
- Aconselha-se, igualmente, o uso de melhor matéria prima (papel específico para dobragens).

## Anexo I: Formulas e definições

Termo	Definição e formulas
<b>Lead Time (LT)</b>	Tempo médio necessário para a construção de um avião.
<b>Time of cycle (TC)</b>	Tempo médio de operação em cada posto de trabalho.
<b>Time add value (TAV)</b>	Tempo médio agregado de todas as atividades que adicionam valor em cada posto de trabalho;
<b>Tempo interpostos</b>	Tempo médio de deslocação e espera do avião entre cada operador.
<b>Takt Time</b>	<p>Tempo médio entre as saídas de dois produtos acabados, consecutivos, da linha de produção;</p> $Takt\ time_{linha\ de\ produção} = Tempo\ final_{n+1} - tempo\ final_n$ $Takt\ time_{cliente} = \frac{Tempo\ disponível}{Número\ das\ encomendas}$ <p>n – número de avião</p>
<b>First Pass Yield (FPY)</b>	<p>Percentagem de aviões sem não conformidades à saída da linha de produção.</p> $FPY_{PT} = \frac{N^o\ de\ aviões - N^o\ de\ aviões\ nc\ devido\ ao\ posto}{N^o\ de\ aviões} \times 100$ $FPY_{Geral} = \frac{N^o\ de\ aviões - N^o\ de\ aviões\ nc}{N^o\ de\ aviões} \times 100$ <p>nc – não conforme</p>
<b>Rendimento</b>	Percentagem de tempo que se acrescenta, efetivamente, valor ao nível do posto de trabalho (rendimento do posto de trabalho), quer na construção do avião (rendimento geral).

	$Rendimento_{posto\ de\ trabalho} = \frac{TAV}{TC} \times 100$ $Rendimento_{geral} = \frac{\sum TAV}{LT} \times 100$
--	---