



**ANA BEATRIZ
TAVARES FRADE**

**A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À
DECISÃO NA REORGANIZAÇÃO DE UM LAYOUT
FABRIL**



**ANA BEATRIZ
TAVARES FRADE**

A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO NA REORGANIZAÇÃO DE UM LAYOUT FABRIL

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro, e sob a coorientação científica da Doutora Leonor da Conceição Teixeira, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

“Learning never exhausts the mind.”

Leonardo da Vinci

o júri

presidente

Prof. Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof.^a Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António Ernesto da Silva Carvalho Brito
Professor auxiliar da Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia

agradecimentos

Agradeço à minha orientadora Professora Ana Luísa Ramos pelo apoio dado durante a realização deste trabalho e por ter estado sempre disponível apesar das circunstâncias. Agradeço também à minha coorientadora Professora Leonor Teixeira pela simpatia e profissionalismo com que me orientou neste projeto.

A todos os meus colegas de trabalho, Francisco Gomes, Luís Andrade, Nestor Gomes, Sandra Laureano e, em especial, ao Eng.º Carlos Novais por toda a paciência que demonstrou durante a realização do projeto.

Um agradecimento especial à minha orientadora Marlene Brito por toda a partilha de conhecimentos e por todo o trabalho que desenvolvemos juntas durante os meses que trabalhamos em conjunto.

Aos meus amigos e namorado pelos conselhos e companheirismo durante todos estes anos.

Por fim, agradeço à minha família, principalmente aos meus pais por todo o apoio dado durante o meu percurso académico e à minha irmã por toda a ajuda que prestou e pelos conhecimentos partilhados, que foram úteis para o sucesso do meu percurso como estudante.

palavras-chave

Layouts, lead time, simulação, software Arena, taxa de utilização.

resumo

A análise e avaliação periódica dos *layouts* fabris tem-se tornado, cada vez mais, uma preocupação das empresas. Por este motivo, a Cifial decidiu analisar o *layout* atual da área de preparação de superfícies de uma das suas fábricas.

O objetivo principal consistiu na identificação de desperdícios e de oportunidades de melhoria, tendo como foco a diminuição do *lead time*, redução de *WIP* e melhoria da eficiência da área produtiva. De modo a efetuar uma análise quantitativa com um considerável número de medidas de desempenho recorreu-se à simulação, avaliando-se o cenário atual e cenários alternativos com potenciais melhorias.

Após a definição da proposta final de alteração de *layout* pode-se concluir que, com as modificações sugeridas, poder-se-ia obter uma redução de cerca de 56% em *WIP*, 7% de melhoria na taxa de utilização dos recursos e uma diminuição de 34% no *lead time*. É de salientar que o investimento necessário para a alteração do *layout* terá retorno financeiro ao fim de 5 meses.

keywords

Layouts, lead time, simulation, Arena software, schedule utilization.

abstract

The analysis and periodic evaluation of factory layouts has become a concern for business leaders. For this reason, Cifial has decided to start an analysis to the current layout of the surface preparation area in one of its factories. The main objective was to identify wastes and improvement opportunities, focusing on the reduction of lead time and WIP and on the improvement of the efficiency of the productive area. In order to perform a quantitative analysis with a considerable number of key performance indicators, simulation was used to evaluate the current scenario and possible alternative layouts with potential improvements.

After the definition of the final layout proposal, it can be concluded that, with the layout modification, there could be a reduction of 56% on WIP, 7% more resource schedule utilization and a decrease of 34% on lead time. It is noteworthy that the necessary investment for the layout alteration will have its financial return after 5 months.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. Enquadramento	5
1.2. Motivação para o Tema e Objetivos	5
1.3. Metodologia Aplicada.....	6
1.4. Estrutura do Relatório	6
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	9
2.1. Layout Fabril.....	9
2.1.1. <i>Layout</i> por Processo	9
2.1.2. <i>Layout</i> por Produto ou em Linha.....	10
2.1.3. <i>Layout</i> de Posição Fixa.....	11
2.1.4. <i>Layout</i> em Célula.....	12
2.2. <i>Lean Manufacturing</i>	13
2.2.1. Os Desperdícios do <i>Lean</i>	15
2.2.2. Value Stream Mapping (VSM)	15
2.3. Simulação Computacional	16
2.3.1. Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	17
2.3.2. Passos de um Projeto de Simulação	18
3. ESTUDO DE SIMULAÇÃO	21
3.1. Apresentação da Empresa	21
3.1.1. História da Cifial	22
3.1.2. Processos Produtivos da Empresa	23
3.2. Definição do Cenário Atual	24
3.2.1. Formulação do Problema.....	24
3.2.2. Modelação Concetual e Recolha de Dados	25
3.3. Construção do Modelo Lógico.....	32
3.3.1. Realização do Teste Piloto	38
3.3.2. Desenho de Experiências.....	39
3.3.3. Análise dos Resultados.....	40
3.4. Simulação de Cenários Alternativos	42
3.4.1. Cenário 1	43

3.4.2. Cenário 2	44
3.4.3. Resultados das Simulações dos Cenários Alternativos	45
3.5. Validação da Proposta de Melhoria de <i>Layout</i>	47
4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
6. ANEXOS	55

Índice de Figuras

Figura 1 – Layout por Processo (adaptado de Benjaafar et al., 2002).....	10
Figura 2 – Layout por Produto – Indústria de Papel (adaptado de Slack et al., 1999).....	11
Figura 3 – Layout de Posição Fixa (adaptado de Kumar e Suresh, 2008)	12
Figura 4 – Layout em Célula em “U” e em círculo (adaptado de Courtois et al., 2007)	13
Figura 5 – Value Stream Mapping de uma Empresa de Motores Norte-Americana (fonte: McDonald et al., 2002).....	16
Figura 6 – Passos de um Estudo de Simulação (adaptado de Law & Kelton, 1991)	18
Figura 7 – Cifial (fonte: website da Cifial)	21
Figura 8 – Exemplo de Produtos Fabricados nas Unidades Fabris de Rio de Meão e Paços de Brandão (adaptado de: website da Cifial).....	22
Figura 9 – Distribuição das Aplicações de Software de Simulação na Winter Simulation Conference de 2005 (Fonte: Mejía et al., 2008).....	25
Figura 10 – Torneira 90° com Acabamento XSLG e 625, respetivamente	27
Figura 11 – Torneira Cascata antes de Cromar	27
Figura 12 – Layout Atual da Área de Preparação de Superfícies.....	28
Figura 13 – Layout da Área de Preparação de Superfícies sem as Máquinas Inutilizadas .	29
Figura 14 – Máquina de Lixagem Robotizada	30
Figura 15 – Interior da Máquina de Lixagem Robotizada em funcionamento.....	30
Figura 16 – Máquina de Polimento Automático	31
Figura 17 – Interior da Máquina de Polimento Automático em funcionamento.....	31
Figura 18 – Posto de Lixagem/Polimento/Murçagem Manual.....	32
Figura 19 – Postos de Escolha.....	32
Figura 20 – Informação dos Módulos Create	34
Figura 21 – Exemplo de um Módulo Process (Operação de Escolha)	35
Figura 22 – Exemplos de Módulos Decide	36
Figura 23 – Exemplos dos Módulos de Batch.....	37
Figura 24 – Exemplo de um Módulo de Transportes (Leave).....	38
Figura 25 – Value Stream Map realizado no dia 14 de Fevereiro de 2017	39
Figura 26 – Parâmetros de Replicação da Simulação.....	40
Figura 27 – Gráfico da Taxa de Utilização dos Centros de Trabalho	41
Figura 28 – Caminho Percorrido por uma Torneira 90° em acabamento cromado.....	42

Figura 29 – Célula do Cenário 1 para as Referências 90° e Cascata	44
Figura 30 – Célula do Cenário 2 para as Referências 90° e Cascata	45
Figura 31 – Taxa de Utilização dos Recursos do Cenários Alternativos 1 e 2	46
Figura 32 – Proposta Final para o Novo Layout	48

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Os Setes Desperdícios do Lean (adaptado de Ohno, 1988).....	15
Tabela 2 – Percentagem de Tempo de Processamento e Custo de Produção por Família de Produtos.....	25
Tabela 3 – Referências a Mapear da Família dos Fundidos	26
Tabela 4 – Módulos Utilizados no Arena.....	33
Tabela 5 – Exemplo de Módulo Assign com os Valores de um dos Atributos Definidos ..	34
Tabela 6 – Percentagem de Peças OK, Rework e Sucata das Referências em Estudo.....	37
Tabela 7 – Resultados da Simulação do Cenário Atual.....	41
Tabela 8 – Problemas e Soluções para os 7 Desperdícios	43
Tabela 9 – Resultados dos Cenários Alternativos 1 e 2	45
Tabela 10 – Ganhos Anuais com a Proposta de Alteração de Layout.....	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

As empresas do setor industrial têm-se focado cada vez mais na redução de desperdícios e na otimização dos seus processos produtivos. Uma das formas de se conseguirem melhores resultados é através da análise do *layout* atual, fazendo propostas para novos *layouts*.

O *layout* fabril ajuda numa melhor e mais eficiente utilização de recursos humanos, materiais e máquinas. A escolha de um bom *layout* tem impactos significativos nos custos de produção, *work in progress (WIP)*, *lead time* e produtividade. Por este motivo é uma decisão complexa escolher o *layout* que evite áreas vazias na zona de produção, má localização das atividades chave, excesso de *stock* e de movimentação do mesmo (Yadav & Sharma, 2016).

Alterar o *layout* atual para se testar um novo *layout* que, à partida, não se sabe que impacto terá, poderá acarretar custos elevados. Nessas situações, pode-se recorrer à simulação para desenhar e criar um modelo informático do sistema real (ou projetado). Este modelo servirá para se fazerem experiências de possíveis cenários alternativos sendo que o modelo de simulação nos irá indicar o comportamento do sistema quando se alteram algumas variáveis (Kelton et al., 2002).

Como, por norma, é dispendioso fazer alterações num *layout* fabril, os modelos de simulação permitem fazer uma representação do sistema real, sendo possível depois a alteração desse modelo, testando várias alternativas, sem se recorrer a alterações físicas.

Este projeto tem como base a avaliação do *layout* atual na área de acabamentos da Cifial. Desta avaliação surgiram novas oportunidades de melhoria que deram origem a novos modelos de simulação, para que se pudesse fazer uma avaliação quantitativa e dinâmica destas potenciais melhorias. Deste modo, o recurso à simulação surge como uma abordagem de avaliação de diferentes cenários, sem que isso represente um elevado custo para a empresa.

1.2. Motivação para o Tema e Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste na melhoria do *layout* da área produtiva de preparação de superfícies na empresa Cifial. Deste modo, pretende-se que haja um aumento de produtividade e redução do *lead time* atual.

A empresa já se tinha apercebido que existia um elevado fluxo de transportes na área de lixagem e polimento. A maioria dos produtos tinha uma movimentação demasiado elevada nesta área, sendo que, em muitos casos, eram feitos transportes de uma ponta da fábrica para a outra e, de seguida, era feito o caminho inverso. Esta desorganização e excesso de transportes origina a criação de lotes de produção para evitar que a movimentação seja feita com poucas peças. Isto conduz a um elevado tempo de espera entre processos até que se forme um lote completo para ser transportado, para além dos elevados níveis de *work in progress*. Todos estes fatores têm uma influência grande no *lead time* existente nesta parte do processo.

Assim sendo, começou a perceber-se que faria sentido realizar um estudo sobre o estado atual do *layout* da área de preparação de superfícies. Este estudo tinha dois grandes objetivos: em primeiro lugar, perceber qual o *Lead Time* atual e o *WIP* resultante dos transportes existentes e da criação de lotes e, em segundo, fazer propostas de melhoria para aumentar a eficiência e produtividade desta área.

1.3. Metodologia Aplicada

Em primeiro lugar fez-se uma breve revisão dos principais temas que se entenderam pertinentes para a realização deste trabalho. Assim sendo, realizou-se uma pesquisa sobre a temática dos *layouts*, sobre a metodologia *Lean Manufacturing* e sobre a simulação computacional.

De seguida, definiu-se o sistema em análise e fez-se um estudo aprofundado sobre o mesmo. Estudaram-se os processos produtivos existentes na empresa e, mais em pormenor, os postos de trabalho da área em estudo. Posteriormente seguiu-se a habitual metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação: definição do problema e dos objetivos do estudo, recolha de dados e definição do modelo concetual, construção do modelo lógico, verificação e validação, desenho experimental, análise de resultados e apresentação de resultados. Depois de efetuada a simulação e a respetiva análise dos resultados obtidos, definiram-se os cenários alternativos, com o intuito de melhorar a eficiência da área produtiva. Após a avaliação desses cenários, definiu-se a melhor opção para a alteração de *layout* da área de preparação de superfícies.

É importante salientar que para a realização deste projeto se recorreu a várias ferramentas, entre elas: a simulação discreta (e o simulador Arena), a análise ABC, o cálculo de indicadores de desempenho, a definição de *paybacks* e o *value stream mapping* (*VSM*).

1.4. Estrutura do Relatório

Este relatório divide-se em quatro capítulos. No presente capítulo apresentam-se o enquadramento e objetivos do projeto e a metodologia utilizada.

No segundo capítulo apresenta-se um enquadramento teórico onde se abordam três temas centrais: *layout* fabril, metodologia *Lean Manufacturing* (onde se incluem as definições de *Value Stream Mapping* e dos sete desperdícios) e, por fim, a simulação computacional.

Em seguida, no terceiro capítulo, é apresentado o estudo de simulação desenvolvido. É apresentada uma descrição da empresa onde foi realizado o projeto, quais os produtos fabricados na Cifial e os processos produtivos utilizados na fábrica. Seguidamente é explicada a forma como foi efetuada a recolha de dados e como estes foram tratados. Depois da simulação do cenário atual, simularam-se cenários alternativos, que foram avaliados. Dessa avaliação surge o *layout* final alternativo, com os devidos custos de implementação e ganhos mensais.

Por fim, no quarto capítulo, são apresentadas as principais conclusões deste projeto e, também, propostas de melhoria para serem aplicadas na Cifial para se obterem resultados ainda mais satisfatórios no que diz respeito à área de preparação de superfícies.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar, de forma resumida, os fundamentos de cada temática que foi abordada ao longo do projeto. Será, assim, apresentada uma síntese das diferentes perspectivas encontradas sobre *layouts*, a filosofia *Lean Manufacturing* e algumas das suas ferramentas (que foram utilizadas na elaboração do caso prático) e, por fim, a simulação computacional.

2.1. Layout Fabril

O *layout* pode ser definido como uma combinação física de tudo o que é necessário para a produção de um bem ou criação de um serviço – incluindo máquinas, pessoal, matérias-primas e produto acabado. Definir o *layout* numa indústria é essencial pois pode influenciar a eficiência dessa empresa (Yadav & Sharma, 2016).

Segundo Dilworth (1996), o planeamento de um *layout* depende, geralmente, da variedade de produtos e dos volumes de produção. Existem quatro tipos de disposições referenciadas, nomeadamente *layout* por processo, *layout* por produto, *layout* de posição fixa e *layout* em célula.

Drira et al. (2007) referem que a maioria das publicações sobre *layouts* industriais tem como foco determinar a posição dos equipamentos na fábrica. No entanto, na prática, quando se aborda este problema, existem muitas outras questões que surgem, tais como: escolha do meio de transporte dos materiais, determinação da capacidade dos recursos, entre outros. Escolher um tapete rolante ou um veículo automatizado para fazer o transporte de materiais tem implicações completamente diferentes e, por este motivo, os autores referem a importância de se integrarem todas estas questões num só problema, resolvendo-o de uma só vez.

Recentemente, em muitas empresas, verifica-se a tendência de tentar estandardizar ao máximo o processo produtivo dos diferentes produtos, retardando o mais possível a diferenciação dos mesmos, para que o *layout* seja mais simples (Kamrani et al., 2013).

2.1.1. Layout por Processo

Segundo Kumar & Suresh (2008), num *layout* por processo as máquinas com operações semelhantes ficam agrupadas na mesma área do *layout*, de acordo com as suas funções (Figura 1). O caminho percorrido pelas peças produzidas varia consoante a sua ordem de produção, havendo uma deslocação dos materiais ao longo das várias áreas funcionais, gerando muitas vezes deslocações grandes.

