

# **Melhoria de fluxos de materiais em células de produção de componentes para automóvel**

*João Nuno Barros Pinto*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Paulo Luís Cardoso Osswald



**Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial**

2019-01-28

*“Either define the moment or the moment will define you”*

**Walt Whitman**

## Resumo

Num mercado cada vez mais volátil, a capacidade de fabricar produtos com diferentes especificações é uma vertente essencial para cumprir com as exigências dos clientes. O aumento da frequência dos períodos de *ramp-up* (etapa inicial da produção industrial) faz da flexibilidade um requisito para o sucesso. Esta flexibilidade é ainda mais determinante numa indústria tão competitiva quanto a indústria automóvel.

Reflexo dos ciclos de vida dos produtos cada vez mais curtos, um bom desempenho no período de industrialização, com redução dos prazos e dos custos, tem atualmente grande influência nas margens de lucro dos projetos.

A adaptabilidade à introdução de novos produtos implica uma estabilização eficiente dos processos. Em ambiente industrial isto envolve coordenação de diferentes setores como a produção, qualidade ou a logística para se obter ganhos no *ramp-up*. Schuh et al. (2005) mostraram que 47% dos períodos de *ramp-up* para novos produtos na indústria automóvel não eram técnica ou economicamente bem sucedidos.

Este projeto teve como objetivo desenvolver melhorias em células de produção de componentes para automóvel em processo de industrialização. O foco foi o abastecimento dos materiais necessários à produção e a normalização dos métodos de trabalho.

Inicialmente foi analisado o fluxo de trabalho em três células recentes, equivalentes a cinco referências de produto, com o intuito de entender as principais carências e oportunidades de melhoria. Foi também analisado o sistema de abastecimento de materiais no resto da fábrica para entender como coordenar o abastecimento de materiais com a logística interna.

Seguidamente foi realizado um estudo dos tempos nas células, que viria a servir de base à standardização do trabalho e às melhorias nos fluxos de materiais. Foi também feito um estudo de capacidade comparando o tempo de ciclo com o *takt time* em função dos volumes de produção dos anos seguintes.

A curta janela temporal do projeto não permitiu que todas as medidas propostas fossem implementadas antes da sua conclusão. Das medidas postas em prática para melhorar os fluxos de materiais destacam-se:

- Implementação de bordos de linha nas células, promovendo a ergonomia no abastecimento de componentes e a normalização do abastecimento por parte da logística interna com recurso ao sistema de cartões *kanban*;
- Alteração do *layout* de uma célula de modo a melhorar o fluxo de trabalho e facilitar o abastecimento de materiais;
- Estruturação de um novo processo para resolver a principal causa de paragens nas células em foco;
- Atualização das rotas do comboio logístico em função das medidas anteriores, com a adição de paragens nos novos bordos de linha e na área dos fornos para o transporte dos componentes tratados termicamente;
- Nivelamento do trabalho e definição do número de operadores e respetivos postos em função do *takt time*;
- Organização dos espaços e aplicação da metodologia 5S;
- Implementação de soluções de carácter visual que visam sustentar o cumprimento das instruções de trabalho.

O conjunto destas medidas dotou as células de produção referidas com a capacidade para enfrentar o desafio do *ramp-up* na produção com maior confiança. Foi provado ser possível reduzir o número de operadores em 7 (o que equivale a 30% da quantidade de operadores inicial) e cumprir o *takt time*, libertando um turno para eventuais novos projetos e produtos.

# Improvement of the materials flow in automotive parts production cells

## Abstract

In an increasingly volatile market, the capability to manufacture products with different specifications is an essential aspect with regard to meeting clients' demands. The increasing frequency of ramp-ups turns flexibility into a requirement for success. This flexibility is even more determinant in an industry as competitive as the automotive industry.

As a consequence of shorter product life cycles, a good performance during the ramp-up period, currently bears great influence in a project's profit margin, with the shortening of deadlines and the lowering of costs.

The adaptability to introduce new products implies an efficient process stabilization. In an industrial environment this entails coordination between different departments such as production, quality and logistics to make gains during the ramp-up period. Schuh et al. (2005) showed 47% of ramp-up periods in the automotive industry were unsuccessful, both technically and economically.

This project aimed to develop improvements in automotive parts production cells during the ramp-up period. The main focus was the supply of materials necessary for production and the standardization of work.

Initially, the workflow in three recent production cells and the materials supply system were analyzed, with the goal of understanding the main needs and opportunities for improvement.

Subsequently, a study of times was carried out to help with the standardization of work and the materials flow. The production capacity was compared to the takt time according to the demand projected for the following years.

The project's narrow time window did not allow for all suggested improvements to be implemented before its conclusion. The following measures were put in place to improve the materials flow:

- Implementing borders of line to improve workstation ergonomics and standardize the materials supply, with resort to a *kanban* system;
- Changing the layout of a cell to improve the workflow and to ease the materials supply;
- Structuring a new process to tackle the main cause for stops in the aforementioned production cells;
- Updating the route for the logistics train, with the addition of stops such as the locations of the newly implemented borders of line;
- Leveling production and establishing the standard number of workers for each cell, defining their respective workstations according to the takt time;
- Applying the 5S methodology to space planning inside the production cells;
- Implementing visual management solutions to help with the execution of the standard work.

This set of measures has granted the production cells the ability to face the ramp-up challenge more confidently. It was proven possible to reduce the number of workers by 7 (the equivalent to 30% of the initial amount of workers) and comply with the takt time, freeing a daily work shift for future projects and products.

## Agradecimentos

A execução desta etapa só foi possível com o apoio direto e indireto de várias pessoas que me rodearam.

Agradeço a todos colaboradores da *BorgWarner Emissions Systems Portugal* pela simpatia e disponibilidade em ajudar, em especial à minha equipa, liderada pelo João Carvalho.

Agradeço à empresa pela oportunidade concedida e pelas condições dadas para poder desenvolver o meu trabalho.

Agradeço ao meu orientador na *BorgWarner*, o Eng. André Seara, por ter apostado em mim e pela preocupação em garantir que havia conteúdo de trabalho para realizar este projeto.

Agradeço ao meu orientador na FEUP, o Professor Paulo Osswald, pelo *feedback* e sugestões dadas e por me ajudar a estruturar o projeto atempadamente.

Agradeço aos meus amigos dos momentos atribulados. Deixo um agradecimento especial à Diana e à Teresa por me terem permitido continuar nos momentos críticos.

Agradeço aos meus pela paciência. Foi uma longa viagem. Obrigado.

# Índice de Conteúdos

|                 |                                                                                                |           |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>        | <b>Introdução.....</b>                                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1             | A BorgWarner Inc.....                                                                          | 1         |
| 1.2             | Enquadramento do projeto e motivação .....                                                     | 2         |
| 1.3             | Objetivos do projeto .....                                                                     | 3         |
| 1.4             | Método seguido no projeto.....                                                                 | 3         |
| 1.5             | Estrutura da dissertação .....                                                                 | 4         |
| <b>2</b>        | <b>Enquadramento Teórico .....</b>                                                             | <b>5</b>  |
| 2.1             | O Lean Manufacturing como evolução do Toyota Production System .....                           | 5         |
| 2.2             | Eliminar desperdícios .....                                                                    | 7         |
| 2.3             | Metodologia 5S .....                                                                           | 8         |
| 2.4             | Standard Work .....                                                                            | 9         |
| 2.5             | Gestão Visual .....                                                                            | 9         |
| 2.6             | Kanban.....                                                                                    | 10        |
| 2.7             | Mizusumashi .....                                                                              | 11        |
| 2.8             | Bordo de Linha.....                                                                            | 12        |
| 2.9             | Desenho de Layout .....                                                                        | 13        |
| 2.10            | Estudo dos tempos .....                                                                        | 13        |
| <b>3</b>        | <b>Descrição e análise da situação inicial.....</b>                                            | <b>14</b> |
| 3.1             | Processo produtivo dos tubos EGR .....                                                         | 14        |
| 3.2             | Célula de montagem intermédia Panther .....                                                    | 15        |
| 3.3             | Célula de montagem intermédia DV Neo .....                                                     | 19        |
| 3.4             | Célula de montagem e controlo final DV Neo .....                                               | 24        |
| 3.5             | Célula de montagem e controlo final Lion .....                                                 | 26        |
| 3.6             | Volumes de produção futura .....                                                               | 28        |
| 3.7             | Comboio Logístico .....                                                                        | 29        |
| 3.8             | Ferramentaria.....                                                                             | 30        |
| <b>4</b>        | <b>Soluções propostas .....</b>                                                                | <b>31</b> |
| 4.1             | Estudo dos tempos .....                                                                        | 31        |
| 4.2             | Estandarização do trabalho.....                                                                | 37        |
| 4.3             | Fluxo de materiais.....                                                                        | 39        |
| 4.4             | Medidas Lean.....                                                                              | 46        |
| <b>5</b>        | <b>Conclusões e perspetivas de trabalho futuro .....</b>                                       | <b>51</b> |
| 5.1             | Conclusões .....                                                                               | 51        |
| 5.2             | Sugestões para trabalhos futuros .....                                                         | 52        |
|                 | <b>Referências .....</b>                                                                       | <b>53</b> |
| <b>ANEXO A:</b> | <b>Paragens por falta de flanges nas células <i>Panther</i> e <i>DV Neo</i> .....</b>          | <b>55</b> |
| <b>ANEXO B:</b> | <b>Testes de hipótese para a validação da unidade do movimento .....</b>                       | <b>57</b> |
| <b>ANEXO C:</b> | <b>Estudo de capacidade e trabalho estandardizado .....</b>                                    | <b>60</b> |
| <b>ANEXO D:</b> | <b>Bordos de linha <i>Panther</i> e <i>DV Neo</i> com <i>kanban</i> .....</b>                  | <b>65</b> |
| <b>ANEXO E:</b> | <b>Estruturas encomendadas para a entrada e saída do forno.....</b>                            | <b>67</b> |
| <b>ANEXO F:</b> | <b>Outras opções rejeitadas para o <i>layout</i> <i>Lion</i> e fotos do acesso final .....</b> | <b>68</b> |
| <b>ANEXO G:</b> | <b>Auditoria 5S à célula final Lion, mês de Dezembro .....</b>                                 | <b>72</b> |
| <b>ANEXO H:</b> | <b>Excertos do ficheiro AutoCAD com o antes e o depois do layout Lion ..</b>                   | <b>73</b> |
| <b>ANEXO I:</b> | <b>Outras soluções propostas, descartadas ou por aprofundar.....</b>                           | <b>74</b> |

## Lista de siglas, acrónimos e definições

*Bottleneck* – Etapa mais lenta de um processo, e que por essa razão define o ritmo máximo de produção.

*DMAIC* – *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

*EGR* – *Exhaust Gas Recirculation*: Recirculação de gases de escape.

*FIFO* – *First In, First Out*: Primeiro a entrar, primeiro a sair. Critério que define que os materiais devem ser consumidos pela ordem de chegada.

*JIT* – *Just in Time*: No tempo certo. Sistema produtivo onde tudo deve ser feito apenas no momento em que é necessário.

*Lean* – Filosofia de gestão que pretende criar valor reduzindo os desperdícios.

*Kanban* – Cartão de sinalização que regula o fluxo de produção ou transporte.

*KPI* – *Key Performance Indicator*: Indicador-chave de desempenho.

*Manufacturing Quality Engineer* – Engenheiro de qualidade de produção.

*Manufacturing Quality Technician* – Técnico de qualidade de produção.

*Manufacturing Services* – Serviços de apoio à produção.

*Milk Run* – método de planeamento de entrega e recolha programada de materiais.

*MIT* – *Massachusetts Institute of Technology*.

*Mizusumashi* – Comboio logístico de abastecimento interno.

*MTM* – *Methods-Time Measurement*: Medição do tempo através do método.

*Muda* – desperdício.

*OEE* – *Overall Equipment Effectiveness*: Eficácia geral do equipamento.

*OEM* – *Original Equipment Manufacturer*: Fabricante do equipamento original.

*One-piece flow* – Produção de uma peça de cada vez em cada posto de trabalho.

*Picking* – Recolha no armazém dos componentes necessários para satisfazer a encomenda do cliente.

*Prime Contractor* – Fornecedor com responsabilidade integral quanto à execução de um projeto, incluindo conceção, desenvolvimento e design dos produtos.

*Product Leader* – Líder de produto.

*Ramp-up* – Rampa de produção. Etapa inicial da produção industrial, onde são feitos os ajustes necessários. A consequência é o aumento do ritmo produtivo e do OEE.

*Standard Operating Procedure* – Procedimento de operação estandardizado.

*Standard Work* – Trabalho estandardizado.

*Stocks* – Inventário.

*Team Leader* – Chefes de equipa na área produtiva. A empresa tem um por setor, por turno.

*TPS* – *Toyota Production System*: Sistema de produção desenvolvido pela *Toyota*.

*WIP* – *Work-in-Progress*: Material em processamento ou entre processos.

## Índice de Figuras

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Variedade de localizações <i>BorgWarner</i> .....                                                | 1  |
| Figura 2 - Instalações da <i>Borgwarner</i> em Lanheses.....                                                | 2  |
| Figura 3 - Cronograma do projeto .....                                                                      | 4  |
| Figura 4 - Casa <i>Toyota</i> .....                                                                         | 6  |
| Figura 5 - Representação visual dos 3M's.....                                                               | 7  |
| Figura 6 - Exemplos de cartões <i>kanban</i> .....                                                          | 10 |
| Figura 7 - Comparação entre o empilhador tradicional e o <i>Mizusumashi</i> (Coimbra, 2009) ....            | 11 |
| Figura 8 - Bordo de Linha .....                                                                             | 12 |
| Figura 9 - <i>Golden Zone</i> .....                                                                         | 13 |
| Figura 10 - <i>Layout</i> da área produtiva .....                                                           | 14 |
| Figura 11 - Fluxograma da produção de tubos EGR.....                                                        | 15 |
| Figura 12 - <i>Layout</i> da célula intermédia <i>Panther</i> .....                                         | 16 |
| Figura 13 - Campana .....                                                                                   | 16 |
| Figura 14 - Posto de conformação dos tubos <i>Panther</i> .....                                             | 17 |
| Figura 15 - Tampa (à esquerda), cotovelo (ao centro) e flange (à direita) .....                             | 17 |
| Figura 16 - Corredor ocupado que impede alimentação entre máquinas 4 e 5 .....                              | 18 |
| Figura 17 - Carro com ferramentas para troca de referência <i>Panther</i> .....                             | 19 |
| Figura 18 - Desarrumação e lixo no carro com ferramentas para troca de referência <i>Panther</i> .....      | 19 |
| Figura 19 - Posição e <i>design</i> da mordaza 2881 .....                                                   | 19 |
| Figura 20 - <i>Layout</i> da célula de montagem intermédia DV Neo.....                                      | 20 |
| Figura 21 - Máquina curvadora .....                                                                         | 21 |
| Figura 22 - Lavadora e cesto metálico utilizado.....                                                        | 21 |
| Figura 23 - Deflector .....                                                                                 | 22 |
| Figura 24 - Zona do tubo 1739 com elevada frequência de não-conformidades .....                             | 22 |
| Figura 25 - Flanges à saída do tratamento no forno .....                                                    | 23 |
| Figura 26 - Flanges em caixas de cartão, à entrada e à saída do forno.....                                  | 24 |
| Figura 27 - <i>Layout</i> da célula final DV Neo.....                                                       | 25 |
| Figura 28 - Mangas de resistência térmica (à esquerda), junta (ao centro) e braçadeira (à direita) .....    | 26 |
| Figura 29 - Acesso muito estreito para as traseiras da célula DV Neo .....                                  | 26 |
| Figura 30 - <i>Layout</i> da célula final <i>Lion</i> .....                                                 | 27 |
| Figura 31 - Estante desajustada ao tipo de caixas e margem de segurança para o extintor não respeitada..... | 28 |
| Figura 32 - Uma das rotas do comboio logístico na zona de montagem intermédia (Rota de Montagem 1) .....    | 29 |
| Figura 33 - Exemplo de cartão <i>kanban</i> usado pela logística interna .....                              | 29 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 34 - Exemplo de etiqueta colocada nas estantes ou bordos de linha.....                                    | 30 |
| Figura 35 - Cartão de requisição de ferramentas .....                                                            | 30 |
| Figura 36 - Caixa MP5 (60x40x23cm).....                                                                          | 34 |
| Figura 37 - Excerto de ficheiro <i>Excel</i> com quantidades de trabalho nos postos 6 e 7 .....                  | 35 |
| Figura 38 - Gráfico <i>yamazumi</i> para a célula DV Neo final, referência 3234.....                             | 38 |
| Figura 39 - Ficha normalizada de trabalho para a célula DV Neo final, referência 3234.....                       | 39 |
| Figura 40 - Localizações dos dois bordos de linha DV Neo e seus componentes .....                                | 40 |
| Figura 41 - Localizações dos três bordos de linha Panther e seus componentes.....                                | 41 |
| Figura 42 - Primeiro bordo de linha Panther, já com sistema <i>kanban</i> .....                                  | 41 |
| Figura 43 - Fluxo das flanges .....                                                                              | 42 |
| Figura 44 - Novo <i>layout</i> implementado na célula final Lion.....                                            | 44 |
| Figura 45 - Novas paragens da rota de montagem intermédia (Rota de Montagem 2).....                              | 46 |
| Figura 46 - Identificação dos postos com designação e referências trabalhadas.....                               | 47 |
| Figura 47 - Ferramentas Panther 2881 e 9649 com a cor associada.....                                             | 47 |
| Figura 48 - Melhorias no quadro da mesa de controlo DV Neo .....                                                 | 48 |
| Figura 49 - Placa ainda com a designação antiga da célula.....                                                   | 48 |
| Figura 50 - Relocalização do quadro de peças-padrão Lion.....                                                    | 48 |
| Figura 51 - Atualização das marcas no piso da célula Lion .....                                                  | 49 |
| Figura 52 - Nova localização do carro com ferramentas para troca de referência Panther .....                     | 49 |
| Figura 53 - Análise da funcionalidade do suporte para pequenos componentes nas linhas Panther e DV Neo.....      | 50 |
| Figura 54 - Falta de flanges nas células, encerrando a produção do dia .....                                     | 55 |
| Figura 55 - Paragens por falta de flanges para a referência Panther 2881.....                                    | 55 |
| Figura 56 - Paragens por falta de flanges para a referência DV Neo 3234.....                                     | 56 |
| Figura 57 - Teste t para média dos tempos na célula Panther, postos 1 e 2 ( $\alpha=0.05$ ) .....                | 58 |
| Figura 58 - Teste t para média dos tempos na célula intermédia DV Neo, postos 1 e 2 ( $\alpha=0.05$ ) .....      | 58 |
| Figura 59 - Teste t para média dos tempos na célula final DV Neo, postos 1 e 6 ( $\alpha=0.05$ ) .....           | 59 |
| Figura 60 - Sequência de trabalho do Operador 1 da célula DV Neo final, referência 3234....                      | 60 |
| Figura 61 - Sequência de trabalho do Operador 2 da célula DV Neo final, referência 3234...                       | 61 |
| Figura 62 - Sequência de trabalho do Operador 5 da célula DV Neo final, referência 3234....                      | 61 |
| Figura 63 - Ficha normalizada de trabalho para a célula DV Neo final, referência 1739, com dois operadores ..... | 61 |
| Figura 64 - Ficha normalizada de trabalho para a célula DV Neo final, referência 1739, com três operadores.....  | 62 |
| Figura 65 - Ficha normalizada de trabalho para a célula Panther, referência 2881.....                            | 62 |
| Figura 66 - Ficha normalizada de trabalho para a célula Panther, referências 2753 e 9649 ...                     | 63 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 67 - Ficha normalizada de trabalho para a célula <i>DV Neo</i> intermédia, referência 1739 .....  | 64 |
| Figura 68 - Ficha normalizada de trabalho para a célula <i>DV Neo</i> intermédia, referência 3234 .....  | 64 |
| Figura 69 - Segundo bordo de linha <i>Panther</i> , único que não chegou a tempo do fim do projeto ..... | 65 |
| Figura 70 - Terceiro bordo de linha <i>Panther</i> , entre os postos 4 e 5 .....                         | 65 |
| Figura 71 - Primeiro bordo de linha <i>DV Neo</i> já com etiquetas e cartões <i>kanban</i> .....         | 66 |
| Figura 72 - Segundo bordo de linha <i>DV Neo</i> já com etiquetas e cartões <i>kanban</i> .....          | 66 |
| Figura 73 - Estrutura dimensionada para a entrada e saída do forno .....                                 | 67 |
| Figura 74 - Opção de <i>layout</i> com fluxo invertido .....                                             | 68 |
| Figura 75 - Opção de <i>layout</i> com fluxo invertido e duas paletes .....                              | 69 |
| Figura 76 - Opção com posto de controlo final na perpendicular em relação aos restantes postos .....     | 70 |
| Figura 77 - Acesso largo às traseiras da linha final <i>DV Neo</i> .....                                 | 70 |
| Figura 78 - Traseiras da linha final <i>DV Neo</i> onde serão abastecidos os componentes.....            | 71 |
| Figura 79 - Auditoria 5S à célula final <i>Lion</i> , mês de Dezembro .....                              | 72 |
| Figura 80 - <i>Layout Lion</i> antigo .....                                                              | 73 |
| Figura 81 - <i>Layout Lion</i> novo .....                                                                | 73 |
| Figura 82 - Guincho para ferramentas pesadas e plataforma com ajuste de altura por pedal ..              | 74 |
| Figura 83 - Suporte para tubos entre postos noutra célula da fábrica .....                               | 75 |
| Figura 84 - Espaço desperdiçado entre os postos 2 e 3 na célula <i>Panther</i> .....                     | 75 |

Nota: As fotos presentes no relatório foram validadas pelo departamento de recursos humanos e pelo gestor responsável pela área dos tubos EGR na empresa.

## Índice de Tabelas

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Volumes previstos de produção <i>Panther</i> .....                                               | 28 |
| Tabela 2 - Volumes previstos de produção <i>DV Neo</i> .....                                                | 28 |
| Tabela 3 - Tempos (em segundos) de máquina na célula <i>Panther</i> .....                                   | 31 |
| Tabela 4 - Quantidade de movimentos por deslocação entre postos na célula <i>Panther</i> .....              | 31 |
| Tabela 5 - Tempos (em segundos) de carga e descarga ou operação na célula <i>Panther</i> .....              | 32 |
| Tabela 6 - Outros tempos medidos na célula <i>Panther</i> .....                                             | 32 |
| Tabela 7 - Tempos (em segundos) de máquina na célula <i>DV Neo</i> .....                                    | 33 |
| Tabela 8 - Quantidade de movimentos por deslocação entre postos na célula intermédia <i>DV Neo</i><br>..... | 33 |
| Tabela 9 - Tempos (em segundos) de carga e descarga ou operação na célula <i>DV Neo</i> .....               | 33 |
| Tabela 10 - Tempos na lavadora da célula <i>DV Neo</i> .....                                                | 34 |
| Tabela 11 - Tempos na lavadora geral para a referência 3234.....                                            | 34 |
| Tabela 12 - Outros tempos medidos na célula <i>DV Neo</i> .....                                             | 35 |
| Tabela 13 - Tempos (em segundos) de máquina na célula final <i>DV Neo</i> .....                             | 36 |
| Tabela 14 - Quantidade de movimentos por deslocação entre postos na célula final <i>DV Neo</i>              | 36 |
| Tabela 15 - Tempos de carga e descarga, e trabalho manual na célula final <i>DV Neo</i> .....               | 36 |
| Tabela 16 - Outros tempos na célula final <i>DV Neo</i> .....                                               | 37 |
| Tabela 17 - Verificação da capacidade produtiva para 2 turnos.....                                          | 37 |
| Tabela 18 - Redução da quantidade de operadores após <i>Standard Work</i> .....                             | 38 |
| Tabela 19 - Dados necessários ao dimensionamento dos bordos de linha <i>Panther</i> .....                   | 40 |
| Tabela 20 - Dados necessários ao dimensionamento dos bordos de linha <i>DV Neo</i> .....                    | 40 |
| Tabela 21 - Dados para dimensionamento das estantes para as flanges nos fornos.....                         | 42 |
| Tabela 22 - Dados utilizados para o teste t.....                                                            | 57 |
| Tabela 23 - Cálculo do tempo de produção diário .....                                                       | 60 |
| Tabela 24 - Cálculo do <i>takt time</i> .....                                                               | 60 |
| Tabela 25 - Conteúdo de trabalho e estimativa do número de operadores nas células .....                     | 60 |

## 1 Introdução

Num mercado global tão competitivo como é o mercado automóvel, os clientes não estão dispostos a pagar por tudo o que não acrescenta valor aos produtos. A chave para o sucesso é eliminar os desperdícios com o intuito de reduzir custos e o tempo de produção, se possível aumentando a qualidade. Assim, para aumentar as margens de lucro num mercado onde um *Original Equipment Manufacturer* como a *Borgwarner* apenas se distinguirá por entregar as peças atempadamente e com qualidade, é premente desenvolver e aplicar técnicas que permitam a melhor utilização possível dos recursos disponíveis.

Em novos projetos, um critério de desempenho importante é a duração do período de industrialização. É importante reduzir os problemas normais desta etapa inicial de produção industrial, de forma a ter períodos de *ramp-up* cada vez mais curtos. Almgren (2000) alocou estes problemas às seguintes categorias:

- Conceção do produto: problemas decorrentes das mudanças na engenharia do produto;
- Tecnologia de produção: capacidade, disponibilidade e desempenho do equipamento;
- Fluxo de materiais: a qualidade, quantidade e abastecimento dos materiais;
- Organização do trabalho: desempenho dos operadores, método e fluxo de trabalho.

O foco deste projeto serão os dois últimos pontos, referentes ao fluxo de materiais e de trabalho.

### 1.1 A BorgWarner Inc.

A *BorgWarner Inc.* é uma empresa multinacional de origem norte-americana que produz componentes para a indústria automóvel, onde desenvolve produtos orientados para o aumento da economia de combustível, a redução das emissões e melhorias no desempenho de todos os tipos de veículos. À data a empresa encontra-se em 66 localizações espalhadas por 18 países (Figura 1) e emprega aproximadamente 29.000 colaboradores.



Figura 1 - Variedade de localizações *BorgWarner*

As suas unidades estratégicas de negócio são os sistemas de transmissão, os sistemas *Morse* para gestão e temporização do motor, os sistemas térmicos para refrigeração e gestão da temperatura, os sistemas turbo para desenvolvimento de turbocompressores e os sistemas de emissões. Os produtos desta última unidade têm como foco a gestão do ar e o controlo das emissões com recurso à técnica de recirculação dos gases de escape.

A recirculação dos gases de escape ou *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) permite a redução das emissões de Óxido de Azoto através da recirculação de uma parte dos gases de escape do motor para os cilindros.

A *BorgWarner Emissions Systems Portugal* situa-se no Parque Empresarial de Lanheses, em Viana do Castelo (Figura 2). A fábrica, inaugurada em 2014, emprega cerca de 850 colaboradores atualmente. Como unidade da *BorgWarner* orientada para os sistemas de emissões, produz tubos, *coolers* e válvulas EGR; assim como módulos de controlo de velas incandescentes (*Glow Plug Control Module*) e o *eBooster* na secção da Eletrónica. Os seus produtos destinam-se a grandes marcas do sector automóvel.



Figura 2 - Instalações da *Borgwarner* em Lanheses

A empresa possui certificado IATF 16949:2016, que inclui os requisitos do sistema de gestão de qualidade para as empresas do sector automóvel, reflexo de uma aposta vencedora no fabrico de produtos de qualidade e na melhoria contínua dos processos.

## 1.2 Enquadramento do projeto e motivação

O trabalho desenvolvido na presente dissertação foi realizado no decorrer do processo de industrialização de células de produção numa empresa da indústria automóvel. A *BorgWarner* é um *prime contractor* nesta indústria, fornecendo diretamente aos fabricantes automóveis componentes variados, que vão desde sistemas de transmissão ou de emissões, a componentes de eletrónica. Estes componentes podem ser concebidos integralmente na empresa após a identificação das necessidades do cliente. Estes componentes ou subsistemas serão utilizados na produção de um automóvel, produto final de outras empresas, o que constitui a *BorgWarner* como um OEM da indústria automóvel.

O projeto incidia maioritariamente sobre três células produtivas em período de *ramp-up*, células essas pertencentes à secção dos tubos EGR da fábrica da *BorgWarner* em Viana Do Castelo. Duas das células correspondem a etapas de produção não consecutivas do modelo *DV Neo*, enquanto que a outra célula produz para o modelo *Panther*. As células encontram-se por isso em estágios diferentes do *ramp-up*, tendo produzido 122.500 e 97.454 tubos no ano de 2018 para os modelos *DV Neo* e *Panther*, respetivamente. Os picos de produção estão previstos para os anos de 2019 para o modelo *DV Neo* (342.000 tubos) e de 2020 para o modelo *Panther* (390.239 tubos). Estes valores, aglomerados de todas as referências produzidas nestas células, representam um aumento da produção de 179% e de 300% para os modelos *DV Neo* e *Panther*, comparando a situação no início do projeto com o pico de produção respetivo. Por esta razão, a empresa necessitava de um estudo da capacidade produtiva para garantir satisfazer a procura dos anos seguintes e eventualmente incorporar novos projetos nestas células.

Enquadrada a capacidade produtiva com a procura, o trabalho desenvolvido foi ao encontro de dotar as células produtivas de processos estáveis, seja pela via da standardização do trabalho ou pela via de melhorias nos fluxos de materiais, reduzindo os desperdícios.

### **1.3 Objetivos do projeto**

O projeto incide na secção dos tubos EGR, em quatro células de produção distintas, com problemas em comum ou problemas distintos mas cuja solução impacta diretamente e de forma positiva outra das células, devido ao facto de algumas das células do projeto serem vizinhas. Três das células encontram-se em fase de industrialização.

Os objetivos do projeto passam por garantir a capacidade produtiva destas células para o aumento da produção previsto para os anos seguintes, através da definição de métodos standardizados e estruturação do fluxo de trabalho.

Na persecução destes objetivos o foco foi a melhoria dos fluxos de materiais nas células produtivas, estabilizando o abastecimento de componentes necessários à produção e reduzindo o número de paragens consequentes da falta de procedimentos normalizados. Houve a preocupação de organizar os espaços de modo a reduzir desperdícios e aumentar a ergonomia, assim como minimizar as deslocações dos operadores sem quebrar o fluxo de trabalho.

### **1.4 Método seguido no projeto**

A fase inicial do projeto consistiu em entender as necessidades da empresa nas células em foco no projeto, para estruturar todo o projeto e definir o rumo a seguir. Foi também um período de familiarização com a empresa e com o funcionamento da fábrica no geral e das células produtivas estudadas em particular.

Em seguida houve uma fase de quantificação da carga de trabalho, tendo sido efetuado um estudo dos tempos no chão de fábrica para posteriormente nivelar o trabalho e ajustar a capacidade produtiva ao *takt time*.

A terceira fase foi a fase de análise de coordenação dos processos da produção com a logística interna e possíveis soluções a implementar. Foram também dimensionados os bordos de linha a implementar que colocam o material à mão dos operadores.

Chegada a altura de implementar as soluções, criaram-se os procedimentos normalizados de operação nas células, implementaram-se os bordos de linha, definiram-se as posições das caixas, ferramentas de trabalho e do material, tendo inclusive sido alterado completamente o *layout* de uma das células. Foram atualizadas rotas do comboio logístico de modo a começar a incorporar as células alvo de estudo no circuito de abastecimento da logística interna.

O cronograma das tarefas realizadas ao longo do projeto encontra-se na Figura 3. Não se tratando de um projeto Seis Sigma, ainda assim o cronograma sugerido pela empresa enquadra a estruturação do projeto numa perspetiva da metodologia DMAIC. Deste modo, é possível dividir o projeto em cinco etapas: a etapa inicial de contextualização e definição do problema e objetivos a atingir; a etapa de medição que abarca o estudo dos tempos; a etapa de análise aos processos e às possíveis soluções; a etapa de implementação de melhorias e por fim a etapa de avaliação e monitorização do trabalho produzido.