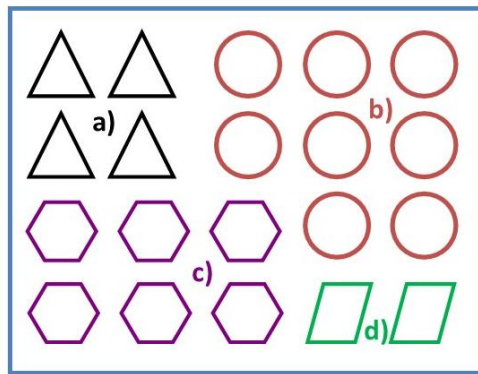


Figura 1 – Layout por Processo (adaptado de Benjaafar et al., 2002)

Este tipo de *layout* é geralmente utilizado em produções por lotes, em que o volume de produção não seja elevado. Normalmente, as fábricas com este *layout* têm uma grande variedade de produtos para produzir (Drira et al., 2007).

Kumar & Suresh (2008) indicam as seguintes vantagens desta disposição de *layout*:

- A taxa de utilização das máquinas é superior neste tipo de *layout* e são necessárias menos máquinas;
- é possível haver flexibilidade de equipamentos e de pessoal;
- menos investimento financeiro, tendo em conta o menor número de máquinas necessárias;
- melhor utilização das instalações da fábrica;
- grande flexibilidade de distribuição de trabalho das máquinas e dos operários;
- a diversidade de tarefas e variedade de trabalho tornam-no mais desafiante e interessante;
- os supervisores têm mais facilidade em se tornarem especialistas nas funções da área que supervisionam.

No entanto, existem algumas limitações que devem ser tidas em conta, como o elevado tempo de processamento, as elevadas filas de espera (que geram um maior volume de *stock* nos processos) e um fluxo geralmente difícil de controlar (Slack et al., 1999). Geralmente, existem também grandes movimentações de materiais, reduzindo a eficiência do manuseamento dos mesmos e aumento dos custos associados à movimentação de peças (Kumar & Suresh, 2008).

2.1.2. Layout por Produto ou em Linha

Ao contrário do *layout* anteriormente apresentado, neste caso a disposição das máquinas está de acordo com a sequência de processos de um produto, tal como se pode observar na Figura 2. Os recursos em transformação percorrem a linha de processos, de forma clara, previsível e, por este motivo, fácil de controlar (Slack et al., 1999).

Geralmente, neste tipo de *layout*, as máquinas utilizadas estão aptas para funções mais específicas, produzindo peças de forma rápida e segura (Kumar & Suresh, 2008).

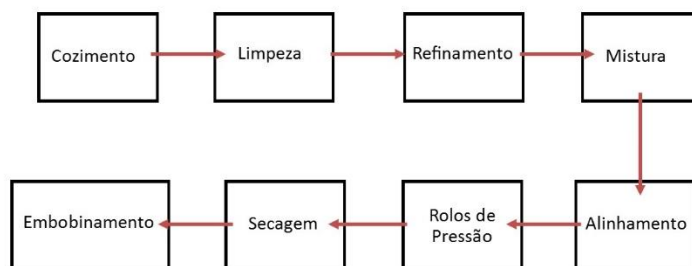


Figura 2 – Layout por Produto – Indústria de Papel (adaptado de Slack et al., 1999)

Este *layout* é escolhido quando o volume de produção é tão elevado (e existe uma pequena variedade de produtos) que se justifica a criação de uma linha de produção à parte (Dilworth, 1996). Assim sendo, é essencial que o volume de produção seja suficiente para garantir uma boa taxa de utilização dos equipamentos.

As vantagens associadas a este tipo de disposição incluem uma movimentação mais fácil e lógica dos materiais (levando a menor *stocks* e menores custos de manuseamento), menor tempo de *Throughput*, menor *WIP* e melhor balanceamento de linha, gerando menos inatividades e eliminando recursos gargalo (Kumar & Suresh, 2008).

Como desvantagens, Kumar & Suresh (2008) indicam que este tipo de *layout* requer um elevado investimento em equipamentos e que, caso exista uma avaria numa das máquinas, pode causar a paragem da linha inteira. Para além disso, outra das desvantagens é a falta de flexibilidade, isto é, uma alteração no produto pode implicar a modificação da linha ou de todo o *layout* fabril.

2.1.3. Layout de Posição Fixa

Segundo Dilworth (1996), no que diz respeito ao *layout* de posição fixa, o funcionamento é completamente o oposto dos *layouts* já apresentados. Neste caso, os materiais ou componentes principais do produto ficam numa localização específica sendo que são as ferramentas, equipamentos e outros materiais que são deslocados até esse ponto (ver Figura 3).

Geralmente utiliza-se este *layout* quando são produzidas peças pesadas e/ou grandes, o que levaria a um elevado custo de transporte dessas mesmas peças. Temos como exemplo de empresas que utilizem este tipo de *layout* fábricas de construção de navios, aviões, grandes prensas, entre outros (Kumar & Suresh, 2008).

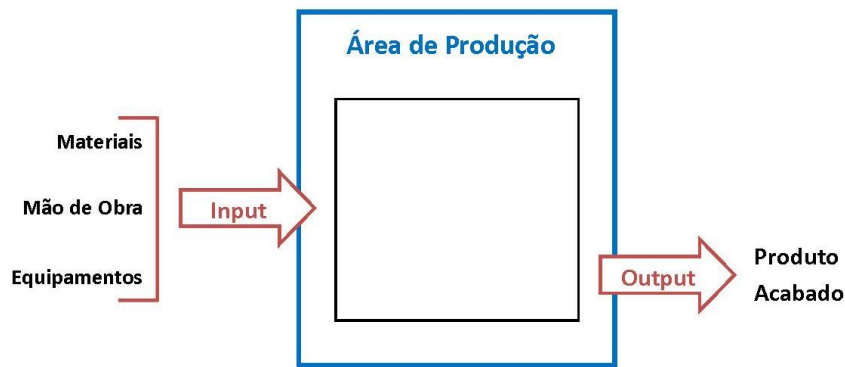


Figura 3 – Layout de Posição Fixa (adaptado de Kumar e Suresh, 2008)

As principais vantagens enumeradas sobre o *layout* de posição fixa são a grande flexibilidade de produtos, a alta variabilidade de tarefas para os operadores e o facto de estes poderem acompanhar toda a produção de um produto, fazendo com que exista um maior envolvimento dos colaboradores com o trabalho que estão a executar (Slack et al., 1999).

2.1.4. Layout em Célula

Existe uma tendência crescente para aumentar a flexibilidade de um sistema produtivo no que diz respeito às variações de tamanho de lotes e sequência das operações. Deste modo, tornou-se importante definir famílias com componentes ou produtos semelhantes, fazendo assim um agrupamento dos equipamentos necessários para a sequência de operações dessas famílias (Groover, 2002). Ao juntarem-se equipamentos numa célula de trabalho, para uma família de produtos específica, consegue-se reduzir o tempo de *setup* e o tempo para planeamento da produção (Slack et al., 1999).

Pode-se então afirmar que o *layout* em célula é uma combinação dos *layouts* por produto e por processo, reunindo as vantagens de cada uma das disposições fabris. A grande vantagem de um *layout* por processo é o baixo custo dos equipamentos, tendo em conta que estes têm uma elevada utilização (Kumar & Suresh, 2008). Mas esta disposição conduz a elevados custos de movimentação de materiais, que é onde o *layout* por produto sobressai, nos custos quase nulos de manuseamento de peças e materiais. Em suma, criar uma célula de produção tem como objetivo principal a minimização dos custos de movimentação de materiais e os custos com os equipamentos da célula.

Segundo Courtois et al. (2007), existem vários tipos de configuração para células de fabrico. No entanto, as células que são utilizadas com uma maior frequência são as configurações em círculo e em “U” (ver Figura 4), principalmente devido à facilidade de comunicação entre os colaboradores e da interajuda dentro da célula.

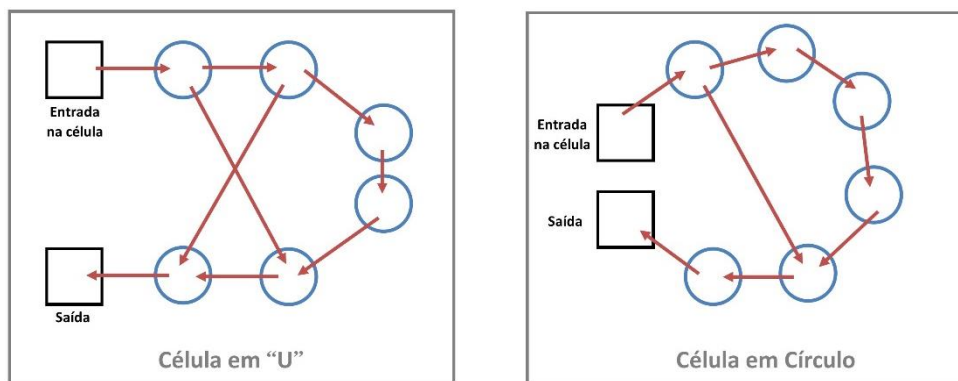


Figura 4 – Layout em Célula em “U” e em círculo (adaptado de Courtois et al., 2007)

Definir um *layout* em célula poderá trazer as seguintes vantagens:

- ajuda na definição de padrões e *standards* (Groover, 2002);
- melhoria na produtividade e na eficácia na operação das máquinas (Kumar & Suresh, 2008);
- maior satisfação/motivação dos operários devido à colaboração e cooperação existente dentro da célula (Groover, 2002; Kamrani et al., 2013; Slack et al., 1999);
- redução do *WIP* e da movimentação das peças (Groover, 2002; Kamrani et al., 2013);
- menos burocracia, menos registos informáticos e melhoria no tempo de produção (Kumar & Suresh, 2008);
- redução nos custos globais de produção (Kumar & Suresh, 2008).

A criação de um *layout* em célula, permite que a linha se mantenha sempre com a mesma disposição, mas que, quando ocorrem mudanças na procura, basta apenas alterar o número de operários dentro da célula e as tarefas que têm de desempenhar, para se poder facilmente ajustar para as mudanças de produção (Simaria, Xambre, Filipe, & Vilarinho, 2010).

2.2. *Lean Manufacturing*

Uma das áreas de maior aposta nas empresas nos dias de hoje é a área do *Lean Manufacturing*. Segundo (Ohno, 1988) “temos que olhar para toda a cadeia, desde o momento que o cliente nos faz um pedido, até à altura em que recebemos o dinheiro. Estaremos a ser *lean* quando reduzirmos as tarefas que não acrescentam valor ao cliente”.

Womack, Jones, & Roos (1990) definem o *Lean* com base em cinco princípios: valor, cadeia de valor, fluxo contínuo, *pull* e perfeição. O pensamento *Lean* deve começar com uma tentativa consciente de definir com precisão valor (qual o produto, quais as suas características e qual o seu preço de acordo com cada cliente). A cadeia de valor consiste no conjunto de todas as ações necessárias (que criem valor ao produto) para levar um certo produto ou serviço até ao cliente (inclui a fase de criação do produto, produção e gestão de

informação). Para além disso, a empresa deve trabalhar em fluxo contínuo, tentando entregar os produtos o mais rápido possível ao cliente, evitando a criação de lotes. O sistema “puxado” (*pull*) diz respeito a esperar que o cliente nos faça um pedido para podermos começar a produção, ou seja, não há produção para lotes. Por último, é essencial existir sempre a preocupação de continuar a melhorar os processos e os produtos, melhorando assim a satisfação do cliente.

Em 2011, Alves, Carvalho, Moreira, & Lima realizaram uma pesquisa em indústrias portuguesas que realizaram projetos *Lean* desde 2001 a 2010. Foram estudados os projetos de 18 empresas do norte do país, algumas com sede portuguesa, outras internacionais. Dessas empresas em estudo, registaram-se 41 projetos *Lean* durante esses 9 anos. Identificaram-se 20 ferramentas utilizadas sendo que 7 delas representam cerca de 70% de todas as ferramentas usadas: implementação de *kanbans*, alterações de *layout*, criação de sistema puxado, aplicação da metodologia *kaizen*, realização de 5S, aplicação de SMED e, por fim, desenho do VSM. É importante também salientar que, apesar de terem sido identificados vários benefícios da aplicação de ferramentas *Lean*, as vantagens identificadas com maior frequência foram a redução de *WIP* e aumento de produtividade. Este estudo indicou também que tem vindo a notar-se um aumento gradual do número de projetos *Lean* levados a cabo por empresas portuguesas, demonstrando que cada vez mais se dá importância a esta filosofia e que são reconhecidas as suas vantagens.

No entanto, para se poder comparar o estado atual do *Lean* em Portugal face a outros países europeus e não europeus, Silva, Tantardini, Staudacher, & Salviano (2010) realizaram um inquérito em Portugal e compararam os resultados obtidos pelas empresas portuguesas e empresas em Itália, Reino Unido e Estados Unidos da América. Os resultados encontrados mostram que Portugal é o país com menor percentagem de empresas a realizar projetos *Lean*, sendo menor o número de técnicas utilizadas. Isto deve-se principalmente ao facto de, à data de 2009, ainda se estarem a dar os primeiros passos em projetos *Lean* em Portugal. Era bastante evidente uma maior maturidade em implementação em Itália, Reino Unido e Estados Unidos da América.

É evidente que a implementação de *Lean* não tem sucesso caso não haja um completo envolvimento e apoio da gestão de topo nem uma motivação total por parte dos colaboradores da empresa. As implementações de *Lean* não têm resultados imediatos pois é uma tarefa que requer algum tempo de aplicação e envolve um investimento substancial. Assim sendo, é essencial haver comunicação dentro da empresa e um conhecimento completo sobre o *Lean* (Mishra & Chakraborty, 2014). No entanto, no estudo de Silva et al. (2010) é indicado que Portugal é o país com maior incidência de empresas que referem a falta de apoio por parte de gestão de topo como a maior barreira para implementação do *Lean*, que poderá justificar o facto de Portugal ter sido indicado como país com menor número de projetos *Lean*.

Por fim, é importante desenvolver metodologias para avaliar quantitativamente os benefícios atingidos com os projetos *Lean*, para que os gestores de topo e, também para que outras empresas fiquem alerta para as vantagens que se poderão obter ao iniciar a implementação de *Lean* nas empresas (Silva et al., 2010).

2.2.1. Os Desperdícios do *Lean*

Dentro do contexto da indústria, Ohno (1988) identificou sete tipos de desperdícios (Tabela 1):

Tabela 1 – Os Setes Desperdícios do *Lean* (adaptado de Ohno, 1988)

Sobreprodução	Ocorre quando as operações de fabrico continuam quando já deveriam ter terminado, levando a um excesso de produtos em <i>stock</i>
Espera	Geralmente classificado como “fila de espera”. Acontece quando existem períodos de inatividade nos processo a jusante por um atividade a montante ter demorado mais que o normal
Transporte	Este desperdício sucede quando existem transportes excessivos de materiais e/ou produtos de uma operação para a outra. Um dos focos das empresas deve ser sempre a minimização dos transportes pois estes geram tempos de valor não acrescentado ao produto
Sobre processamento	Operações extra como <i>rework</i> , reprocessamento, manuseamento de peças ou armazenamentos intermédios. Habitualmente acontecem devido a defeitos, sobreprodução ou excesso de <i>stock</i>
Inventário	Todos os materiais que não sejam requisitados para concluir as atuais ordens de produção são desperdício. Este excesso de materiais apenas implica mais custos com armazenamento (mais espaço ocupado) e extra manuseamento
Movimentação	Diz respeito às operações extra efetuadas pelos operários com tarefas como defeitos, reprocessamento, sobre produção ou excesso de <i>stock</i> . Mais uma vez, com estas operações não estamos a acrescentar valor ao produto ou serviço
Defeitos	Produtos que não correspondam às especificações ou expetativas dos clientes causa a sua insatisfação

Para além destes desperdícios, Womack & Jones (1996) acrescentaram um oitavo desperdício – conhecimento. Com isto eles queriam salientar que, muitas vezes, existe conhecimento e criatividade nos colaboradores de uma indústria (ou serviço) que não são aproveitados. No entanto, existem bibliografias que não consideram relevante classificar este oitavo desperdício, pois acreditam que ele está inerente aos outros sete desperdícios atrás referidos (Hicks, 2007).

2.2.2. Value Stream Mapping (VSM)

O Value Stream Mapping é definido por Rother & Womack (2003) como uma ferramenta de papel e lápis que nos permite perceber todo o fluxo de materiais e informação de um produto, ao longo de uma cadeia de fluxo de valor. Por outras palavras, o VSM tem como objetivo fazer todo o percurso desde o cliente até ao consumidor, fazendo uma representação visual de todos os processos envolvidos. Podemos observar na Figura 5 um exemplo de um VSM de uma indústria.

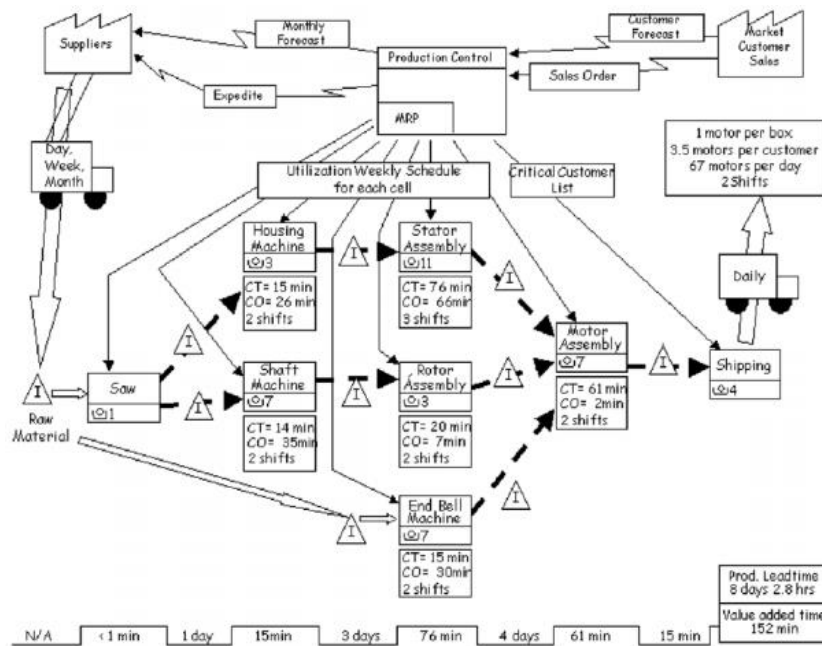


Figura 5 – Value Stream Mapping de uma Empresa de Motores Norte-Americana (fonte: McDonald et al., 2002)

O primeiro passo consiste em escolher um produto (ou família de produtos) e desenhar o mapa atual sobre os processos de fabrico – é necessário percorrer todo o caminho para perceber como tudo funciona (conhecido como *Gemba Walk*). Com este primeiro mapeamento, podemos identificar os desperdícios e, num passo posterior, desenhar o mapa futuro com as possíveis melhorias a implementar (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). O mais importante no VSM é a definição do estado futuro e não apenas de desenhar o cenário atual, servindo este apenas para auxiliar na identificação de desperdícios e para as ideias de melhoria (Rother & Shook, 2003).

Esta é uma das ferramentas mais utilizadas na área do *Lean*, pois permite identificar vários desperdícios e as respetivas possibilidades de melhoria (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

2.3. Simulação Computacional

A simulação computacional refere-se aos métodos utilizados para o estudo de uma grande variedade de sistemas reais, através da avaliação numérica, usando um *software* construído para imitar as operações e características desses sistemas. De um ponto de vista prático, a simulação é um processo de projetar e criar um modelo computadorizado de um sistema real ou proposto, com o intuito de se conduzirem inúmeras experiências para nos dar um melhor conhecimento do comportamento desse sistema, dado um certo conjunto de condições. Apesar de ser possível o estudo de sistemas simples, a grande vantagem da simulação é o estudo de sistemas complexos (Kelton et al., 2002).

Devido aos avanços dos *software* existentes no mercado, as empresas estão a começar a implementar a simulação nas suas operações do dia-a-dia, em vez de recorrerem a esta ferramenta apenas para um projeto esporádico (Banks, 1999).

É importante também ressaltar que a relação entre a simulação e o *Lean* é vantajosa pois as informações (quantitativas) obtidas através da simulação podem facilitar a decisão de implementar ferramentas *Lean* e, também, de motivar a organização a seguir de acordo com esta filosofia de melhoria contínua (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). No estudo de McDonald et al. (2002), os autores indicam as vantagens de se complementar um estudo de simulação, recorrendo em primeiro lugar a um VSM.

2.3.1. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Como com qualquer ferramenta, existem sempre vantagens e desvantagens associadas à sua utilização sendo preciso avaliar caso a caso para ver se será vantajoso recorrer à ferramenta de simulação. Assim sendo, Kelton et al. (2002) enumeram as seguintes vantagens do uso da simulação:

- possibilidade de se lidar com modelos complexos que correspondem a sistemas reais, também eles complexos. A simulação permite uma representação fiel do sistema e, ainda, a possibilidade de se fazer uma análise dos resultados obtidos com essa simulação;
- recorrer à simulação permite a poupança de dinheiro pois não se procede logo a uma mudança física na fábrica;
- definir como o sistema funciona (passo essencial antes de se desenvolver o modelo de simulação): geralmente proporciona uma grande compreensão sobre as alterações a serem feitas;

Além das vantagens acima enumeradas Banks et al. (2004) apontam também como vantagem da simulação a possibilidade de se analisar os gargalos do sistema, ou seja, onde os materiais, informações ou processos sofrem atrasos excessivos.

No entanto, é importante salientar que não existem só vantagens associados à utilização da simulação. Deste modo, são enumeradas algumas desvantagens, a saber:

- caso o modelo de simulação não represente a realidade, poderá indicar resultados que não farão sentido quando aplicadas as mudanças no sistema real. Um modelo demasiado simplificado resultará numa representação não válida do sistema (Kelton et al., 2002);
- fazer a construção de um modelo de simulação requer conhecimentos específicos e, mais importante, experiência na área (Banks, 1999);
- se o sistema modelado for desenhado com base em distribuições probabilísticas (ou seja, valores aleatórios), iremos obter, também, resultados aleatórios (Kelton et al., 2002);
- nem sempre é fácil interpretar os resultados das simulações visto que, geralmente, estes são apresentados como variáveis aleatórias. Assim sendo, é difícil perceber se o resultado está relacionado com sistemas de inter-relações ou com aleatoriedade (Banks, 1999):

- a criação do modelo de simulação e a respetiva análise dos resultados pode representar encargos elevados em recursos e tempo dispensado para o projeto (Banks, 1999);
- por último, se a simulação for executada sem se respeitar os tempos de paragem do sistema real (por exemplo, um banco está aberto das 8h30 e às 15h), poderemos ter resultados enviesados. Para além disso, sistemas com uma janela temporal pequena, irão resultar em *outputs* com um maior grau de incerteza (Kelton et al., 2002).

Por fim, é pertinente referenciar algumas situações em que não é apropriado utilizar a simulação computacional: quando o problema pode ser resolvido analiticamente, se for fácil testar diretamente as alterações, quando se consegue resolver o problema recorrendo a conhecimentos de senso comum e se o estudo de simulação representar um custo superior aos potenciais ganhos do projeto (Banks et al., 2004).

2.3.2. Passos de um Projeto de Simulação

Existe um conjunto de passos definidos para a realização de um modelo de simulação computacional, tal como se pode observar na Figura 6.



Figura 6 – Passos de um Estudo de Simulação (adaptado de Law & Kelton, 1991)

O primeiro passo de qualquer estudo de simulação começa com a definição do problema, tendo sempre em conta que será possível reformulá-lo à medida que se avança com o projeto de simulação (Banks, 1999). Nesta fase inicial, são também definidos os objetivos do projeto. Uma má formulação do problema e dos seus objetivos poderá levar ao insucesso do projeto (Law & Kelton, 1991).

De seguida, procede-se à recolha de dados para o modelo de simulação. Esta fase deve ser iniciada o quanto antes, visto que é uma das etapas do projeto que requer mais tempo (Vieira, 2004). Dada a complexidade deste processo, é recomendado por Law & Kelton (1991) que o foco seja realizar um modelo moderadamente detalhado sendo que, mais tarde, poderão ser acrescentados mais detalhes à simulação.

Estando a recolha de dados completa e o modelo concetual definido, é preciso fazer a verificação. Banks (1999) aconselha que a verificação vá fazendo parte de todo o processo e que se utilizem controladores de execução ou depuradores. A verificação consiste em confirmar que o programa está a funcionar corretamente, com todos os dados de entrada e a estrutura lógica corretamente representados no simulador (Banks et al., 2004). Neste passo incluem-se os testes piloto efetuados para a verificação do modelo.

Após a verificação da simulação, é necessário fazer a sua validação. Nesta fase pretende-se certificar que o modelo concetual está de acordo com o comportamento real do sistema simulado, comparando os dados reais com os dados obtidos pela simulação piloto (Vieira, 2004). É nesta fase que se efetuam calibrações ao modelo concetual, através de um processo iterativo de comparação com o cenário real, até se atingir uma precisão aceitável (Banks et al., 2004).

No que diz respeito ao desenho de experiências, para cada cenário a simular é necessário definir o tempo da simulação, o número de replicações e o estado inicial do sistema (Banks, 1999).

Posteriormente, o modelo é executado no *software* escolhido para que se possam obter os resultados da simulação efetuada, sendo esses resultados utilizados para a análise dos indicadores de cada cenário em estudo (Law & Kelton, 1991).

Por fim, é aconselhável documentar os pressupostos do modelo, a simulação e os resultados obtidos nas simulações efetuadas pois estes dados podem ser necessários posteriormente pelo mesmo ou por outros analistas (Banks et al., 2004). Os resultados devem ser reportados de forma clara e concisa para facilitar a interpretação da simulação e das respetivas alternativas (Banks, 1999). É de notar que, resultados de modelos credíveis têm maior probabilidade de serem utilizados e que, resultados de estudos de simulação que nunca são implementados podem ser considerados um fracasso (Law & Kelton, 1991). A animação tem um papel crucial na fase de apresentação de resultados e no reforço da credibilidade do modelo junto dos decisores.

3. ESTUDO DE SIMULAÇÃO

3.1. Apresentação da Empresa

A Cifial, S.A. é uma empresa portuguesa de ferragens, com mais de 110 anos de história. A empresa possui três unidades fabris, localizadas em Rio Meão, Paços de Brandão e Santa Comba Dão (sendo esta última na área da indústria cerâmica). Assim sendo, a Cifial apresenta-se como uma marca mundial que apresenta soluções completas de banho (torneiras, cerâmica sanitária, mobiliário de banho e acessórios) e sistemas integrados para portas (puxadores, fechaduras, sistemas de controlo de acessos e acessórios).



Figura 7 – Cifial (fonte: website da Cifial)

No que diz respeito à área das ferragens, a empresa dedica-se a duas vertentes distintas de negócio – ferragens decorativas e torneiras. Os principais processos produtivos consistem em: fundição, estampagem, fresagem, torneamento, preparação mecânica de superfícies e revestimentos.

A Cifial fabrica os seus produtos para a marca própria e também para produtos OEM (*Original Equipment Manufacturer* – Fabricante Original do Equipamento). Dentro desta gama, os clientes com maior impacto na fábrica são a *Moen*, *Waterworks* e *Andersen*. Estes produtos são fabricados com o logotipo do cliente (e não como produto Cifial) e, geralmente, não são vendidos com todas as componentes necessárias para a montagem de, por exemplo, uma torneira.

Na Cifial o sistema de gestão da qualidade, implementado de acordo com os requisitos da norma ISO 9001, é continuamente melhorado para garantir a eficácia de todos os processos. Para além disso, todas as inspeções e testes finais do produto são realizadas por pessoal da área da qualidade, para atender às especificações da área da indústria antes da entrega do produto. Por este motivo, são executados internamente nos laboratórios da Cifial testes específicos de controlo de qualidade. Estes procedimentos resultam em produtos de extrema qualidade.

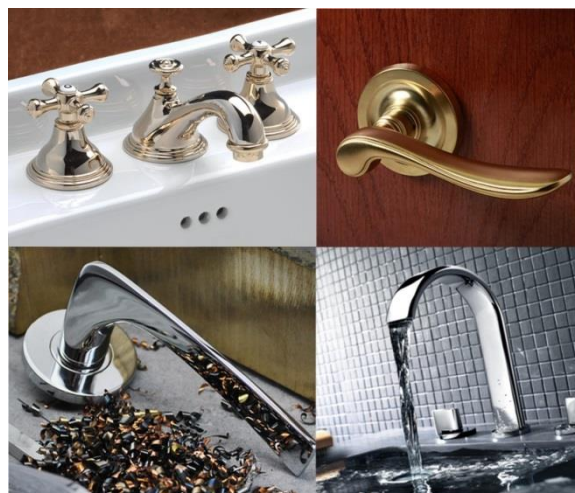


Figura 8 – Exemplo de Produtos Fabricados nas Unidades Fabris de Rio de Meão e Paços de Brandão
(adaptado de: website da Cifial)

Os valores da empresa são: Inovação, Tecnologia e Design. Assim sendo, a Cifial tem assumido um investimento pioneiro em novas tecnologias, novos produtos e novos processos fabris. Este investimento permanente em engenharia de produto e de processos, aliado à utilização do *design* como ferramenta estratégica de gestão, conferem-lhe um reconhecimento galardoado com vários prémios internacionais. Para além disso, a permanente preocupação em antecipar as tendências do mercado associadas ao I&D, refletem a base do nosso potencial exportador em países com elevado nível de exigência.

O estágio curricular foi desenvolvido na unidade fabril de preparação de superfícies onde se incluem as áreas de lixagem, polimento, cromagem e uma pequena área de embalagem de produtos OEM.

3.1.1. História da Cifial

A Cifial nasceu no ano de 1904, propriedade de Alberto Costa Reis, com o nome de Centro Industrial de Ferragens, Lda. Na altura eram produzidos fechos, fechaduras, cofres, dobradiças e outros artefactos metálicos.

Nos anos 40, altura da Segunda Guerra Mundial, a empresa sofreu alguns distúrbios financeiros, abrindo processo de falência. Foi nessa altura que a empresa ficou nas mãos do Banco Borges & Irmão. Em 1944 a empresa é adquirida por José Marques.

Durante os anos seguintes, José Marques foi sempre procurando modernizar e automatizar a fábrica, criando condições para o desenvolvimento e para internacionalização. Foi no final dos anos 70 que se iniciaram, com alguma expressão, as vendas para o mercado dos Estados Unidos da América.

No ano de 2000 inaugura-se a Cifial Torneiras, SA, resultado da junção da unidade de torneiras Cifial e das marcas Oliva e Lusepi. Mais tarde, esta empresa viria a denominar-se Cifial Indústria Cerâmica, SA, após aquisição da totalidade do capital da Aquatis.

Quase a celebrar um centenário, a empresa passou por algumas dificuldades devido à crise que se fazia sentir por todo o mundo, sofrendo uma redução no volume de encomendas. No ano de 2013 houve uma alteração na gestão da Cifial, passando de Ludgero Marques (ex-presidente da Associação Empresarial de Portugal) para o Fundo Recuperação, gerido pela ECS Capital. Atualmente a Cifial ainda se encontra em processo de recuperação financeira, tentando destacar-se nos mercados internacionais (face à concorrência existente de países com maior poder de negociação) mas, também, no mercado português.

De acordo com o Jornal de Negócios (2013)¹, é de salientar que, em 2012, a Cifial fechou o ano com 12 milhões de euros em vendas, tendo as exportações um peso de 80% nas vendas anuais, sendo os principais mercados de exportação os Estados Unidos, Reino Unido, Espanha, Polónia e Angola. Considerando a notícia da comunicação social (2015)², em 2014 as vendas foram ligeiramente superiores, rondando os 16,5 milhões de euros. Desse valor, 86% correspondem a vendas efetuadas para o mercado norte-americano.

3.1.2. Processos Produtivos da Empresa

O processo de fabrico de ferragens pode ser dividido em três partes distintas: formação dos corpos e componentes, preparação de superfícies e acabamentos/montagem. A maior parte dos produtos percorre estas três áreas, pela ordem em que foram apresentadas.