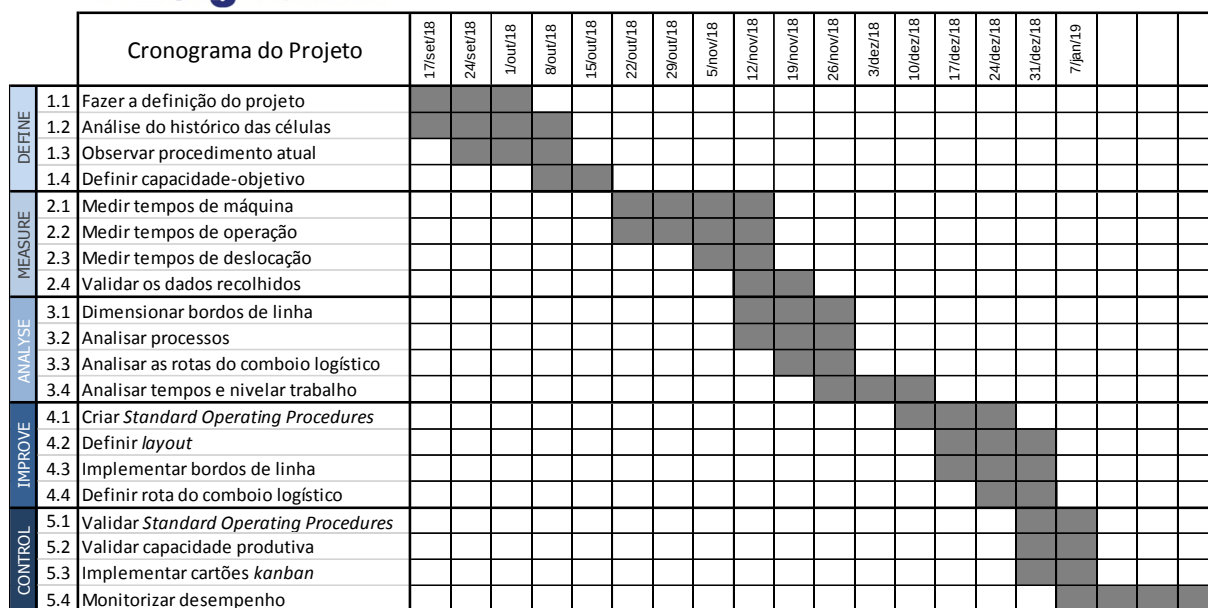


Figura 3 - Cronograma do projeto

### 1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

Neste capítulo inicial foi apresentada a empresa onde foi realizado o projeto, o problema em estudo e os objetivos a atingir. Foi também descrita a metodologia seguida.

No capítulo 2 é feito um enquadramento teórico necessário para suportar o trabalho realizado no decurso do projeto. Apresentam-se conceitos relacionados com a filosofia *lean* e logística interna, assim como estudo dos métodos e tempos e alteração de *layouts*.

O capítulo 3 apresenta a situação inicial, com identificação dos problemas a resolver. É descrito o processo produtivo de uma forma geral, com todas as etapas de transformação dos tubos EGR. São apresentadas as células de produção específicas onde decorreu o projeto, com explicação em detalhe das máquinas, componentes e operações envolvidas. Em seguida são expostos os problemas a resolver ou áreas com margem para melhorias, assim como os volumes de produção.

O capítulo 4 expõe as soluções desenvolvidas durante o projeto, começando pelo estudo dos tempos e continuando com as medidas propostas para os problemas identificados nas células de produção, nomeadamente a criação de procedimentos standardizados de trabalho, a implementação de bordos de linha, atualização de uma rota do comboio logístico e a alteração do *layout*, entre outras medidas.

O último capítulo contém uma resenha dos resultados obtidos e a avaliação à metodologia seguida, assim como as conclusões finais. Enumera ainda sugestões para eventuais projetos futuros numa perspetiva de construir sobre o trabalho desenvolvido, ou para melhorar outros setores da fábrica que possam estar a necessitar.

## 2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo apresentam-se os fundamentos teóricos que nortearam o projeto. Após uma contextualização histórica do *lean manufacturing* são expostos vários conceitos e ferramentas *lean*, assim como conceitos relacionados com a logística interna, estudo dos métodos e tempos e classificação e desenho de *layouts*.

### 2.1 O Lean Manufacturing como evolução do Toyota Production System

No rescaldo da Segunda Guerra Mundial, o Japão, uma das nações derrotadas, encontrava-se numa situação de grande fragilidade, tendo sofrido grandes perdas materiais e humanas. Com a economia devastada e o tecido industrial a precisar de ser reabilitado, os japoneses procuraram respostas estudando o que se fazia nos Estados Unidos da América.

Foi para esse efeito que Eiji Toyoda, da *Toyota Motor Corporation*, visitou a fábrica da *Ford* em Detroit por um período de três meses. À data, essa era a maior fábrica automóvel a nível mundial e um presumível exemplo a seguir para todo o sector. Contudo, a elevada quantidade de *stocks* e de produtos a requerer reparação no fim da linha não eram compatíveis com a visão de Toyoda (Modig e Åhlström, 2012). Esta constatação pode no entanto ser um reescrever da história *a posteriori*, dando um maior peso a questões que não eram as mais determinantes na altura. O que aconteceu pode ter sido apenas fruto da adaptação da *Toyota* a um contexto muito específico. O mercado japonês era mais pequeno do que o americano e exigia uma grande variedade de modelos. Faltava capital para investir em *stocks*. Foi neste contexto que Eiji Toyoda, em conjunto com Taichii Ohno, lançou as bases para um sistema de produção mais flexível.

A escassez de recursos no contexto do pós-guerra forçou a *Toyota* a desenvolver um sistema de produção orientado para a eficiência do fluxo e a focar-se nas necessidades dos clientes. O objetivo era maximizar a eficiência do fluxo de modo a que fosse adicionado valor ao produto a maior parte do tempo possível, desde a sua encomenda até à entrega e pagamento. Foi o sistema de produção da *Toyota* que os ocidentais denominaram como *lean* (Modig e Åhlström, 2012).

O termo “lean” foi cunhado por John F. Krafcik, do MIT, no seu artigo *Triumph of the Lean Production System* (1988). O conceito de *Lean Manufacturing* como filosofia transversal a uma organização ganhou forma pela mão de James Womack, Daniel Jones e Daniel Roos na sua obra de 1990, *The Machine That Changed The World*. O livro relata a evolução da indústria automóvel até então e apresenta um estudo comparativo entre as fábricas no Japão, EUA e Europa. Mais tarde foram definidos os cinco princípios do *Lean Manufacturing* (Womack e Jones, 2003):

- Definir valor do ponto de vista do cliente: definir exatamente o que quer o cliente, o que confere valor ao produto. Valor é tudo aquilo pelo qual o cliente está disposto a pagar;
- Mapear o fluxo de valor: analisar criticamente todas as atividades do processo produtivo, identificando as que contribuem para a criação de valor para o cliente, no seguimento do passo anterior. O objetivo é eliminar as atividades desnecessárias e reduzir ao máximo as que, não adicionando valor, são necessárias;
- Estabelecer um fluxo contínuo: os produtos devem fluir ao ritmo a que o cliente precisa deles, sem atrasos, interrupções ou sem acumular inventário desnecessariamente. Um fluxo contínuo pressupõe sincronismo entre os processos, conseguido através do nivelamento do trabalho;
- Produzir numa lógica *pull*: ajustar a produção com a procura para eliminar o inventário e o *Work in Progress* (WIP) ou material em processamento. A produção é “puxada” pelo cliente quando apenas na presença de um pedido deste é que se inicia o fabrico. A

sinalização para o fabrico decorre do fim para o princípio, isto é, cada processo “puxa” o que necessita do processo anterior;

- Procurar a perfeição: alinhar os objetivos de todos e envolver todos os colaboradores para continuar a melhorar os processos e a reduzir os desperdícios, estabelecendo na organização uma cultura transversal de melhoria contínua.

### O Toyota Production System

A filosofia *Lean* evoluiu, portanto, dos esforços visionários de Ohno, Toyoda e outros no desenvolvimento do *Toyota Production System* ou TPS. No telhado da casa *Toyota*, representada na Figura 4, encontra-se o objetivo de obter a máxima qualidade com a utilização mínima dos recursos. Para a persecução desse objetivo é necessária a estabilização das operações com base em diversas ferramentas, que constituem os alicerces da casa *Toyota*. É sobre estes alicerces que assentam os dois pilares TPS, que sustentam o telhado da casa. Todos estes conceitos serão abordados com maior ou menor detalhe em seguida.

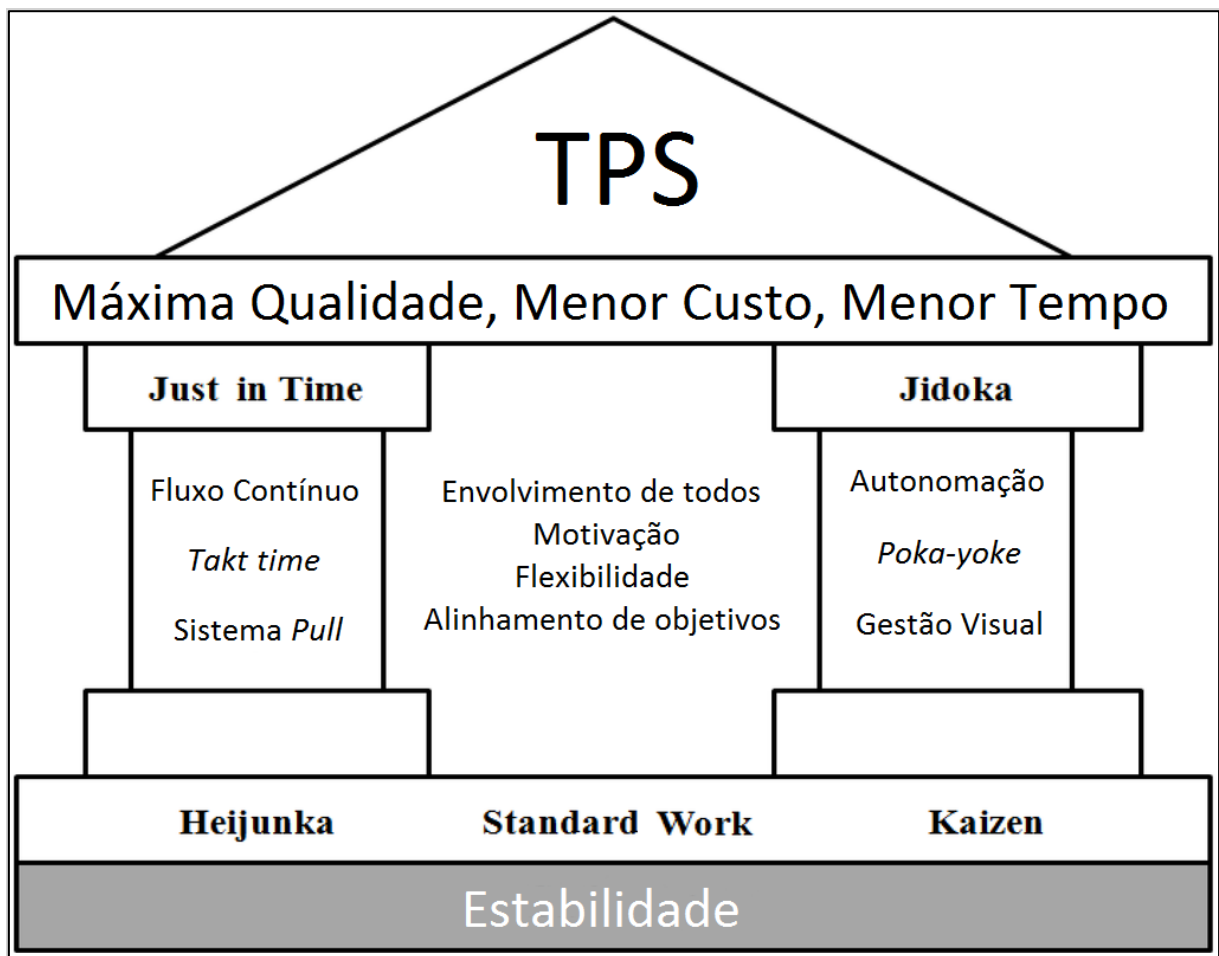


Figura 4 - Casa Toyota  
(adaptado de <https://www.lean.org/common/display/?o=1015>)

Os alicerces da casa *Toyota* são o *Heijunka*, o *standard work* e o *kaizen*.

*Heijunka* é o termo japonês para “produção nivelada”. Designa a estratégia de planeamento da produção que procura estabelecer uma sequência produtiva que garanta um fluxo contínuo no fabrico dos diferentes produtos. A produção de um *mix* de produtos com frequência diária permite responder às variações da procura (Jacobs e Chase, 2014), combatendo o efeito chicote relativo a flutuações crescentes da procura ao longo da cadeia de abastecimento.

O conceito de *standard work* ou trabalho estandardizado será abordado na secção 2.4.

*Kaizen* significa “melhoria contínua”. É a atitude de envolvimento de todos na procura constante da melhoria. Exprime o último princípio do *lean manufacturing* segundo Womack e Jones (2003).

O *Just-In-Time*, um dos pilares da casa TPS, baseia-se em produzir só o que é necessário, no momento e na quantidade necessária. (Suzaki, 2010). Pretende atingir um estado de fluidez na produção eliminando o inventário e produzindo apenas o que o cliente quer (Modig e Åhlström, 2012).

Os conceitos de fluxo contínuo e sistema *pull* já foram abordados nos cinco princípios do *Lean Manufacturing*. O conceito de *takt time* será abordado na secção 2.4.

O segundo pilar da casa TPS é a autonomação, ou *Jidoka*. “Autonomação” é um neologismo que incorpora “autonomia” e “automação”, e refere-se à automação com toque humano. Permite controlar a qualidade na fonte ao tornar os problemas visíveis. O operador pode parar assim a produção em caso de anomalia.

*Poka-yoke* significa “mecanismo anti-erro”, e a sua aplicação nas máquinas facilita o trabalho dos operadores ao mesmo tempo que evita defeitos.

O conceito de gestão visual será abordado na secção 2.5.

As empresas têm de se adaptar à mudança e ter flexibilidade para satisfazer os pedidos dos clientes. É necessário ter um sistema de produção focado na deteção e eliminação dos desperdícios (Womack e Jones, 2003).

## 2.2 Eliminar desperdícios

A eliminação de tudo o que é supérfluo ao processo é o principal objetivo de um sistema *Lean*. O que consome recursos mas não adiciona valor ao produto constitui desperdício, ou *Muda*. Os desperdícios devem portanto ser considerados como oportunidades para criar valor para uma organização. Os conceitos de *Mura* e *Muri* formam os 3M's (Figura 5) em conjunto com *Muda*, descrevendo más práticas que devem ser eliminadas. *Mura* refere-se à variabilidade, a processos irregulares ou inconsistentes. *Muri* refere-se à sobrecarga de equipamentos ou operadores além do recomendado pelas suas especificações e regras de gestão.

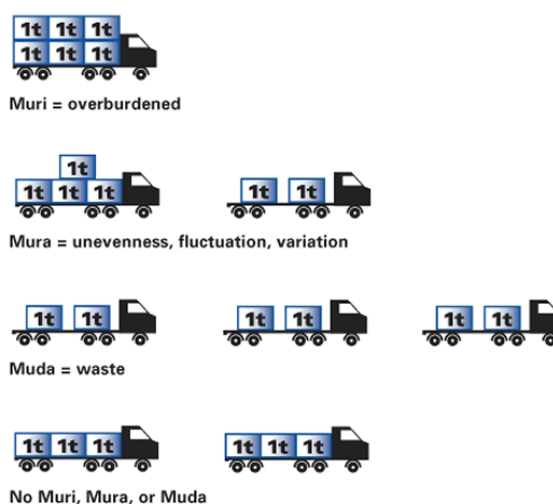


Figura 5 - Representação visual dos 3M's  
(retirado de <https://www.lean.org/lexicon/muda-mura-muri>)

## Os 7 desperdícios ou Muda

Taiichi Ohno (1988) classificou os desperdícios ou *Muda* em 7 categorias:

- Sobreprodução: produção de algo não necessário, no momento errado ou simplesmente numa quantidade superior à exigida, resultando em *stocks* de produto acabado que não podem ser vendidos de imediato já que foram produzidos para além da procura do mercado. Este poderá ser considerado o tipo de desperdício mais prejudicial pela sua transversalidade, com consequências ao nível do consumo de recursos de todo o tipo (mão de obra, máquinas, matéria-prima), o que por sua vez potencia os outros tipos de desperdício e aumenta os custos;
- Processamento em excesso: ocorre quando o processo não está bem pensado e otimizado. Surge sob a forma de operações redundantes que não acrescentam valor para o cliente;
- Transporte: prende-se com a movimentação de produtos. Um *layout* inadequado, fluxos de informação deficientes e processos dessincronizados podem aumentar a distância ou a frequência das transferências de matéria-prima, WIP ou produto terminado;
- Espera: verifica-se quando recursos como pessoas ou equipamentos ficam à espera desnecessariamente, devido a atrasos em processos, falta de outros recursos ou informação. É tempo inutilizado por falta de sincronismo entre processos e pessoas;
- Inventário: a presença de *stocks* implica ocupação de espaço e custos de posse, e revela falta de planeamento ou controlo das taxas de consumo dos recursos. O inventário em excesso ajuda a esconder outros problemas e desperdícios. Deve-se procurar o ponto de equilíbrio entre a redução deste desperdício e a prevenção de roturas no fornecimento;
- Movimentação: prende-se com a deslocação de pessoas. Os *layouts* devem diminuir o mais possível as distâncias nas deslocações e movimentos mais frequentes dos operadores de modo a minimizar este desperdício. Isto inclui os passos entre postos de trabalho mas também manuseamento de material e ferramentas, que devem estar perto do operador;
- Defeitos: o desperdício mais fácil de identificar, inclui sucata, peças que necessitam de retrabalho ou montagens de peças incompletas. A degradação da qualidade traduz-se no aumento dos custos de inspeção, reclamações de clientes e consumo inútil de matéria-prima, mão de obra e equipamento. Pode interromper o fluxo e obrigar à paragem dos processos a jusante, dado que as peças não podem ser fornecidas em condições.

Posteriormente foi considerada a adição de categorias de desperdício por outros autores: bens e serviços que não satisfazem as necessidades dos clientes (Womack e Jones, 2003) ou o subaproveitamento do potencial humano e das ideias dos colaboradores (Liker e Meier, 2005).

## 2.3 Metodologia 5S

O emprego desta metodologia tem como finalidade a formação dos colaboradores numa empresa no que concerne à eliminação dos desperdícios e más práticas, assim como à limpeza frequente e obtenção de um estado de organização das instalações, de modo a proporcionar um melhor ambiente de trabalho para todos. Esta metodologia, orientada para o chão de fábrica, pode ser incorporada na definição dos métodos de trabalho. O nome provém das iniciais das palavras japonesas que a estruturam: *Seiri* (Classificação), *Seiton* (Ordem), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Estandarização) e *Shitsuke* (Disciplina).

- *Seiri* (Classificação): O primeiro passo consiste em retirar do local de trabalho tudo o que não é necessário. É feita uma triagem consoante a frequência de utilização dos objetos. São eliminados ou movidos para outro local os objetos que não são úteis. Tudo o que não seja diretamente relevante ao processo de produção atual deve ser retirado do chão de fábrica (Willmott e McCarthy, 2000);

- *Seiton* (Ordem): Após a primeira fase de separação, tudo o que é relevante ao processo é organizado seguindo o critério da frequência de utilização. As ferramentas e materiais devem estar arrumados e devidamente identificados;
- *Seiso* (Limpeza): As duas fases anteriores resultaram num local de trabalho apenas com o material necessário e devidamente arrumado. Esta etapa consiste na sua limpeza cuidada. Um local de trabalho limpo permite uma identificação mais rápida dos problemas;
- *Seiketsu* (Estandarização): Esta fase baseia-se na normalização dos procedimentos dos três S iniciais. Criar normas de trabalho e implementar gestão visual ajuda na prática das tarefas diárias;
- *Shitsuke* (Disciplina): O último passo consiste em manter o que foi estabelecido para que estas práticas se tornem parte do quotidiano da empresa. Deverá ser implementado um sistema formal para monitorizar a aplicação desta metodologia, de modo a manter o foco na melhoria contínua a longo prazo.

## 2.4 Standard Work

O trabalho estandardizado é uma ferramenta *lean* que consiste em sistematizar um conjunto de regras e procedimentos para o trabalho a executar, eliminando a margem para o imprevisto e variabilidade ou *Mura*. Visa alcançar um procedimento normalizado com uma fluidez que permita que as tarefas sejam executadas com a máxima qualidade no mínimo tempo possível (Coimbra 2013).

Há 3 factores a ter em conta ao aplicar esta ferramenta:

- *Takt Time*, o período de tempo em que deve ser produzida uma unidade de produto para nivelar a produção com a procura. Este tempo é calculado dividindo o tempo de produção disponível pela procura, como se pode ver na Equação 2.1. O tempo de ciclo, que corresponde ao tempo entre a produção de duas unidades consecutivas, será idealmente aproximado ao valor do *Takt Time*;

$$TT = t / Qt \quad (2.1)$$

Onde:

TT, é o *Takt Time*, ou tempo para a produção de uma unidade,  
t, é o tempo disponível para produzir, e  
Qt, é a quantidade de peças a produzir, definida pela procura do cliente

- A sequência de tarefas específicas a realizar pelo operador no *takt time* definido para produzir uma unidade;
- Minimização do WIP - a norma de trabalho deve promover tanto quanto possível a minimização de inventário intermédio.

O *standard work* não é somente uma ferramenta que serve para as chefias exigirem aos operadores o seu cumprimento, mas sim para promover o envolvimento de todos no seu processo de desenvolvimento (Suzaki, 2010). Dada esta faceta iterativa de melhoramentos na sequência de operações, esta ferramenta é fulcral para a melhoria contínua (Berger, 1997).

Os benefícios da aplicação desta ferramenta passam pela redução da variabilidade produtiva, custos e desperdícios, assim como o aumento da produtividade, qualidade, facilidade de formação e envolvimento dos operadores.

## 2.5 Gestão Visual

A metodologia da gestão visual aproveita a capacidade do ser humano em absorver estímulos visuais para tornar os processos mais intuitivos e transparentes. É a base para outras ferramentas *lean* como os 5S ou o *standard work*, permitindo uma comunicação assertiva e eficaz.

No chão de fábrica, a gestão visual pode apresentar-se sob a forma de cartões *kanban*, silhuetas para arrumação de ferramentas, marcas no piso para definir espaços ou percursos, quadros de gestão, entre outros.

Simplificando a informação da normalização de tarefas, fluxos de material e espaços de arrumação aos olhos dos operadores, esta metodologia promove o aumento da sua produtividade (Liker, 2004) ao diminuir o desperdício associado a uma possível incerteza quanto ao que fazer ou como o fazer.

## 2.6 Kanban

*Kanban* é um conceito japonês que significa “cartão de instruções” ou “sinal”, sendo uma das ferramentas-chave desenvolvidas nas linhas produtivas da Toyota por Taiichi Ohno na década de 50. É o sistema de controlo de produção que permite materializar a filosofia *just-in-time* (Sugimori et al, 1977).

Visa controlar o fluxo de material e de informação no chão de fábrica, disciplinando a propensão de uma empresa em incorrer em sobreprodução, ao repor inventário apenas quando necessário através da comunicação por cartões. A mensagem segue para o processo ou ponto abastecedor a montante, que suprirá as necessidades de material a jusante. Isto permite produzir o que se quer na quantidade e instante pretendidos, numa lógica de cliente-fornecedor entre processos consecutivos.

De um modo geral, a informação presente nos cartões *kanban* (Figura 6) inclui a referência do material ou componente, a quantidade requerida, a linha de produção que deve ser abastecida e a localização do material no armazém ou ponto abastecedor.



Figura 6 - Exemplos de cartões *kanban*  
(Esquerda: retirado de <http://www.4lean.net/lean-tools/>; Direita: Ohno, 1988)

É necessário verificar as seguintes condições no procedimento produtivo de forma a assegurar o bom funcionamento de um sistema *kanban* (Takeda, 2006):

- Definição clara do fluxo de material;
- Redução das dimensões dos lotes;
- Tempo de ciclo e produção o mais constantes possível;
- Redução do tempo e distâncias para transporte do material;
- Redução do número de defeitos para valores próximos do zero entre etapas do processo produtivo;
- Definição da lógica cliente-fornecedor entre etapas do processo produtivo.

A implementação do sistema *kanban* traz benefícios ao nível da redução de custos com sobreprodução e logística; maior flexibilidade das células produtivas; redução do desperdício, refugo e níveis de inventário (Surendra et al, 1999).

## 2.7 Mizusumashi

*Mizusumashi*, termo japonês que significa “aranha-da-água”, é o nome dado ao comboio logístico interno que transporta os materiais ou ao operador logístico que controla esse mesmo comboio. A sua tarefa é abastecer as linhas de produção com os materiais necessários ao mesmo tempo que recolhe a informação necessária para o próximo abastecimento, percorrendo periodicamente rotas fixas ao longo do chão de fábrica. O intervalo de tempo entre um comboio e o seguinte deverá ser entre os vinte e os sessenta minutos (Coimbra, 2013).

O *mizusumashi* transporta material, componentes, WIP ou produto acabado passando pelo armazém, supermercados e bordos de linha. As rotas efetuadas incluem passagem pelos pontos importantes onde o operador logístico verifica as necessidades de material nos bordos de linha, assegurando que a produção não seja interrompida devido a faltas de material. Este sistema logístico assegura que o operador na linha consiga dedicar-se à montagem, sem se preocupar com a reposição dos materiais necessários à mesma.

Pinto (2009) listou as seguintes funções como sendo as principais do comboio logístico:

- Verificar e listar as necessidades no chão de fábrica com ajuda do sistema de *kanbans* ou das listas de *picking*;
- Recolher o material necessário para o abastecimento da produção no armazém;
- Fazer a reposição dos componentes nos bordos de linha;
- Fazer de intermediário entre um processo e o seu cliente, transportando WIP ou produto terminado;
- Recolher e descartar as caixas vazias ao longo do chão de fábrica.

A Figura 7 ilustra a grande diferença entre o comboio logístico e os empilhadores tradicionais, a capacidade. Enquanto que o empilhador apenas permite cargas menores, o comboio tem capacidade para transportar maiores quantidades ao puxar múltiplos vagões, não perdendo agilidade para passar em corredores estreitos dada a natureza da conexão entre vagões. Esta diferença de capacidade reflete-se no método seguido para traçar as rotas. O empilhador não consegue encadear os pontos de paragem de uma forma otimizada, efetuando várias viagens em vazio, enquanto que o comboio logístico faz transporte, recolha e entrega de materiais em vários pontos seguindo uma rota otimizada, sem passar duas vezes pelo mesmo ponto. Seguindo este conceito de *milk run*, consegue realizar várias tarefas em simultâneo. Outra vantagem advém do facto de permitir ao operador logístico conduzi-lo em pé, facilitando as paragens constantes onde o operador sai do comboio para colocar ou recolher caixas nos supermercados ou bordos de linha.

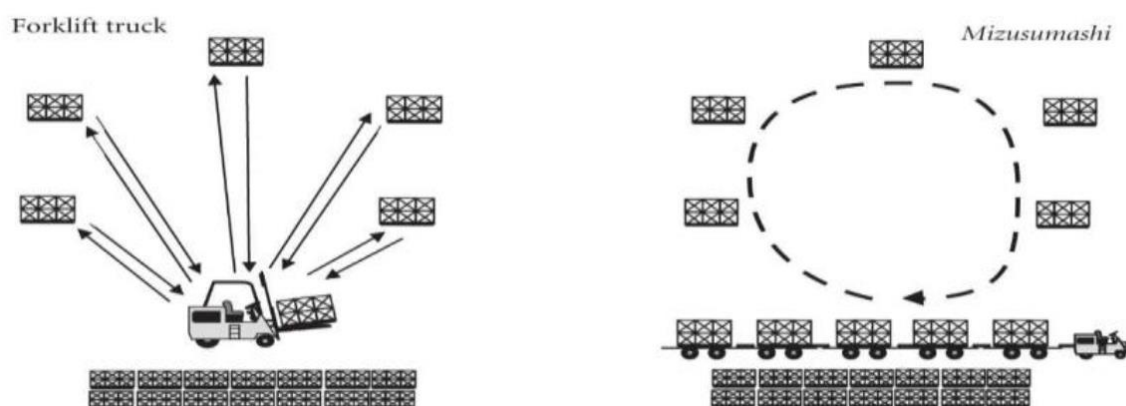


Figura 7 - Comparação entre o empilhador tradicional e o *Mizusumashi* (Coimbra, 2009)

O comboio logístico permite então transporte de maiores quantidades sem fazer tantas viagens em vazio e permitindo controlar o fluxo constantemente. A distância percorrida em vazio é o principal desperdício associado ao empilhador tradicional. O *mizusumashi* pode ser equiparado a um metropolitano, com rotas e horários predefinidos, rotineiro e com periodicidade curta, permitindo um abastecimento normalizado. Nesta analogia, o empilhador tradicional seria um táxi, movendo-se de forma menos assertiva, sem horários ou rotas e fazendo muitos troços dos percursos vazio (Pinto, 2009).

## 2.8 Bordo de Linha

O bordo de linha constitui um dos possíveis pontos de ligação entre a logística interna e a produção, ou seja, uma das estruturas onde a logística interna deposita de uma forma regular os materiais necessários à produção. Outro exemplo destes pontos de ligação são os supermercados. Estas estruturas são dimensionadas de modo a permitir um abastecimento normalizado, permitindo o controlo dos *stocks* e a aplicação do FIFO. A vantagem do bordo de linha é eliminar a necessidade do operador se ausentar da linha, reduzindo o *muda* de movimentação.

Numa organização que recorra ao sistema *mizusumashi*, o dimensionamento do bordo de linha é realizado considerando os consumos de material esperados entre cada viagem programada do comboio logístico, calculando a quantidade de caixas necessárias para cada componente, comportando também uma pequena folga para evitar faltas de material que obriguem à paragem da linha.

Simultaneamente, esta estrutura deve permitir um acesso rápido e ergonómico ao material por parte dos operadores. Para este efeito, os bordos de linha são geralmente colocados junto ao posto de trabalho específico onde o material vai ser consumido (Figura 8), criando um fluxo harmonioso na célula produtiva. A retirada manual do material deve ser feita na *Golden Zone*.

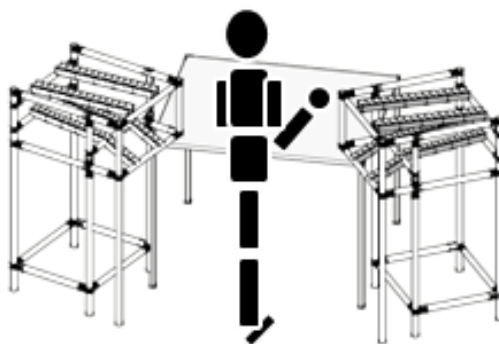


Figura 8 - Bordo de Linha  
(retirado de <http://www.4lean.net/lean-tools>)

A *Golden Zone* (Figura 9) é a área mais confortável e ergonómica para o operador trabalhar com base no que são os movimentos mais práticos e naturais para o corpo humano. Determinada em função da tipologia dos materiais em termos de peso e dimensões, usualmente esta zona situa-se na frente do operador e o seu raio é delimitado pelo comprimento do braço ligeiramente fletido. Se o operador trabalhar de pé, a altura de trabalho ideal é pela cintura, e os limites aceitáveis superior e inferior são respetivamente a altura dos ombros e dos joelhos.

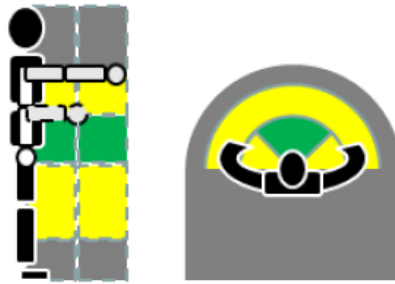


Figura 9 - *Golden Zone*  
(retirado de <http://www.4lean.net/lean-tools>)

## 2.9 Desenho de Layout

É crucial uma configuração ajustada do *layout* e fluxo de materiais para um funcionamento eficiente da produção fabril. Apple (1977) listou os aspectos seguintes como os objetivos mais importantes ao definir o *layout* de uma área produtiva:

- Facilitar o processo produtivo;
- Minimizar a movimentação de material;
- Manter flexibilidade na disposição dos postos e das operações;
- Manter alta rotatividade de WIP;
- Reduzir custos com equipamento;
- Promover utilização eficaz da mão-de-obra;
- Proporcionar um ambiente de trabalho conveniente, seguro e confortável.

## 2.10 Estudo dos tempos

O estudo direto dos tempos envolve a observação direta das operações utilizando um cronómetro para medir o tempo de duração das mesmas. Cada operação é dividida nos elementos que a constituem e cada elemento é medido separadamente (Groover, 2007). Jacobs e Chase (2014) listaram as seguintes regras para dividir as operações:

- Cada elemento deverá ter curta duração mas a suficiente para ser cronometrada, permitindo que o tempo seja anotado;
- Se o operador trabalhar com equipamentos que funcionem de forma independente, separar as acções do operador e dos equipamentos em diferentes elementos;
- Definir atrasos do operador ou equipamento enquanto elementos separados.

Outra metodologia de estudo dos tempos implica o uso de sistemas onde o tempo de duração dos movimentos é predeterminado. Nestes sistemas os movimentos básicos como alcançar, agarrar, mover e largar possuem uma duração predefinida e estão tabelados, consoante diversos parâmetros. Um destes sistemas é o *Methods-Time Measurement* (MTM), que pode ser usado para analisar o método para executar uma dada operação e estabelecer um tempo standardizado para a mesma. É um procedimento que analisa qualquer operação manual ou método nos movimentos básicos que os constituem e atribui a cada movimento um tempo normalizado predefinido que é determinado pela natureza do movimento e as condições nas quais é realizado (Groover, 2007).