A área de formação dos corpos e componentes tem três processos principais: fundição, maquinagem e estampagem. A fundição consiste em colocar metal líquido num molde, com a forma desejada, permitindo assim que, depois de arrefecido e retirando o macho, o corpo fique com o formato desejado. Este processo é utilizado principalmente para o fabrico do corpo das torneiras. Quanto à maquinagem (ou maquinação), consiste em alterar a geometria de um material através de ferramentas adequadas para retirar material ou para alterar a forma da peça. Este tipo de processo é geralmente usado para peças obtidas a partir de cavilha. Por último, os processos de estampagem são utilizados para cortar, dobrar ou deformar chapas. No caso da Cifial, a maioria dos produtos que sofre um processo de estampagem são os espelhos para fechaduras de portas.

Na área de preparação de superfícies são três os processos pelos quais os produtos podem passar: lixagem, polimento e cromagem. A lixagem serve para amaciar superfícies, alisando-as de maneira a dar um aspeto agradável ao toque. Após a lixagem, muitos dos produtos são submetidos às máquinas de polimento para conferir às peças um aspeto brilhante na sua superfície. Este processo pode também ser útil para eliminar rebarbas e/ou pequenas imperfeições que existam nas peças. No que diz respeito à cromagem, podemos classificar esse processo como um tipo de galvanoplastia em que as peças (de metal) são cobertas por uma fina camada de crómio. A cromagem, para além do efeito estético que transmite à peça, serve igualmente de proteção anti corrosão.

¹http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/no_fundo_no_fundo_a_cifial_abriu_a_torneira_da_recuperacao

²<https://www.dinheirovivo.pt/empresas/cifial-voltar-a-vender-torneiras-a-casa-branca-e-o-sonho-de-luisa-marques/>

Por fim, temos a área de acabamentos e montagem de componentes. Os acabamentos existentes nesta área podem incluir pintura, lacagem (processo de pintura com base em tintas em pó de poliéster), acabamentos especiais e PVD (deposição física de vapor – revestimento com espessura reduzida que confere uma maior resistência e durabilidade às peças, através da deposição de plasma altamente ionizado numa câmara de vácuo).

3.2. Definição do Cenário Atual

Para se proceder à simulação do cenário atual da área de preparação de superfícies foi necessário realizar uma recolha/análise de dados para se poder selecionar quais as referências a mapear no *software*. Após esta seleção, seguiram-se os passos vulgarmente utilizados num estudo de simulação e que se descrevem nos próximos parágrafos.

3.2.1. Formulação do Problema

Como já foi referido anteriormente, o foco deste estudo é a área de lixagem e polimento (preparação de superfícies) de uma das fábricas da Cifial. Esta foi a área escolhida pela empresa para ser objeto de intervenção de um estudo de simulação, por ser a área com maior *lead time* de toda a empresa.

O objetivo principal é o da avaliação detalhada do cenário atual desta área, seguido da apresentação de possíveis melhorias e/ou reestruturação do *layout* produtivo. Este estudo terá em conta os seguintes indicadores de desempenho: *lead time*, *WIP*, distância percorrida pelos produtos e taxa de utilização de recursos. Os diferentes cenários da simulação são úteis para o processo de tomada de decisão (Guneri & Seker, 2008). São obtidos vários indicadores com a simulação que podem facilitar a escolha do *layout* alternativo. Estes indicadores foram obtidos através da utilização do *software* Arena. Este *software* foi o escolhido (apesar de existirem outros programas de simulação) por ser o *software* com que a autora deste estudo tinha maior facilidade de trabalhar, tendo em conta que já o havia utilizado várias vezes ao longo do seu percurso universitário. Para além disso, este programa permite-nos ter uma grande flexibilidade e trabalhar com vários indicadores, bem como simular qualquer tipo de cenário. Por fim, é importante salientar que o *software* Arena é considerado um líder mundial nos programas de Simulação de Eventos Discretos, sendo que, na *Winter Simulation Conference* de 2005, Mejía et al. (2008) referem que 45% dos artigos indicam terem utilizado o Arena como simulador, tal como se pode observar na Figura 9.

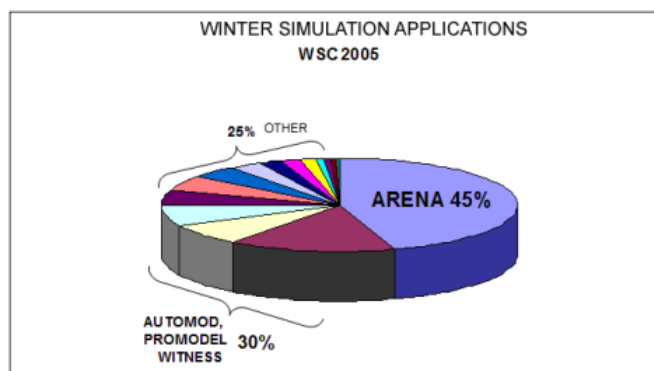


Figura 9 – Distribuição das Aplicações de Software de Simulação na Winter Simulation Conference de 2005
(Fonte: Mejía et al., 2008)

3.2.2. Modelação Concetual e Recolha de Dados

Um dos primeiros passos de um estudo de simulação é perceber qual o sistema a modelar. Assim sendo, foi necessário decidir quais as referências que fariam sentido mapear (existe um elevado número de referências com planos de produção muito diferentes e que não são relevantes em termos de produção).

Deste modo, através do programa *SAP*, foram analisadas todas as ordens de produção desde 01 de Janeiro de 2016 a 31 de Dezembro de 2016, tendo-se obtido um total de 3617 referências. Todos esses produtos produzidos durante o ano de 2016 foram divididos por 11 famílias: Asas, *Bentley*, Cruzetas, Dobradiças, Espelhos, Fundidos, Manípulos, Puxadores, Rosetas, Parafusos e Outros. Na Tabela 2 são apresentadas as percentagens do tempo de processamento e custo de produção associados a cada uma das famílias.

Tabela 2 – Percentagem de Tempo de Processamento e Custo de Produção por Família de Produtos

Famílias	% Tempo de Processamento	% Custo de Produção
A – Asas	9,57%	6,81%
B – Bentley	0,98%	1,24%
C – Cruzetas	6,10%	5,04%
D – Dobradiças	5,09%	4,41%
E – Espelhos	9,39%	10,65%
F – Fundidos	43,21%	38,28%
M – Manípulos	3,39%	4,39%
P – Puxadores	5,02%	6,21%
R – Rosetas	9,99%	14,50%
PRF – Parafusos	1,21%	1,29%
X – Outros	6,05%	7,17%
	100,00%	100,00%

Analisando a tabela acima apresentada pode-se concluir que a família dos Fundidos representa uma maior importância na área de preparação de superfícies, visto que representa cerca de 43% do tempo de produção desta área e é a família com maior percentagem de custo de produção (cerca de 38%).

Por este motivo, o foco deste projeto tem como base os produtos da família dos fundidos, sendo estas as referências que foram estudadas para a avaliação do *layout* atual. No entanto, só na família dos fundidos, foram planeadas ordens de produção para mais de 400 referências diferentes. Para o estudo ser viável, foi necessário reduzir este número de referências. Tendo em conta os princípios da Curva ABC (Patil & Pataskar, 2013), foi realizada uma Análise ABC e concluiu-se que se iriam mapear as seguintes referências, identificadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Referências a Mapear da Família dos Fundidos

Descrição Material (em SAP)	% Peças Produzidas	% Tempo de Processamento	% Custo de Produção
cpo simples mnc.lav.MOEN 180042 90Degree	37,23%	28,86%	44,06%
cpo.mnc.lav.Cascata MOEN 183269(1.2gpm)	8,40%	6,43%	10,72%
cpo simples mnc.lav.MOEN 180042 90Degree	7,74%	5,89%	10,28%
cpo.simples mnc.lav.Kingsley,MOEN 168916	8,97%	3,54%	6,29%
bica lav.Horus 5750	3,41%	0,72%	3,69%
bica 90° banheira 141333 Moen	1,14%	2,28%	1,63%
cpo.mnc.lav.Cascata MOEN 183269(1.2gpm)	0,74%	0,99%	0,99%
cj. bica Arris,soldada	0,72%	1,00%	0,92%
cpo.simples torn.lav.Transit	0,89%	2,06%	0,83%
cpo.mnc.ban/duch. NP/IM	0,61%	1,64%	0,79%

Com base nesta análise, e por questões de tempo disponível para a realização do estudo, escolheu-se um subconjunto de referências a mapear, com base nas peças com maior percentagem de custo de produção e, também, com a similaridade do processo produtivo. Esta decisão foi tomada em conjunto com o diretor industrial e com o diretor de produção da fábrica em estudo, com o intuito de se escolherem os produtos com maior impacto na empresa. Assim, optou-se por mapear as seguintes referências: Torneira 90° com acabamento em 625 e XSLG e Torneira Cascata com acabamento 625 e XSLG.

É importante referir que, quando a decisão de se reduzir o leque de referências a mapear foi tomada, ficou sempre como objetivo futuro inserir, gradualmente, outras referências com processos semelhantes, caso ainda exista capacidade para acrescentar mais produtos a esta linha produtiva.

Na Figura 10 pode-se observar a diferença entre os dois acabamentos acima referenciados, níquel escovado e cromado brilhante (acabamento XLSG e 625, respetivamente).



Figura 10 – Torneira 90° com Acabamento XSLG e 625, respetivamente

A Figura 11 representa uma Torneira Cascata antes do processo de cromagem. As torneiras 90° e Cascata são muito semelhantes, quer em aspeto, quer em processo produtivo. A maior diferença deve-se ao rasgo existente na torneira cascata que deve o seu nome precisamente a essa diferença pois quando a torneira está em funcionamento, o efeito da água a cair é semelhante a uma cascata.



Figura 11 – Torneira Cascata antes de Cromar

Layout Atual

Atualmente, a fábrica encontra-se com uma disposição por processo, ou seja, as máquinas estão agrupadas de acordo com a sua função. Podemos observar na Figura 12

que, em primeiro lugar, se encontram os robots de lixagem; de seguida, encontram-se as máquinas de polimento automático; por fim, as áreas de processos manuais (lixagem, murçagem, polimento e escolha).

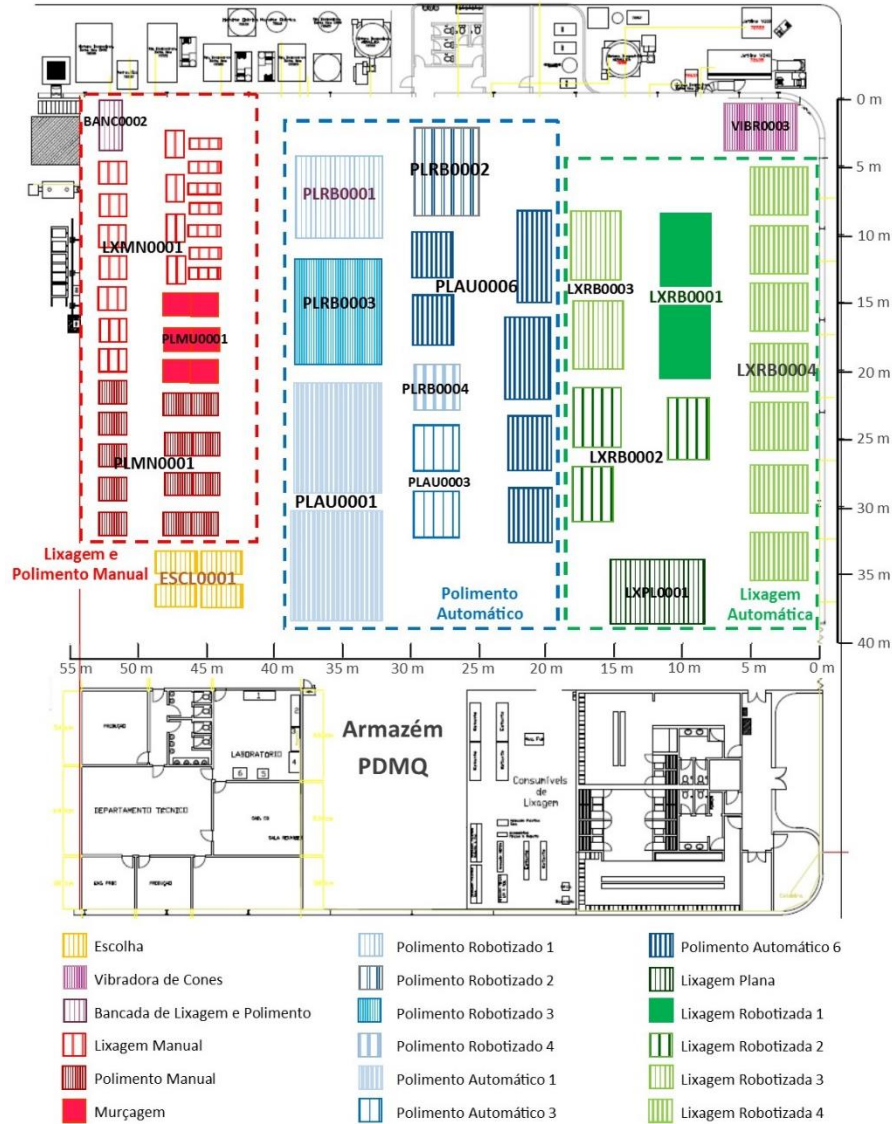


Figura 12 – Layout Atual da Área de Preparação de Superfícies

Apesar do *layout* atual da fábrica ser exatamente como está explicitado na figura acima, existem duas máquinas que se encontram fora de funcionamento sendo que se encontram apenas a aguardar a sua remoção da fábrica (serão aproveitadas algumas peças dessas máquinas). As máquinas a eliminar são a PLRB0002 e a segunda máquina (contando na vertical) pertencente ao centro de trabalho de LXR0004.

Assim sendo, pode-se observar na Figura 13, como iria ficar o *layout* da fábrica caso se retirassem as máquinas inutilizadas. Esta informação será importante para uma fase

mais à frente do projeto, quando se propuserem alterações ao cenário atual da área de preparação de superfícies.

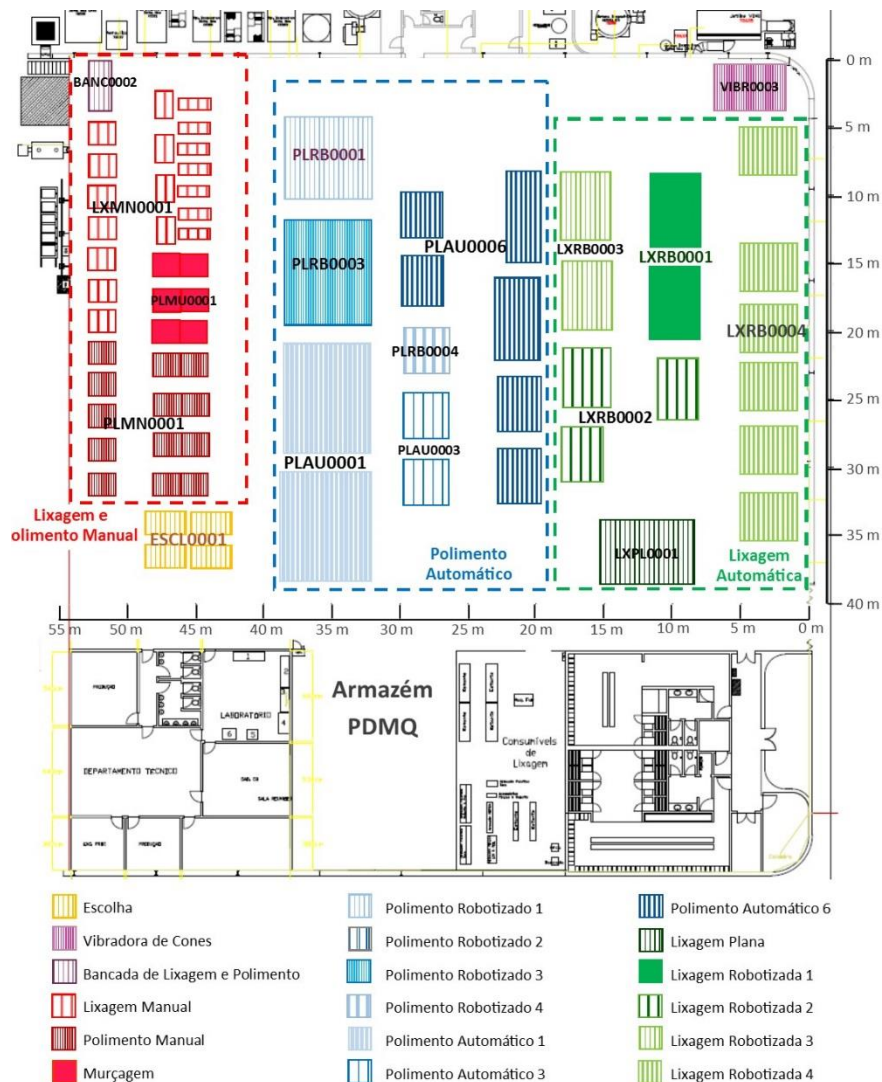


Figura 13 – Layout da Área de Preparação de Superfícies sem as Máquinas Inutilizadas

Processos Produtivos da Área de Preparação de Superfícies

Tendo em conta que o projeto de avaliação do *layout* tem apenas como foco a área acima explicitada, é importante explorar um pouco mais cada um dos processos existentes nesta zona. Tal como se pode observar na figura acima apresentada, é bastante evidente que as máquinas estão dispostas de acordo com um *layout* por processo, sendo as primeiras operações (da direita para a esquerda) as de Lixagem Robotizada e, por fim, as operações manuais (lixagem, polimento e murçagem). Na Figura 14 e na Figura 15, podemos observar uma das máquinas que se encontram na área de Lixagem Robotizada.