Quando o sistema MTM é analisado de forma isolada, pode ser considerado uma mera tabela de tempos, e como tal não aumenta a produtividade. Contudo, a necessidade de detalhar a fundo as operações para o seu processo de análise permite a identificação de pequenos desperdícios que passariam despercebidos em outros processos de melhoria, e consequentemente o estudo de métodos e tempos proporciona uma base apropriada para a implementação de melhorias (Ferreira, 2009).

### 3 Descrição e análise da situação inicial

Este capítulo começa por descrever o processo produtivo dos tubos EGR de um modo geral, apresentando em seguida as células de montagem específicas ao projeto em maior detalhe.

#### 3.1 Processo produtivo dos tubos EGR

A fábrica trabalha em regime contínuo. É possível dividir a área produtiva em 3 zonas principais (Figura 10), que estão distribuídas pelas instalações fabris seguindo a lógica do processo:

- Zona de montagem intermédia;
- Zona de brasagem;
- Zona de montagem e controlo final.

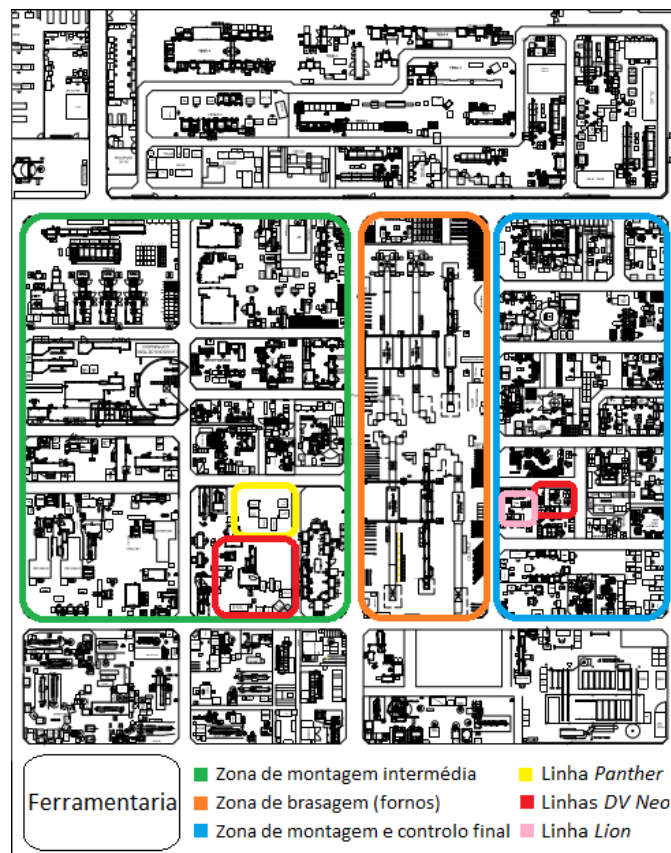


Figura 10 - Layout da área produtiva

Além destas zonas, estão também identificadas na Figura 10 as células específicas que foram alvo de estudo neste projeto, a célula *Panther*, a célula *Lion* e as células *DV Neo*.

Nas células de montagem intermédia decorre a conformação plástica dos tubos assim como a colocação de componentes nos mesmos, normalmente por cravação.

Além das células de montagem intermédia, a zona de montagem intermédia inclui ainda células preliminares que alimentam as células de montagem supracitadas. Se para determinadas referências o tubo chega já cortado à fábrica, para outras o processo inicia-se em células preliminares de corte de tubo. A maioria dos tubos sofre previamente um processo de hidroconformação para fazer um fole que aumente a capacidade do tubo EGR de absorver as vibrações. A secção do *hydroforming* encontra-se também na zona de montagem intermédia.

O processo de brasagem surge entre as células de montagem intermédia e as células de montagem e controlo final. Este processo térmico decorre na zona dos fornos. É aplicada uma

pasta ao longo do perímetro da união entre os componentes cravados e os tubos. Esta pasta tem uma temperatura de fusão inferior à do tubo e seus componentes. A junção dos mesmos fica concluída após a ida das peças ao forno, com fusão e posterior solidificação da pasta. A brasagem assegura o posicionamento devido dos componentes e a estanqueidade das peças.

A última etapa do processo produtivo decorre na zona de montagem e controlo final, com as peças estanques vindas do forno. Esta fase, além dos ensaios à geometria e estanqueidade, pode incluir também a montagem de mais componentes ou conformação plástica dos tubos.

O fluxo habitual dos tubos na planta produtiva encontra-se resumido na Figura 11.



Figura 11 - Fluxograma da produção de tubos EGR

O código de designação de cada célula possui uma letra que identifica o tipo de célula (prévias à montagem, tubos, *coolers*, válvulas) e um algarismo para indicar se a célula trabalha antes ou depois das peças irem ao forno, além do número específico a cada modelo.

### 3.2 Célula de montagem intermédia Panther

Esta célula de montagem produz tubos EGR para a *Ford*, mais concretamente para o modelo *Panther*.

Esta célula de montagem possui cinco máquinas onde é efetuada a cravação dos componentes específicos a cada referência, assim como operações de conformação por esmagamento e puncionamento. Encontra-se disposta num layout em “U”. A disposição das máquinas encontra-se na Figura 12. A intenção é a célula trabalhar o mais possível seguindo uma filosofia de *one-piece flow*.

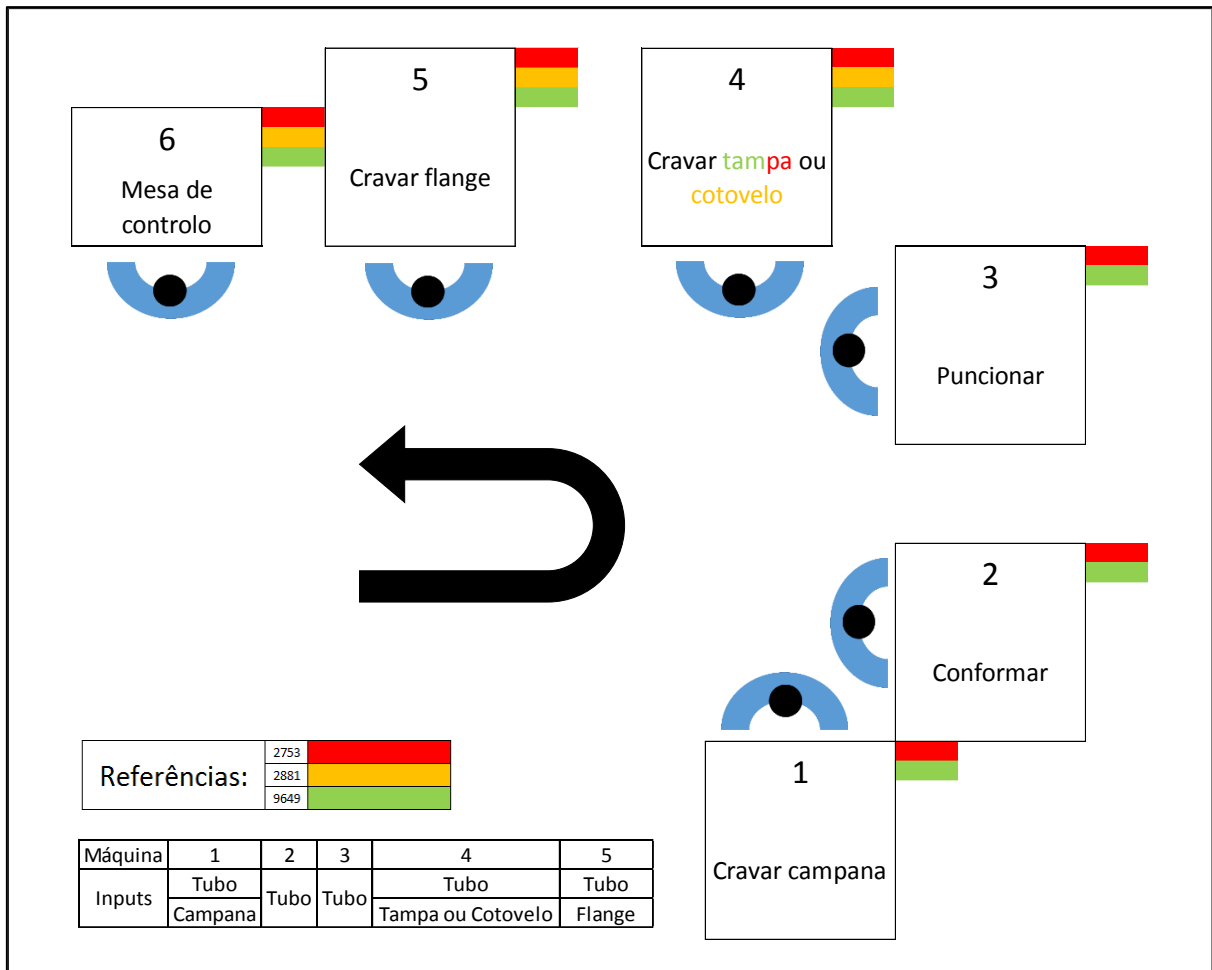


Figura 12 - Layout da célula intermédia Panther

Nesta célula são trabalhadas três referências distintas. A referência 2881 é trabalhada apenas nos três últimos postos. As referências 2753 e 9649 passam por todos os postos de trabalho.

### 3.2.1 Operações na célula Panther

**1-Cravar campana:** é cravada uma campana (Figura 13) no tubo.



Figura 13 - Campana

**2-Conformar:** o tubo é conformado em dois passos, com o avanço dos cabeçais inferior e superior (Figura 14) que o deixam com uma forma mais achatada na extremidade.



Figura 14 - Posto de conformação dos tubos *Panther*

**3-Puncionar:** são recortadas janelas no tubo por via de puncionamento.

**4-Cravar tampa ou cotovelo:** É cravada uma tampa (Figura 15) na ponta amolgada do tubo, ou é cravado um cotovelo (Figura 15) no caso da referência 2881, que só começa a ser trabalhada neste posto.

**5-Cravar flange:** é cravada uma flange (Figura 15) no tubo.



Figura 15 - Tampa (à esquerda), cotovelo (ao centro) e flange (à direita)

**6-Controlar:** Neste último posto é realizado o controlo a cinco peças por hora. Primeiramente é feita uma verificação visual ao aspeto da peça, com o objetivo de encontrar golpes, deformações ou rebarbas. Em seguida é feito o controlo de geometria através da montagem da peça numa maquete de controlo, com verificação de planicidades, posições e ângulos dos componentes. A documentação de registo relativa à célula encontra-se neste local, incluindo cadernos de registo de produção e gamas de operação, controlo e embalagem.

A célula encontrava-se em processo de industrialização, limitando-se à produção de pequenos volumes. No total das três referências foram produzidos 97.454 tubos em 2018. Prevê-se um aumento muito significativo da produção após este período de *ramp-up*. O objetivo é produzir 257.097 tubos em 2019 e 390.239 tubos em 2020, sendo esta a produção anual máxima prevista. As quantidades vão reduzindo ligeiramente a partir de então até ao fim de vida programado para o ano 2024. Os volumes previstos para 2020 são aproximadamente o quádruplo do volume produtivo em 2018. Este aumento de 300,43% implicou um estudo à capacidade da linha para confirmar se será possível cumprir com a procura, e em caso afirmativo, em que condições. A fábrica trabalha em três turnos e, por indicação do *Product Leader*, procurou-se projetar a produção para dois turnos, libertando o turno restante para eventuais novos projetos.

### 3.2.2 Aspetos a melhorar na célula Panther

A célula *Panther* não tinha ainda um método de trabalho definido. Além da inexistência de trabalho standardizado, não havia dados sobre os tempos de operação da célula, pelo que o número de operadores necessários era estimado de forma pouco precisa, faltando calcular a carga de trabalho para o *takt time* imposto pela procura.

Não estava ainda definida a organização do espaço na célula. Os postos de trabalho não estavam devidamente identificados. Verificaram-se posições inconstantes para as caixas de retrabalho, sucata ou inventário intermédio. Não havia bordos de linha para alimentação do material por parte do operador da logística interna. As caixas com material eram pousadas desordenadamente na célula ou eram os próprios operadores a ir buscar um determinado componente longe da célula. A título de exemplo, as tampas consumidas no posto 4 eram recolhidas numa célula contígua. Quando necessário, o operador deslocava-se por entre as máquinas até ao funil onde são colocadas as tampas na célula vizinha, enchendo aí uma caixa plástica com estes pequenos componentes. Em seguida voltava ao posto de trabalho, pousando a caixa na máquina.

O corredor nas traseiras das máquinas 4 e 5 (Figura 16) estava ocupado com caixas de outro modelo que impedem a alimentação de material por parte do comboio logístico. Esta situação não se pode verificar após a colocação do bordo de linha entre estas máquinas.



Figura 16 - Corredor ocupado que impede alimentação entre máquinas 4 e 5

O carro com as mordaças e cabeçais das diferentes referências fica dentro da própria célula pois não há mais espaço na ferramentaria (Figura 17). Como se pode verificar na Figura 18, este carro encontrava-se desarrumado e com caixas cuja proveniência era incerta, algumas contendo apenas lixo ou sucata. Os cabeçais estão marcados com diferentes cores consoante a sua colocação, os cabeçais superiores a verde e os inferiores a vermelho. Contudo, não há um código de cores para indicar a referência e posto específicos a cada ferramenta, o que atrasa as trocas de referência chegando inclusive a verificar-se a montagem das ferramentas erradas em alguns postos da célula.

O maior problema desta célula são as paragens frequentes das operações por falta de flanges. Este problema é partilhado por outras duas células, uma das quais é a célula *DV Neo* que será tratada em seguida. Por esta razão, o problema será descrito ao pormenor na secção 3.3.2.



Figura 17 - Carro com ferramentas para troca de referência *Panther*



Figura 18 - Desarrumação e lixo no carro com ferramentas para troca de referência *Panther*

### **Ergonomia na troca de ferramenta *Panther***

A operação de troca de ferramenta apresenta um problema de ergonomia. As mordças são muito pesadas, em especial as da referência 2881, pelo que a sua colocação e retirada exigem um esforço físico excessivo, problema de segurança que se agrava caso a operação seja realizada por um operador menos robusto fisicamente.

Para piorar a situação, a posição de fixação da ferramenta não se encontra perto da borda da máquina o que não permite levantar o peso junto ao corpo (Figura 19). Além disso, os quatro centradores que fixam a mordça em baixo obrigam sempre a esforço físico aquando da sua retirada já que há movimentação vertical de baixo para cima.

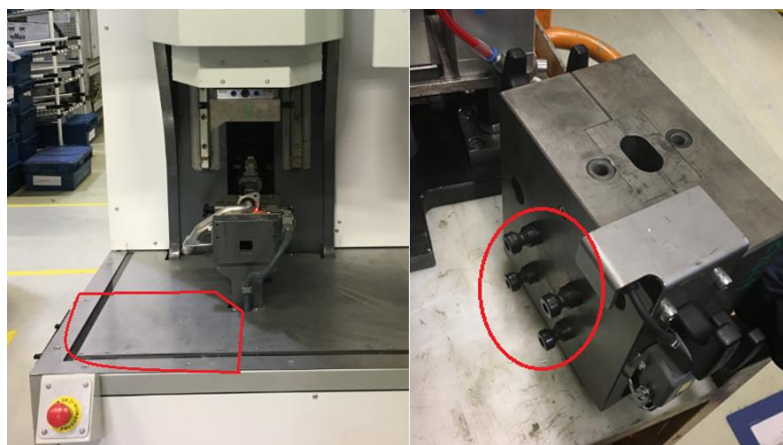


Figura 19 - Posição e *design* da mordça 2881

### **3.3 Célula de montagem intermédia DV Neo**

Esta célula de tubos EGR também produz para a *Ford*, modelo *DV Neo*.

A célula de montagem possui oito máquinas onde é efetuada a dobração dos tubos, a cravação dos componentes respetivos a cada referência e também operações de corte, expansão e lavagem. O *layout* pode ser visto na Figura 20.

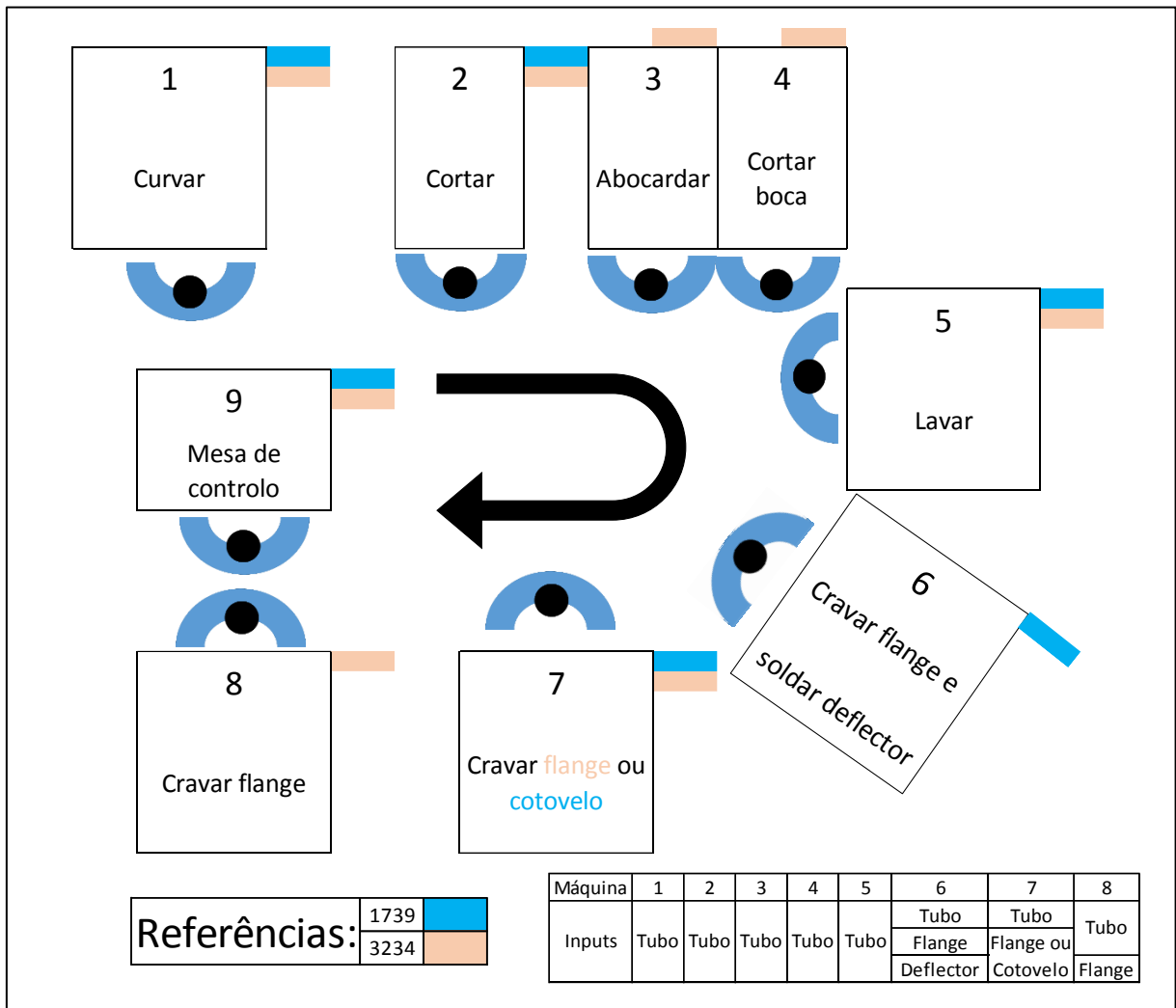


Figura 20 - Layout da célula de montagem intermédia DV Neo

Nesta célula são trabalhadas duas referências. A referência 1739 não passa nos postos de conformação, expansão e cravação de flange (3, 4 e 8). A referência 3234 é trabalhada em todos os postos exceto na máquina 6-Cravar flange e soldar deflector.

### 3.3.1 Operações na célula intermédia DV Neo

**1-Curvar:** o tubo é dobrado duas vezes na máquina curvadora (Figura 21), ficando curvado nas extremidades.



Figura 21 - Máquina curvadora

**2-Cortar:** o tubo é cortado nas duas extremidades.

**3-Abocardar:** uma das extremidades é expandida através de repetidos avanços e recuos da bala que abre a boca do tubo. É aplicada uma quantidade considerável de óleo nesta operação para evitar a rotura do material.

**4-Cortar boca do tubo:** é cortada a extremidade expandida na etapa anterior.

**5-Lavar:** os tubos são colocados num cesto metálico (Figura 22) até encher. O cesto é então introduzido na lavadora (Figura 22) onde é retirado o óleo remanescente de processos anteriores.



Figura 22 - Lavadora e cesto metálico utilizado

**6-Cravar flange e soldar deflector:** é cravada uma flange e soldado um deflector (Figura 23) na ponta do tubo.



Figura 23 - Deflector

**7-Cravar flange ou cravar cotovelo:** é cravada uma flange ou um cotovelo, consoante a referência.

**8-Cravar flange:** é cravada outra flange.

**9-Controlar.**

A necessidade de lavar os tubos nesta célula impede a aplicação de *one-piece flow*. A lavagem é iniciada quando o cesto está cheio, esta etapa não pode ser realizada peça a peça. Uma caixa com dezenas de tubos é produzida e passada para a operação seguinte. Este aspeto obriga a alguns ajustes no estudo dos tempos de operação.

À semelhança do modelo *Panther*, também para o modelo *DV Neo* se prevê um aumento substancial da produção nos próximos anos, aumento esse na ordem dos 179% na quantidade de tubos a produzir no ano de 2019 quando comparado com o ano de 2018 (342.000 vs 122.500 tubos, respetivamente).

### 3.3.2 Aspetos a melhorar na célula intermédia DV Neo

Os problemas de organização e da falta de trabalho estandardizado encontrados na célula *Panther* repetem-se nesta célula, nomeadamente a indefinição quanto a espaços, com posições inconstantes para as caixas de retrabalho, sucata ou inventário intermédio. Também faltam bordos de linha adequados para a alimentação dos componentes por parte da logística interna. A máquina no posto 6 poderia ter um recipiente para armazenar os deflectores, que são componentes de dimensões bastante reduzidas, à mão do operador. A placa que identifica a célula ainda apresenta a designação antiga.

As gamas de controlo estabelecem um controlo a cinco peças por hora. Contudo, o controlo está a ser feito à totalidade das peças da referência 1739 desde o primeiro trimestre de 2018. Havia um elevado número de peças não conformes que iam para a sucata por problemas na ponta do tubo (Figura 24) onde é colocado o deflector.



Figura 24 - Zona do tubo 1739 com elevada frequência de não-conformidades

### Falta de flanges passadas no forno

A célula pára frequentemente devido à falta de flanges que são necessárias às duas referências. Faltam flanges no posto 6 para a referência 1739 e nos postos 7 e 8 para a referência 3234. A causa para a falta deste componente prende-se em específico com o facto de as flanges terem de passar no forno (Figura 25) antes de serem cravadas no tubo. Foram apontadas duas razões para este procedimento:

- Necessidade de eliminar impurezas que trariam problemas quando expostas à pasta aplicada no processo de brasagem, dado reagirem quimicamente.
- A pasta aplicada no processo de brasagem para unir os componentes não escorria entre a flange e o tubo, e sendo aplicada de um lado específico é necessário ocorrer escorrimento para fixar devidamente o componente.

Dos vários testes realizados, o tratamento prévio das flanges no forno foi o único que solucionou o problema, como tal esta etapa foi adicionada ao processo produtivo. A explicação indicada como provável para o aparecimento destes problemas é a limpeza às flanges realizada pelo fornecedor. O tratamento é efetuado recorrendo a esferas de alumínio. Os vestígios de alumínio remanescentes nas flanges poderiam explicar os problemas encontrados.



Figura 25 - Flanges à saída do tratamento no forno

A adição desta etapa ao processo, justificada com a minimização do retrabalho e prevenção de defeitos graves, traduz-se num problema de logística de abastecimento.

Não havia locais definidos para a colocação das flanges, tanto à entrada como à saída do forno. As caixas de cartão das flanges eram deixadas num carrinho perto da entrada do forno, atrás de uma coluna e entre outras caixas de peças prontas a ir ao forno, como se pode ver pela Figura 26. As caixas com as flanges já tratadas no forno eram colocadas aleatoriamente num carro à saída do mesmo, não havendo preocupação em colocar apenas caixas da mesma referência de flanges em cada nível do carro ou qualquer método para indicar qual das caixas estava há mais tempo no carro. Este facto não permitia a aplicação do FIFO para estes componentes. Não havendo etiquetas para cada uma das três referências em níveis diferentes do carro, perde-se tempo a identificar qual a caixa específica a retirar.



Figura 26 - Flanges em caixas de cartão, à entrada e à saída do forno

Não está definida uma rota periódica para o transporte destas flanges do forno para as células. Importa referir que este problema estende-se a duas outras células produtivas, sendo uma delas a célula *Panther* como foi previamente mencionado, mas naturalmente ocorreu menos vezes por a célula ser mais recente e passar longos períodos inativa. Optou-se por não quantificar os tempos de paragem devido a este problema, por não ser possível fazê-lo de forma consistente. Se por vezes os operadores procuravam por diversos pontos da fábrica pelas flanges em falta para retomar a produção, a maior parte das vezes a produção foi simplesmente cancelada para o resto do dia, sendo retomada numa data posterior. Os baixos volumes de produção permitem este comportamento, mas a situação tornar-se-á insustentável com o aumento dos volumes pelo que urge resolver este problema. Algumas das ocorrências deste problema poderão ser vistas no Anexo A.

É necessário estabilizar este processo, definindo local para o armazenamento das flanges antes e depois do forno, assim como as rotas para o transporte das mesmas para as linhas, coordenando a logística interna com a produção e com o forno.

#### **Falta de material lavado**

O aparecimento de peças da referência 3234 mal lavadas nas últimas etapas do processo levou a que as peças passassem a ser transportadas da lavadora da célula até à lavadora geral para uma segunda lavagem, para assegurar que o óleo acumulado na curvadora e na máquina que expande a boca do tubo fosse completamente removido.

### **3.4 Célula de montagem e controlo final DV Neo**

Após o processo de brasagem, os tubos *DV Neo* são transportados para a célula final *DV Neo*.

Esta célula possui sete postos, sendo que dois são iguais pois a colocação de braçadeiras foi considerada um *bottleneck* muito acentuado. Tem uma máquina para curvar o fole dos tubos, vários postos de controlo e para operações manuais. O *layout* desta célula encontra-se na Figura 27.

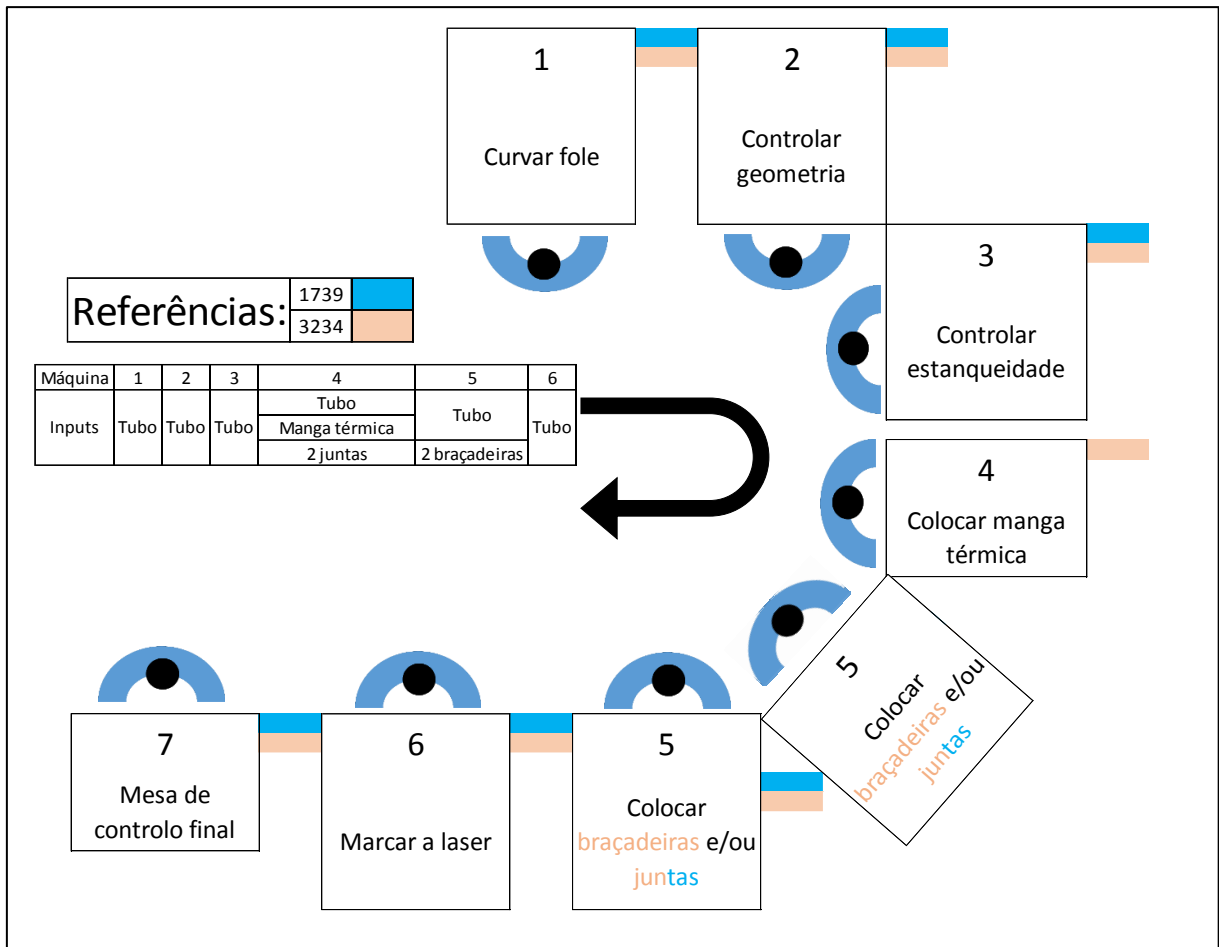


Figura 27 - Layout da célula final DV Neo

### 3.4.1 Operações na célula final DV Neo

**1-Curvar fole:** o tubo é curvado na zona do fole. No caso da referência 3234, o operador tem de premir o botão duas vezes: uma para curvar o tubo, e outra vez após retirar o tubo curvado para a máquina voltar à posição inicial, permitindo colocar outro tubo.

**2-Controlar geometria:** é efetuado o controlo de geometria na maquete de controlo.

**3-Controlar estanqueidade:** é efetuado o controlo a eventuais fugas no tubo. Este controlo é realizado numa máquina que injeta ar comprimido no tubo, medindo então a queda de pressão entre este e um volume de controlo.

**4-Colocar manga:** é expandida uma manga de resistência térmica e colocada à volta de um suporte. O tubo é encaixado na ponta do suporte, e a manga é puxada para cima ficando assim a envolver o tubo.

**5-Colocar braçadeiras e juntas:** são colocadas duas braçadeiras (Figura 28), uma em cada ponta, para fixar a manga de resistência térmica. Esta operação requer maior destreza manual do que as restantes. No final são colocadas juntas em uma ou em ambas as extremidades do tubo, consoante a referência.



Figura 28 - Mangas de resistência térmica (à esquerda), junta (ao centro) e braçadeira (à direita)

**6-Marcar a laser:** é feita uma marca no tubo.

**7-Revisão final:** a gama de ajuste requer a marcação a caneta das braçadeiras, e das faces das flanges.

Nesta célula são trabalhadas as mesmas duas referências da célula pré-brasagem. A referência 1739 não possui manga de resistência térmica, pelo que entre o posto 3 e o posto 6 apenas são colocadas as juntas. A referência 3234 passa por todos os postos da célula.

O trabalho manual de colocação das braçadeiras é demorado e constituía o *bottleneck* destacado desta célula, por essa razão a célula possui dois postos iguais para a colocação das mesmas.

### 3.4.2 Aspetos a melhorar na célula final DV Neo

À semelhança das anteriores, esta célula não apresenta um método de trabalho definido. A placa que identifica a célula, à semelhança do que se passa na célula DV Neo anterior ao processo de brasagem, ainda apresenta a designação antiga.

A célula é alimentada pelos operadores e não pela logística. Isto acontece porque os componentes necessários nesta célula são de reduzidas dimensões e uma só caixa armazena uma elevada quantidade dos mesmos. A alimentação da célula exigiria também a entrada do responsável logístico na mesma ou por corredores estreitos e não sinalizados entre outras células, terminando na traseira da máquinas. Aí existem funis para a alimentação das braçadeiras mas o acesso é desadequado (Figura 29).

Após a marcação *laser* no posto 6, os tubos são colocados em bandejas e pousados num carro entre o posto 6 e o posto 7. Na revisão final o operador retira os tubos da bandeja um a um para fazer as marcações a caneta e volta a colocá-los na bandeja que no final será colocada na caixa para enviar ao cliente. Esta interação dupla com as bandejas tem como consequência um aumento dos lapsos do operador, que frequentemente embala tubos sem fazer as marcações exigidas pelo cliente como consta da gama de controlo.