Geralmente as peças que entram nestes robôs vêm diretamente da fundição ou estampagem e sofrem aqui a primeira operação nesta fábrica. As peças são lixadas automaticamente, para que possam ficar com o formato pretendido e para amaciar a superfície das mesmas. Nesta área, as peças são trabalhadas na máquina sendo apenas necessário um operador para programar a máquina e para ir abastecendo as peças esporadicamente.



Figura 14 – Máquina de Lixagem Robotizada

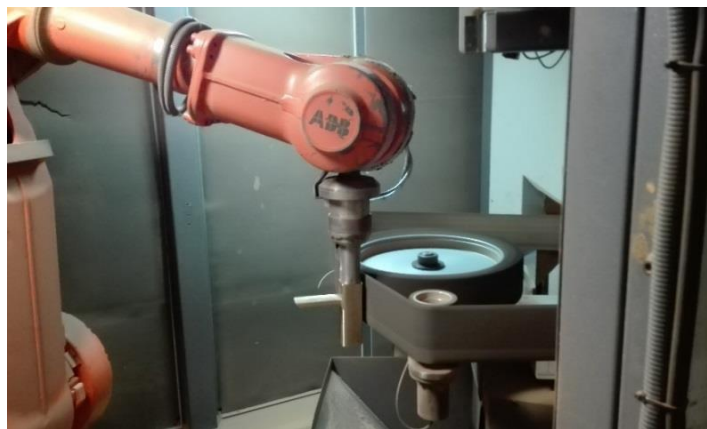


Figura 15 – Interior da Máquina de Lixagem Robotizada em funcionamento

De seguida, ficam dispostas as máquinas de Polimento Robotizado, com dois tipos de máquinas: a de polimento automático e a de polimento robotizado, tal como se pode observar nas figuras Figura 16 e Figura 17. Estas máquinas permitem às peças serem polidas automaticamente, conferindo às mesmas um aspeto brilhante, retirando as impurezas e rebarbas que possam ter ficado de operações anteriores. Nesta área o processo é semelhante ao de lixagem robotizada, sendo apenas necessário o abastecimento da máquina, ou seja, não existem operações manuais efetuadas pelos operadores.



Figura 16 – Máquina de Polimento Automático



Figura 17 – Interior da Máquina de Polimento Automático em funcionamento

No que diz respeito às máquinas manuais, existem três tipos de operações: lixagem, polimento e murçagem. Todos estes postos de trabalho são similares, necessitando de um operador para cada máquina (ver Figura 18). As peças são trabalhadas manualmente, muitas vezes sofrendo várias operações, passando de máquina em máquina.



Figura 18 – Posto de Lixagem/Polimento/Murçagem Manual

Por fim, na Figura 19 pode-se observar os postos de escolha, onde os operadores fazem a separação das peças com defeitos, que tanto pode ser retrabalhadas, como irem para a sucata (consoante o tipo de defeitos existentes nas mesmas). Geralmente este é o último posto de trabalho pelo qual as peças passam antes de seguirem para a cromagem.



Figura 19 – Postos de Escolha


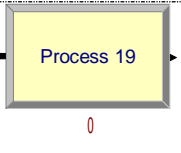
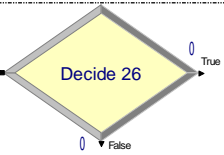
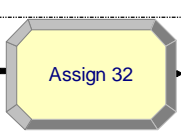
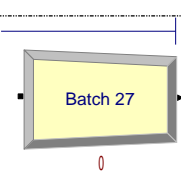
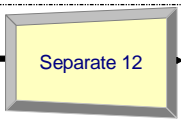

3.3. Construção do Modelo Lógico

Com base na modelação concetual e na recolha de dados efetuada no passo anterior, desenvolveu-se o modelo lógico do cenário atual no *software* Arena.

Ao longo da criação do modelo foram efetuados testes de verificação, pois é mais fácil ir fazendo a verificação enquanto se constrói o modelo do que efetuar apenas uma verificação final.

Podemos observar na Tabela 4 alguns dos módulos básicos do Arena que foram utilizados para a construção do modelo lógico.

Tabela 4 – Módulos Utilizados no Arena

	<p>Criação – Ponto de entrada das entidades no modelo de simulação.</p>
	<p>Processo – Módulo para o processamentos das entidades, utilizando as opções de reter, utilizar e libertar os recursos.</p>
	<p>Decisão – Módulo para processo de decisão. Esta pode ser feita através de percentagem ou através de atributos.</p>
	<p>Atribuição – Utilizado para atribuir valores às entidades, alterar atributos e alterar a imagem da entidade no sistema.</p>
	<p>Loteamento – Este módulo tem como objetivo a criação de lotes. O tamanho do lote pode ser variável consoante a entidade a entrar e/ou atributos.</p>
	<p>Separação – Usado para separar as entidades que se encontram agrupadas em lotes ou para as duplicar.</p>
	<p>Eliminação – Ponto de saída das entidades do sistema de modelação.</p>

Create

Para o preenchimento deste módulo foram retirados os valores do *SAP* de entrada de peças na fábrica durante o ano de 2016. A partir dos valores obtidos, estimou-se a frequência e a quantidade de entrada de peças de cada referência a simular (ver Figura 20). Por exemplo, na entrada das entidades de 90 graus em acabamento 625, podemos observar que existe uma frequência de entrada de 300 peças de 1,2 dias em 1,2 dias, sendo que a primeira entrada de material ocorre no minuto 0, ou seja, mal é iniciada a simulação.

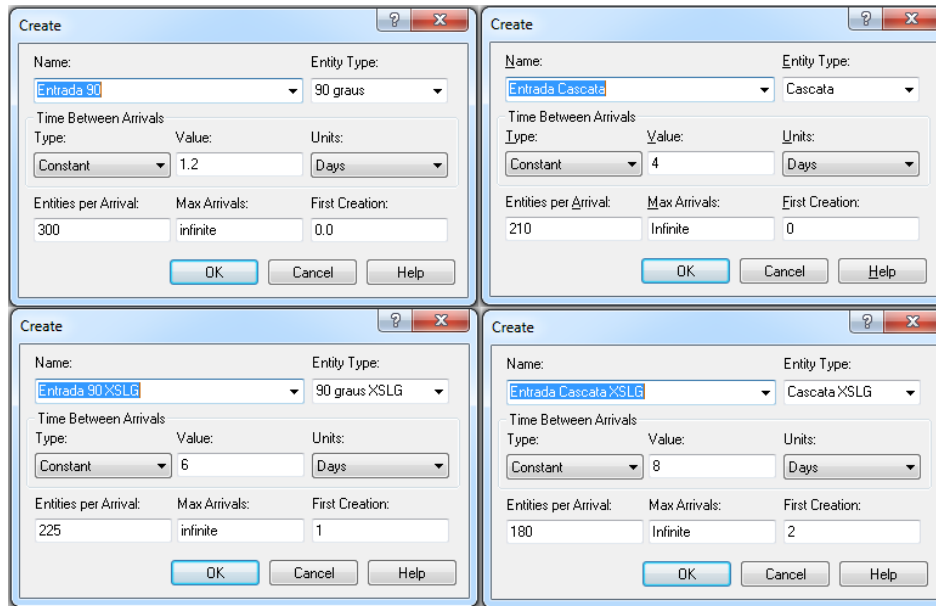


Figura 20 – Informação dos Módulos Create

Assign

Para se definir os diferentes caminhos que cada referência segue dentro da simulação, era essencial definir atributos diferentes para cada produto. Deste modo, na Tabela 5 podemos observar um exemplo de uma atribuição de diferentes valores num módulo *assign*, tendo em conta os diferentes tipos de referências existentes.

Tabela 5 – Exemplo de Módulo Assign com os Valores de um dos Atributos Definidos

Atributo 1	
Valor	Referência
1	Torneira 90° com acabamento 625
2	Torneira 90° com acabamento XSLG
3	Torneira Cascata com acabamento 625
4	Torneira Cascata com acabamento XSLG

Definir atributos diferentes para as entidades do sistema permite definir variações nos caminhos efetuados pelas entidades e, também, obter resultados diferenciados no relatório final da simulação.

Process

Nestes módulos foram introduzidas todas as informações sobre as operações existentes na área de lixagem e polimento. Nesse sentido foram inseridas mais de 8 operações, entre elas: lixagem robotizada, lixagem manual (pré-amaciar as peças, amaciar faces e bicas e amaciar), polimento manual, polimento automático, lixagem plana, diferentes operações de murçagem (incluindo uma operação separada numa bancada à parte) e escolha.

Todos os valores utilizados para o tempo de ciclo e de preparação das operações foram retirados do *SAP*. Tendo em conta que havia sido feita uma medição de tempos por outro colaborador da Cifial e consequente atualização no programa informático da empresa, não havia necessidade de fazer novamente recolha desses valores. Para as operações automatizadas, utilizaram-se valores médios para o tempo de ciclo dessas mesmas operações, por serem processos considerados estáveis. Por outro lado, para os centros de trabalho manuais foram atribuídos tempos de ciclo estocásticos através do ajuste de distribuições de probabilidade via *Input Analyser* e, noutros casos, através da utilização de uma distribuição Triangular, com uma variação de 5% relativamente ao valor médio.

Pode-se observar na Figura 21 um exemplo de um módulo *Process* para a operação de escolha. Foi atribuído um recurso à operação, neste caso a Lucília, que ficará ocupada sempre que houver entrada de material neste posto de trabalho. O tempo de ciclo para este centro de trabalho foi atribuído através de uma distribuição triangular, sendo este um dos casos em que o tempo varia consoante a referência a trabalhar. Para os produtos 90° (com os dois acabamentos) a média do tempo de ciclo é de 0,50 minutos enquanto que, para as torneiras cascata (definidas como 3 e 4 no atributo 1), o tempo de operação corresponde, em média, a 0,75 minutos.

Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Expr...
Escolha	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Minutes	Value Added	(attribute 1 >= 3)* 0.7125 + (attribute 1 < 3)* 0.475	(attribute 1 >= 3)* 0.75 + (attribute 1 < 3)* 0.5	(attribute 1 >= 3)* 0.7875 + (attribute 1 < 3)* 0.525	

Figura 21 – Exemplo de um Módulo *Process* (Operação de Escolha)

Decide

Durante a construção do modelo lógico, foi necessário dividir muitas vezes os caminhos que as peças seguiam, devido às diferenças entre os planos de produção de cada uma das referências.

Na Figura 22 é visível um exemplo de duas das diferentes utilizações do módulo *decide* durante a criação do modelo de simulação. No módulo do lado esquerdo, as entidades são separadas, mais uma vez, de acordo com a sua referência de produto (torneiras cascata seguem um caminho e torneiras 90° seguem outro diferente). No segundo *decide* apresentado, temos o exemplo de uma decisão acerca dos defeitos existentes nas peças de cascata com acabamento XSLG. Neste caso, existem 3 caminhos possíveis: 3,9% das entidades são consideradas para *rework*, 0,7% saem do sistema como sucata e os restantes 95,4% das entidades são designadas como peças OK e continuam o seu caminho normal, terminando assim o seu plano de produção.

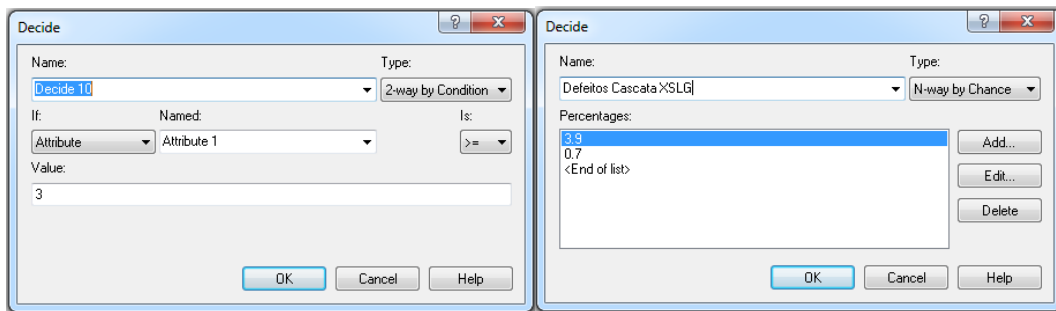


Figura 22 – Exemplos de Módulos Decide

Para se obter os valores de *rework* e sucata das torneiras 90° e cascata, foi necessário fazer uma contabilização dos registos diários existentes num *dossiê*. Isto porque não existem registos destes valores no *SAP* para a operação de escolha (visto não ser a última operação destas referências nesta fábrica). Assim sendo, foi necessário recolher os dados, através de folhas de registo diárias e agrupar esses valores numa folha de *excel*. Com os números obtidos foi possível calcular uma média da percentagem de peças que são classificadas como OK, que sofrem *rework* ou que vão para a sucata (ver Tabela 6). Nessa mesma tabela pode-se observar duas colunas diferentes para o *rework*. Isto deve-se ao facto de, as referências da 90° e cascata com acabamento 625 poderem seguir dois caminhos diferentes quando são seleccionadas para *rework*: tanto pode ir para uma fase mais inicial do processo e sofrerem novamente operações de lixagem e daí em diante ou voltarem atrás apenas para o processo de polimento manual.

Tabela 6 – Percentagem de Peças OK, Rework e Sucata das Referências em Estudo

Referência	Acabamento	Peças OK	Rework		Sucata
			Lixagem	Polimento	
90°	625	55,2 %	33,9 %	7,1 %	3,8 %
	XSLG	85,1 %	14,3 %	-	0,6 %
Cascata	625	72,8 %	7,4 %	11,1%	8,7 %
	XSLG	95,4 %	3,9 %	-	0,7 %

Batch

No que diz respeito aos módulos de *batch* existem duas expressões diferentes que foram utilizadas para criar os lotes de entidades, tal como se pode observar na Figura 23. O primeiro *batch* corresponde às primeiras movimentações efetuadas pelas entidades no sistema, sendo que no início as peças circulam de acordo com o tamanho do lote de entrada de peças na fábrica: 300 ou 225 unidades para torneiras 90° em 625 e XSLG, respetivamente, e 210 unidades para cascata em 625 e 180 entidades de torneiras cascata com acabamento em XSLG.

Batch - Basic Process						
	Name	Type	Batch Size	Sav...	Rule	R...
1	Batch 1	Temporary	((entity.type==90 graus)*300)+((entity.type==cascata)*210)+((entity.type==90 graus XSLG)*225)+((entity.type==cascata XSLG)*180)	Last	Any Entity	
2	Batch 4	Temporary	DISC(0.33, 45, 0.66, 60, 1.0, 75)	Last	Any Entity	

Figura 23 – Exemplos dos Módulos de Batch

Quer num caso quer no outro, os módulos de *batch* foram criados para ser temporários sendo que, após o transporte das entidades, ambas passam pelo módulo de *separate* para que as peças possam entrar unitariamente para cada posto de trabalho (são sempre trabalhadas uma a uma, com exceção da lixagem automatizada).