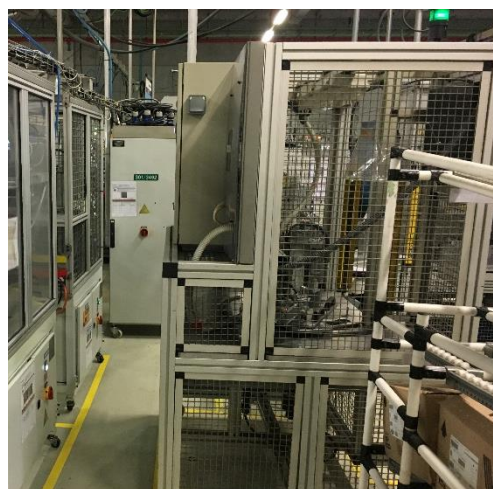


Figura 29 - Acesso muito estreito para as traseiras da célula DV Neo

### 3.5 Célula de montagem e controlo final Lion

Esta célula de montagem, vizinha da célula final DV Neo, também produz tubos EGR para a Ford, mais concretamente para o modelo Lion. Ao contrário das outras células deste projeto, mais recentes, esta apresenta uma tendência para a diminuição dos volumes de produção. A célula produz sete referências e o método de trabalho definido prevê três operadores.

Os postos presentes nesta célula são essencialmente os mesmos da célula final *DV Neo*, como se pode observar pelo *layout* na Figura 30. Por esta razão não serão listadas as operações de produção. Surgiu a oportunidade de alterar o *layout* desta célula de modo a melhorar o fluxo de trabalho na mesma e ao mesmo tempo criar um corredor para abastecimento da célula final *DV Neo*. O *layout* é confuso e não cumpre com regras *lean*, requisitos da fábrica e inclusive regras de segurança. O espaço está mal aproveitado e há elementos supérfluos na célula. O trabalho na célula decorre com três operadores, o primeiro nos postos 1, 2, 3, o segundo nos postos 4 e 5 e o terceiro operador faz o controlo final no último posto.

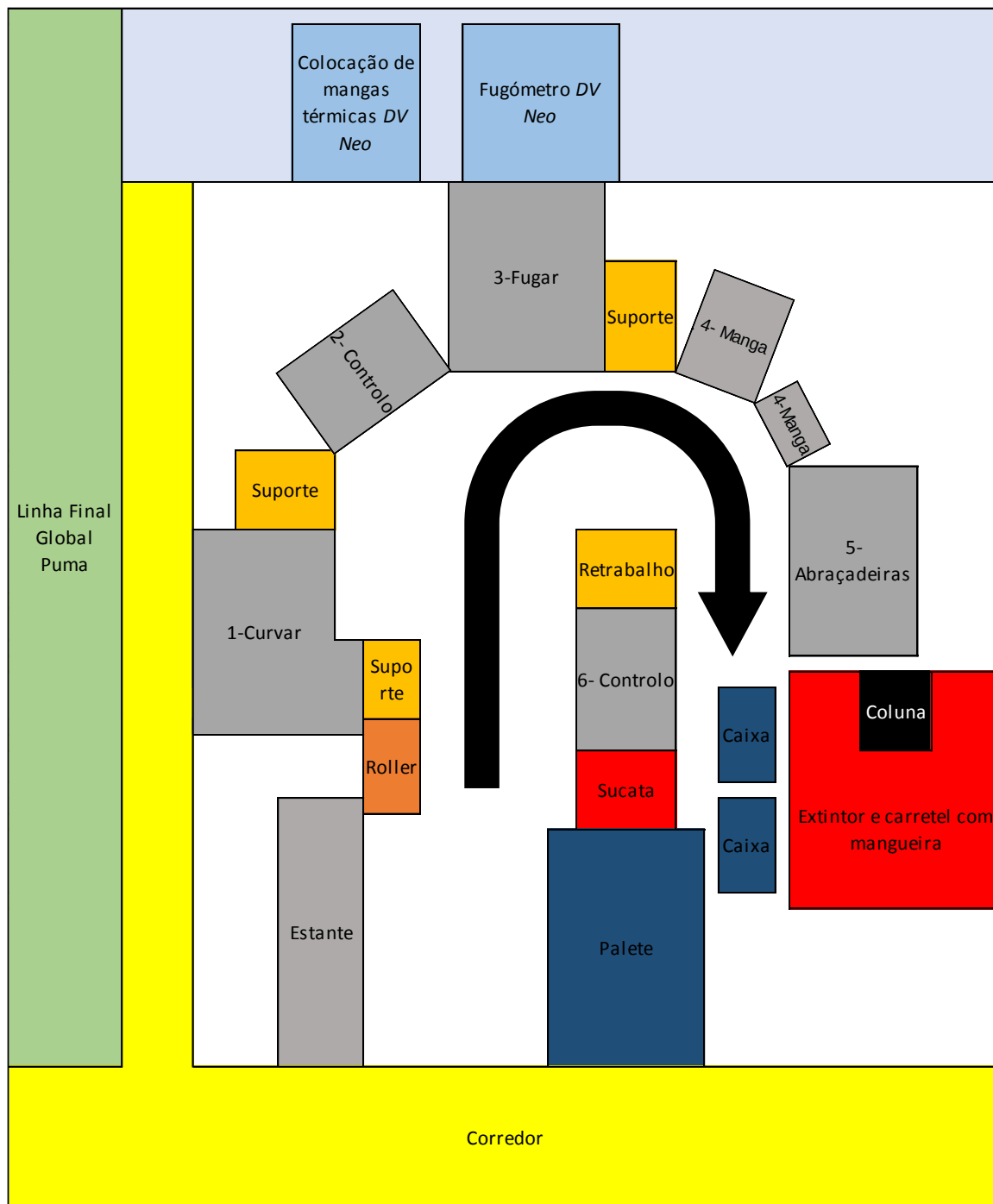


Figura 30 - Layout da célula final Lion

A estante presente junto ao corredor e ao primeiro posto, onde a logística interna deposita os componentes necessários à produção, está desajustada ao tipo de caixas onde chega o material como se pode ver assinalado na Figura 31. As caixas são colocadas junto ao corrimão que circunda o extintor, o que viola as regras de segurança da empresa.



Figura 31 - Estante desajustada ao tipo de caixas e margem de segurança para o extintor não respeitada

### 3.6 Volumes de produção futura

Foram requeridos os dados mais recentes referentes aos volumes de produção das células do projeto em processo de industrialização. Recolheram-se os valores previstos nos três projetos *Panther* (Tabela 1) e nos dois projetos *DV Neo* (Tabela 2) para os anos seguintes. Com estes dados, foi calculado o *takt time* para ambos os modelos, em cada ano. De referir que há perspectivas de lançar novos projetos na célula *Panther*. Os dados refletem um aumento muito significativo dos volumes de produção para anos seguintes, o normal para produções recentes.

Tabela 1 - Volumes previstos de produção *Panther*

| Referência | Projeto                                   | 2018   | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    | 2023    |
|------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2753       | Panther Pass Car EGR tube: Low Inertia HP | 30 537 | 92 197  | 144 255 | 137 605 | 131 016 | 120 700 |
| 2881       | Panther Pass Car, Low Inertia, LP Circuit | 54 369 | 142 395 | 224 825 | 193 629 | 171 100 | 168 882 |
| 9649       | Panther High Inertia HP EGR tube          | 12 548 | 22 505  | 21 159  | 17 576  | 22 262  | 2 020   |

Tabela 2 - Volumes previstos de produção *DV Neo*

| Referência | Projeto                       | 2018   | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    | 2023    |
|------------|-------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1739       | DV Neo High Pressure EGR Tube | 70 000 | 171 000 | 170 450 | 158 423 | 151 742 | 151 742 |
| 3234       | DV Neo Low Pressure EGR tube  | 52 500 | 171 000 | 170 450 | 158 423 | 151 742 | 151 742 |

### 3.7 Comboio Logístico

O *mizusumashi* percorre vários tipos de rota na área fabril: rotas de montagem (Figura 32), referentes ao abastecimento dos componentes que serão adicionados aos tubos na área de montagem intermédia; rotas de montagem WIP, referentes ao WIP na área de montagem intermédia, transportando por exemplo os tubos lavados da lavadora até à célula de destino; rotas pós-brasagem, referentes ao abastecimento dos componentes que serão adicionados aos tubos na área de montagem e controlo final; rotas de produto terminado, recolhendo os produtos terminados na zona de montagem e controlo final.

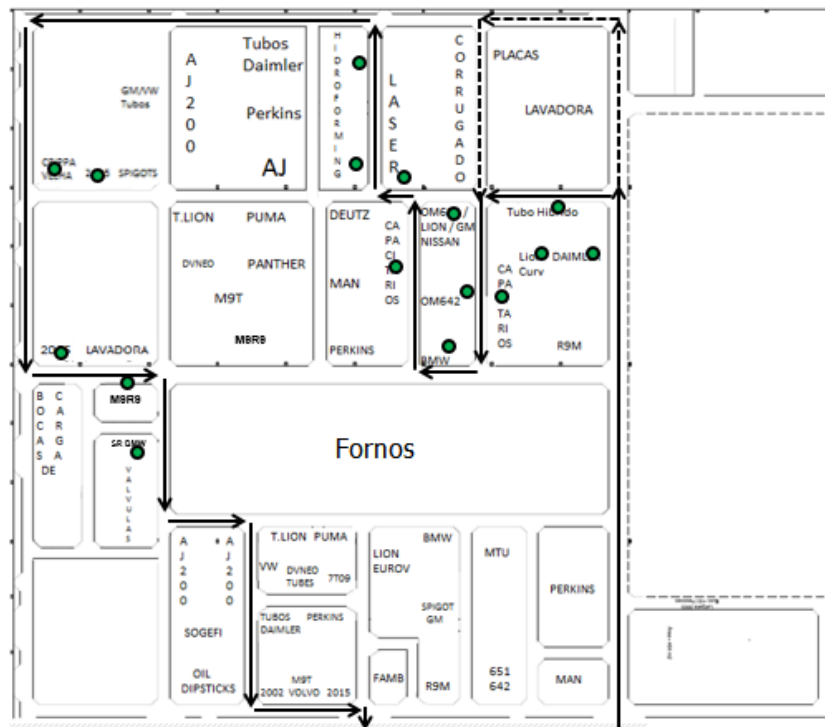


Figura 32 - Uma das rotas do comboio logístico na zona de montagem intermédia (Rota de Montagem 1)

As rotas de montagem intermédia, mais relevantes ao projeto, são percorridas pelo comboio logístico a cada trinta minutos. As referências dos componentes seguem um código de cores visível nos cartões *kanban* (Figura 33) e nas etiquetas presentes nos bordos de linha (Figura 34), código esse referente à rotatividade dos componentes. Existem referências de cor verde, amarela e rosa. As referências de cor verde são as de maior rotatividade e encontram-se sempre presentes no comboio em carruagens predefinidas, sendo que estas referências não possuem sequer cartão *kanban*. As referências de cor amarela apresentam menor rotatividade e as referências de cor rosa são utilizadas para casos de componentes com baixa frequência mas elevada rotatividade, isto é, para peças que raramente são produzidas mas que quando o são consomem material a um ritmo elevado dada a cadência de produção.

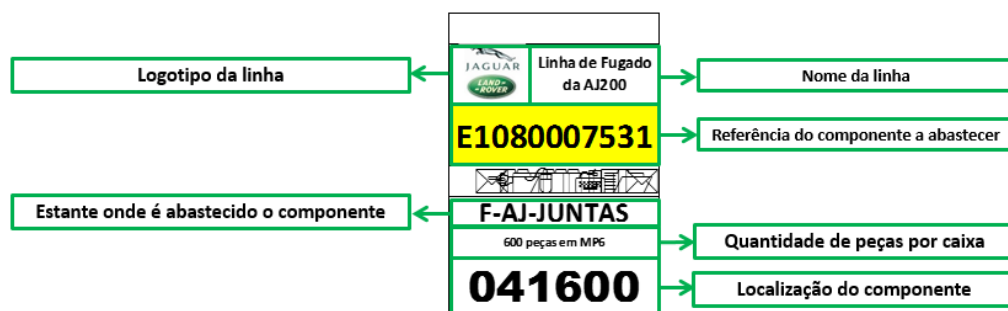


Figura 33 - Exemplo de cartão *kanban* usado pela logística interna

Ao percorrer a rota, além de abastecer o material que transporta, o operador do comboio recolhe os cartões *kanban* dos componentes em falta para saber o material a recolher na fase de *picking* posterior no armazém. O *mizusumashi* recolhe também as caixas vazias. Uma vez de volta ao armazém, fará o *picking* consoante os cartões que trouxe ao percorrer a rota e as referências de cor verde que foram retiradas do comboio. No ciclo seguinte irá devolver os cartões *kanban* ao abastecer os bordos de linha e outros pontos abastecedores com os componentes respetivos.

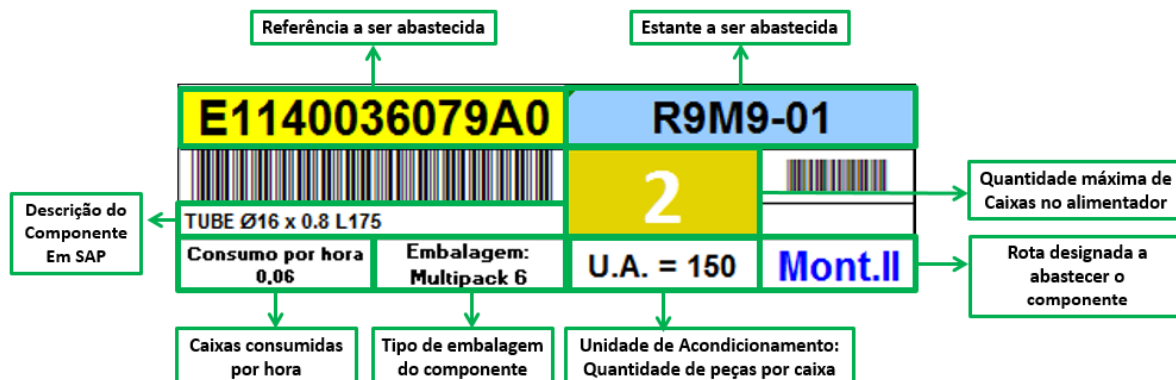


Figura 34 - Exemplo de etiqueta colocada nas estantes ou bordos de linha

### 3.8 Ferramentaria

Como foi possível observar na Figura 10, a ferramentaria encontra-se a um canto da área produtiva. Uma posição tão descentralizada implica elevados tempos de deslocação para praticamente todas as células da fábrica, aquando do processo de troca de referência. É o próprio operador quem está encarregue de levar o cartão *kanban* de requisição de ferramenta (Figura 35) à ferramentaria, onde se encontra um operador dedicado a qualquer altura do dia que recolhe as ferramentas e gere o sistema informatizado.

O cartão é deixado com antecedência de modo a serem recolhidos das estantes da ferramentaria todos os utensílios e ferramentas necessárias à troca de referência. Normalmente estas são *gabarits* de corte e de geometria, mordças e cabeçais para as operações de curvar, cravação, corte e soldadura. Chegada a hora da troca de referência, o operador da célula vai à ferramentaria, onde tem à sua espera o carro com as ferramentas que requereu.

No caso das células que não possuem ainda cartões de requisição de ferramentas, é utilizada a folha de requisição também presente na Figura 35, que obriga ao preenchimento manual da parte do operador. Por essa razão os cartões informatizados agilizam bastante o processo.



Figura 35 - Cartão de requisição de ferramentas

## 4 Soluções propostas

### 4.1 Estudo dos tempos

Foi realizado um estudo dos tempos no chão de fábrica para definir os processos, sendo contabilizados os tempos de cada operação recorrendo a um cronómetro. Este estudo foi realizado tanto no turno da manhã como no turno da tarde. Anotaram-se os “tempos máquina” e os “tempos homem”, estes últimos incluindo tempos de carga e descarga dos componentes nas máquinas ou tempos de trabalho manual, assim como tempos de deslocação entre postos. O tempo para completar uma operação é influenciado pela destreza, experiência e disposição de cada operador. Dada a maior variabilidade de valores nos “tempos homem”, procurou-se recolher amostras maiores neste caso para obter valores fiáveis. Para os “tempos máquina” recolheram-se amostras com entre cinco a dez registos. Para os “tempos homem” recolheram-se amostras com pelo menos cinquenta registos, e pelo menos três operadores diferentes em cada posto, cada um com pelo menos quinze tempos registados.

Os tempos de cada máquina foram medidos a partir do instante em que o operador premia o botão para dar início ao ciclo, até ao instante em que a máquina se encontrava em repouso, momento sinalizado com o acender de uma luz de indicação no painel de controlo.

Os tempos de deslocação entre postos foram definidos com base numa unidade de tempo predefinida para cada movimento. A duração estabelecida para um “movimento” unitário foi de 0,6 segundos. O valor para este parâmetro foi indicado pela empresa, tendo sido validado no chão de fábrica com a medição dos tempos de deslocação entre 1 par de postos escolhidos em cada uma das células e a realização de um teste de hipótese no *software Minitab 18* (Anexo B). Os valores obtidos com múltiplas pessoas foram satisfatórios pelo que se aceitou a indicação da empresa. Os tempos de deslocação entre postos são assim medidos pela quantidade de movimentos envolvidos. Estes movimentos resumem-se a passos efetuados ou a rotações do corpo para iniciar ou finalizar uma deslocação na posição devida. O objetivo da medição destes tempos foi incluir as deslocações ao nivelar o trabalho na célula, de modo a não idealizar tempos impraticáveis para um operador ao não considerar as suas deslocações entre diferentes postos.

Importa referir que este estudo dos tempos não incluiu a célula *Lion*, que se encontra a caminho do fim de vida e não necessita deste estudo, ao contrário das outras células em período de industrialização, sem trabalho standardizado e com procura a aumentar nos próximos anos.

#### 4.1.1 Célula Panther

Os valores médios arredondados dos tempos de operação de cada máquina encontram-se na Tabela 3. De realçar que o tempo na mesma máquina pode ser diferente consoante a referência.

Tabela 3 - Tempos (em segundos) de máquina na célula *Panther*

| Referência | Máquina 1 | Máquina 2 | Máquina 3 | Máquina 4 | Máquina 5 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2753/9649  | 13,4      | 15,4      | 3,9       | 17,6      | 17,2      |
| 2881       | N/A       | N/A       | N/A       | 17,0      | 18,4      |

A quantidade de movimentos entre postos encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de movimentos por deslocação entre postos na célula *Panther*

|         | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 5 | Posto 6 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Posto 1 | 3       | 6       | 6       | 7       | 9       |
| Posto 2 |         | 5       | 6       | 7       | 9       |

|         |  |  |   |   |   |
|---------|--|--|---|---|---|
| Posto 3 |  |  | 3 | 6 | 8 |
| Posto 4 |  |  |   | 5 | 7 |
| Posto 5 |  |  |   |   | 4 |

Os tempos de carga e descarga são complementares dos tempos de máquina, logo foram medidos a partir do instante em que a máquina ficava em repouso, até ao instante em que o operador premia o botão para dar início ao ciclo. Esta foi a regra adotada com a exceção dos postos onde a máquina parava de trabalhar antes do operador estar junto à mesma e pronto para a realimentar. As médias dos valores cronometrados encontram-se na Tabela 5. Estão incluídos os tempos de controlo no posto 6, que constituem trabalho manual na maquete de controlo e são realizados a cinco peças por hora.

Tabela 5 - Tempos (em segundos) de carga e descarga ou operação na célula *Panther*

| Referência | Posto 1 | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 5 | Posto 6 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2753/9649  | 8,8     | 3,7     | 6,7     | 6,1     | 7,8     | 14,0    |
| 2881       | N/A     | N/A     | N/A     | 6,5     | 9,6     | 17,1    |

Somados os tempos de máquina aos tempos de carga e descarga respetivos, verifica-se que o *bottleneck* desta célula é o posto 5, com tempos de ciclo de 25 segundos para as referências 2753/9649 e 28 segundos para a referência 2881.

Foram também medidos tempos em procedimentos que podem ser encurtados ou até mesmo eliminados, como a troca de caixas de componentes. Estes tempos poderiam ser reduzidos com a implementação de bordos de linha que permitissem rapidamente devolver as caixas vazias e aceder a caixas cheias com componentes. Outros tempos medidos foram considerados úteis para cálculo da quantidade de trabalho. Um exemplo destes últimos é o tempo necessário para colocar uma caixa cheia de produto terminado no corredor de saída da célula e repor por outra vazia. É possível ajustar esse tempo à unidade de produção dividindo o valor pelo número de tubos que a caixa comporta como definido pela gama de embalagem. Um ajuste semelhante tem de ser feito aos tempos medidos no posto 6, pois o controlo não é integral mas sim realizado a cinco peças por hora. A descrição das operações extra e respetivos tempos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Outros tempos medidos na célula *Panther*

| Descrição                                                                     | Referência(s) | Tempo |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| Trocar caixa de campanas vazia por uma cheia e colocar no posto 1             | 2753/9649     | 55s   |
| Trocar caixa de tubos vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 1     | 2753/9649     | 26s   |
| Trocar caixa de tubos vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 4     | 2881          | 28s   |
| Trocar caixa de cotovelos vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 4 | 2881          | 18s   |
| Ir a célula vizinha encher caixa plástica com tampas e voltar                 | 2753/9649     | 135s  |
| Trocar caixa de flanges vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 5   | Todas         | 31s   |

|                                                                                                                |       |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
| Descartar do cartão e plástico que separa os andares de cotovelos na caixa (3 andares com 20 componentes cada) | 2881  | 9s  |
| Colocar caixa com produto terminado no <i>roller</i> e pousar outra vazia junto ao posto 6                     | Todas | 25s |
| Ir à saída do forno buscar caixa de flanges                                                                    | Todas | 95s |
| Preencher registo de produção                                                                                  | Todas | 35s |

Ainda que uma troca de caixa possa parecer algo simples à partida, a indefinição quanto ao local de arrumação ou onde ir buscar uma caixa substituta explicam os tempos medidos num local de trabalho desordenado.

#### 4.1.2 Célula intermédia DV Neo

O estudo dos tempos efetuado à célula *Panther* foi replicado da mesma forma na célula intermédia *DV Neo*. Contudo, o processo nesta célula inclui lavagem e esta etapa não permite um fluxo contínuo. A Tabela 7 contém os tempos de máquina na célula intermédia *DV Neo*.

Tabela 7 - Tempos (em segundos) de máquina na célula *DV Neo*

| Referência | Máq. 1 | Máq. 2 | Máq. 3 | Máq. 4 | Máq. 6 | Máq. 7 | Máq. 8 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1739       | 14,1   | 6,1    | N/A    | N/A    | 18,3   | 13,5   | N/A    |
| 3234       | 16     | 6      | 11,1   | 6      | N/A    | 13     | 12,5   |

A Tabela 8 apresenta a quantidade de movimentos definida anteriormente, com tempo de 0,6 segundos, para o deslocamento entre todos os postos desta célula.

Tabela 8 - Quantidade de movimentos por deslocamento entre postos na célula intermédia *DV Neo*

|         | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 5 | Posto 6 | Posto 7 | Posto 8 | Posto 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Posto 1 | 7       | 9       | 10      | 9       | 11      | 10      | 9       | 8       |
| Posto 2 |         | 4       | 5       | 5       | 6       | 5       | 6       | 6       |
| Posto 3 |         |         | 1       | 3       | 6       | 6       | 8       | 8       |
| Posto 4 |         |         |         | 3       | 6       | 7       | 9       | 9       |
| Posto 5 |         |         |         |         | 4       | 5       | 7       | 7       |
| Posto 6 |         |         |         |         |         | 3       | N/A     | 6       |
| Posto 7 |         |         |         |         |         |         | 5       | 5       |
| Posto 8 |         |         |         |         |         |         |         | 2       |

Os tempos de carga e descarga medidos encontram-se na Tabela 9. De referir que o controlo no posto 9 é integral para a referência 1739 e de cinco peças por hora para a referência 3234.

Tabela 9 - Tempos (em segundos) de carga e descarga ou operação na célula *DV Neo*

| Referência | Posto 1 | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 6 | Posto 7 | Posto 8 | Posto 9 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1739       | 7,4     | 4,2     | N/A     | N/A     | 7,8     | 6,1     | N/A     | 14      |
| 3234       | 5,8     | 3,6     | 3,6     | 3,8     | N/A     | 6,6     | 6,8     | 19      |

Os tubos de ambas as referências *DV Neo* são lavados na lavadora no posto 5. O tempo do programa de lavagem é de aproximadamente 23 minutos. A lavagem inicial na célula é efetuada

com o cesto metálico da figura 20 cheio. No final da lavagem o cesto é esvaziado e o seu conteúdo colocado numa caixa *Multi Pack 5*, ou MP5 (Figura 36 - Caixa MP5 (60x40x23cm)). A célula não pode trabalhar em fluxo contínuo devido a esta etapa, que não permite trabalhar em *one-piece flow*. Por esta razão, esta etapa será analisada em separado.



Figura 36 - Caixa MP5 (60x40x23cm)

A quantidade de tubos no cesto metálico está definida nas gamas de embalagem. Dividindo o tempo do programa de lavagem e de operação pela quantidade de tubos obtemos o tempo de lavagem por tubo nesta etapa, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Tempos na lavadora da célula DV Neo

| Referência | Quantidade de tubos no cesto metálico | Tempo de carga/descarga | Tempo Lavagem | Tempo total por tubo |
|------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|
| 1739       | 90                                    | 55s                     | 23min         | 15,9s                |
| 3234       | 59                                    |                         |               | 24,5s                |

Como referido anteriormente, as operações realizadas aos tubos 3234 envolvem a utilização de uma quantidade de óleo substancialmente superior à outra referência. Por esta razão, os tubos da referência 3234 são transportados até à lavadora geral para uma segunda lavagem. É um dos operadores na célula quem os transporta num *roller* com cinco caixas MP5 com tubos da referência 3234, previamente desengordurados na lavadora no posto 5 da célula. O programa na lavadora geral tem a duração de aproximadamente 44 minutos para tubos com pelo menos seis ondas no fole, como se pode verificar na Tabela 11.

Tabela 11 - Tempos na lavadora geral para a referência 3234

| Referência | Quantidade de tubos no <i>roller</i> com 5 caixas | Tempo Transporte | Tempo Lavagem | Tempo Lavagem por tubo |
|------------|---------------------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|
| 3234       | 5*59=295                                          | 1m10s            | 43m54s        | 9,2s                   |

Após a análise ao processo de lavagem, e somando os tempos de máquina aos tempos de trabalho dos operadores, verifica-se que o *bottleneck* desta célula para a referência 3234 é mesmo desengordurar os tubos na lavadora do posto 5, com um tempo de 24,5 segundos por tubo. Para a referência 1739, o *bottleneck* é o posto 6, o que não surpreende dado envolver a montagem de dois componentes no tubo, uma flange e um deflector. Toda a operação demora 26,1 segundos.

A desordem na célula pode ser ilustrada com alguns pequenos exemplos:

- A falta de bordo de linha junto ao posto 6 obriga à colocação das flanges entre os postos 7 e 8, forçando o operador a uma pequena deslocação quando termina uma caixa deste componente que podia ser eliminada com um bordo de linha no posto 6;
- Encontrava-se uma operadora a trabalhar a referência 1739 nos postos 6 e 7. A dada altura chegou outro operador à célula para trabalhar no posto 6, ficando a operadora a trabalhar apenas o posto 7. Verificou-se uma quantidade de trabalho desajustada para dois operadores naquele posto, com um elevado *muda* de espera após a carga e a descarga dos componentes, já que estes postos têm um tempo de máquina elevado. A Figura 37 mostra como mesmo com apenas um operador nestes dois postos há uma margem grande entre a quantidade de trabalho e o tempo de operação das máquinas. Com os tempos medidos tabelados e recorrendo a um ficheiro *Excel* para normalizar o

trabalho, é fácil visualizar este desequilíbrio. Isto confirma a necessidade de estandardizar o trabalho nas células;

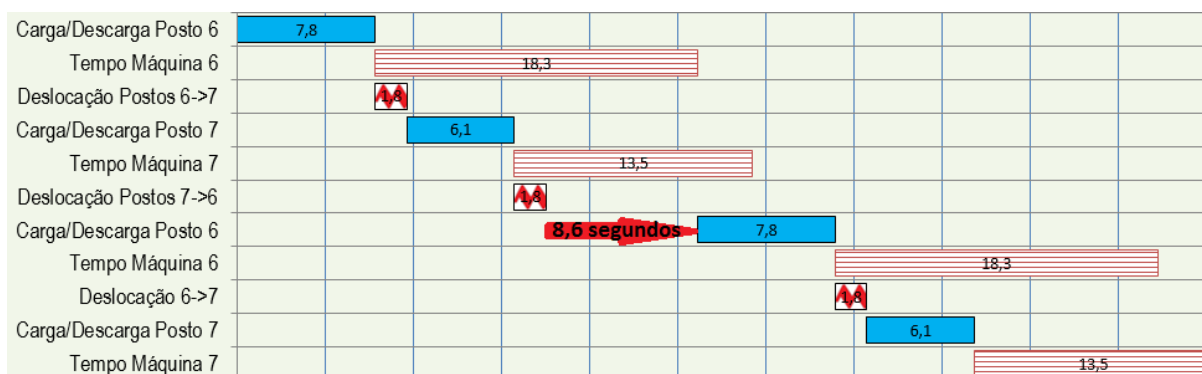


Figura 37 - Excerto de ficheiro *Excel* com quantidades de trabalho nos postos 6 e 7

- Plástico para forrar as caixas para embalar os tubos preparados para o forno encontra-se junto ao posto 5 e não junto aos postos 8 e 9;
- O operador no posto 9 efetua o controlo de geometria a todas as peças da referência 1739. O operador no posto anterior (posto 7) deposita as peças numa caixa MP5 ao seu lado, e é o operador que faz o controlo que se desloca a esta caixa para pegar entre três a cinco peças e voltar à maquete de controlo. Como se pode ver na Tabela 8 esta deslocação envolve dez movimentos para ida e volta, o que se traduz num tempo de seis segundos. Somando o tempo para recolher os tubos da caixa e os pousar junto à maquete de controlo, temos um desperdício de onze segundos a cada quatro controlos de geometria, em média, ou 2,75 segundos por tubo.

Os outros tempos relevantes medidos na célula encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Outros tempos medidos na célula *DV Neo*

| Descrição                                                                                       | Referência | Tempo |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|
| Levar extremos recortados da máquina 2 à caixa de sucata inox (2 operadores, recipiente pesado) | Todas      | 35s   |
| Levar extremos recortados da máquina 4 à caixa de sucata inox (2 operadores, recipiente pesado) | 3234       | 34s   |
| Ir à saída do forno buscar caixa de flanges                                                     | Todas      | 2m10s |
| Trocar caixa de flanges vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 6                     | 1739       | 18s   |
| Trocar caixa de flanges vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 7                     | 3234       | 12s   |
| Trocar caixa de flanges vazia por uma cheia para trabalhar junto ao posto 8                     | 3234       | 12s   |
| Preencher cartão, levar ao forno e voltar à célula                                              | Todas      | 1m24s |
| Pôr novo <i>roller</i> em posição, pegar em nova caixa e forrar                                 | Todas      | 38s   |
| Pôr caixa cheia no <i>roller</i> e forrar uma nova                                              | Todas      | 42s   |
| Abertura caixa cotovelos                                                                        | 1739       | 21s   |
| Retirada do plástico-bolha de um nível (caixa tem 2 níveis)                                     | 1739       | 1m10s |
| Ir ao lixo descartar o plástico-bolha dos cotovelos                                             | 1739       | 30s   |

|                                                                                    |       |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
| Retirada de mão cheia (~10) de deflectores para colocar na máquina                 | 1739  | 5s  |
| Recolher material lavado na lavadora geral                                         | 3234  | 60s |
| Preencher registo de produção                                                      | Todas | 35s |
| Ir buscar entre 3 a 5 tubos ao posto 7 para fazer controlo de geometria no posto 9 | 1739  | 11s |

#### 4.1.3 Célula final DV Neo

À semelhança das outras células, também na célula final *DV Neo* se mediram os tempos de operação. Os tempos de máquina encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Tempos (em segundos) de máquina na célula final *DV Neo*

| Referência | Máq. 1 Curvar | Máq. 1 Retorno | Máq. 3 | Máq. 6 |
|------------|---------------|----------------|--------|--------|
| 1739       | 5,6           | N/A            | 20     | 5,5    |
| 3234       | 4,8           | 1              | 19,3   | 5,5    |

A Tabela 14 contém os movimentos necessários ao deslocação entre postos. Como referido anteriormente, existem dois postos lado a lado para a colocação de braçadeiras, os valores não arredondados à unidade refletem a diferença na quantidade de movimentos consoante o posto 5 considerado.