Transporte de Entidades

Outra das funcionalidades do Arena é a possibilidade de definir as operações de transporte de materiais. Para se poder introduzir os módulos correspondentes aos transportes das entidades, foi necessário, em primeiro lugar, criar uma matriz das distâncias (ver Anexo A), com base no *layout* anteriormente apresentado (Figura 12 – Layout Atual da Área de Preparação de Superfícies). Para os módulos de transporte também era necessário definir o transportador e a velocidade de movimentação do mesmo. Foram definidos como transportadores 4 pessoas distintas que, atualmente, fazem a distribuição das matérias-primas pelos centros de trabalho: Roberto (encarregue da entrada de material na fábrica e distribuição para a primeira operação de cada referência), Francisco (responsável da área de robots, quer de lixagem, quer de polimento), Sebastião (responsável da área de lixagem manual e escolha) e Silvino (encarregado da zona de polimento e murçagem).

Na Figura 24 apresenta-se um exemplo de um módulo *leave* onde se incluem as informações acima explicitadas. É importante salientar que não foi definido nenhum tempo para a carga e descarga do transporte pois esse tempo já está incluído nos tempos de ciclo de cada operação. Isto porque nas operações cada operador tem que retirar a peça de uma grade de transporte e, depois de trabalhada, a peça é novamente colocada na grade.

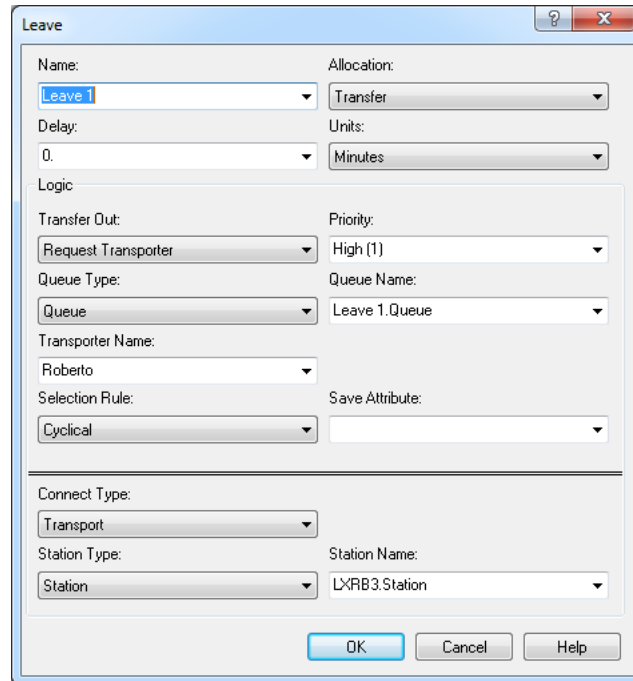


Figura 24 – Exemplo de um Módulo de Transportes (*Leave*)

Durante a construção do modelo lógico, à medida que foram sendo acrescentadas informações e novos módulos à simulação, foi sendo feita a verificação do modelo. Este é um dos pontos mais importantes para um correto funcionamento do estudo de simulação pois é preciso saber se o modelo corre sem qualquer tipo de erros a nível de “programação”, rastreando se a forma concetual do modelo foi transcrita corretamente para a simulação. A verificação pode ser definida como “assegurar que o *software* seja desenvolvido de maneira apropriada e consistente” (Law & Kelton, 1991).

3.3.1. Realização do Teste Piloto

Para além da importância que a verificação tem num modelo de simulação, a validação é também outro dos elementos chave para o sucesso desse estudo. Esta consiste em assegurar que o modelo corresponde aos requisitos estabelecidos e faz uma correta representação do sistema real a modelar. Geralmente a validação é feita através de uma análise estatística, em que se analisam variações, intervalos de confiança, entre outros.

Para facilitar a validação do modelo recorreu-se a uma extensa recolha de dados. Para além disso, foi realizado um VSM para se perceber detalhadamente o cenário

existente naquele momento relativo à produção da peça mais frequente nesta área: torneira 90 graus com acabamento 625. A análise começou desde o último posto (escolha) retrocedendo-se até ao primeiro posto desta área (a lixagem robotizada).

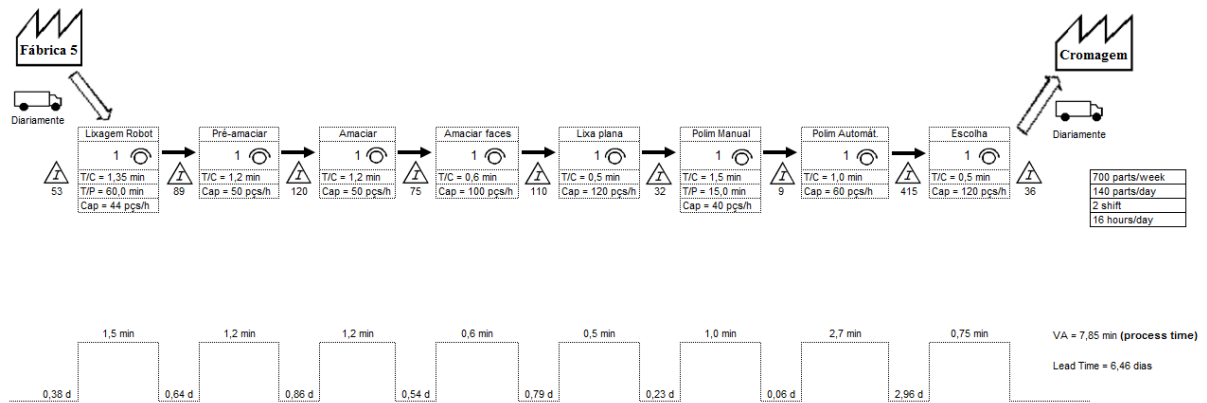


Figura 25 – Value Stream Map realizado no dia 14 de Fevereiro de 2017

O objetivo da realização de um VSM para uma das peças em estudo é de se poder fazer uma comparação entre os resultados do VSM (cenário real) e os resultados obtidos com a simulação realizada no Arena (cenário simulado).

Através da análise do VSM é possível ver que existe um elevado número de peças em movimentação. Isto deve-se ao facto de a produção ser feita por lotes, levando a um elevado WIP existente entre os postos de trabalho. Para além disso, é bastante visível que existem tempos de espera muito grandes entre postos de trabalho. Através da realização deste VSM pode-se concluir que o tempo de valor acrescentado é de 7,85 minutos enquanto que o *lead time* é de, aproximadamente, 6 dias e meio. Esta diferença grande deve-se aos *stocks* que se criam devido à produção por lotes.

Com a obtenção destes dados, foi possível cruzar as informações reais com os resultados da simulação, por forma a validar o modelo. Com a realização do primeiro teste piloto, o valor obtido para o *lead time* da torneira 90° com acabamento em 625 foi de 6,38 dias.

Por fim, é importante referir que, por tentativa e erro, se definiu que o número de replicações deveria ser de 10, de modo a se obterem intervalos de confiança a 95% para as medidas de desempenho definidas terem uma amplitude aceitável.

3.3.2. Desenho de Experiências

Estando o modelo lógico verificado, validado e com o número de replicações definido, foi possível iniciar a execução do modelo de simulação. Alguns dos valores utilizados para a inicialização da simulação podem observar-se na Figura 26.

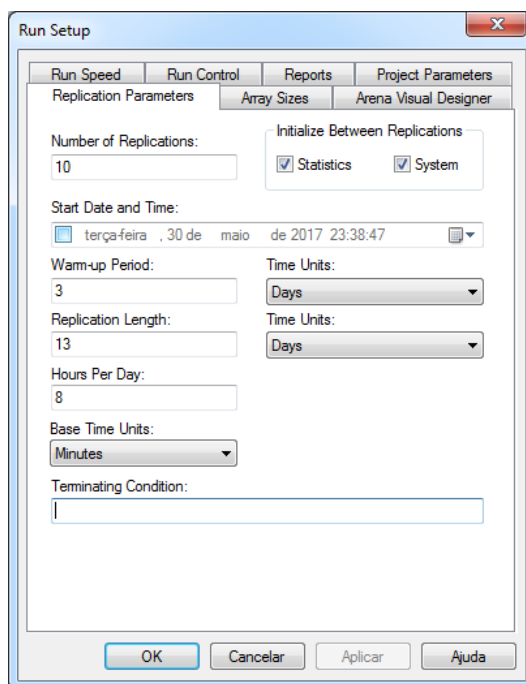


Figura 26 – Parâmetros de Replicação da Simulação

Foi definido um período de aquecimento de 3 dias pois não faria sentido comparar os valores obtidos por uma simulação a começar de um cenário sem nenhuma entidade no sistema, quando na realidade existem sempre algumas peças de *WIP*. Deste modo, o tempo total de simulação (que será considerado para os resultados) é de 10 dias de laboração, com cada dia a respeitar 8 horas de trabalho³. É importante salientar que não se fizeram paragens para a hora de almoço pois em todas as máquinas, quer nas manuais, quer nas automáticas, a produção para imediatamente, retomando no mesmo ponto após a pausa. Assim sendo, não se iriam obter diferenças significativas entre simular 8 horas seguidas ou 9 horas com pausa de 1 hora ao fim de 4 horas de trabalho (a capacidade teria que ser baseada num horário e a regra de agendamento seria o *preempt*).

No Anexo B é possível observar o modelo de simulação completo, com todos os módulos utilizados e com todas as ligações que foram efetuadas no sentido de se reproduzir, o mais fielmente possível, o cenário atual existente na área de preparação de superfícies na fábrica em estudo.

3.3.3. Análise dos Resultados

Após a execução da simulação, segue-se uma cuidadosa análise dos resultados que deverão refletir o comportamento do sistema modelado para um determinado número de medidas de desempenho. Os indicadores de desempenho selecionados para este estudo foram os seguintes: *lead time*, *WIP*, tempo de transporte por entidade e taxa de utilização

³ O horário de trabalho da Cifial é das 8h às 17h com pausa para almoço das 12h às 13h.

dos recursos. A simulação permite, também, observar outros indicadores que não foram considerados para este estudo (custos totais de produção, *output* de entidades, tempo em fila de espera, número de entidades em fila de espera, entre outros).

Na Tabela 7 pode-se observar os resultados obtidos para a simulação do cenário atual da área de lixagem e polimento. Apresentam-se os intervalos de confiança a 95% para as medidas de desempenho definidas.

Tabela 7 – Resultados da Simulação do Cenário Atual

Referência	Tempo de Transporte (min)	Lead Time (dias)	WIP (unidades)
90 Graus	8,3033 ± 0,06	6,38 ± 0,06	2193,91 ± 7,23
90 Graus XSLG	8,8247 ± 0,15	5,87 ± 0,16	230,23 ± 1,95
Cascata	9,707 ± 0,19	5,85 ± 0,23	394,82 ± 2,36
Cascata XSLG	9,3655 ± 0,15	7,41 ± 0,08	175,01 ± 1,00

No que diz respeito à taxa de utilização dos recursos, a percentagem de utilização de cada recurso é altamente variável (ver Figura 27) sendo que a média da taxa de utilização corresponde a 53%. É de salientar que no caso da lixagem plana é normal o valor ser tão reduzido pois é um centro de trabalho partilhado por grande parte das referências que circulam nesta fábrica. Por este motivo, a lixagem plana terá sempre que ser considerada como um posto de trabalho isolado.

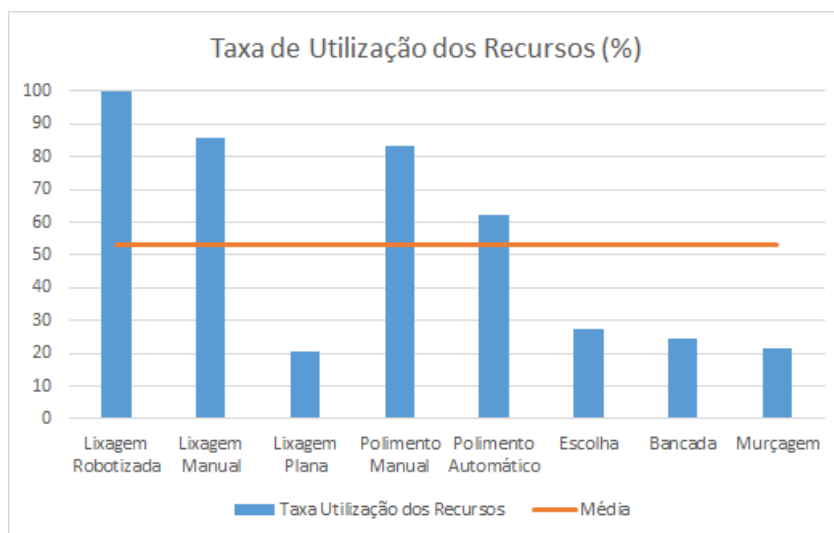


Figura 27 – Gráfico da Taxa de Utilização dos Centros de Trabalho

No que diz respeito à movimentação das peças, pode-se observar na Figura 28 o caminho percorrido por uma torneira 90° com acabamento em 625. É fácil perceber que existe um excesso de deslocação por parte destas torneiras, tal como já havia sido referido anteriormente. O caminho percorrido por cada torneira corresponde a cerca de 245 metros dentro da área de lixagem e polimento.

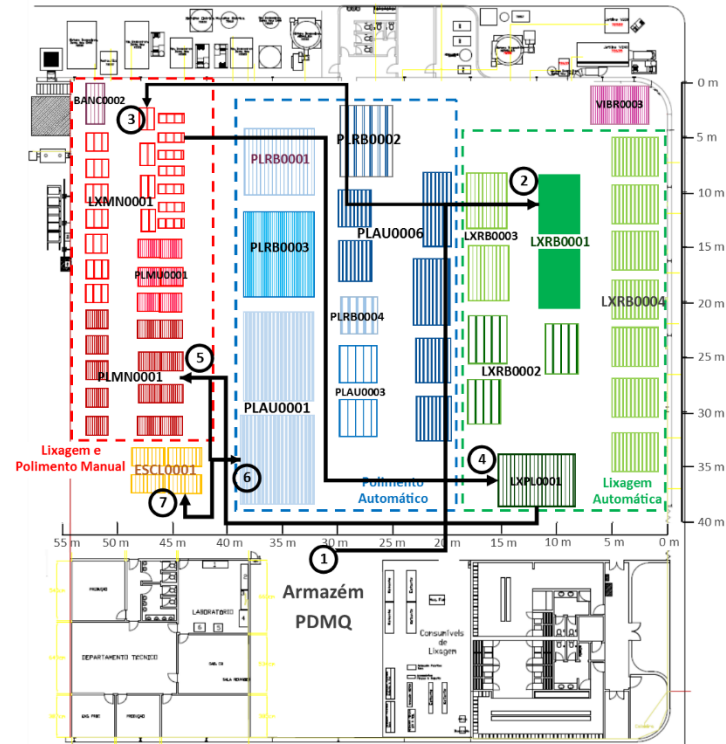


Figura 28 – Caminho Percorrido por uma Torneira 90° em acabamento cromado

3.4. Simulação de Cenários Alternativos

Após a definição do cenário atual e da verificação e validação do modelo procedeu-se à simulação de cenários alternativos. O principal objetivo desta fase era a de testar cenários que pudessem proporcionar uma melhoria face ao funcionamento atual da área de preparação de superfícies. Assim sendo, era necessário eliminar todos os desperdícios existentes ou, pelo menos, tentar reduzi-los. Na Tabela 8 pode-se observar quais os principais problemas detetados bem como as respetivas soluções face aos desperdícios existentes na área produtiva.