Tabela 14 - Quantidade de movimentos por deslocação entre postos na célula final *DV Neo*

|         | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 5 | Posto 6 | Posto 7 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Posto 1 | 3       | 5       | 5       | 5,5     | 5       | 6       |
| Posto 2 |         | 3       | 4       | 5       | 5       | 7       |
| Posto 3 |         |         | 3       | 4,5     | 6       | 8       |
| Posto 4 |         |         |         | 3,5     | 5       | 7       |
| Posto 5 |         |         |         |         | 4,5     | 6,5     |
| Posto 6 |         |         |         |         |         | 3       |

Os tempos de carga e descarga e de trabalho manual na célula final *DV Neo* encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Tempos de carga e descarga, e trabalho manual na célula final *DV Neo*

| Ref. | Posto 1 Curvar | Posto 1 Retorno | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 5 | Posto 6 | Posto 7 |
|------|----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1739 | 4,6            | N/A             | 10,5    | 2,1     | N/A     | 9,4     | 3       | 12,4    |
| 3234 | 2,4            | 3,1             | 9,5     | 3,1     | 20,4    | 39,4    | 9,6     | 14      |

O *bottleneck* para a referência 1739 é o posto 3, com um tempo de ciclo de 22,1 segundos. No caso da referência 3234, e havendo dois postos 5 para colmatar o tempo de 39,4 segundos de operação, o *bottleneck* é o posto 3, com um tempo de operação de 22,4 segundos.

Existe um bordo de linha junto ao posto 1 que permite a devolução no local das caixas vazias e a alimentação dos tubos à mão do operador. Desta forma, os outros tempos relevantes medidos são as movimentações às bandejas de plástico onde são colocados os tubos nos postos finais.

Estas comportam um número reduzido de tubos, oito para a referência 1739 ou sete para a referência 3234. Os tubos são acomodados nestas bandejas logo após a marcação a *laser*. As caixas finais armazenam três destas bandejas, logo 24 ou 21 tubos consoante a referência. Os tempos relacionados encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Outros tempos na célula final DV Neo

| Descrição                                                         | Ref.  | Tempo |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Passagem de bandeja (8 tubos) do posto laser para a revisão final | 1739  | 6s    |
| Passagem de bandeja (7 tubos) do posto laser para a revisão final | 3234  | 6s    |
| Colocação da bandeja com 8 tubos na caixa                         | 1739  | 5s    |
| Colocação da bandeja com 7 tubos na caixa                         | 3234  | 5s    |
| Embalar e forrar nova caixa                                       | Todas | 31s   |

## 4.2 Estandarização do trabalho

Com o estudo dos tempos realizado nas células trabalhadas no projeto, foi possível fazer a estandarização do trabalho. Os anos com maiores volumes de produção são 2019 (252 dias úteis) para as células DV Neo e 2020 (253 dias úteis) para a célula Panther, pelo que foram utilizados os valores destes anos respetivamente. Foram considerados 50 minutos de paragens programadas por turno e dois turnos de trabalho diário, libertando o terceiro turno para eventuais novos projetos nas células. O *takt time* foi calculado usando a Equação 2.1 com proporcionalidade consoante a percentagem que cada referência contribuía para os volumes e tempo no respetivo *bottleneck*. O exemplo da aplicação da proporcionalidade está na Tabela 24 do Anexo C. As referências Panther 2753 e 9469 foram consideradas em conjunto.

O *takt time* não contempla paragens não programadas e tempos de troca de referência, pelo que o tempo de ciclo planeado foi estimado com uma margem de 20% para o valor do *takt time* (Rother, 2014). A Tabela 17 planeia o tempo de ciclo retirando 20% ao valor do *takt time*, sendo feita a comparação com o tempo de ciclo pelo *bottleneck* para garantir que o tempo é exequível. Verifica-se que é possível suprir a procura utilizando dois turnos diários planeando com um tempo de ciclo de 80% do *takt time*, prevendo paragens não programadas e trocas de referência.

Tabela 17 - Verificação da capacidade produtiva para 2 turnos

| Célula  | Referência | Takt Time (s) | Tempo de ciclo planeado (s) | Tempo ciclo pelo bottleneck (s) | Tempo de ciclo planeado superior ao bottleneck? |
|---------|------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| Panther | 2753/9649  | 31,3          | 25,03                       | 25,0                            | Sim                                             |
|         | 2881       | 35,0          | 28,04                       | 28,0                            | Sim                                             |
| DV Neo  | 1739       | 39,2          | 31,38                       | 26,1                            | Sim                                             |
|         | 3234       | 36,8          | 29,46                       | 24,5                            | Sim                                             |

Pode-se então fazer uma primeira estimativa do número de operadores necessários a cumprir o tempo de ciclo planeado, dividindo o conteúdo de trabalho de carga e descarga e trabalho manual repetido a cada peça pelo tempo de ciclo planeado. De referir que é necessária uma margem para o trabalho que não se repete em todos os ciclos (movimentação de caixas, controlo horário, deslocações consoante os postos definidos para cada operador). Os valores obtidos, utilizados no balanceamento das células, encontram-se na Tabela 25 do Anexo C.

Após balancear o trabalho pelos operadores estimados, estabeleceram-se os postos para cada operador. Em seguida está exposto o trabalho desenvolvido para a referência 3234 na célula DV

Neo final, o mais ilustrativo dado ser o que inclui mais operadores. A primeira estimativa de divisão do conteúdo de trabalho manual pelo tempo de ciclo planeado revelou-se desajustada para esta célula. A célula necessita de 5 operadores.

O balanceamento desta célula pode ser visto no gráfico *yamazumi* da Figura 38. O primeiro operador percorre os postos 1 e 2, o segundo operador percorre os postos 3 e 4, e o quinto operador percorre os postos 6 e 7, pelo que se somaram os tempos das deslocações usando os valores do estudo dos tempos: nos três casos as deslocações envolvem três movimentos pelo que a ida e volta assume valores de 3,6 segundos.

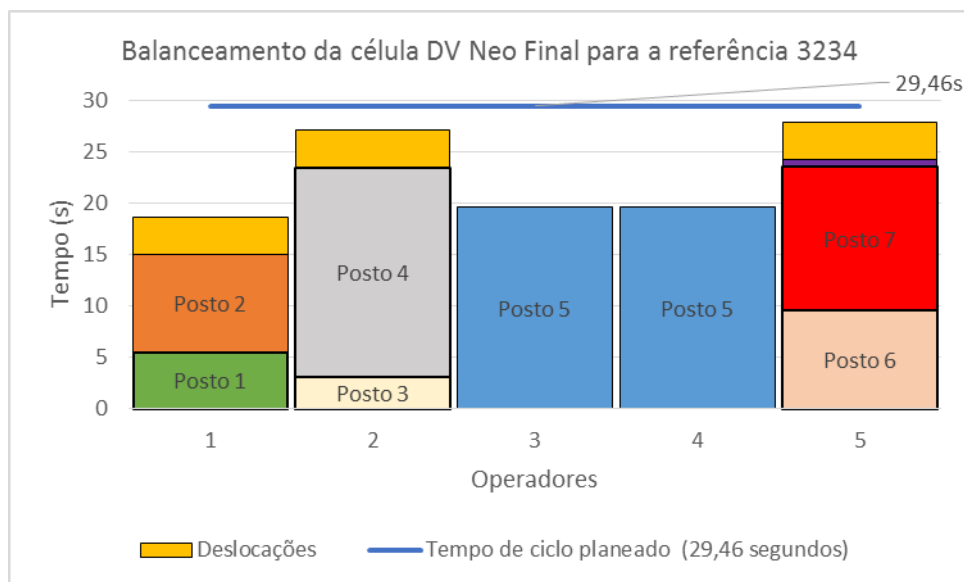


Figura 38 - Gráfico *yamazumi* para a célula DV Neo final, referência 3234

Resta confirmar que os operadores 1, 2 e 5 cumprem com o tempo requerido na prática da sequência de operações, o que se confirma pela Figura 60, Figura 61 e Figura 62 do Anexo C. De referir que foram incluídos na análise os tempos medidos que não se repetem a todos os ciclos e que constam da Tabela 16. Foi eliminada a necessidade de mover a bandeja entre os dois últimos postos. A colocação da bandeja com 7 tubos na caixa (5 segundos) a cada 7 ciclos traduz-se num tempo de aproximadamente 0,7 segundos por ciclo, o que representa a pequena barra lilás pertencente ao operador 5 no gráfico *yamazumi*. O embalamento de uma caixa (31 segundos) a cada 21 ciclos traduz-se num tempo de 2,2 segundos por ciclo, sendo que qualquer um dos operadores 1, 3 ou 4 pode realizar esta tarefa a cada 10 minutos aproximadamente. Este nivelamento permite reduzir o número de operadores habitual de seis para cinco operadores e reduzir os erros consequentes da dupla interação com bandejas, com a colocação de um só operador nos dois últimos postos. A respetiva ficha normalizada de trabalho encontra-se na Figura 39. A cada hora os operadores trocam de posição, atenuando o cansaço mental e físico.

As restantes fichas normalizadas de trabalho para todas as referências *Panther* e *DV Neo* encontram-se no Anexo C. O nivelamento efetuado prova ser possível a redução de 30% da quantidade de operadores no total de todas as referências nas três células (Tabela 18).

Tabela 18 - Redução da quantidade de operadores após *Standard Work*

| Célula         | Referência | Quantidade de operadores habitual | Quantidade operadores após <i>Standard Work</i> | Redução de operadores |
|----------------|------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>Panther</i> | 2753/9649  | 3                                 | 2                                               | 33,3%                 |
|                | 2881       | 2                                 | 1                                               | 50%                   |
| <i>DV Neo</i>  | 1739       | 4+4                               | 3+2                                             | 37,5%                 |
|                | 3234       | 4+6                               | 3+5                                             | 20%                   |

## Ficha Normalizada de Trabalho

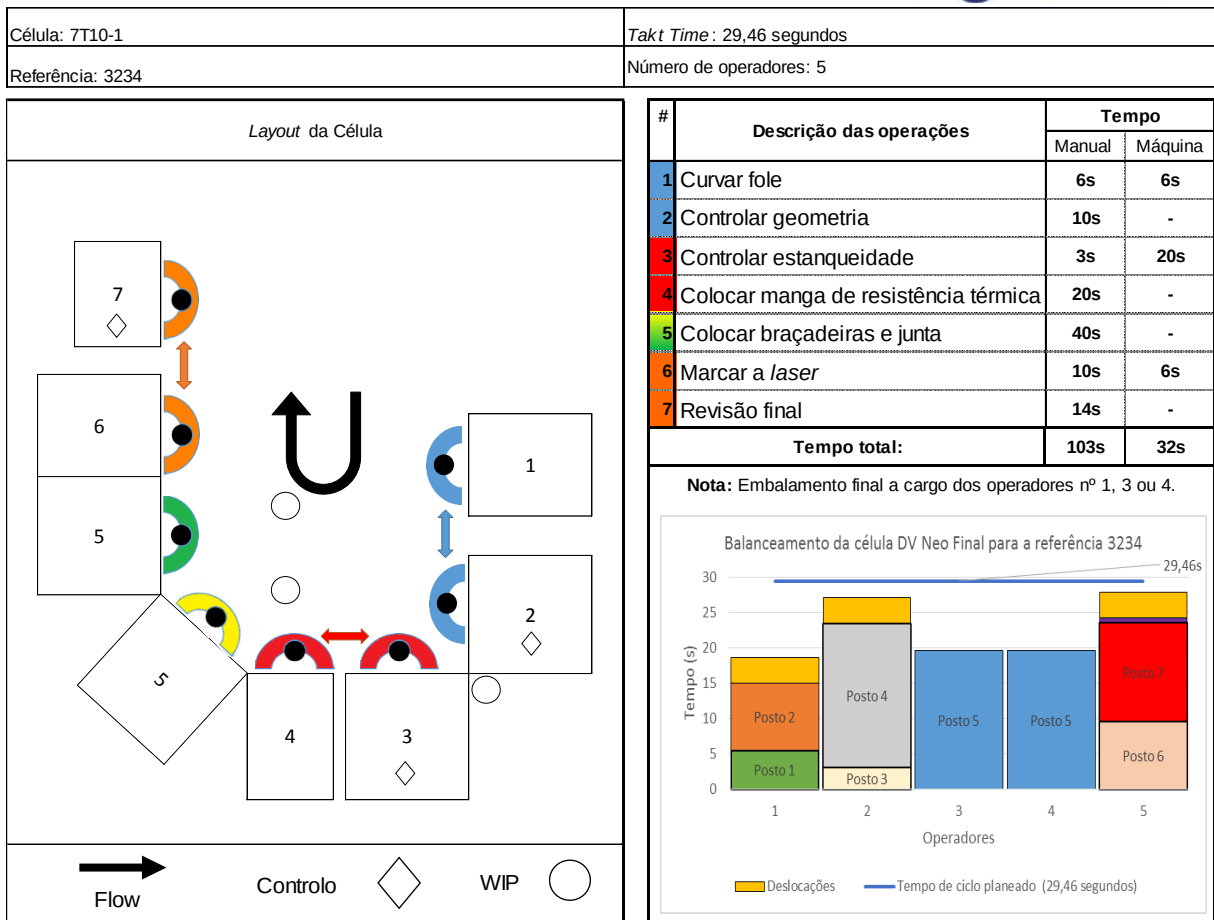


Figura 39 - Ficha normalizada de trabalho para a célula DV Neo final, referência 3234

### 4.3 Fluxo de materiais

#### 4.3.1 Implementação de bordos de linha

Após o estudo das operações nas células DV Neo e Panther, foram dimensionados bordos de linha para que a logística interna possa abastecer as células com os componentes à mão do operador. No caso da célula Panther também serão incluídos os tubos WIP. O mesmo não sucede na célula DV Neo dado que nos primeiros postos não são adicionados componentes aos tubos. A Tabela 19 e a Tabela 20 mostram os componentes adicionados a cada referência Panther e DV Neo, respetivamente. A última coluna das tabelas mostra o número de caixas necessárias no bordo de linha para cada componente, seguindo a Equação 4.1, com o arredondamento para cima de C. A constante 0,5 reflete a periodicidade do *mizusumashi* (percorre a rota de meia em meia hora). A equação prevê o caso de uma caixa estar praticamente vazia na passagem do *mizusumashi*, ao adicionar uma caixa de segurança.

$$C = 0,5 \times P / Q_t + 1 \quad (4.1)$$

Onde:

C, é a quantidade de caixas consumidas em meia hora, periodicidade do *mizusumashi*,  
P é o consumo horário máximo de componentes na célula, calculada dividindo 3600 segundos pelo *bottleneck* da célula para a referência em causa, usando os valores do estudo dos tempos, e  
Q<sub>t</sub>, é a quantidade de componentes por caixa, para cada referência

O passo seguinte foi agrupar os componentes consoante o local onde são consumidos nas células, algo que pode ser consultado na coluna “Posto”. Tendo em conta o fluxo das operações

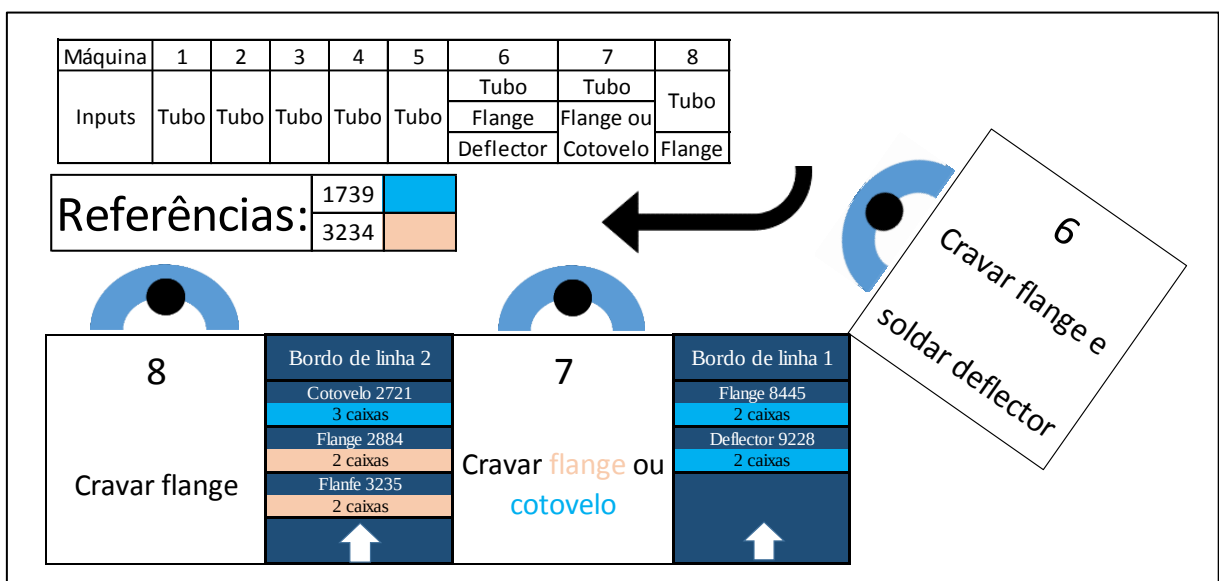
e os locais de consumo dos componentes, optou-se por colocar três bordos de linha na célula *Panther* e dois na célula *DV Neo*. A máquina no posto 4 da célula *Panther* não é adequada à incorporação de um funil para as tampas, pelo que estes componentes ficarão num bordo de linha. As localizações dos bordos de linha encontram-se na Figura 41 e na Figura 40.

Tabela 19 - Dados necessários ao dimensionamento dos bordos de linha *Panther*

| Tubo | Ref. | Componente  | Posto | Prod/h | Qt. Caixa | Embalagem   | Nº Caixas |
|------|------|-------------|-------|--------|-----------|-------------|-----------|
| 2753 | 2751 | Tubo Lavado | 1     | 144    | 30        | Multipack 5 | 4         |
|      | 3245 | Campana     | 1     |        | 250       | Multipack 6 | 2         |
|      | 2804 | Tampa       | 4     |        | 3600      | Multipack 6 | 2         |
|      | 8445 | Flange      | 5     |        | 200       | Cartão 3020 | 2         |
| 2881 | 2886 | Tubo Lavado | 4     | 129    | 60        | Multipack 5 | 3         |
|      | 2887 | Cotovelo    | 4     |        | 60        | Cartão 4030 | 3         |
|      | 2884 | Flange      | 5     |        | 125       | Cartão 4030 | 2         |
| 9649 | 9647 | Tubo Lavado | 1     | 144    | 30        | Multipack 5 | 4         |
|      | 2535 | Campana     | 1     |        | 250       | Multipack 6 | 2         |
|      | 2804 | Tampa       | 4     |        | 3600      | Cartão 3020 | 2         |
|      | 8445 | Flange      | 5     |        | 200       | Cartão 4030 | 2         |

Tabela 20 - Dados necessários ao dimensionamento dos bordos de linha *DV Neo*

| Tubo | Ref. | Componente | Posto | Prod/h | Qt. Caixa | Embalagem   | Nº Caixas |
|------|------|------------|-------|--------|-----------|-------------|-----------|
| 1739 | 9228 | Deflector  | 6     | 138    | 1500      | Multipack 6 | 2         |
|      | 8445 | Flange     | 6     |        | 200       | Cartão 4030 | 2         |
|      | 2721 | Cotovelo   | 7     |        | 64        | Cartão 4030 | 3         |
| 3234 | 2884 | Flange     | 7     | 147    | 125       | Cartão 4030 | 2         |
|      | 3235 | Flange     | 8     |        | 147       | Cartão 4030 | 2         |

Figura 40 - Localizações dos dois bordos de linha *DV Neo* e seus componentes

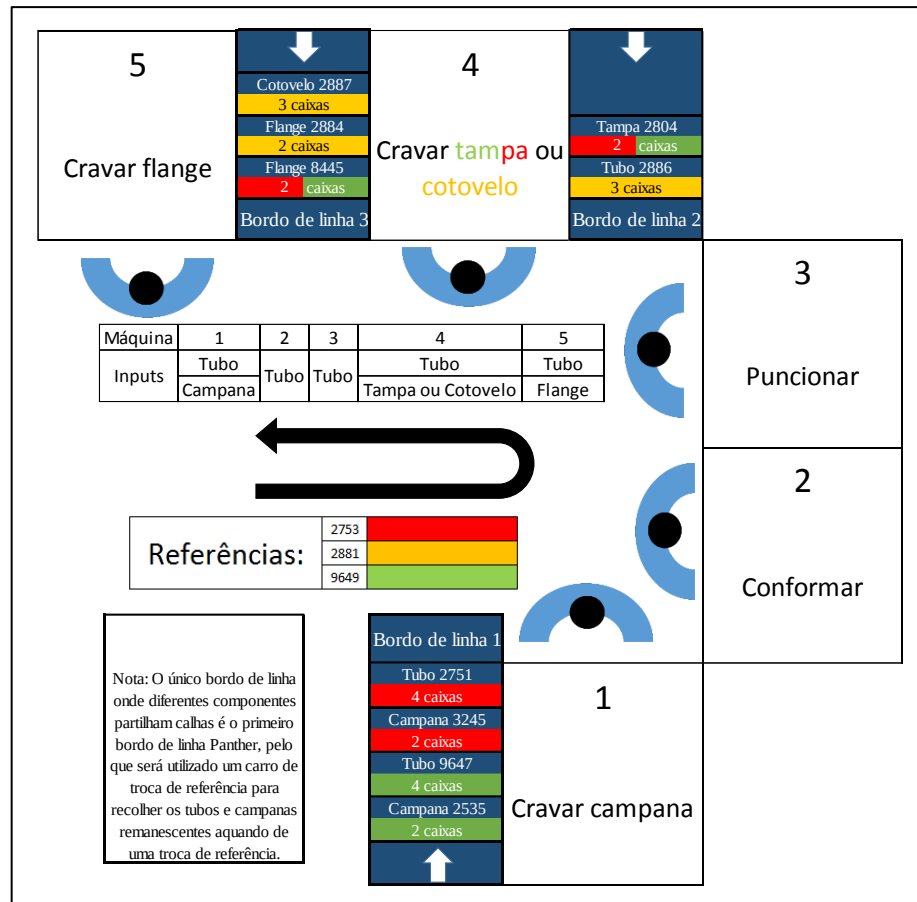


Figura 41 - Localizações dos três bordos de linha *Panther* e seus componentes

Decididas as localizações, foram encomendados os bordos de linha à Makprofile, contemplando o tamanho e o número de caixas para cada componente, a quantidade de calhas adequada à quantidade de componentes sem esquecer uma em sentido contrário para o retorno de caixas vazias, posições de saída ergonomicamente adequadas para o operador e o avanço das caixas por gravidade. Pediram-se todos os bordos de linha com rodas para maior mobilidade.

Os bordos de linha foram implementados, com exceção para o segundo bordo de linha *Panther* por mudança do fornecedor das tampas, com uma caixa de diferente dimensão. Esta alteração atrasou o pedido daí não ter chegado a tempo da conclusão deste projeto, tendo ficado fechada a ordem de compra. Os bordos de linha foram devidamente etiquetados e foram implementados os cartões *kanban*, como se pode ver pela Figura 42 que mostra o primeiro bordo de linha *Panther*. Os cartões *kanban* são colocados em pequenos ganchos que se fixaram junto às etiquetas. Os restantes bordos de linha podem ser vistos no Anexo D.

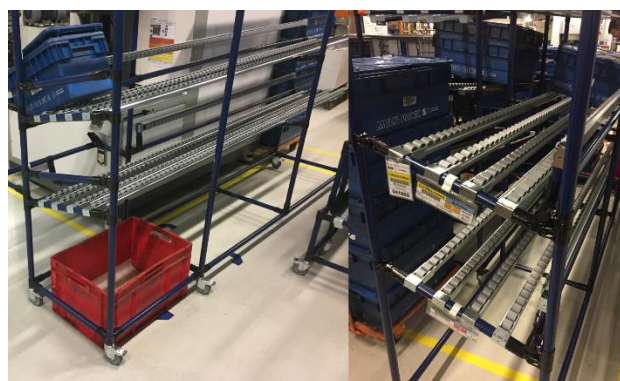


Figura 42 - Primeiro bordo de linha *Panther*, já com sistema *kanban*

A implementação desta solução permite a eliminação de vários dos tempos medidos relativos a troca de caixas de componentes. Considere-se para exemplo a referência 2753 na célula *Panther*, cujos tempos adicionais se encontram na Tabela 6 - Outros tempos medidos na célula *Panther*. Considerando o tempo de ciclo planeado e as quantidades de cada componente nas caixas, para esta referência ganharam-se aproximadamente três minutos por hora de trabalho. Também se eliminaram tempos mais ocasionais como os 95 segundos da ida ao forno para recolher flanges ou 135 segundos da ida à célula *Global Puma* para recolher tampas.

#### 4.3.2 Implementação de estantes no forno

Para resolver o problema da falta recorrente de flanges passadas no forno para alimentar as células, foram implementadas estantes à entrada e saída do forno. Estas estantes foram dimensionadas tendo em conta o pior cenário de necessidade, com as três células contíguas (*Panther*, *DV Neo* e *Global Puma*) a produzirem ao máximo da sua capacidade em simultâneo. Permitirão a aplicação do FIFO e a organização das três referências de flanges por níveis.

O forno de brasagem em atmosfera de hidrogénio trata as peças a 1100°C e tem 24 metros de comprimento. O tapete rolante move-se a uma velocidade de 30 centímetros por minuto, pelo que as peças demoram 80 minutos a percorrer o forno. Contabilizando a carga e a descarga manual das flanges no forno, todo o processo demora aproximadamente 90 minutos.

Com o comboio logístico a percorrer a área fabril a cada 30 minutos, as flanges demorariam 150 minutos desde o armazém até às células, com o tratamento no forno pelo meio (Figura 43). O modo de funcionamento do forno permite absorver esta procura, dado que as flanges são colocadas no tapete logo que necessário.



Figura 43 - Fluxo das flanges

O dimensionamento das estantes foi feito tendo em conta o consumo de caixas teórico máximo neste período, calculado pela Equação 4.2 e arredondando o valor de C para cima (Tabela 21).

$$C = 2,5 \times P / Q_t + 1 \quad (4.2)$$

Onde:

C, é a quantidade de caixas consumidas em duas horas e meia,

P é o consumo horário máximo de flanges considerando todas as células que consomem a flange em questão, e

Q<sub>t</sub>, é a quantidade de flanges por caixa, para cada referência

Tabela 21 - Dados para dimensionamento das estantes para as flanges nos fornos

| Ref. | Qt. Caixa | Prod. Máxima | Células de destino                    | Consumo | Nº Caixas |
|------|-----------|--------------|---------------------------------------|---------|-----------|
| 2884 | 125       | 276          | <i>Panther / DV Neo</i>               | 5,5     | 7         |
| 3235 | 147       | 147          | <i>DV Neo</i>                         | 2,5     | 4         |
| 8445 | 200       | 497          | <i>Panther / DV Neo / Global Puma</i> | 6,2     | 8         |

As estantes não foram pedidas baseadas estes valores, tendo sido considerado também o *stock* presente nas células, nos bordos de linha implementados. Isto permitiria reduzir um pouco o tamanho das estantes, reduzindo o número de caixas para a referência mais preocupante. Subtraindo o número de caixas existentes nos bordos de linha, poder-se-ia reduzir o número de

caixas para metade. Contudo, tendo em conta o espaço ainda vasto na zona dos fornos e o tamanho reduzido das caixas de flanges (27x27x13cm), optou-se por estantes com três níveis (um para cada referência de flanges) capazes de comportar cinco caixas cada. Foi efetuada a encomenda à Makprofile, não tendo chegado à empresa até à conclusão do projeto. O *design* pode ser observado no Anexo E.

#### 4.3.3 Alteração do layout da célula Lion

Foi realizada uma proposta para a alteração do *layout* de uma célula de produção adjacente à linha final *DV Neo*. O objetivo era alargar o espaço de passagem entre duas células adjacentes, ligando o corredor principal à traseira dos postos de trabalho da linha final *DV Neo*. Isto permite ao operador da logística interna, responsável pelo abastecimento dos materiais, alimentar a célula final *DV Neo* sem entrar na mesma.

Além de resolver o problema encontrado numa das células em foco no projeto, a alteração do *layout* melhoraria também o funcionamento desta célula. A empresa possui um ficheiro com o *layout* fabril numa pasta comum centralizada, onde se verificou que a área em questão se encontrava desatualizada. A razão para tal foi uma falha de comunicação entre o *Product Leader*, que já havia elaborado o desenho da célula em *AutoCAD*, e o técnico de *Manufacturing Services* responsável pela gestão do ficheiro do *layout* fabril. A partir daqui foi possível estudar várias alternativas, tendo-se imprimido a planta desta célula e a área envolvente à escala, com e sem máquinas para se poder recortar os diferentes postos e reorganizá-los na planta.

O novo *layout* foi pensado com base nos seguintes pressupostos:

- Alargar corredor com a célula vizinha para permitir acesso pela retaguarda da célula final *DV Neo*, onde serão depositados os materiais necessários à produção;
- Definir local para a paleta onde será acomodado o produto terminado, sendo que este espaço tem de estar junto ao corredor principal;
- Definir local para alimentador onde são colocados os componentes necessários ao trabalho, alimentador esse abastecido pela logística interna. Idealmente o alimentador seria eliminado através da alimentação dos componentes junto ao posto de trabalho, eventualmente em novos bordos de linha;
- Definir local para caixa de retrabalho e de sucata, assim como para caixas vazias;
- Definir locais para carrinhos ou estantes de suporte nas fronteiras entre postos onde trabalham diferente operadores, eliminando o que é supérfluo da situação inicial;
- Permitir a entrada do carro de troca de referência;
- Permitir o acesso ao quadro da máquina de controlo de estanqueidade, que na situação inicial estava encostado a uma máquina da célula final *DV Neo*;
- Libertar o espaço e deixar uma margem de segurança para o corrimão que circunda o extintor e carretel com mangueira;
- Definir local mais adequado para o quadro das peças-padrão, para que fique visível e facilite a consulta rápida;
- Diminuir o mais possível as distâncias percorridas pelos operadores, considerando a distribuição pelos postos de trabalho. Assegurar também que a comunicação entre operadores é fácil e sem obstáculos.

Foram elaboradas várias propostas para uma reorganização do *layout* mas a maioria não cumpria com todos os pressupostos, mantendo um fluxo *lean* e lógico entre postos. Algumas das opções rejeitadas encontram-se no Anexo F. O novo *layout*, aprovado e implementado, encontra-se na Figura 44.

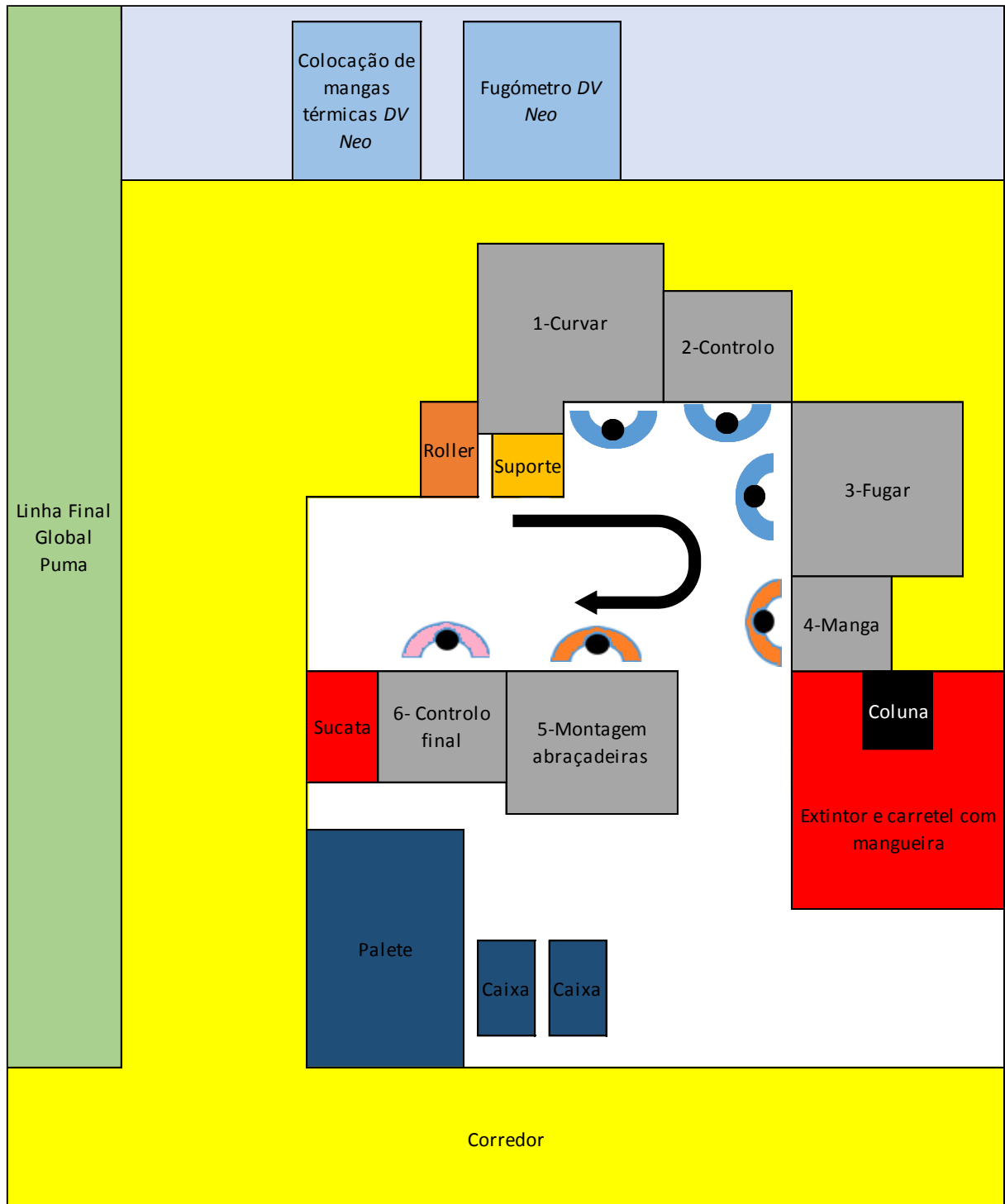


Figura 44 - Novo layout implementado na célula final *Lion*

Comparando à situação inicial, é possível apontar várias melhorias:

- Foi criado o corredor de acesso às traseiras da linha final *DV Neo*, permitindo o abastecimento de componentes nesse local;
- Foi cumprida a distância mínima de segurança para o corrimão que rodeia o extintor, previamente ocupado com caixas;
- Foi eliminado o suporte entre os postos 1 e 2, completamente desnecessário com um operador a percorrer os três primeiros postos de trabalho. Não é necessário um *buffer*;
- Foi tornado possível o acesso fácil ao quadro da máquina do controlo de estanqueidade;
- Foi colocado o quadro de peças-padrão num local mais visível e adequado;

- Foi eliminado o alimentador desatualizado que havia na célula. A nova configuração do espaço permitiu abdicar de um alimentador dado ser possível abastecer os componentes diretamente nos postos de trabalho após ajustes que serão efetuados.