Tabela 8 – Problemas e Soluções para os 7 Desperdícios

<i>Defeitos</i>	
<i>Transportes</i>	Atualmente existe uma distância bastante elevada entre os postos de trabalhos. Pretende-se por isso fazer uma aproximação das máquinas nos cenários alternativos.
<i>Movimentação</i>	Com a aproximação dos postos de trabalho irá também haver uma redução de movimentações dentro do posto, poupando-se no movimento de pegar e colocar as peças nas grades de transporte.
<i>Sobreprodução</i>	Se houver uma alteração para uma produção unitária, em vez de ser por lotes, haverá uma redução na sobreprodução pois é mais fácil haver um controlo de quantas peças necessitamos e de quantas vamos produzir.
<i>Defeitos</i>	Outra das vantagens da produção unitária é o facto de ser mais fácil haver uma deteção dos defeitos na origem do problema.
<i>Sobre processamento</i>	Atualmente, como as peças seguem em lotes, muitas vezes só se detetam defeitos na operação seguinte, levando a um sobre processamento de todas as peças do lote. Se as peças fossem produzidas unitariamente, bastava apenas uma peça para se descobrir o defeito existente.
<i>Espera</i>	Para além das desvantagens da produção por lote acima enunciadas, existem também uma consequência direta no tempo de espera entre postos de trabalho.
<i>Inventário</i>	Por último, caso a produção passe a ser feita unitariamente, irá também haver uma redução muito grande de peças em movimentação na fábrica (<i>WIP</i>).

3.4.1. Cenário 1

Assim sendo, o primeiro cenário alternativo criado tinha como grande objetivo a aproximação dos postos de trabalho, na tentativa de se criar uma célula produtiva. Isto porque, tendo em conta os resultados obtidos relativos à taxa de utilização dos recursos, é visível a possibilidade de se dedicarem exclusivamente estes recursos apenas a estas 4 referências (pelo menos numa fase inicial do projeto). Então foi proposto um cenário em que todos os postos de trabalho estariam dispostos numa célula, tal como se pode observar na Figura 29.

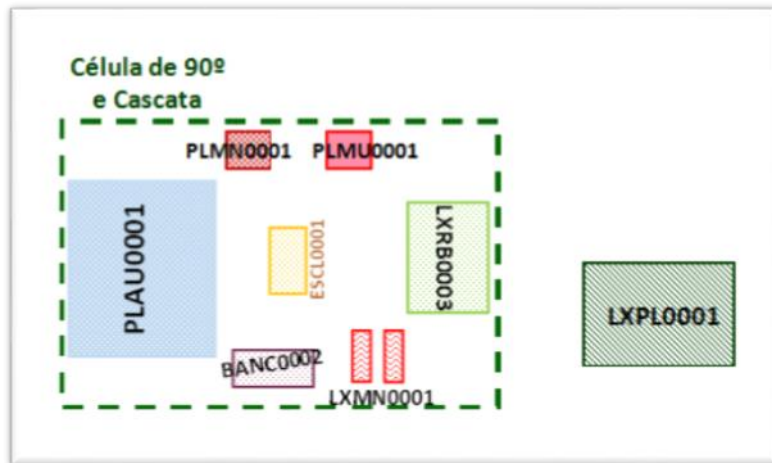


Figura 29 – Célula do Cenário 1 para as Referências 90° e Cascata

Para além da evidente aproximação dos postos de trabalho (o único centro de trabalho externo seria a lixagem plana – devido à sua elevada utilização por outras referências externas a esta célula), levando assim a uma menor movimentação de peças, esta disposição iria permitir que esta célula trabalhasse em laboração unitária, em vez da produção ser feita por lotes.

Outra das alterações entre o cenário atual e este cenário alternativo é o facto de se ter agregado duas funções num só operador. Isto é, o colaborador que efetua a lixagem manual faz também o abastecimento da máquina de lixagem robotizada. Isto é possível porque os dois postos de trabalho se encontram dispostos lado a lado e por o abastecimento do robot significar apenas um tempo de 45 segundos de operação, que é efetuada de 12 em 12 minutos.

Este novo cenário foi simulado, atualizando-se assim a matriz das distâncias para o novo *layout*, sem se ter em conta as movimentações dentro da célula visto que as peças vão passar, unitariamente, diretamente de um posto de trabalho para o seguinte. Todos os outros indicadores se mantiveram iguais (tempo de aquecimento, número de replicações, duração da simulação, valores de tempo de ciclo, entre outros).

3.4.2. Cenário 2

Para além disso, criou-se também um segundo cenário, como se pode observar na Figura 30. Neste caso, em termos de *layout* a única diferença reflete-se na troca de posições entre a bancada, a murçagem e o polimento manual, sendo que todos os outros postos de trabalho se mantêm na mesma posição.

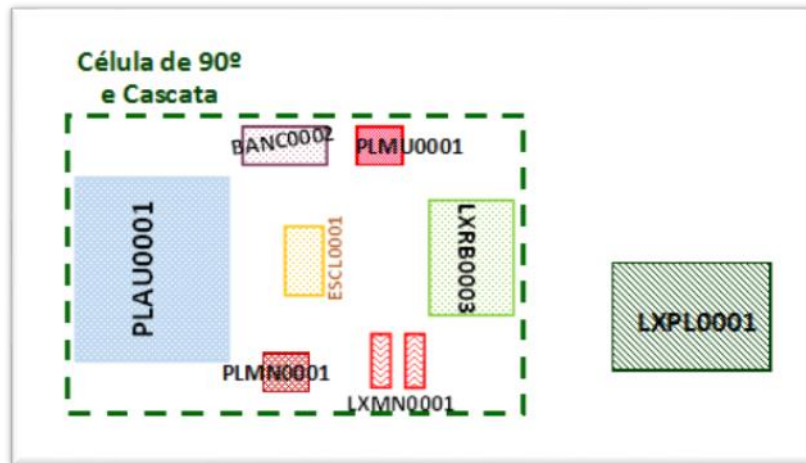


Figura 30 – Célula do Cenário 2 para as Referências 90° e Cascata

Neste cenário 2, utilizou-se também a alteração anteriormente referida de se colocar o mesmo operador a abastecer o robot de lixagem e a realizar a operação de lixagem manual. No entanto, neste cenário alternativo simulou-se também a possibilidade de colocar o mesmo colaborador a realizar as operações da bancada e da murçagem. Estes postos de trabalho estão dispostos lado a lado e, tendo em conta que a bancada só é utilizada para as torneiras com acabamento em XSLG, seria possível o mesmo operador ir alternando entre estes dois postos de trabalho.

Mais uma vez se efetuaram as devidas alterações à matriz das distâncias e estes valores foram atualizados no *software* de simulação. Todos os outros valores se mantiveram inalterados.

3.4.3. Resultados das Simulações dos Cenários Alternativos

Após a simulação dos dois cenários alternativos acima explicitados, pode-se observar na Tabela 9 os resultados obtidos. Todos os valores exibidos na tabela são referentes à referência da torneira 90° em acabamento cromado brilhante.

Tabela 9 – Resultados dos Cenários Alternativos 1 e 2

Indicador de Desempenho*	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2
Tempo de Transporte (min)	8,3033 ± 0,06	1,6703 ± 0,03	1,5689 ± 0,02
Lead Time (dias)	6,38 ± 0,06	4,19 ± 0,10	4,51 ± 0,11
WIP (unidades)	2193,91 ± 7,23	959,3 ± 12,06	1077,18 ± 13,96

*Para a torneira 90 Graus com acabamento em 625

Para além dos indicadores acima exibidos na Tabela 9, é importante avaliar também as diferenças nas taxas de utilização de ambos os cenários. Pode-se observar na Figura 31, um gráfico com a taxa de utilização dos recursos, quer do cenário 1, quer do segundo cenário simulado.

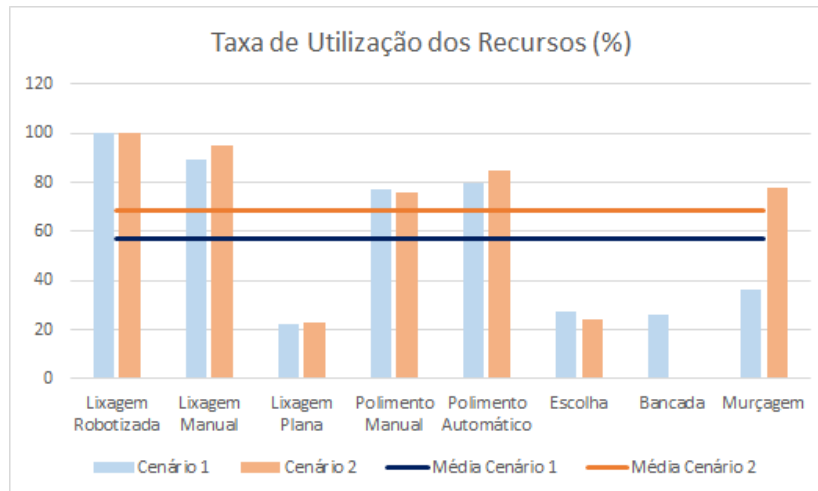


Figura 31 – Taxa de Utilização dos Recursos do Cenários Alternativos 1 e 2

Através do gráfico acima exibido pode observar-se que as taxas de utilização dos cenários alternativos 1 e 2 são muito similares, não existindo uma grande variação entre elas. No entanto, pelo facto de se juntarem as operações de bancada e murçagem num só operador, nota-se uma diferença significativa na taxa de utilização nesses mesmos postos de trabalho. Por este motivo, quando se calcula a média da taxa de utilização dos recursos, obtém-se um valor de cerca de 57% para o cenário alternativo 1 contra 69% no segundo cenário. É de salientar que o valor médio da taxa de utilização para o cenário atual é de cerca de 54%.

Pode-se então concluir que temos melhorias de cerca de 80% e 81% no que diz respeito ao tempo despendido em transportes, por peça, para o cenário 1 e 2, respetivamente. Quanto ao *lead time* as melhorias são de 34% para o cenário 1 e de 29% para o cenário alternativo 2. Já nos indicadores de *WIP* para a referência 90°, no cenário 1 obtém-se uma melhoria de 56% enquanto no cenário 2 a melhoria é de 51%. Por fim, na taxa de utilização dos recursos, existe uma melhoria de 7% e 22%, para o primeiro e segundo cenários, respetivamente. De um modo geral pode-se concluir que, ambos os cenários apresentam melhorias muito significativas, sendo o primeiro cenário melhor ao nível do *lead time* e *WIP* ao passo que o segundo cenário apresenta melhores resultados na redução do tempo de transportes e na taxa de utilização dos centros de trabalho.

3.5. Validação da Proposta de Melhoria de *Layout*

Foi agendada uma reunião com os responsáveis das fábricas da empresa para apresentação do trabalho desenvolvido, nomeadamente da proposta de melhoria de *layout* para a área de preparação de superfícies. Assim sendo, foi apresentado o resultado final da simulação do cenário atual juntamente com os dois cenários alternativos.

Após discussão dos cenários apresentados e dos resultados dos mesmos, chegou-se à conclusão que faria mais sentido utilizar o *layout* do segundo cenário mas mantendo as variáveis do cenário 1. Entendeu-se que essa proposta de *layout* era a que mais se adequava ao fluxo de materiais que irá existir na célula, mantendo assim uma movimentação lógica das peças dentro da célula de fabrico. Quanto à questão de manter as variáveis do primeiro cenário, isso tem a ver com o facto de os engenheiros fabris considerarem que, pelo facto desta operação ser realizada tão poucas vezes, fazia mais sentido não concentrar os postos de murçagem e bancada num só colaborador. Foi considerado mais vantajoso colocar a operação de bancada a ser efetuada por um operador externo à célula que seria solicitado apenas quando necessário. Isto é possível porque a frequência desta operação é baixa e, deste modo, será possível planear o trabalho desse operador de acordo com as necessidades da célula.

Para além disso, surgiram algumas sugestões e críticas por parte dos presentes na reunião. Em primeiro lugar, foi sugerido que se aproveitasse o tempo de inatividade do operador do polimento automático para realizar outras operações. Durante os 60 segundos de tempo de ciclo da operação, este operador fica cerca de 35 segundos a aguardar pela peça seguinte. Este tempo poderá ser utilizado para cobrir a operação de Escolha, passando esta a ser feita por este operador. Evitamos assim a utilização de mais um recurso e posto de trabalho na célula e aumentamos a taxa de utilização dos recursos. Além disso, seria também interessante avaliar a possibilidade de este mesmo operador (do polimento automático) colocar as peças que vão para a cromagem diretamente na suspensão, em vez de colocar numa caixa. Assim, evitar-se-ia mais um manuseamento da peça e reduzir-se-ia o tempo de atividade de valor não acrescentado para a peça.

Deste modo, ficou definido que a proposta de alteração do *layout* corresponderia ao que se pode observar na Figura 32. Este foi o local escolhido para a colocação da célula, tendo em conta o espaço livre existente na área de lixagem e polimento e a tentativa de se movimentar o mínimo de máquinas possível. Isto porque existem algumas limitações e implicações ao movimentar máquinas. Em primeiro lugar, existia uma restrição de espaço pois ao lado de uma das máquinas da lixagem robotizada existe uma máquina de abastecimento de sabão para as outras máquinas e que não pode ser movida. Para além disso, existem também alguns pilares espalhados pela fábrica e que poderiam influenciar na definição do novo *layout*. Por fim, as condutas de exaustão são específicas para cada área (uma conduta para a lixagem, outra para o polimento e outra separada para a murçagem) o que implica um investimento em novas condutas para continuar a utilizar o mesmo corredor de exaustão para cada tipo de operação. Também se estudou a viabilidade de colocar na mesma conduta de exaustão a murçagem e o polimento. No entanto, devido à diferença entre os pós resultantes de cada uma das operações, juntar os dois postos de trabalho numa só conduta iria requerer uma maior manutenção nas exaustões.

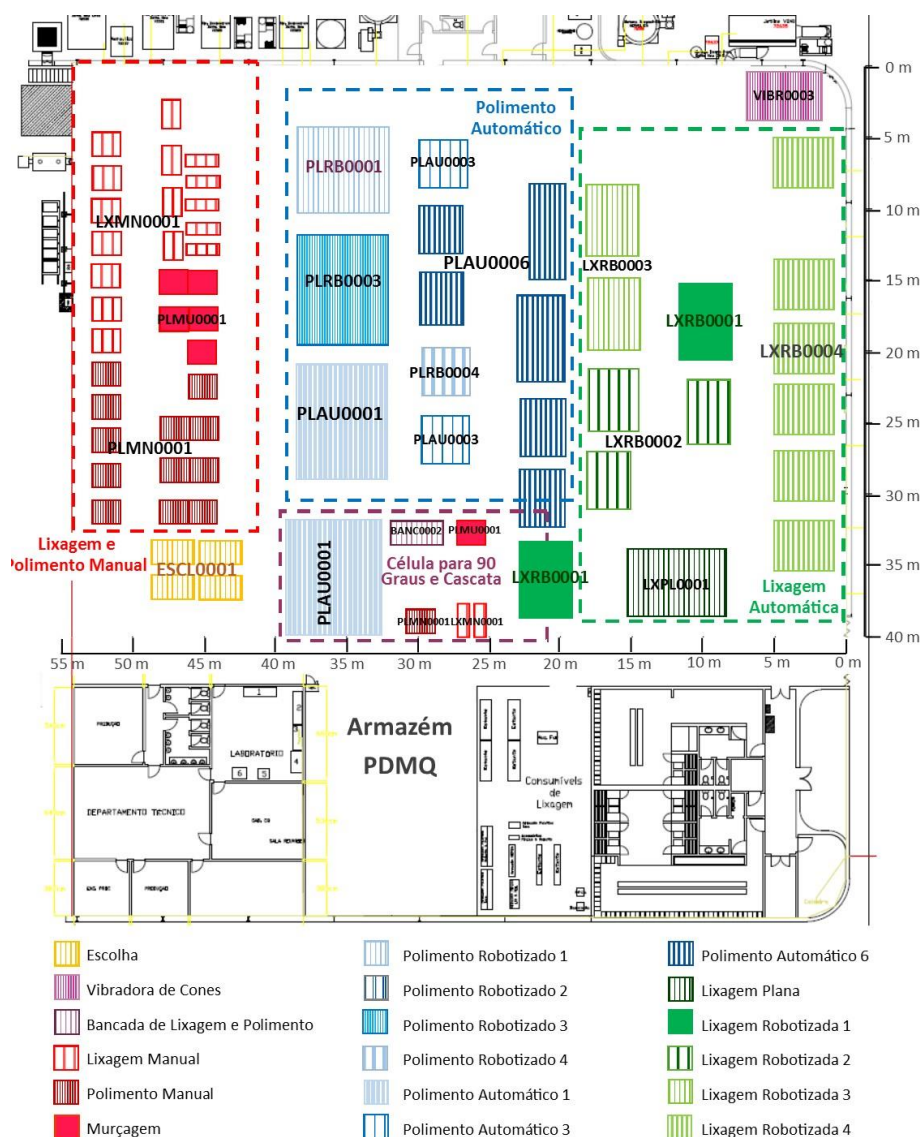


Figura 32 – Proposta Final para o Novo Layout

No que diz respeito às configurações dentro da célula, ficaram definidas as seguintes instruções: o mesmo operador faria a operação de lixagem manual e o abastecimento da máquina de lixagem automática; o operador que efetua a operação de polimento automático fica com a operação de escolha ao seu encargo sendo que, quando essa é a última operação de uma referência, essas peças são colocadas diretamente na suspensão para seguirem para a cromagem; por fim, o posto de trabalho da bancada ficará entregue a um operador volante: esse operador trabalhará tanto dentro como fora da célula, de acordo com as necessidades da mesma.