As caixas com as mangas de resistência térmica serão colocadas pelo operador da logística interna por debaixo do posto de montagem de abraçadeiras. As abraçadeiras serão alimentadas no posto 5 diretamente em funis incorporados. Esta melhoria foi pedida ao fornecedor e estava a ser elaborado um orçamento à data de conclusão do projeto. Foi também pedida a extensão da chapa do posto 4 da célula final *DV Neo* para permitir a colocação de duas caixas de mangas.

O resultado final foi muito positivo, tendo sido criado corredor pretendido cumprindo os pressupostos estabelecidos. A auditoria 5S que se encontra no Anexo G reflete as consequências indiretas das alterações efetuadas. No final do projeto foi atualizado o ficheiro do *layout* da fábrica em cooperação com o técnico de *Manufacturing Services* (Anexo H).

#### 4.3.4 Atualização da rota do comboio logístico

Com a implementação dos bordos de linha nas linhas de montagem intermédia *Panther* e *DV Neo* e com a futura implementação dos alimentadores no forno, já encomendados, foi necessário estudar como incorporar estas novas paragens do comboio logístico para o operador do comboio poder abastecer estes pontos com os materiais necessários. O ideal seria adicionar apenas novos pontos de paragem nas rotas já estabelecidas e por essa razão foram analisadas as rotas já existentes. As novas paragens a incorporar nas rotas de montagem seriam as seguintes:

- Pontos à entrada e saída do forno, onde se encontram o alimentador para colocação das flanges e o supermercado para a recolha das mesmas flanges já tratadas no forno a carbono 4;
- Células de montagem intermédia *Panther* e *DV Neo*, para abastecimento dos componentes nos bordos de linha implementados.

A denominada Rota de Montagem 2 percorria todos os pontos supracitados, tendo sido essa a escolha para incorporação de todas as paragens como ilustra a Figura 45. A cada meia hora o comboio percorre esta rota, e após a chegada das estantes encomendadas para o forno e o processo para as flanges será ligeiramente diferente do habitual noutras células. Normalmente o operador faz o *picking* de todos os componentes no armazém consoante os cartões *kanban* para depois abastecer diretamente nas células. Neste caso, as flanges recolhidas no armazém serão colocadas apenas no alimentador à entrada do forno dado que estas necessitam do tratamento térmico no forno. As flanges que vão abastecer os bordos de linha *Panther* e *DV Neo* serão provenientes do supermercado à saída do forno já após o tratamento.

Importa referir que dados os consumos elevados no conjunto das três células que cravam estas flanges, as três referências de flanges não tratadas corresponderão a referências de cor verde, para componentes com alta rotatividade e que por essa razão se encontram sempre presentes no comboio logístico. Por essa razão não serão necessários cartões *kanban*.

O processo funcionará então da seguinte forma: o *mizusumashi* recolhe em armazém as flanges não tratadas consoante as caixas de flanges em falta no comboio, dado serem referências de cor verde com presença obrigatória no comboio. Parará primeiro no supermercado à saída do forno onde recolherá as flanges tratadas consoante os cartões *kanban* que recolheu nos bordos de linha das células de montagem *Panther*, *DV Neo* e *Global Puma*. Em seguida parará no alimentador à entrada do forno onde colocará as caixas de flanges não tratadas na quantidade equivalente às caixas de flanges tratadas que recolheu na paragem anterior. Depois colocará as flanges tratadas recolhidas nos bordos de linha das células, devolvendo também os cartões *kanban* respetivos, eventualmente recolhendo cartões *kanban* para flanges tratadas com caixas em falta. Por fim, volta ao armazém e repete o ciclo, recolhendo as caixas de flanges não tratadas para repôr as quantidades no comboio.

O processo descrito anteriormente é responsabilidade da logística interna. Os operadores dos fornos serão os responsáveis pela recolha das caixas no alimentador à entrada do forno após a passagem do *mizusumashi*. Após a deslocação ao alimentador e recolha das flanges, os operadores irão transportá-las até ao forno. Em seguida, farão a retirada das flanges da caixa e colocarão as mesmas no forno para serem tratadas, transportando as caixas vazias até à saída do forno. Noventa minutos depois, após o fim do tratamento térmico, outros operadores colocarão as flanges nas caixas vazias respetivas. Por fim, as caixas serão colocadas no supermercado à saída, prontas a ser recolhidas pela logística interna quando necessário.



Figura 45 - Novas paragens da rota de montagem intermédia (Rota de Montagem 2)

A rota da zona de montagem e controlo final sofreu também um ligeiro ajuste, dado que os componentes utilizados na célula *DV Neo* final passaram a ser abastecidos pelas traseiras da célula, na paragem feita na célula *Lion*.

## 4.4 Medidas Lean

### 4.4.1 Gestão Visual

Foi realizada uma série de melhorias com base em suporte visual de modo a facilitar o trabalho dos operadores, exibindo informação de forma simples e organizando tudo de uma forma mais intuitiva. Esta secção apresenta a lista de modificações introduzidas.

#### Identificação das máquinas

Foram identificadas as máquinas, numerando-as pela ordem lógica do fluxo das peças, e explicitando a operação realizada em cada máquina. Como se pode ver na Figura 46, foram colocadas as referências das peças trabalhadas em cada posto, cada referência com uma cor designada constante de modo a estabelecer um código de cores para a troca de referência, como se verá em seguida. Às referências 2753, 2881 e 9649 foram associadas as cores laranja, amarelo e verde, respetivamente.



Figura 46 - Identificação dos postos com designação e referências trabalhadas

### Identificação das ferramentas por referência com código de cores

As ferramentas foram identificadas com papel autocolante da cor respetiva (Figura 47), tendo sido escrito o número referente ao posto no local mais visível. Houve o cuidado de não colocar o papel autocolante em faces de fricção ou em locais onde interferisse com o funcionamento.



Figura 47 - Ferramentas *Panther* 2881 e 9649 com a cor associada

Isto permitirá uma troca de ferramentas muito mais intuitiva, diminuindo os tempos de troca de referência ao eliminar o desperdício associado à incerteza quanto à ferramenta a colocar ou à confirmação da referência específica da ferramenta. Eliminará também os erros como a montagem de ferramentas associadas a múltiplas referências em simultâneo, o que dobrava a carga de trabalho na troca de ferramenta num dado posto para corrigir um erro desnecessário.

### Organização da mesa de controlo

Foram organizadas as mesas de controlo (Figura 48), tendo sido criadas áreas no quadro para as instruções de operação, controlo, ajuste e embalagem. Além dos rótulos nos quadros, foram rotuladas as prateleiras por debaixo das mesas onde são guardados os cadernos com os registos de produção.

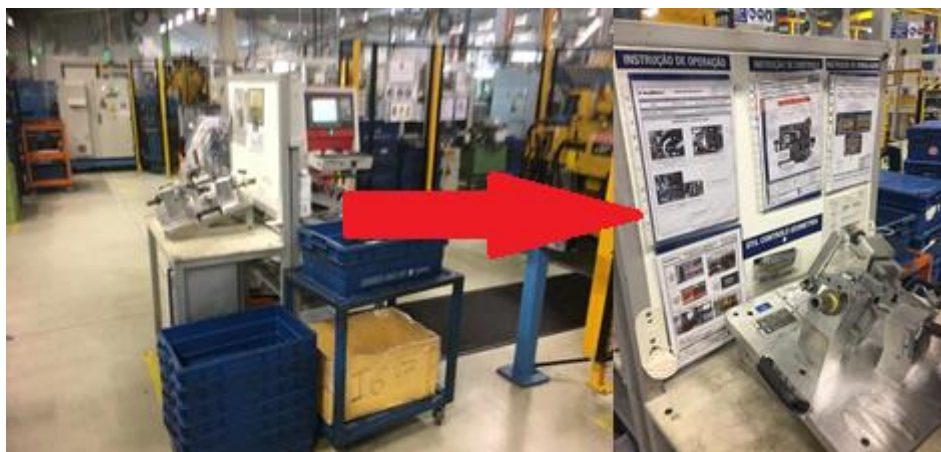


Figura 48 - Melhorias no quadro da mesa de controlo DV Neo

### Identificação células DV Neo

As placas de identificação de ambas as células DV Neo ainda possuem a designação antiga, como se pode ver na Figura 49. Não é necessário pedir placas novas, apenas substituir os caracteres em autocolante na placa. Poderia ser feito manualmente mas a empresa tem o tamanho e o tipo de letra standardizado para todas as placas. Pediram-se ao fornecedor designado, a Padrão Positivo, os autocolantes com as novas designações seguindo o formato padrão, 7T10-1 e 7T10-2.



Figura 49 - Placa ainda com a designação antiga da célula

### Relocalização do quadro de peças-padrão Lion

A mudança do *layout* na célula Lion permitiu retirar o quadro de peças-padrão das traseiras de um posto onde estava tapado (Figura 50). O quadro de peças-padrão contém exemplos de peças dentro das especificações do cliente e peças defeituosas para cada referência trabalhada na célula. Estas encontram-se aos pares, por referência: os tubos com defeito estão pintados com tinta vermelha e os tubos sem não-conformidades estão pintados a verde.



Figura 50 - Relocalização do quadro de peças-padrão Lion

O quadro foi movido para a lateral do primeiro posto, voltado para o novo corredor criado. Esta alteração permite um acesso mais fácil e uma visualização mais rápida ao quadro.

### Marcas no piso

O piso da célula *Lion* possuía marcas delimitando as posições das máquinas, caixas, mesas e suportes. Após a mudança do *layout*, foram atualizadas as marcas no piso para as novas posições definidas, como se pode ver na Figura 51.

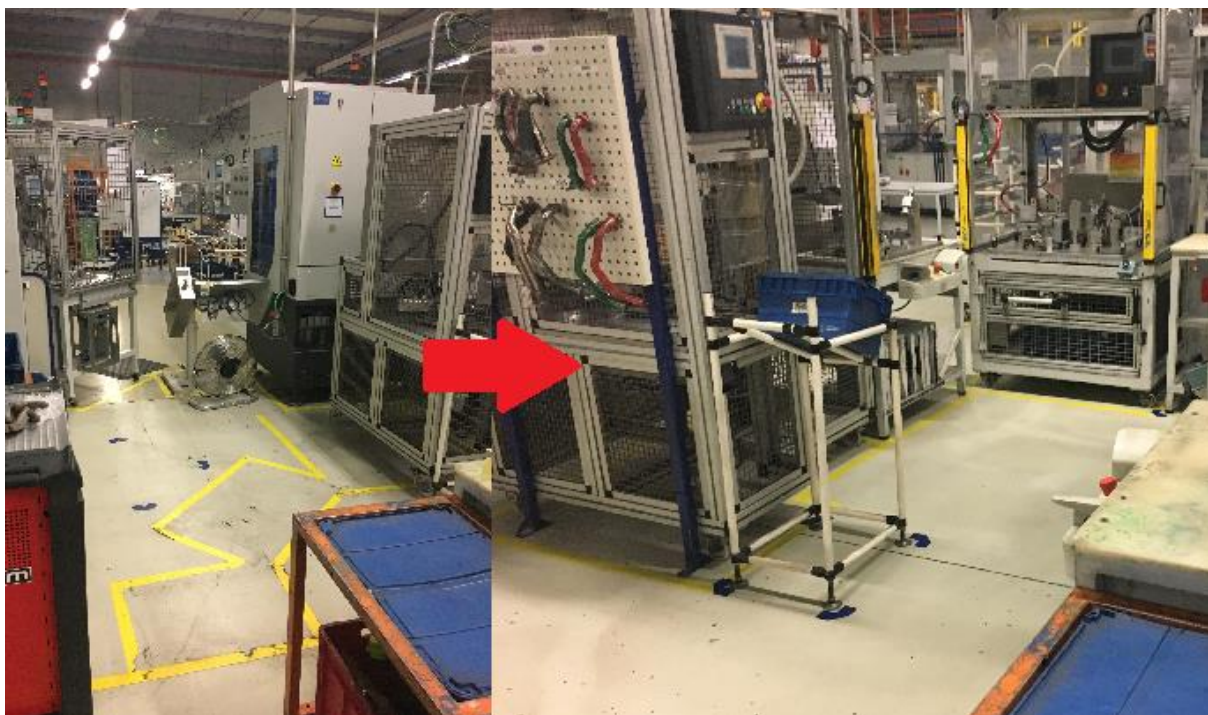


Figura 51 - Atualização das marcas no piso da célula *Lion*

### 4.4.2 5S

Resolveram-se alguns dos problemas de organização das células fazendo jus a uma das máximas do departamento de qualidade da empresa, “um lugar para cada coisa, e cada coisa no seu lugar”.

#### Carro com ferramentas para troca de referência *Panther*

Foi definido local para o carrinho com as ferramentas de troca de referência *Panther*, num espaço desocupado junto à linha como se observa na Figura 52. As mordças e os cabeçais encontram-se neste carro, estando apenas os úteis de geometria na ferramentaria. Estes são requeridos na ferramentaria aquando da troca de referência e levados ao posto 6 onde serão utilizados no controlo de geometria dos tubos. A falta de espaço na ferramentaria para as restantes ferramentas poderia eventualmente ser resolvida, mas o facto de estar pendente uma reformulação da mesma levou à opção por aproveitar o espaço desocupado junto à célula, apesar de esta não ser prática corrente da empresa. No entanto esta localização do carro permite reduzir bastante o tempo de deslocação dada a localização atual da ferramentaria na periferia da zona produtiva.



Figura 52 - Nova localização do carro com ferramentas para troca de referência *Panther*

Logicamente, foi também abortada a criação dos cartões de requisição de ferramentas *Panther*, até ao dia em que a ferramentaria não esteja limitada no

espaço e seja possível fazer cartões para as células em falta, com a informação da estante específica para cada ferramenta.

### Suportes para o trabalho

Foi aproveitado um suporte triangular originalmente usado noutra célula para a colocação de componentes mais pequenos, que permitem ao operador colocar punhados de componentes à mão junto à máquina. O suporte poderia ser reaproveitado para as tampas *Panther* ou para os deflectores *DV Neo*, mas dada a forma do suporte e a configuração das máquinas (Figura 53), optou-se por utilizá-lo na linha *Panther*. Foi pedido ao fornecedor um suporte retangular para os deflectores, estando o orçamento a ser negociado à data do fim deste projeto.



Figura 53 - Análise da funcionalidade do suporte para pequenos componentes nas linhas *Panther* e *DV Neo*

### Caixas de retrabalho e de sucata

Foram definidos os locais para as caixas (60x40x30cm) de retrabalho (cor amarela) e de sucata (cor vermelha) nas quatro células do projeto. As localizações definidas foram as seguintes:

- *Panther*: a caixa de retrabalho ficou entre o posto 5 e a mesa de controlo de geometria. A caixa de sucata ficou debaixo do bordo de linha adquirido (Figura 42);
- Montagem *DV Neo*: as caixas de retrabalho e de sucata ficaram dos dois lados da mesa de controlo de geometria; a de sucata dentro do carro onde são pousadas caixas de saída;
- *DV Neo* final: a caixa de retrabalho ficou na mesa de controlo de geometria (posto 2) e a caixa de sucata no carro que serve de fronteira entre operadores nos postos 6 e 7;
- *Lion*: a caixa de retrabalho deverá ficar debaixo da mesa de controlo de geometria, ficando para já no carro que serve de fronteira entre operadores nos postos 5 e 6. A caixa de sucata ficou ao lado da mesa de controlo final como definido no *layout*.

### Caixas *Global Puma*

A necessidade de deixar livre a retaguarda dos postos 4 e 5 na linha *Panther*, para permitir ao operador logístico fazer o seu trabalho e abastecer os bordos de linha, obrigou a procurar um novo local para os *rollers* com caixas do modelo *Global Puma*. O local escolhido foi o espaço vazio junto à linha intermédia *DV Neo*, após análise da área envolvente com os *Team Leaders* dos turnos da manhã e da tarde. Esta decisão ficou pendente à data do fim do projeto dado o *Product Leader* se encontrar no estrangeiro na última semana do mesmo. Este espaço irá aumentar com a retirada de uma estante obsoleta mas há a possibilidade de adicionar uma nova célula nesse local. Até lá há instruções para não tapar o caminho para os bordos de linha com *rollers*, e será feita a adição de marcas no chão entre os bordos de linha e o corredor principal.

Outras soluções propostas, descartadas ou por aprofundar encontram-se no Anexo I.

## 5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

### 5.1 Conclusões

A instalação de novas células produtivas para introdução de novas referências de produção numa fábrica obriga à estabilização dos processos básicos de estruturação do trabalho, como o abastecimento dos materiais necessários à produção ou a definição do fluxo das peças na célula, com vista a cumprir com as responsabilidades perante os clientes em períodos de forte aumento dos volumes de produção.

O âmbito alargado deste projeto permitiu a aplicação de vários conceitos *lean*, *kaizen* ou de logística interna e ferramentas recorrentes na vida profissional de um Engenheiro Industrial, nomeadamente estudos dos tempos, normalização de métodos de trabalho, sistemas *kanban*, metodologia 5S, soluções de gestão visual, desenho de *layouts*, ergonomia, fluxos de materiais e de trabalho.

Sendo o foco primário do projeto células produtivas em fase de industrialização, importava analisar as operações e desenvolver trabalho na área do estudo dos tempos. Esta etapa inicial permitiu identificar oportunidades de melhoria e alicerçar o projeto, que assentou num leque variado de medidas com influência direta em vários departamentos e áreas fabris.

Foi provado que há capacidade para cumprir com os volumes de produção previstos nos anos mais agitados em 2 turnos, com a possibilidade de albergar novos projetos no turno remanescente, quer nas células *Panther* quer nas células *DV Neo*.

Foi definido o processo para resolver o problema da falta de flanges tratadas no forno, principal causa de paragem nas células referentes ao projeto e a uma outra, em coordenação com a área dos fornos e a logística interna.

Foi estruturado o abastecimento de materiais nas células, em coordenação com a logística interna. Foram implementados bordos de linha ergonómicos e com aplicação de um sistema *kanban* para controlar os níveis de material nos mesmos.

Foi atualizada a rota do *mizusumashi* com paragens nos alimentadores com flanges na área dos fornos e nos bordos de linha implementados nas células.

Foi melhorado um *layout*, tendo sido cumpridos todos os pressupostos prévios à execução do mesmo e atingidos os objetivos de melhoria do fluxo de trabalho e abastecimento de materiais.

O nivelamento do trabalho provou ser possível reduzir o número de operadores nas duas células *DV Neo* em 28% e na célula *Panther* em 40%, o que se traduz numa redução de 30% no total, equivalente a 7 operadores a menos que na situação inicial. Foi definido o número de operadores e respetivos postos e método de trabalho para cumprir o *takt time*, havendo margem para reduzir mais um operador na célula intermédia *DV Neo* quando for possível a eliminação do controlo integral à referência 1739.

Além do que concerne a empresa, há a convicção de que o trabalho realizado facilita também a o trabalho aos operadores, aumentando a motivação ao promover um ambiente de trabalho mais agradável. Para este fim destacam-se a implementação dos bordos de linha ergonómicos que colocam o material necessário à produção à mão do operador, a definição de *layouts* mais adequados, o recurso a estímulos visuais que reduzem a ambiguidade, a redução das deslocações e o estabelecimento de métodos de trabalho que descomplicam as operações e reduzem os desperdícios.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Tendo o projeto decorrido em linhas de produção lançadas recentemente, ainda existe naturalmente muito trabalho por fazer. Numa perspetiva de melhoria contínua e após esta etapa de industrialização, poderão ser desenvolvidos projetos nestas linhas com o intuito de melhorar a eficiência das mesmas, estabelecendo como objetivo o aumento do OEE.

No âmbito do que foi o projeto realizado e alguns obstáculos encontrados, seguem algumas sugestões para projetos futuros:

- Estudar a possibilidade de excluir a etapa da passagem das flanges pelo forno do processo produtivo para os modelos *Panther*, *DV Neo* e *Global Puma*. O problema das paragens nas linhas por falta destes componentes foi solucionado com a incorporação do forno na rota do comboio logístico, mas o ideal seria eliminar esta necessidade. Avaliar a mudança do fornecedor de flanges ou a disponibilidade do fornecedor atual em alterar o seu processo de tratamento com recurso a esferas de alumínio;
- Estudar a alteração do tamanhos dos lotes de lavagem na célula intermédia *DV Neo*, para entender a quantidade de tubos mais adequada a esta etapa;
- Estudar o processo de abocardamento e de lavagem da referência 3234 para identificar o factor que obriga à segunda lavagem destas peças na lavadora geral. Testar diferentes tipos de óleo na máquina de abocardar e outros detergentes na lavadora no posto 5 da célula intermédia *DV Neo*. Objetivo seria, se possível, eliminar a deslocação à lavadora geral para uma segunda lavagem;
- Estudar a causa raiz dos problemas da referência 1739, no que concerne aos defeitos encontrados na ponta do tubo onde é soldado o deflector. Caso fosse possível eliminar este problema, o processo de controlo de geometria no final da célula intermédia *DV Neo* poderia voltar à frequência habitual de cinco peças por hora, enquanto que de momento o controlo é integral. Este problema ainda não tinha sido solucionado à data da conclusão do projeto, não obstante haver indícios sobre qual a causa raiz.

Num âmbito mais alargado, e pensando no funcionamento da função produtiva em geral, seria positivo estudar a hipótese de desenvolver projetos em duas áreas:

- Ferramentaria: o espaço atual é demasiado limitado e já não tem capacidade para armazenar as ferramentas de todas as referências. Avaliar a melhor solução para reformulação da ferramentaria, com estudo da expansão do espaço atual ou passagem da ferramentaria para outra zona mais central, e otimização dos procedimentos atuais. A título de exemplo, considerar espaço apenas para as  $n-1$  referências mais espaçosas de uma dada célula produtiva, poupando algum espaço ao aproveitar o facto de as linhas terem sempre as ferramentas para a última referência trabalhada a cada instante, só voltando à ferramentaria após a troca de referência. Eventualmente passar a responsabilidade do transporte de ferramentas para a equipa da logística interna;
- Lavagem: otimizar e normalizar o processo de lavagem na lavadora geral.

## Referências

- Almgren, H. 2000, "Pilot production and manufacturing start-up: the case of Volvo S80", International Journal of Production Research.
- Apple, J. 1977, "Plant layout and material handling", John Wiley & Sons, Inc.
- Berger, A. 1997, "Continuous improvement and Kaizen: standardization and organizational design", Integrated Manufacturing Systems.
- Coimbra, E. 2009, "Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains", Kaizen Institute.
- Coimbra, E. 2013, "Kaizen in Logistics and Supply Chains", McGraw-Hill Education-Europe.
- Ferreira, J. e Almeida, D. 2009, "Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies", Conference Paper: 19th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing.
- Groover, M. 2007, "Work systems and the methods, measurement, and management of work", Pearson Prentice Hall.
- Gross, J. e McInnis, K. 2013, "Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process", American Management Association.
- Jacobs, F. e Chase, R. 2014, "Operations and supply chain management", McGraw-Hill Education.
- Krafcik, J. F. 1988, "Triumph of the Lean Production System", Sloan Management Review.
- Liker, J. 2004, "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer", McGraw-Hill.
- Liker, J. e Meier, D. 2005, "The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps", McGraw-Hill Education.
- Modig, N. e Åhlström, P. 2012, "This is lean: resolving the efficiency paradox", Rheologica Publ., Stockholm.
- Ohno, T. 1988, "Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production", Productivity Press.
- Ohno, T. 1988. "Workplace Management", Productivity Press.
- Pinto, J. 2009, "Pensamento LEAN: A filosofia das organizações vencedoras", Lidel.
- Pound, E.; Bell, J. e Spearman, M. 2014, "Factory Physics for Managers: How Leaders Improve Performance in a Post-Lean Six Sigma World", McGraw-Hill Education.
- Pyzdek, T. e Keller, P. 2014, "Six Sigma Handbook", McGraw-Hill Education.
- Rother, M. 2010, "Toyota Kata: Managing people for improvement, adaptiveness, and superior results", McGraw-Hill.
- Schuh, G.; Kampker, B. e Franzkoch, B. 2005, "Anlaufmanagement; Kosten senken – Anlaufzeit verkürzen – Qualität sichern", wt Werkstattstechnik online.
- Sugimori, Y.; Kusunoki, K.; Cho, F. e Uchikawa, S. 1977, "Toyota production system and Kanban system: Materialization of just-in-time and respect-for-human system", International Journal of Production Research.
- Surendra, M.; Yousef, A. e Perry, R. 1999, "Flexible kanban system", International Journal of Operations & Production Management.

Suzaki, K. 2010, “Gestão de Operações LEAN, Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua”, LeanOp Press. Edição Original, The New Manufacturing Challenge.

Takeda, H. 2006, “The Synchronized Production System: Going Beyond Just-In-Time Through Kaizen”, Kogan Page.

Womack, J.; Jones, D. e Ross, D. 1990, “The Machine That Changed the World”, Simon & Schuster UK, London.

Womack, J. e Jones, D. 2003, “Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation”, Free Press, New York.

Willmott, P. e McCarthy, D. 2000, “TPM-A Route to World Class Performance: A Route to World Class Performance”, Newnes.

## ANEXO A: Paragens por falta de flanges nas células *Panther* e *DV Neo*

Todas as cinco referências trabalhadas nestas células envolvem a cravação de pelo menos um tipo de flange. Este problema afeta também outro modelo. A Figura 54 mostra os quadros de produção nas duas células, e como não se produziu mais nos dias em questão por falta de flanges (a tinta verde corresponde aos dados do dia anterior). A Figura 55 e a Figura 56 mostram dias com paragens por falta de flanges para as referências 2881 e 3234, respetivamente.

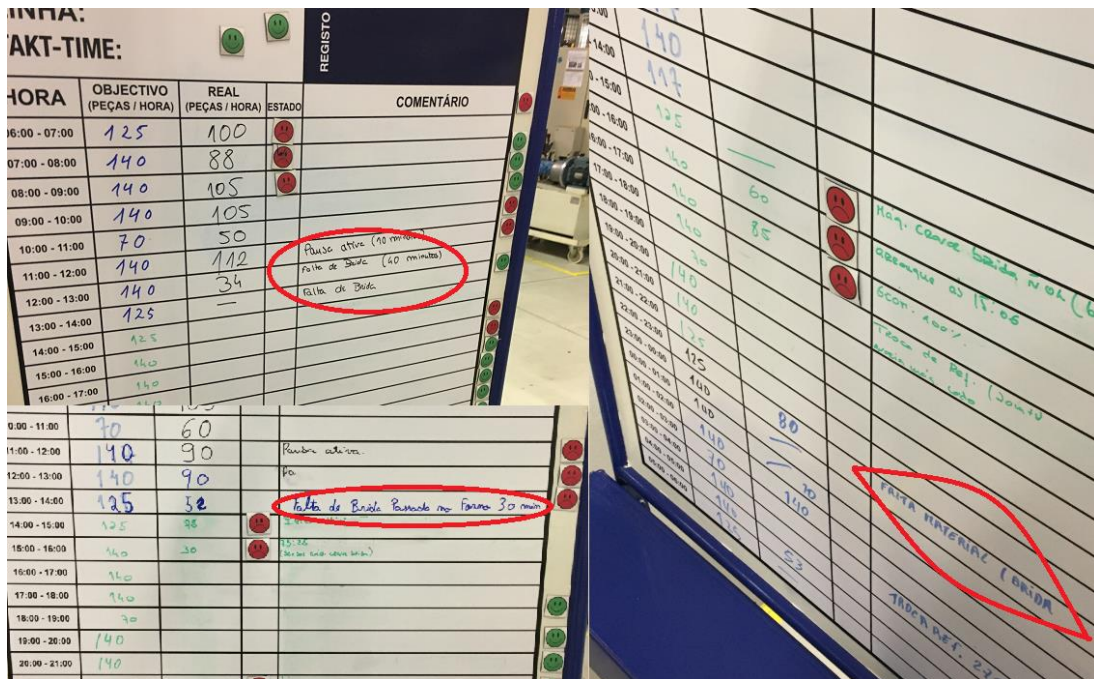


Figura 54 - Falta de flanges nas células, encerrando a produção do dia

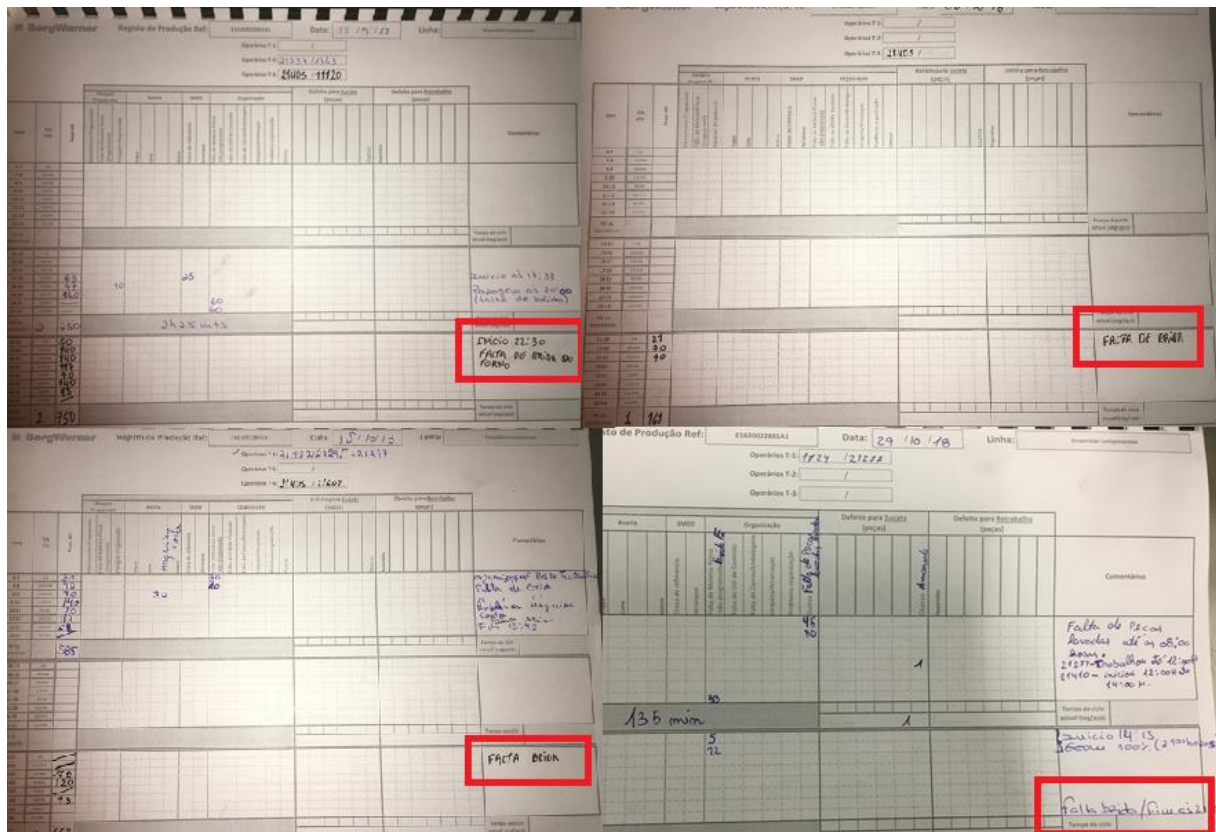


Figura 55 - Paragens por falta de flanges para a referência *Panther* 2881

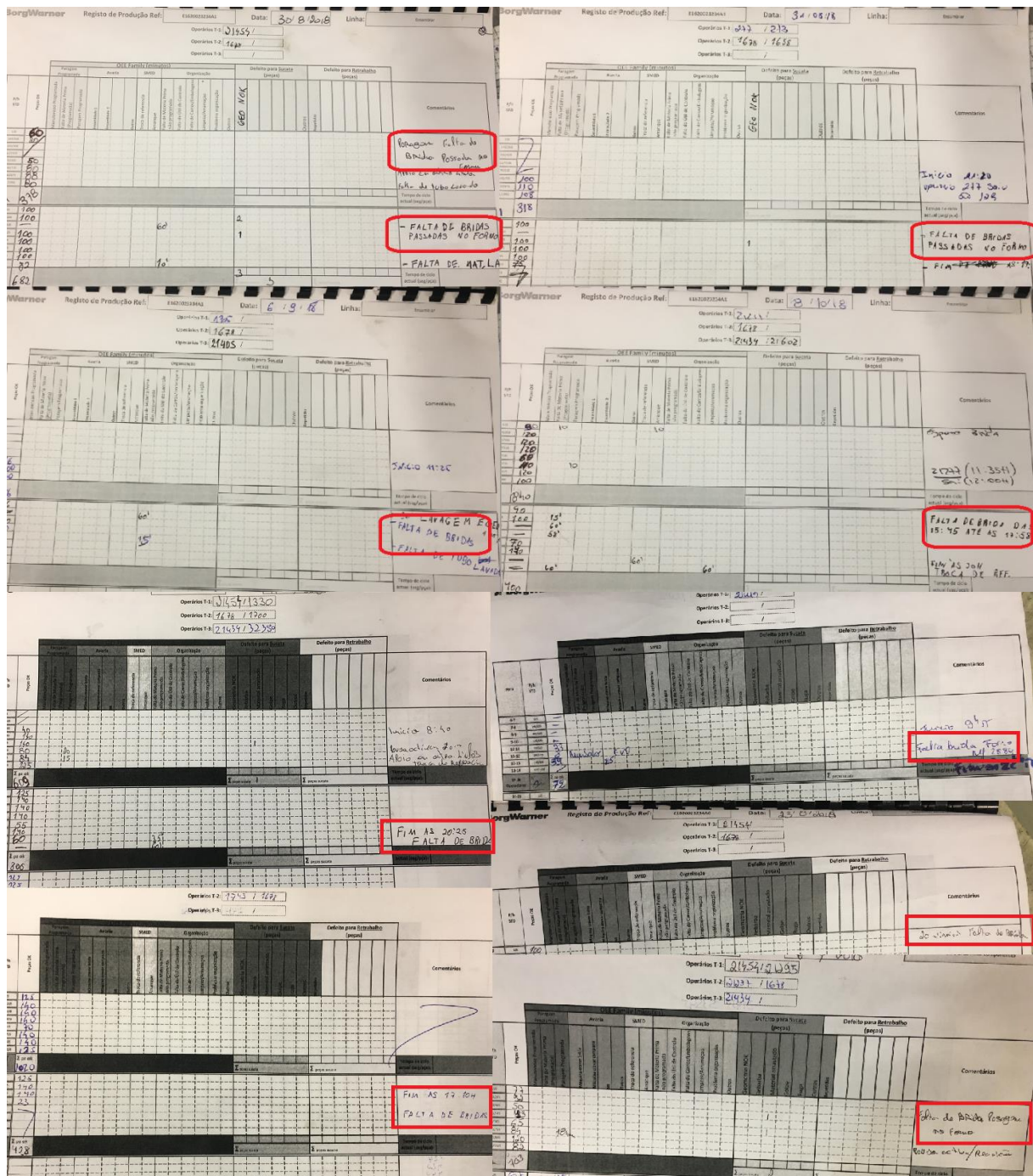


Figura 56 - Paragens por falta de flanges para a referência DV Neo 3234

## ANEXO B: Testes de hipótese para a validação da unidade do movimento

Tabela 22 - Dados utilizados para o teste t

| Célula                          | Panther              | DV Neo Montagem      | DV Neo Final         |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Postos escolhidos               | 1 e 2                | 1 e 2                | 1 e 6                |
| Unidade movimento (em segundos) | 0,6                  |                      |                      |
| Movimentos                      | 3                    | 7                    | 5                    |
| Tempo estimado (Movimentos*0,6) | 1,8                  | 4,2                  | 3                    |
| <b>Tempos (em segundos)</b>     | 1,73                 | 4,42                 | 3,50                 |
|                                 | 1,60                 | 4,1                  | 3,07                 |
|                                 | 1,51                 | 3,9                  | 3,19                 |
|                                 | 2,01                 | 4,37                 | 2,77                 |
|                                 | 1,87                 | 4,40                 | 3,01                 |
|                                 | 2,13                 | 4,38                 | 2,89                 |
|                                 | 1,75                 | 4,12                 | 3,12                 |
|                                 | 1,70                 | 4,21                 | 2,90                 |
|                                 | 1,62                 | 4,01                 | 3,02                 |
|                                 | 1,59                 | 4,17                 | 2,87                 |
|                                 | 2,07                 | 3,99                 | 2,75                 |
|                                 | 1,92                 | 4,23                 | 2,61                 |
|                                 | 1,32                 | 4,27                 | 3,19                 |
|                                 | 1,86                 | 4,31                 | 2,99                 |
|                                 | 1,81                 | 4,17                 | 2,83                 |
|                                 | 2,20                 | 4,12                 | 2,76                 |
|                                 | 1,92                 | 4,40                 | 3,13                 |
|                                 | 1,37                 | 3,95                 | 2,65                 |
|                                 | 2,13                 | 4,15                 | 2,79                 |
|                                 | 1,49                 | 4,29                 | 3,19                 |
|                                 | 1,56                 | 4,11                 | 2,80                 |
|                                 | 1,62                 | 4,20                 | 2,91                 |
|                                 | 1,34                 | 3,96                 | 2,85                 |
|                                 | 1,95                 | 4,15                 | 2,78                 |
|                                 | 1,66                 | 4,35                 | 2,84                 |
| Tamanho amostral                | 25                   | 25                   | 25                   |
| Hipótese nula                   | $H_0 : \mu = 1,8$    | $H_0 : \mu = 4,2$    | $H_0 : \mu = 3,0$    |
| Hipótese alternativa            | $H_1 : \mu \neq 1,8$ | $H_1 : \mu \neq 4,2$ | $H_1 : \mu \neq 3,0$ |

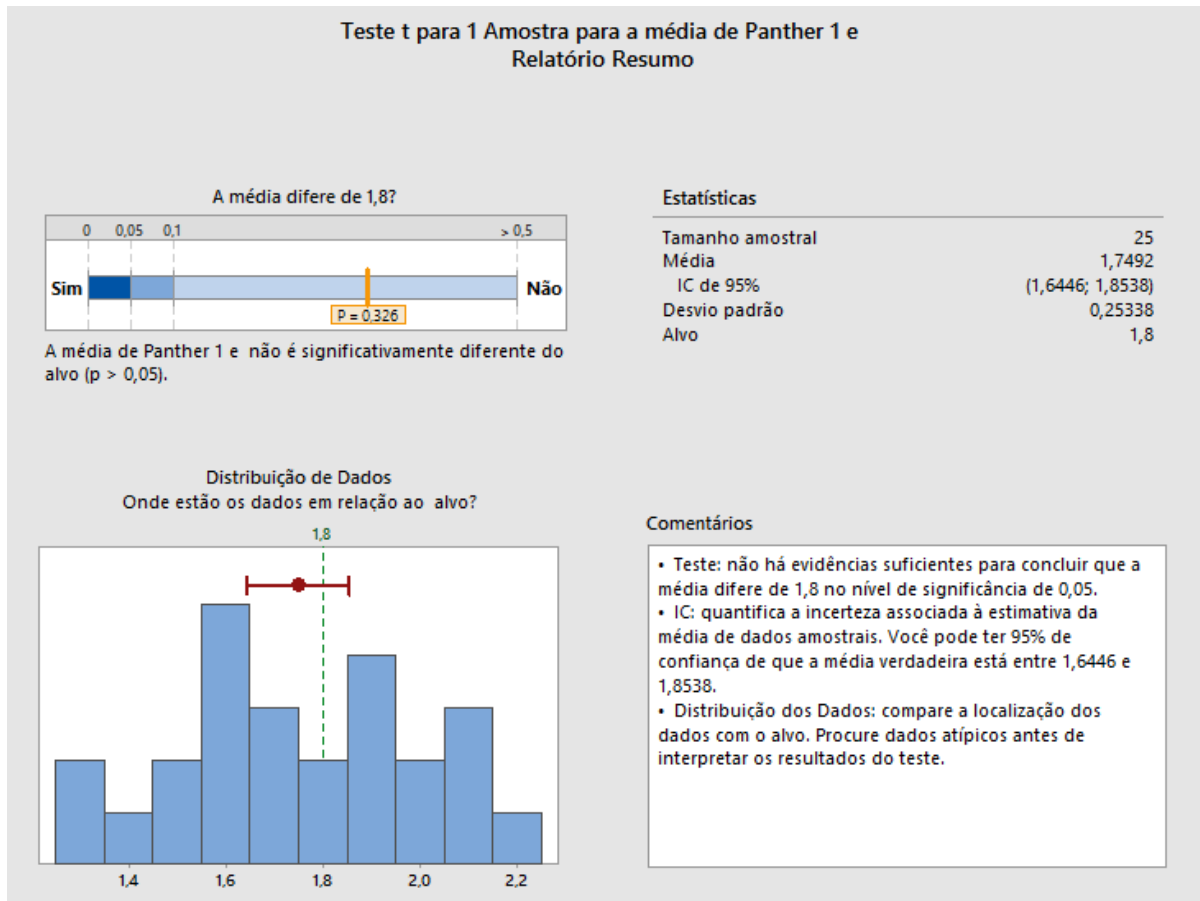


Figura 57 - Teste t para média dos tempos na célula Panther, postos 1 e 2 ( $\alpha=0.05$ )

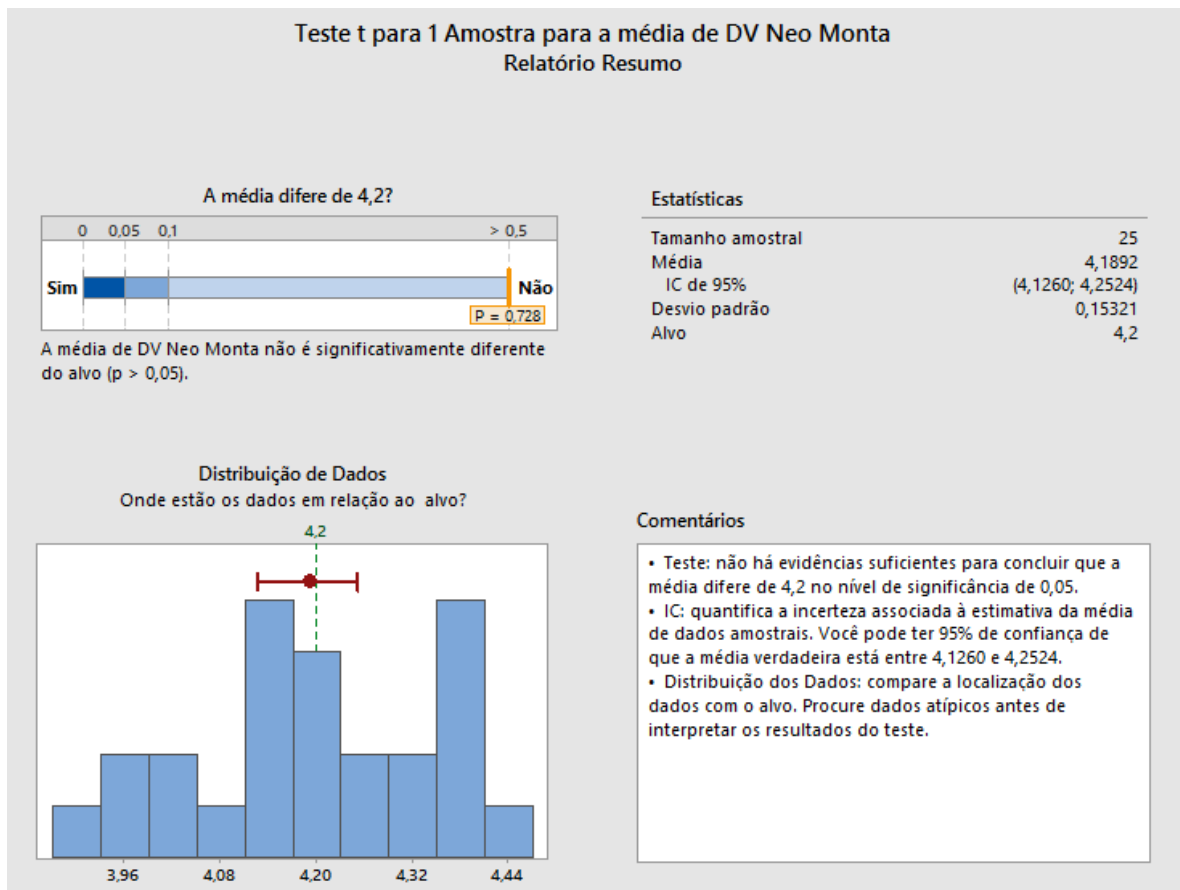


Figura 58 - Teste t para média dos tempos na célula intermédia DV Neo, postos 1 e 2 ( $\alpha=0.05$ )

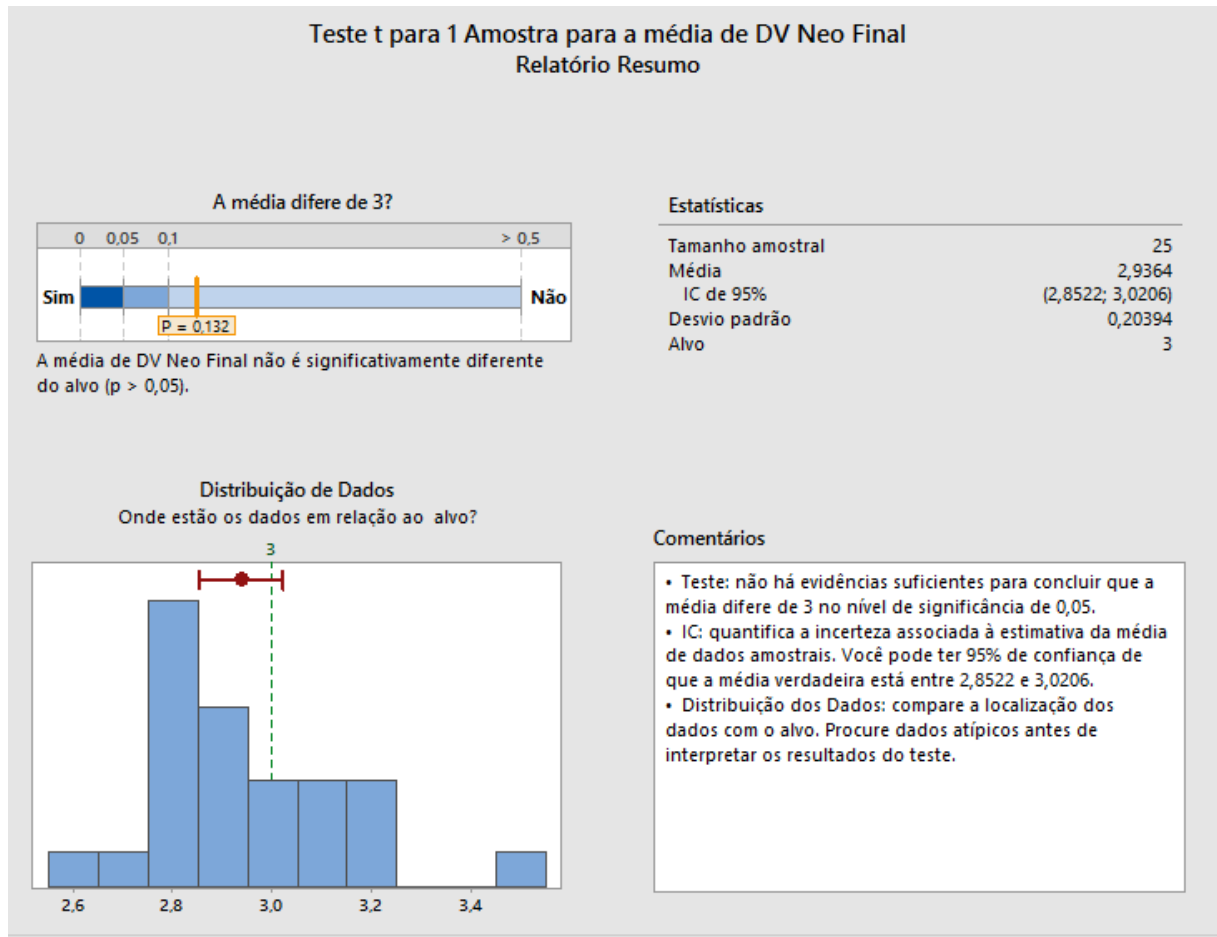


Figura 59 - Teste t para média dos tempos na célula final DV Neo, postos 1 e 6 ( $\alpha=0.05$ )

Em nenhum dos testes se rejeitou a hipótese nula, tendo sido validado o valor de 0,6 segundos para unidade do movimento.

## ANEXO C: Estudo de capacidade e trabalho estandardizado

Tabela 23 - Cálculo do tempo de produção diário

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Qt. Turnos Diários    | 2   |
| Tempo Turno 8h (min)  | 480 |
| Paragens Programadas  | 50  |
| Tempo Produção Diário | 860 |

Tabela 24 - Cálculo do *takt time*

| Célula  | Referência | Volumes anuais máximos | Volumes diários | Bottleneck | % trabalho no total da célula | Tempo produção diário designado (min) | Takt Time (s) |
|---------|------------|------------------------|-----------------|------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Panther | 2753/9649  | 165 414                | 654             | 25         | 39,6%                         | 341                                   | 31,3          |
|         | 2881       | 224 825                | 889             | 28         | 60,4%                         | 519                                   | 35,0          |
| DV Neo  | 1739       | 171 000                | 679             | 26,1       | 51,6%                         | 443,6                                 | 39,2          |
|         | 3234       | 171 000                | 679             | 24,5       | 48,4%                         | 416,4                                 | 36,8          |

Tabela 25 - Conteúdo de trabalho e estimativa do número de operadores nas células

| Célula          | Referência | Tempo de ciclo planeado (s) | Conteúdo de trabalho: carga e descarga e trabalho manual (s) | Cálculo do número de operadores | Estimativa do número de operadores |
|-----------------|------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Panther         | 2753/9649  | 25,03                       | 33,1                                                         | 1,32                            | 2                                  |
|                 | 2881       | 28,04                       | 16,1                                                         | 0,57                            | 1                                  |
| Montagem DV Neo | 1739       | 31,38                       | 39,5                                                         | 1,26                            | 2                                  |
|                 | 3234       | 29,46                       | 30,2                                                         | 1,03                            | 2                                  |
| DV Neo final    | 1739       | 31,38                       | 42                                                           | 1,34                            | 2                                  |
|                 | 3234       | 29,46                       | 101,5                                                        | 3,45                            | 4                                  |

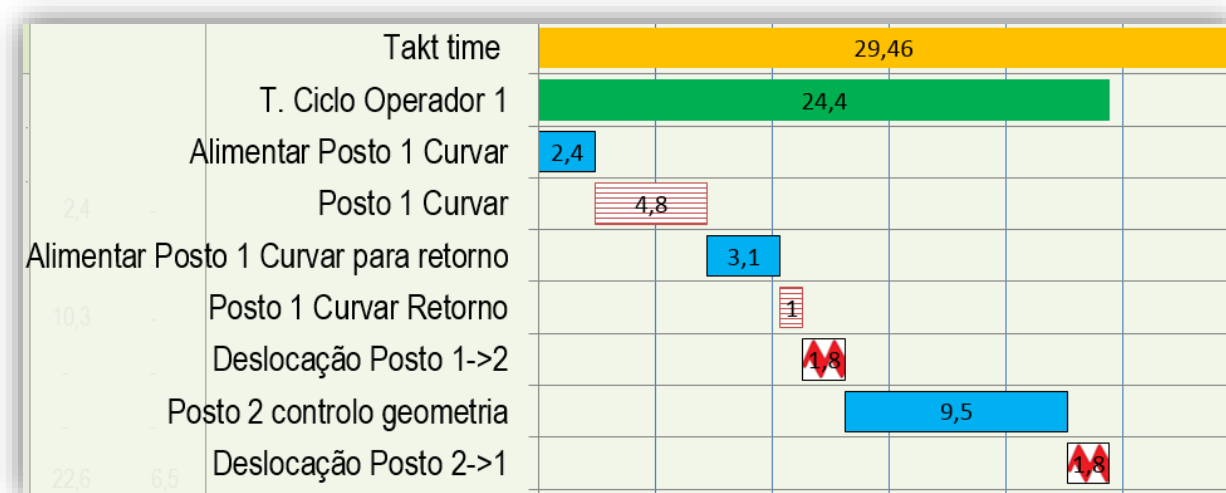


Figura 60 - Sequência de trabalho do Operador 1 da célula DV Neo final, referência 3234

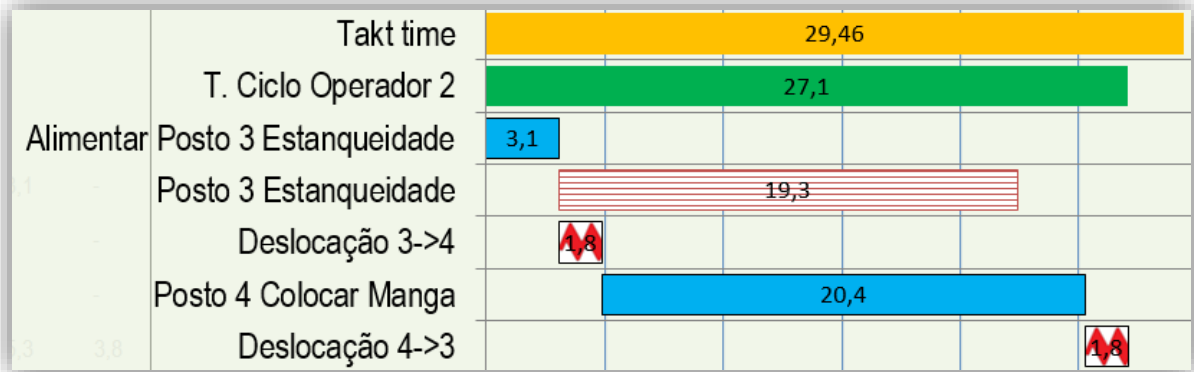


Figura 61 - Sequência de trabalho do Operador 2 da célula DV Neo final, referência 3234

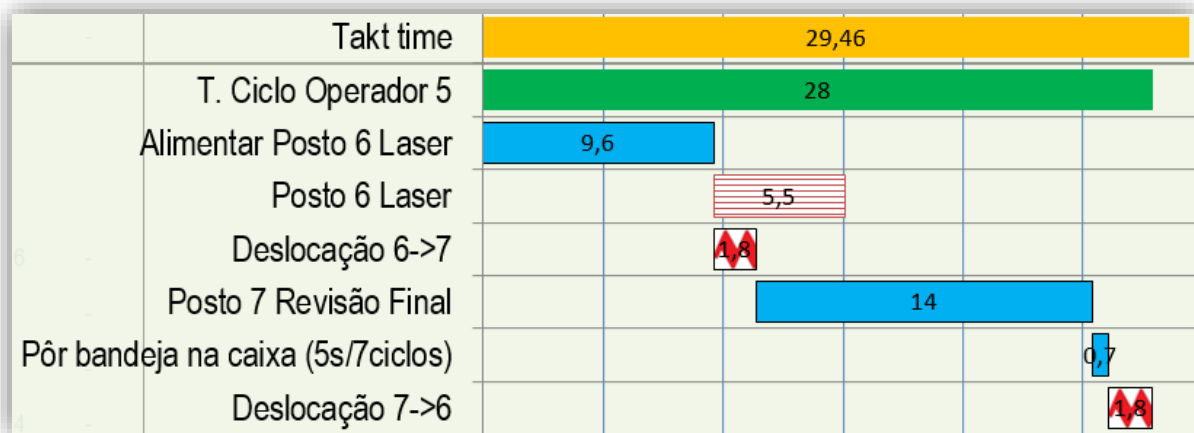


Figura 62 - Sequência de trabalho do Operador 5 da célula DV Neo final, referência 3234

### Ficha Normalizada de Trabalho

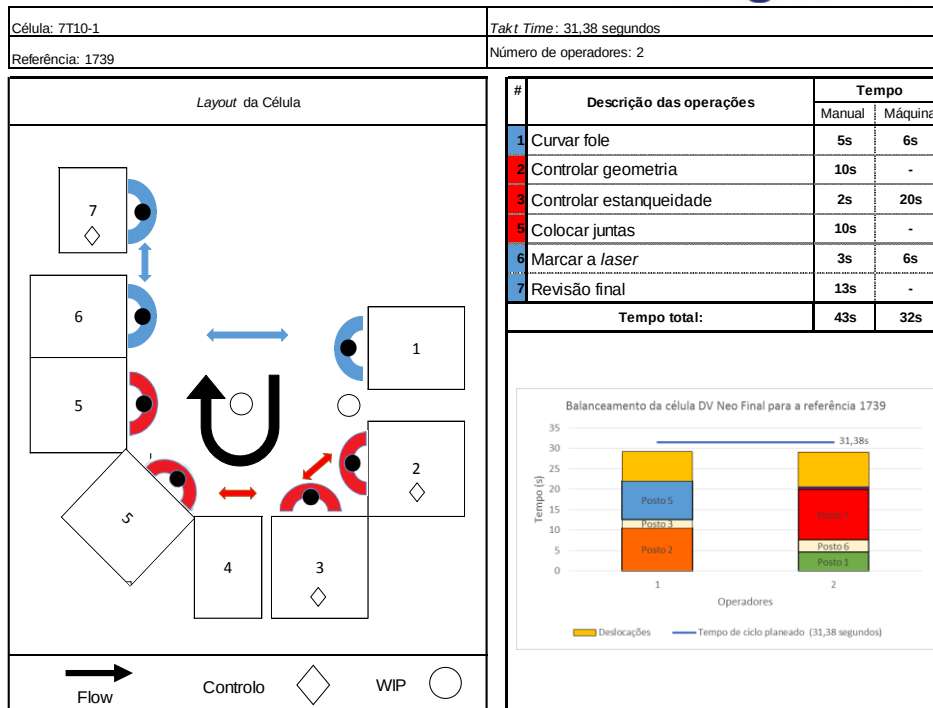


Figura 63 - Ficha normalizada de trabalho para a célula DV Neo final, referência 1739, com dois operadores

## Ficha Normalizada de Trabalho

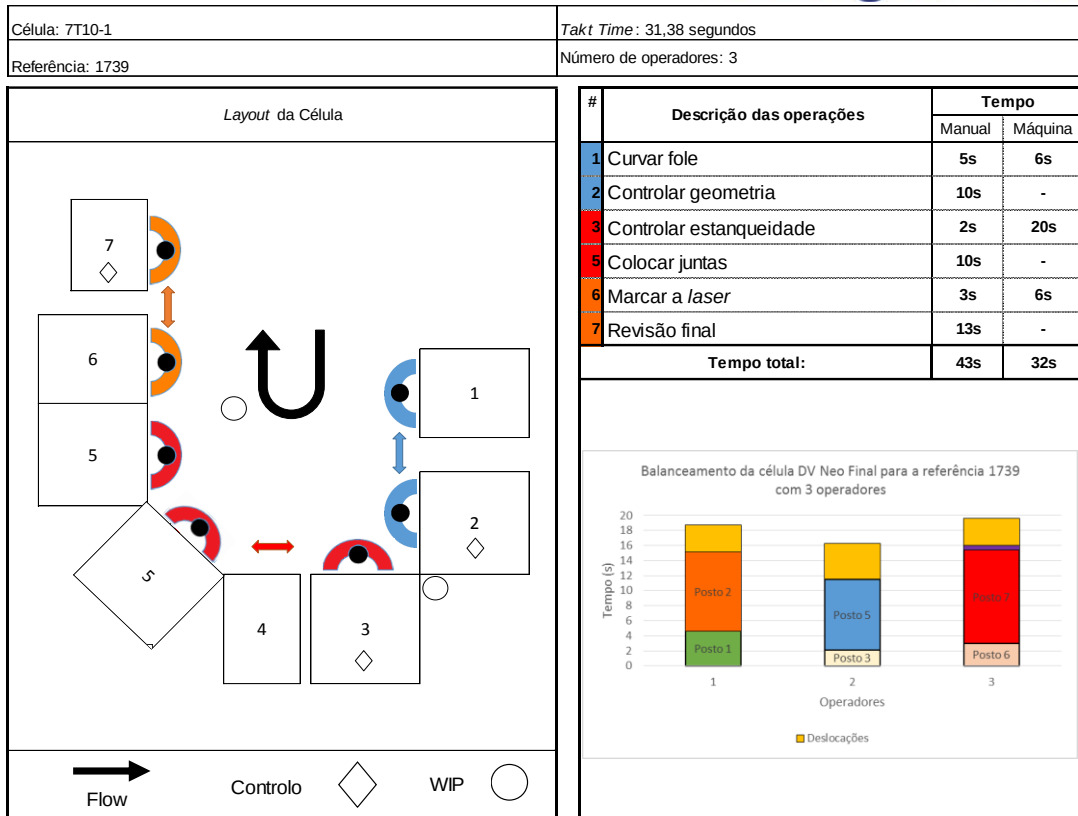


Figura 64 - Ficha normalizada de trabalho para a célula *DV Neo* final, referência 1739, com três operadores

## Ficha Normalizada de Trabalho

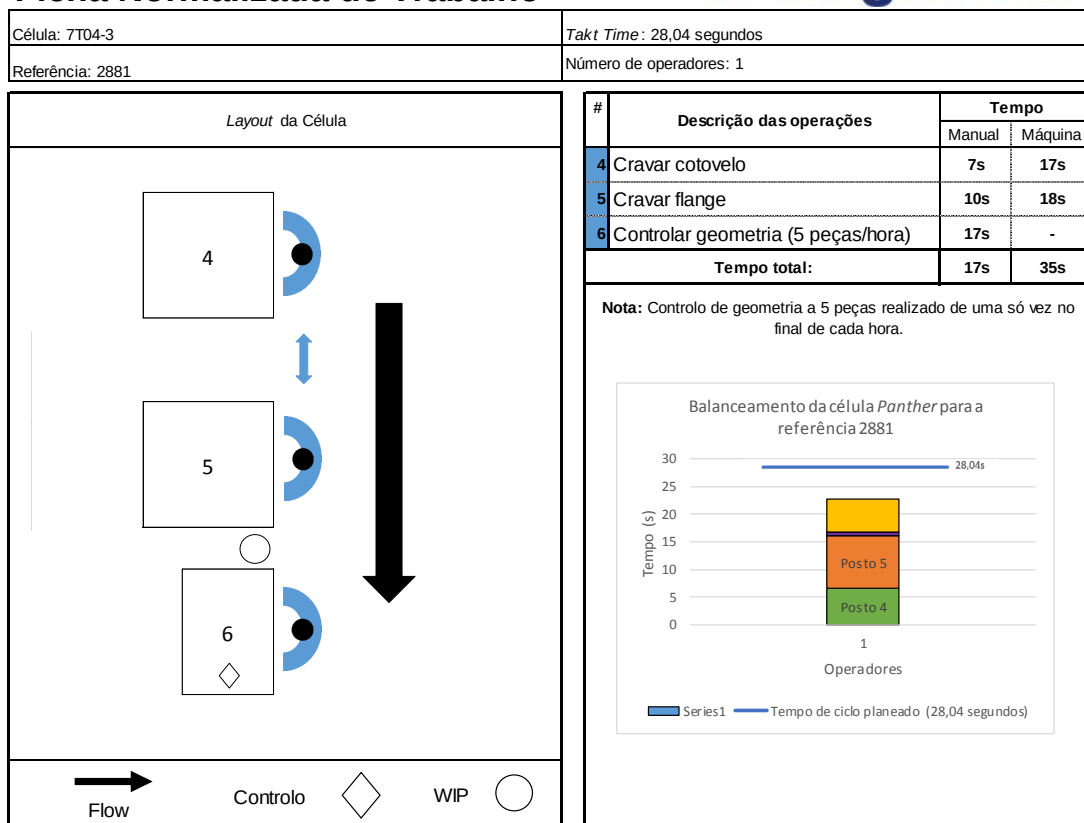


Figura 65 - Ficha normalizada de trabalho para a célula *Panther*, referência 2881