Para se perceber as vantagens da adaptação do *layout* atual para o cenário alternativo definido, era necessário avaliar os custos associados a esta alteração e quais os potenciais

ganhos da modificação do *layout*. Deste modo é possível chegar ao valor de *payback* do projeto.

Tendo em conta um aproveitamento de recursos internos e de alguns materiais existentes na fábrica, o investimento resultante da alteração do *layout* para a criação da célula de fabrico seria de cerca de 4.700€. Na Tabela 10 pode-se observar os ganhos anuais calculados através dos indicadores previamente obtidos dos resultados das simulações.

Os custos de *holding* correspondem ao custo de ter as peças em circulação na fábrica, em vez de esse dinheiro investido estar a ser aplicado noutras ações ou a render no banco. Esses custos foram calculados através da seguinte fórmula:

$$\text{Custo de Holding de WIP} = \text{Custo de Produção} \times \text{WIP} \times 8\% \text{ (juros do banco)}$$

No que diz respeito aos custos de transportes, a fórmula utilizada foi bastante simples, tendo apenas em conta o número de peças transportadas por ano e o custo horário de um operador (foi considerado um valor de 4,04€/hora). Este valor foi multiplicado pelo tempo dedicado a transportes para estas referências, já referido anteriormente.

Tabela 10 – Ganhos Anuais com a Proposta de Alteração de Layout

	Situação Atual	Cenário Alternativo	Melhoria
<i>Custo de Holding de WIP (€/ano)</i>	2.768,82 €	1.394,90 €	1.373,92 €
<i>Custo de Transportes (€/ano)</i>	13.418,13 €	2.699,20 €	10.718,93 €
			12.092,85 €/ano

Assim sendo, tendo em conta o investimento de 4.700€ e os ganhos de 12.092,85€/ano, ou seja, 1.000,74€/mês, pode-se afirmar que o *payback* será de 4,70 meses. Isto significa que ao fim de 5 meses já se recuperou o dinheiro investido para a criação da célula de fabrico. A partir desse tempo, a fábrica irá começar a beneficiar dos 1.000€ de poupança todos os meses.

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Tal como era expectável, existe um elevado número de peças em circulação na área de preparação de superfícies, assim como um elevado número de movimentações efetuadas nesta área. Isto deve-se à atual organização da fábrica, que se encontra disposta num *layout* por processo, e ao facto de a produção ser feita por lotes. Isto leva a um elevado número de peças dentro da fábrica, ou seja, um elevado *WIP*.

Tudo isto foi confirmado através da análise do *VSM* realizado e através dos resultados da simulação do cenário atual. O facto de o *lead time* atual da área em estudo rondar os 6 ou 7 dias úteis é preocupante e, foi precisamente por este motivo, que se decidiu que seria altura para procurar soluções alternativas e tentar reduzir ao máximo os desperdícios existentes.

Foram sugeridos dois cenários alternativos, ambos com uma disposição em célula de fabrico. Tal como foi referido na revisão de literatura, um *layout* em célula geralmente possui vantagens de redução de *WIP*, redução de movimentações das peças e de manuseamento das mesmas, para além de criar uma maior interajuda entre os colaboradores da célula e de existir uma maior flexibilidade de adaptação da célula.

Desses dois cenários, chegou-se à conclusão que, para a família de produtos estudada, faria mais sentido adotar o primeiro cenário tendo em conta os resultados obtidos nas simulações. Com a adoção deste cenário alternativo, seria possível obter ganhos a rondar os 1.000€ mensais. Tendo em conta que fazer a alteração do *layout* atual para a disposição em célula teria um custo aproximado de 4.700€, chega-se à conclusão que ao fim de 5 meses já se recuperou o dinheiro investido, começando a empresa a ganhar mensalmente com a alteração efetuada.

Para além dos ganhos quantificados acima, existem outras potenciais melhorias. Um dos exemplos de um ganho não quantificável tem que ver com ganhos de qualidade através da diminuição do manuseamento das peças, existindo assim uma possibilidade de se reduzir a percentagem de peças para *rework* e/ou sucata. É também de salientar que o facto de existir uma célula apenas para as referências 90 graus e cascata, poderá facilitar no processo de recuperação de peças de *rework*, devido à proximidade dos postos de trabalho e, também, de as peças passarem a ser fabricadas unitariamente e não em lote.

Em suma, existem evidências das vantagens da adoção do novo *layout* para as torneiras 90 graus e cascata, nos dois acabamentos existentes. Apesar de existir um gasto inicial, os ganhos sobrepõem-se rapidamente a esse investimento. No entanto, até à data de conclusão do estágio, não se concluiu a adaptação do novo *layout* na área de lixagem e polimento. Assim sendo, é importante indicar alguns passos futuros que fazem sentido seguir no âmbito deste projeto: após a alteração do *layout*, fazer uma nova simulação para se perceber se os valores simulados realmente coincidem com os do cenário real; estudar a viabilidade de se inserir outras referências com um plano de produção similar; e voltar a analisar a célula de fabrico no sentido de se identificar outros desperdícios que possam existir.

Por fim, seria também interessante fazer um estudo semelhante para outras áreas produtivas da Cifial ou, até mesmo, passar do *layout* atual por processos para um *layout* com várias células produtivas, cada uma correspondente a uma família de produtos. Contudo, é de salientar que repetir um estudo de simulação desta dimensão requer um grande investimento a nível de tempo. É evidente que durante a realização deste projeto se despendeu muito tempo em investigação e recolha de dados para a criação do modelo de simulação, na tentativa de se criar um modelo lógico que fosse o mais fiel possível à realidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmalek, F., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *Internacional Journal of Production Economics*, 223-236.
- Alves, A., Carvalho, R., Moreira, D., & Lima, R. (2011). Benefits of Lean Management: results from some industrial cases in Portugal. *6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME2011)" A Engenharia no combate à pobreza, pelo desenvolvimento e competitividade*. INEGI.
- Banks, J. (1999). Introduction to Simulation. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 7-13.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2004). *Discrete-Event System Simulation* (4ª ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Benjaafar, S., Heragu, S., & Irani, S. (2002). Next Generation Factory Layouts: Research Challenges and Recent Progress. *Interfaces*, 58-76.
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefois, C. (2007). *Gestão da Produção: Para uma gestão industrial ágil, criativa e cooperante*. Lisboa: Lidel.
- Dilworth, J. (1996). *Operations Management*. New York: McGraw-Hill.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility Layout Problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31, 255-267.
- Groover, M. (2002). *Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing* (2ª ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Guneri, A., & Seker, S. (2008). The use of Arena simulation programming for decision making in a workshop study. *Computer Applications in Engineering Education*, 1-11.
- Hicks, B. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 233-249.
- Kamrani, A., Al-Ahmari, A., & Azimi, M. (2013). *Methods in Product Design: New Strategies in Reengineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Kelton, W., Sadowski, R., & Sadowski, D. (2002). *Simulation with Arena* (2ª ed.). New York City: McGraw Hill.
- Kumar, S., & Suresh, N. (2008). *Production and Operations Management* (2ª ed.). New Delhi: New Age International (P) Limited.
- Law, A., & Kelton, W. (1991). *Simulation Modeling and Analysis* (2ª ed.). New York: McGraw-Hill.
- McDonald, T., Van Aken, E., & Rentes, A. (2002). Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 213-232.

- Mejía, G., Martínez, D., & Torres, F. (2008). Modeling and development of an Arena interface for petri nets. A case study in a columbian comestic company. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 1368-1375.
- Mishra, R., & Chakraborty, A. (2014). Strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis of lean implementation frameworks. *International Journal of Lean Enterprise Research*, 162-182.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Boca Raton: CRC Press.
- Patil, A., & Pataskar, S. (2013). Analyzing Material Management Techniques on Construction Project. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 96-100.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Cambridge: Lean Enterprise Institute.
- Silva, C., Tantardini, M., Staudacher, A., & Salviano, K. (2010). Lean Producion Implementation: A survey in Portugal and a comparison of results with Italian, UK and USA companies. *17th International Annual EurOMA Conference*, 1-10.
- Simaria, A., Xambre, A., Filipe, N., & Vilarinho, P. (2010). A Decision Support System for Assembly and Production Line Balancing. *Handbook on Business Information Systems*, 383-414.
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., & Johnston, R. (1999). *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas.
- Vieira, G. (2004). Ideas for Modeling and Simulation of Supply Chains with Arena. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 1418-1427.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. London: Simon and Schuster.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. New York: Free Press.
- Yadav, P., & Sharma, S. (2016). Case Study of Plant Layout: To Compare Production Efficiency of Manual Plant Layout and Computerized Plant Layout Using ARENA Software. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 410-413.

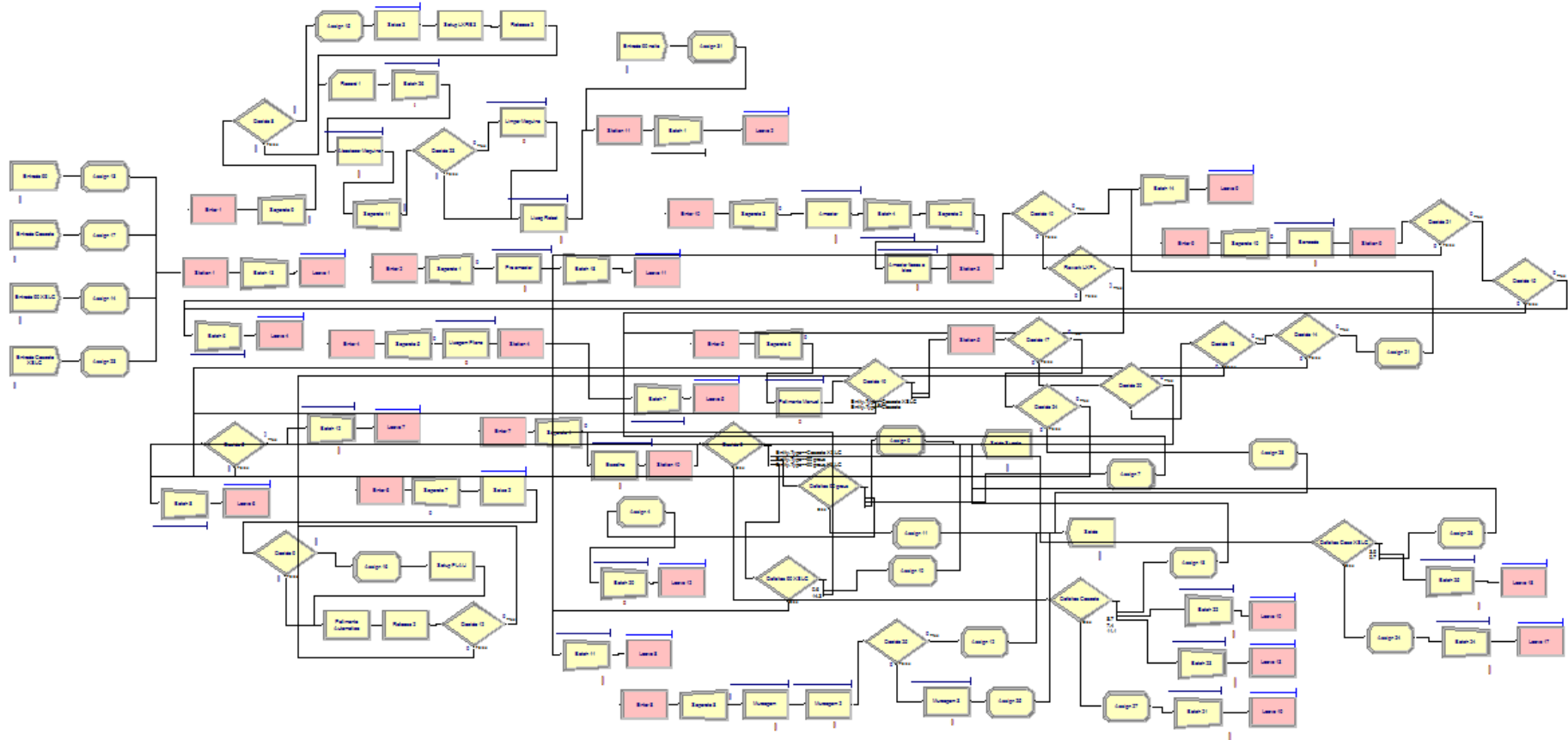
5. ANEXOS

Anexo A: Matriz das Distâncias dos Centros de Trabalho

Matriz das Distâncias dos Centros de Trabalho

	Matéria Prima	Escolha	Maq CNC	Lix Manual	Lix Plana	Lixagem Robotizada				Polimento Automatico			Poi Manual	Murçagem	Polimento Robotizado				Vibrad Cones	Bancada
	Armazém PDMQ	ESCL0001	PLTB0001	LXMN0001	LXPL0001	LXRB0001	LXRB0002	LXRB0003	LXRB0004	PLAU0001	PLAU0003	PLAU0006	PLMN0001	PLMU0001	PLRB0001	PLRB0002	PLRB0003	PLRB0004	VIBR0003	BANC0002
Armazém PDMQ	-	22,5	52,5	52,5	30	47,5	35	45	47,5	25	20	32,5	35	42,5	47,5	45	40	25	67,5	62,5
ESCL0001	-	-	60	30	37,5	55	42,5	52,5	55	12,5	27,5	40	12,5	20	35	52,5	32,5	32,5	75	40
PLTB0001	-	-	-	40	37,5	15	22,5	12,5	30	67,5	32,5	20	62,5	50	30	7,5	37,5	27,5	15	35
LXMN0001	-	-	-	-	70	50	65	55	75	27,5	62,5	45	17,5	10	10	32,5	12,5	47,5	60	10
LXPL0001	-	-	-	-	-	22,5	15	25	17,5	45	25	32,5	55	62,5	67,5	45	60	30	37,5	82,5
LXRB0001	-	-	-	-	-	-	12,5	2,5	30	60	42,5	30	70	77,5	47,5	22,5	55	47,5	22,5	55
LXRB0002	-	-	-	-	-	-	-	10	40	50	30	37,5	60	67,5	55	32,5	57,5	35	32,5	62,5
LXRB0003	-	-	-	-	-	-	-	-	27,5	60	40	27,5	70	77,5	45	22,5	47,5	35	25	52,5
LXRB0004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62,5	52,5	60	72,5	80	75	37,5	77,5	57,5	32,5	80
PLAU0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	47,5	10	17,5	22,5	60	15	40	77,5	37,5
PLAU0003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5	45	52,5	45	25	50	5	47,5	47,5
PLAU0006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57,5	65	35	12,5	42,5	7,5	35	40
PLMN0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5	27,5	50	20	50	77,5	27,5
PLMU0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	37,5	7,5	57,5	65	20
PLRB0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	7,5	40	50	15
PLRB0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	20	22,5	27,5
PLRB0003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	57,5	22,5
PLRB0004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,5	42,5
VIBR0003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70
BANC0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo B: Modelo de Simulação do Cenário Atual no Arena



Anexo C: Modelo de Simulação do Cenário Alternativo 1 no Arena