## Ficha Normalizada de Trabalho

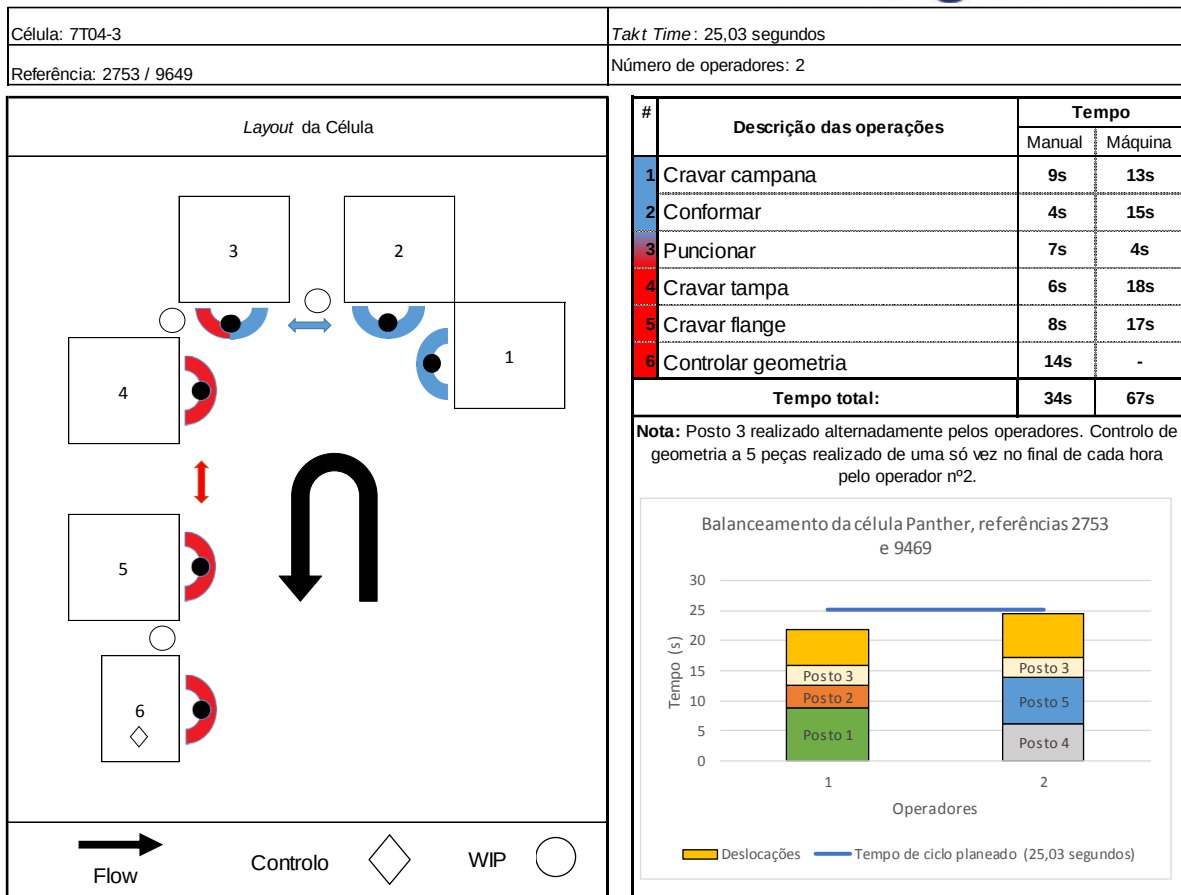


Figura 66 - Ficha normalizada de trabalho para a célula *Panther*, referências 2753 e 9649

## Ficha Normalizada de Trabalho

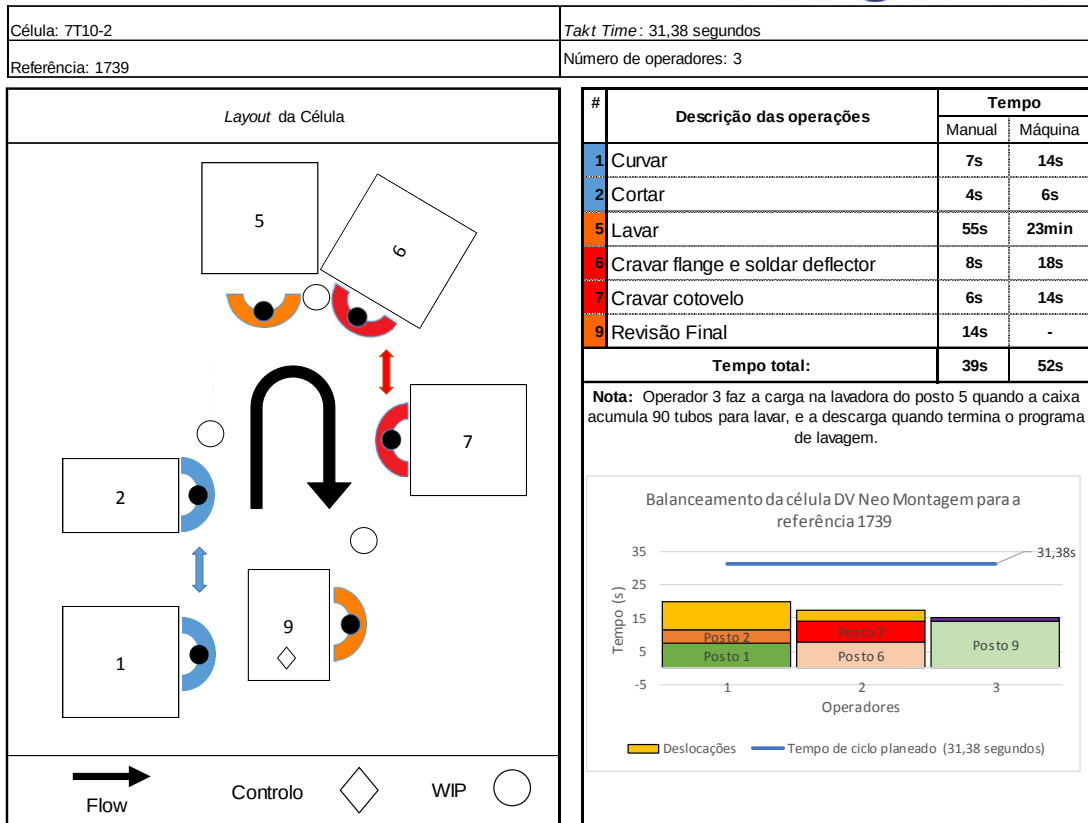


Figura 67 - Ficha normalizada de trabalho para a célula *DV Neo* intermédia, referência 1739

## Ficha Normalizada de Trabalho

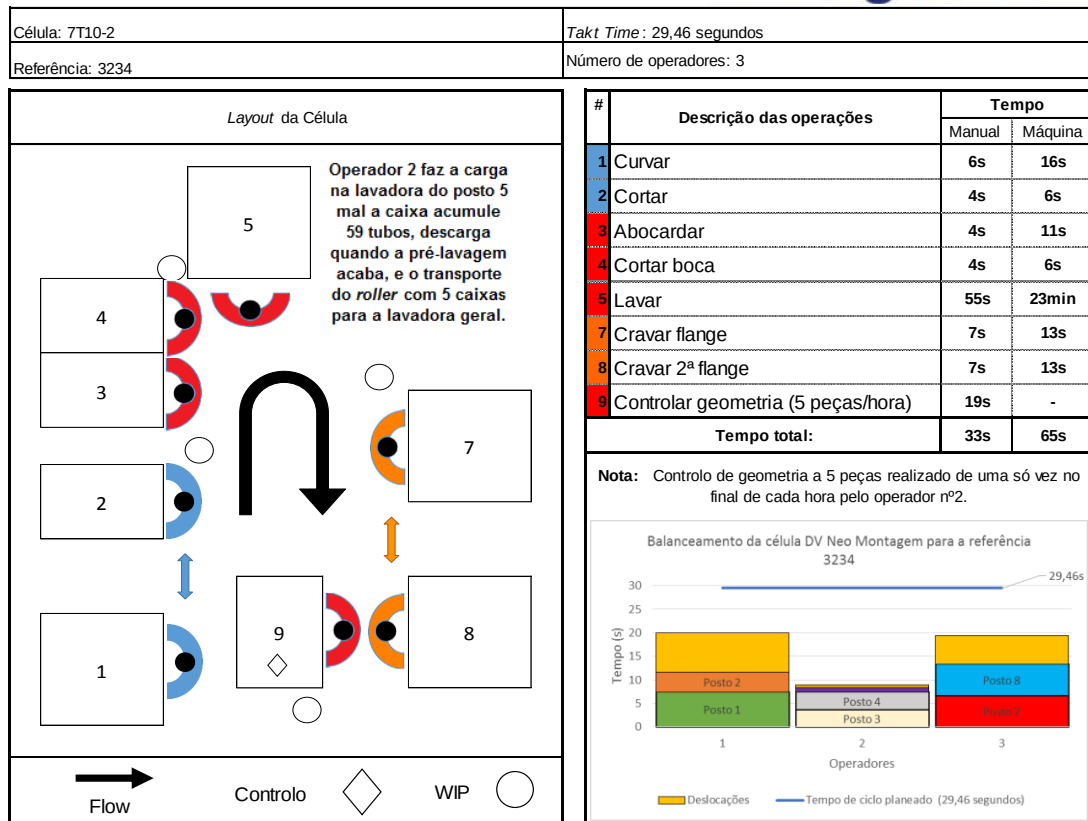


Figura 68 - Ficha normalizada de trabalho para a célula *DV Neo* intermédia, referência 3234

## ANEXO D: Bordos de linha *Panther* e *DV Neo* com *kanban*

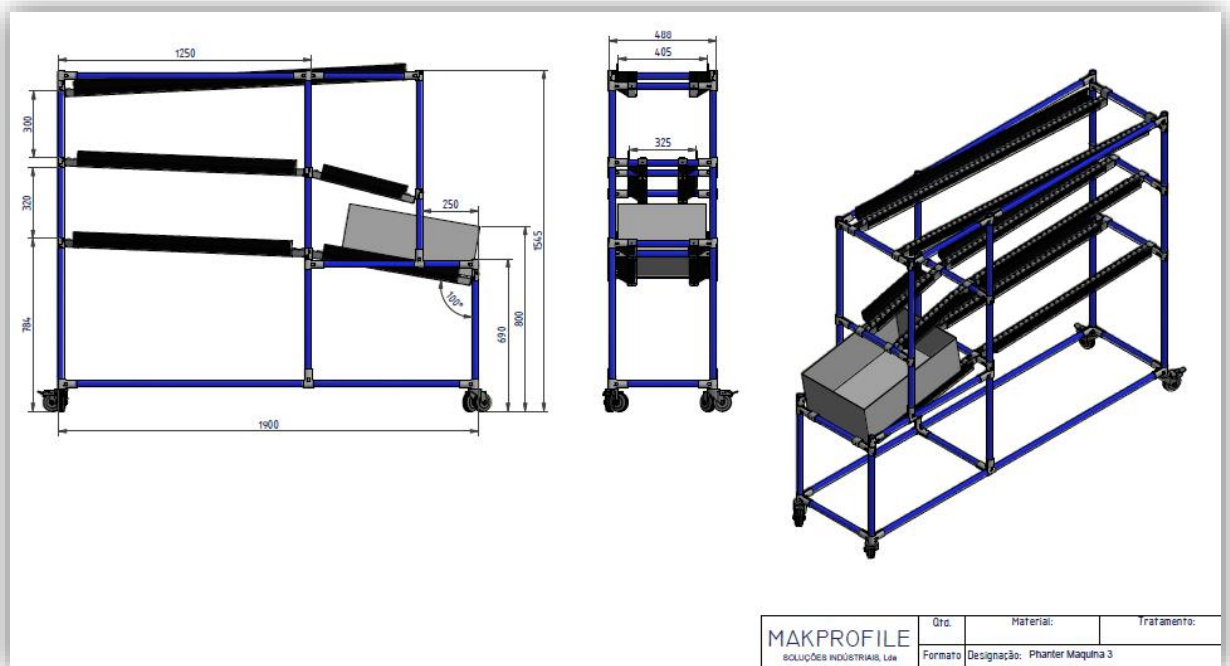


Figura 69 - Segundo bordo de linha *Panther*, único que não chegou a tempo do fim do projeto



Figura 70 - Terceiro bordo de linha *Panther*, entre os postos 4 e 5



Figura 71 - Primeiro bordo de linha DV Neo já com etiquetas e cartões *kanban*

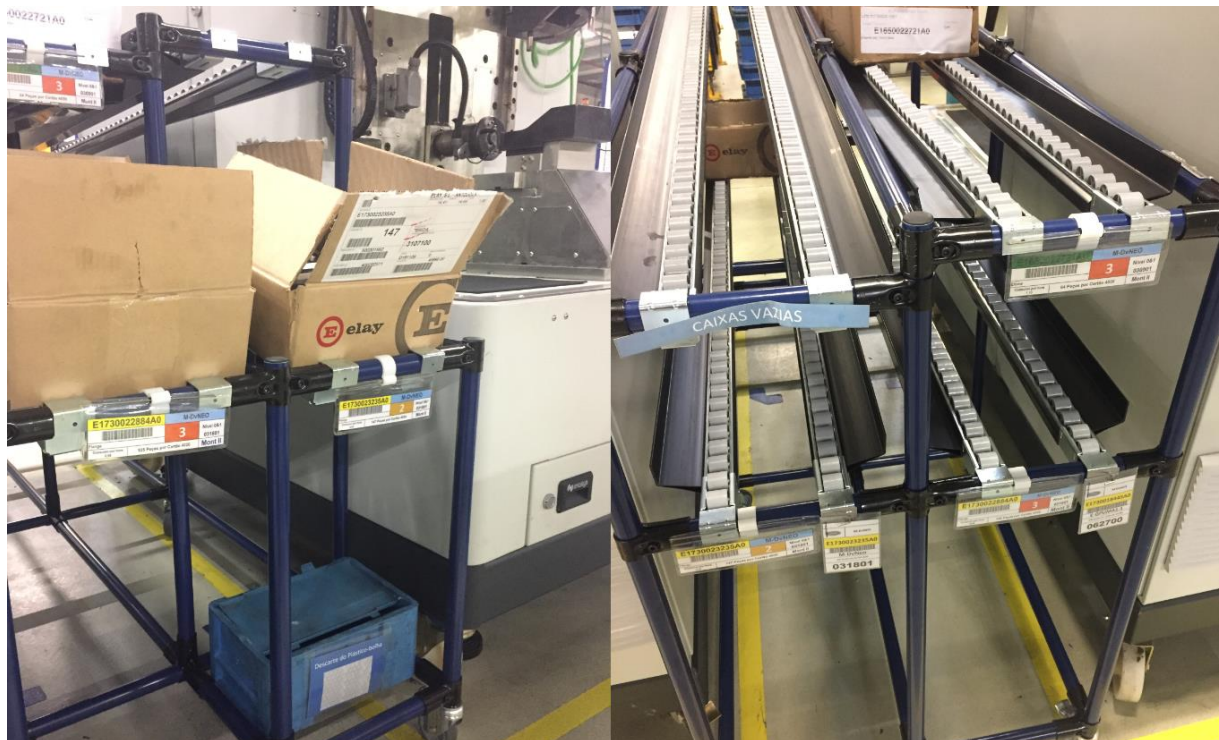


Figura 72 - Segundo bordo de linha DV Neo já com etiquetas e cartões *kanban*

## ANEXO E: Estruturas encomendadas para a entrada e saída do forno

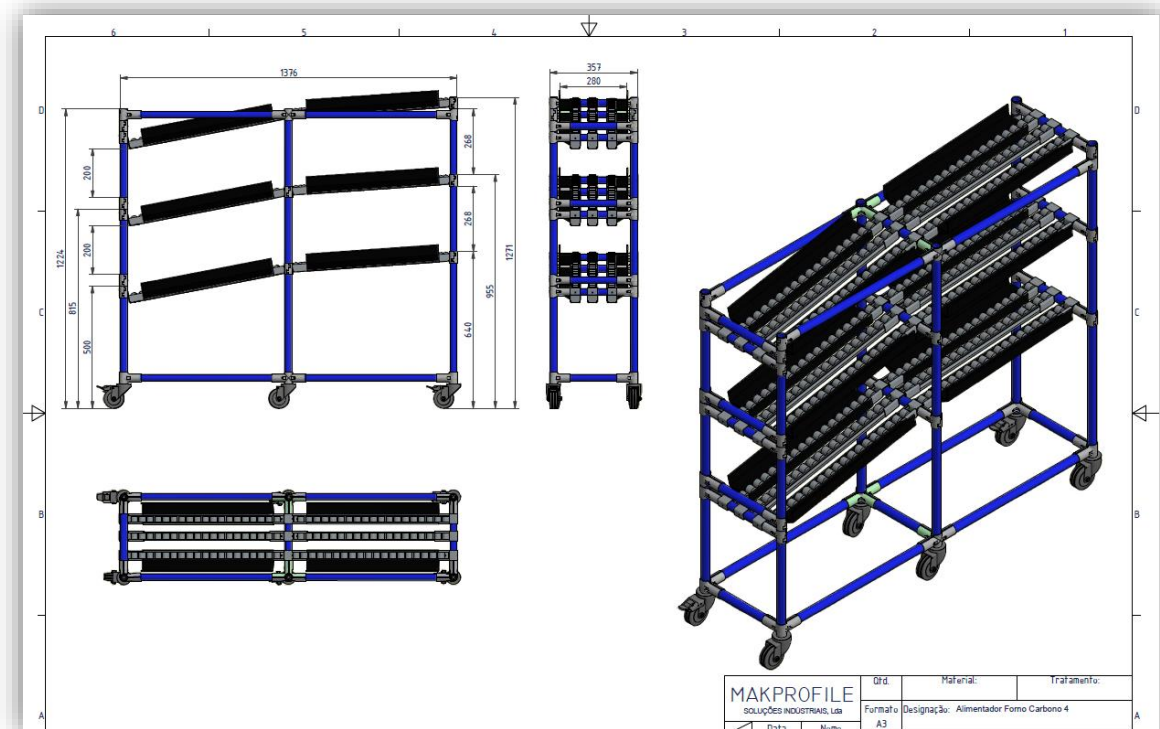


Figura 73 - Estrutura dimensionada para a entrada e saída do forno

## ANEXO F: Outras opções rejeitadas para o *layout* Lion e fotos do acesso final

Foram analisadas opções com o fluxo de trabalho invertido, cuja configuração se encontra na Figura 74 e Figura 75. Estes *layouts* cumpriam praticamente todos os requisitos com a vantagem extra de permitir a colocação não de uma mas de duas paletes, uma para a entrada e outra para a saída dos tubos. A razão pela qual estas opções foram rejeitadas prende-se com a ordem da colocação do par de abraçadeiras no posto 5, da esquerda para a direita como consta da gama de operação, o que iria contra os princípios *lean*, propiciando defeitos por ir contra o fluxo natural do resto da célula.



Figura 74 - Opção de *layout* com fluxo invertido



Figura 75 - Opção de *layout* com fluxo invertido e duas paletes

Outra opção semelhante à opção definitiva encontra-se na Figura 76. Pode-se observar que a presença de uma segunda paleta nesta configuração obrigaria à presença de um alimentador dado que não seria possível alimentar as abraçadeiras diretamente no posto como na opção definitiva com a instalação de funis incorporados.

A última decisão a tomar quanto ao *layout* a implementar prendeu-se com a orientação da mesa de controlo. A opção da Figura 76 permite um fluxo mais natural das peças do último posto para a paleta de saída, mas a opção definitiva tomada favorece mais a comunicação entre operadores e proximidade do operador no posto 6 ao resto da célula pelo que foi a escolha final após reunião com a *Team Leader*, o *Manufacturing Quality Engineer* e o *Product Leader*.



Figura 76 - Opção com posto de controlo final na perpendicular em relação aos restantes postos

Por fim, é possível visualizar na Figura 77 e Figura 78 o acesso agora mais largo e adequado à passagem dos operadores da logística interna até às traseiras da linha final *DV Neo* onde serão abastecidas as mangas de resistência térmica, as juntas e as abraçadeiras no funil incorporado.



Figura 77 - Acesso largo às traseiras da linha final *DV Neo*



Figura 78 - Traseiras da linha final DV Neo onde serão abastecidos os componentes

## ANEXO G: Auditoria 5S à célula final Lion, mês de Dezembro

Refira-se que esta auditoria referente ao mês de Dezembro de 2018 foi efetuada no início de Janeiro de 2019 pelo *Team Leader* do turno da manhã, tendo a alteração física do espaço ocorrido no dia 20 de Dezembro de 2018. A avaliação obtida foi de 92 pontos ou “Excelente”, uma melhoria em relação aos 86 pontos (“Bom”) do mês anterior.

<

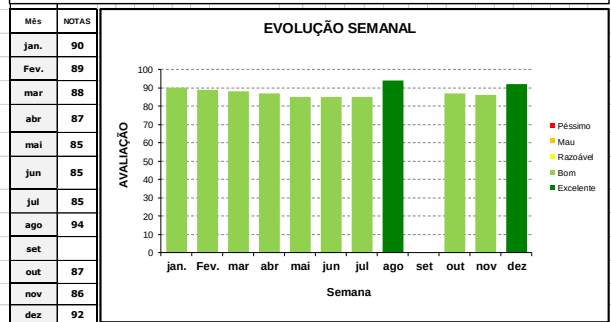
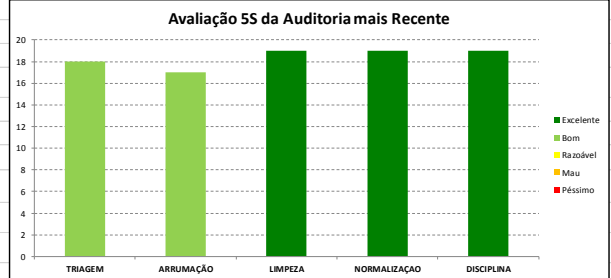


Figura 79 - Auditoria 5S à célula final Lion, mês de Dezembro

## ANEXO H: Excertos do ficheiro AutoCAD com o antes e o depois do layout Lion

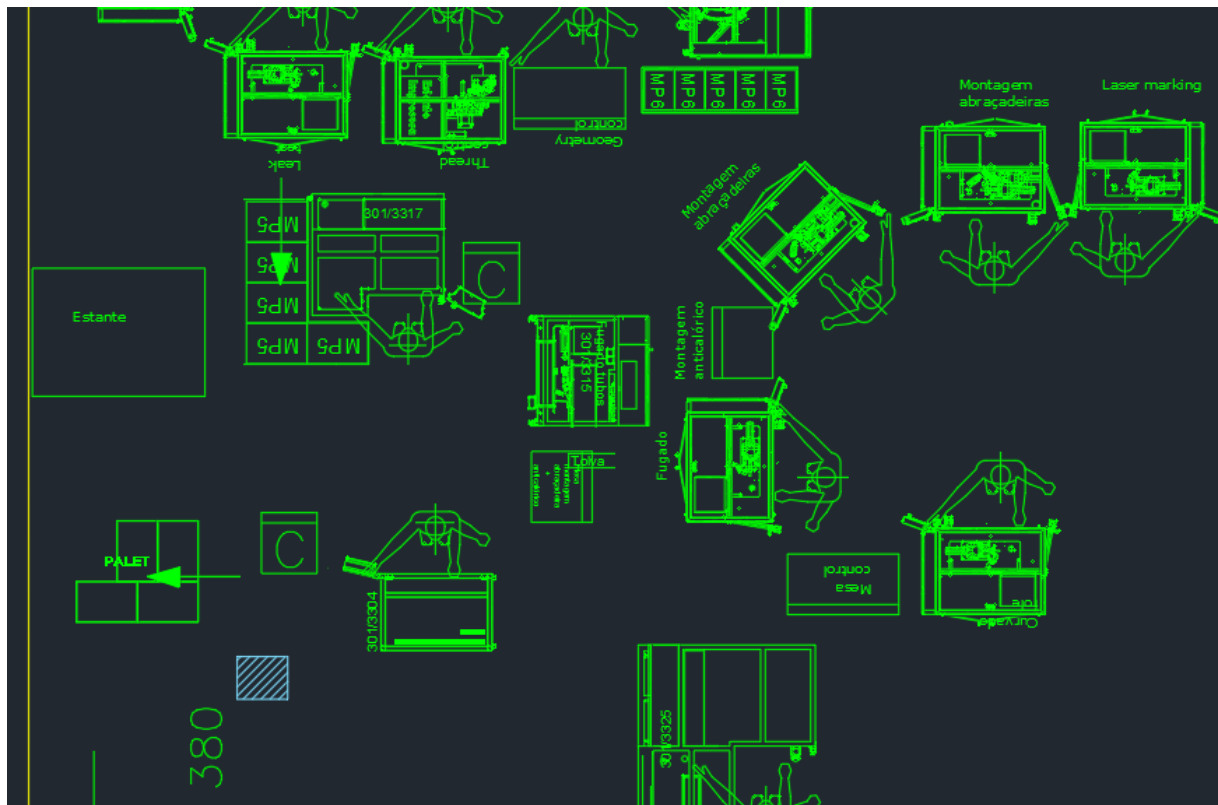


Figura 80 - *Layout Lion antigo*

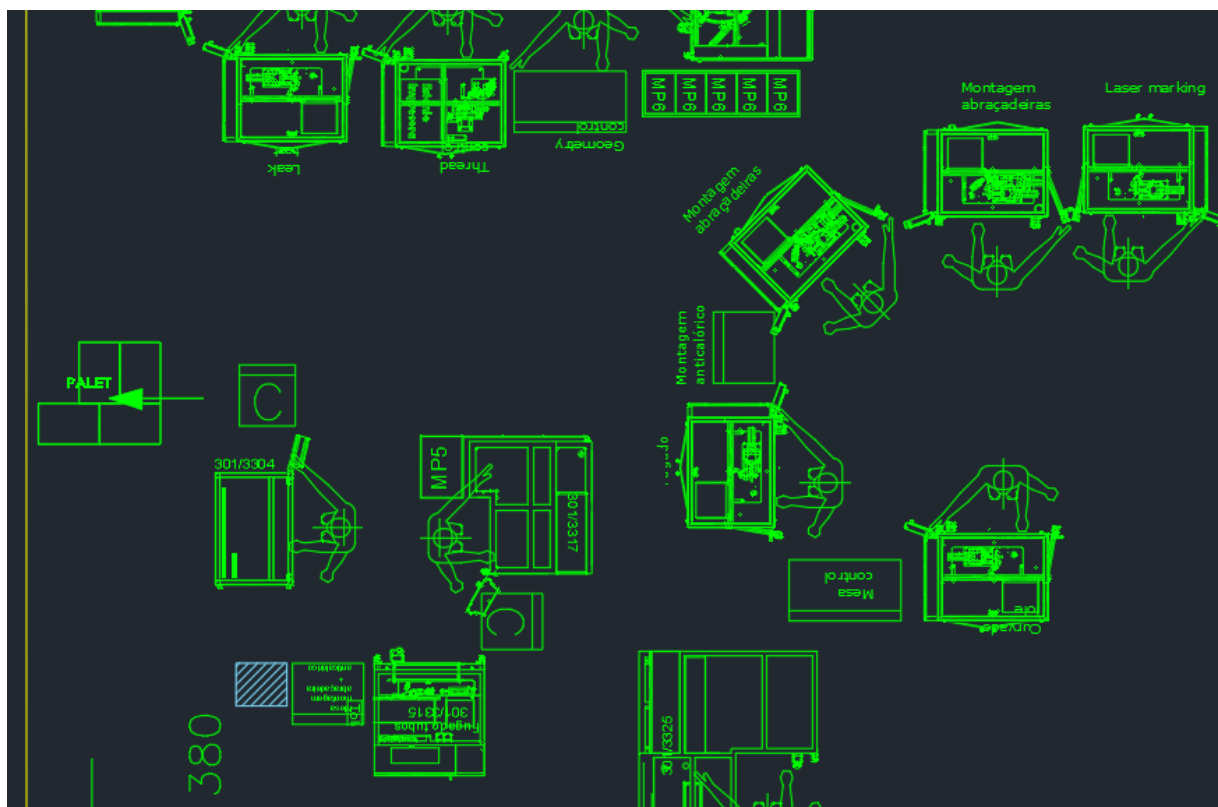


Figura 81 - *Layout Lion novo*

## ANEXO I: Outras soluções propostas, descartadas ou por aprofundar

### Ergonomia na troca de ferramenta *Panther*

Para tratar este problema de ergonomia, foram consideradas várias opções. Se a mordaça for retirada por arrastamento, só poderá sair numa direção lateral onde está agora um bordo de linha que alimenta a célula com material. Após análise foram listadas as possíveis soluções para o problema:

- Utilização de um carro com tabuleiro extensível à altura da ferramenta, com suporte para o tabuleiro ficar apoiado na mesa;
- Instalação de um guincho à semelhança do que está implementado noutra célula (Figura 82). Esta solução é demasiado dispendiosa e está a ser utilizada para levantar ferramentas bastante mais pesadas do que as mordaças em questão;
- Retirada da mordaça em dois passos, primeiro a parte superior e depois a inferior, sendo a sua colocação de modo análogo (primeiro a parte inferior e depois a superior);
- Utilização do carro habitual e uma plataforma na máquina para fazer a ponte entre o carro de ferramentas e a mordaça;
- Substituição das mordaças para outras adaptadas a um sistema de encaixe rápido como se verifica noutra célula da fábrica. Esta opção é excessivamente dispendiosa;
- Utilização de uma plataforma com ajuste de altura por pedal, como existe noutro ponto da fábrica (Figura 82). Esta opção além de dispendiosa não resolve o problema da movimentação das mordaças do carro até ao local de encaixe.



Figura 82 - Guincho para ferramentas pesadas e plataforma com ajuste de altura por pedal

Considerando as opções listadas em termos de qualidade-preço, a melhor solução será a utilização do carro existente na empresa e a adição de uma plataforma desmontável na própria máquina. Até que esta solução seja implementada, os operadores devem manusear a mordaça a dois tempos, dividindo-a nas duas partes que a constituem. Esta medida temporária atrasa o processo de troca de referência mas garante a segurança e ergonomia. As mordaças, sendo o elemento crítico no que toca à ergonomia dado o seu peso, serão arrumadas no nível superior do carro com as ferramentas *Panther*, ficando os cabeçais, mais leves, nos níveis inferiores. O código de cores implementado garante a ausência de erros com as mordaças todas no mesmo local.

### Suportes para tubos na célula final *DV Neo* e *Lion*

Foi pedido orçamento ao fornecedor para a instalação de um suporte para tubos análogo ao da Figura 83 na célula final *DV Neo* e *Lion*. Estava prevista a mesma solução para a célula final *DV Neo* entre os dois últimos postos de modo a resolver o problema da dupla interação com as bandejas que levava a falhas na revisão final. O nivelamento do trabalho nesta linha estabeleceu contudo apenas um operador nestes postos pelo que foi possível evitar este custo. Os tubos só serão colocados nas bandejas após o controlo final e não após a marcação a laser.



Figura 83 - Suporte para tubos entre postos noutra célula da fábrica

No caso da célula *Lion*, e na impossibilidade de trabalhar em *one-piece flow*, os operadores trabalham com um carro fazendo de fronteira entre os dois últimos postos, carro esse com a caixa de retrabalho que deveria estar debaixo da mesa de controlo. Para libertar o espaço e melhorar o fluxo foi proposta a adição de um suporte para um número reduzido de tubos na mesa de controlo final, do lado esquerdo do operador, eliminando o uso do carro. A sugestão foi aceite e a tarefa foi delegada ao *Manufacturing Quality Technician* no término deste projeto.

### Layout *Panther*

Existe uma distância significativa entre as máquinas 2 e 3 da célula *Panther*, como se pode verificar na Figura 84. Ambas as máquinas realizam operações de conformação plástica, conferindo uma forma oval na ponta do tubo e abrindo pequenas janelas nas extremidades através de puncionamento. Não sendo adicionado nenhum componente ao tubo nestes dois postos, não há necessidade de alimentar a célula com material neste local pelo que a existência deste espaço constitui um desperdício. Não é necessário um bordo de linha entre estas máquinas e a sua aproximação reduziria os tempos de deslocação dos operadores.



Figura 84 - Espaço desperdiçado entre os postos 2 e 3 na célula *Panther*

Contudo, a porta para acesso ao interior da máquina 2 encontra-se na lateral o que impossibilitaria a aproximação à máquina 3. Foi analisada a rotação das máquinas de modo a aumentar o ângulo entre elas, e a troca da porta de acesso ao interior da máquina por uma porta

corrida. Contudo, o cliente é inflexível quanto a alterações às posições estabelecidas para as máquinas pelo que esta opção foi descartada para este projeto.

***Controlo a 100% da referência 1739***

Foram discutidas com a equipa as possíveis soluções para o elevado número de não-conformidades no tubo *DV Neo*, referência 1739, no que diz respeito à ponta do tubo onde é colocado o deflector. À data de fim do projeto, havia fortes indícios de que a causa para este problema era a posição de encaixe do tubo na curvadora, havendo uma folga entre as dimensões do tubo e a ranhura de encaixe na curvadora, indícios esses a aguardar confirmação após estudo.