

Estudo do *layout* das instalações de uma unidade de produção de perfis de alumínio

Sérgio Valente Antunes

Projeto de Mestrado em Gestão

Orientadora:

Prof. Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre, Prof. Auxiliar, Universidade de Aveiro,
Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo

Coorientadora:

Prof. Doutora Tânia Rodrigues Pereira Ramos, Prof. Auxiliar, Instituto Superior
Técnico, Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia e Gestão

Setembro 2016

Estudo do *layout* das instalações de uma unidade de produção de perfis de alumínio

Sérgio Valente Antunes

- Lombada -

Resumo

Num sector altamente competitivo como o do alumínio, especificamente o seu tratamento e extrusão, uma empresa portuguesa, fundada em 1982 no distrito de Aveiro, resolveu ainda assim apostar nesse mercado. Inicialmente dedicava-se apenas à mecanização e anodização de perfis de alumínio mas, com o passar do tempo e a necessidade de se adaptar às exigências do mercado, foi introduzindo gradualmente outros processos produtivos como a lacagem, a rotura térmica e, a partir de 2011, a extrusão.

O crescimento da empresa no mercado nacional e internacional, fez com que novos ajustes e adições fossem realizados no seu *layout* de modo a responder às exigências dos clientes. Esses ajustes foram feitos tendo em conta o espaço disponível no momento, sem um método e planeamento muito exaustivo. Assim, este trabalho tem como objetivo principal aferir os custos do *layout* utilizado atualmente pela empresa e sugerir três alternativas em que se verifique uma redução de custos significativa. Para tal, foi averiguado o custo do atual *layout* através da realização de observações, medições entre secções e uma análise do respetivo fluxo de materiais. Posteriormente, formularam-se *layouts* alternativos que pudessem melhorar o desempenho do *layout* atual em termos de custo de movimentação dos materiais. Os *layouts* propostos foram testados revelando melhorias na ordem dos 28% a 33%.

Palavras-Chave: Gestão de operações; Melhoria de processos; Alumínio; *Layout*.

Classificação JEL:

- L610 – Metals and Metal Products; Cement; Glass; Ceramics
- M10 – General Business Administration

Abstract

In a highly competitive industry such as aluminum, specifically its treatment and extrusion, a Portuguese company founded in 1982, in the district of Aveiro, decided to bet on this market. Initially it was only dedicated to mechanization and anodizing of aluminum profiles but, through time and with the need to adapt to market requirements, it has been gradually introducing other production processes such as lacquering, thermal break and, from 2011 forward, extrusion.

With the growth of the company in the domestic and international markets, new adjustments and additions were made to its layout in order to respond to customer needs. These adjustments were made depending on the available space at that time. The main objective of this study is to assess the costs of the current layout used by the company and suggest three alternatives that could result in a significant reduction of costs. In order to ascertain the cost of the current layout, observations were made, as well as measurements between sections and an analysis of material flow. Subsequently, the costs associated with the use of the current layout were calculated and new layouts' proposals were delineated in order to reduce those costs.

Thus, alternative layouts that could improve the performance of the current one were suggested. The proposed layouts were tested revealing improvements around 28% to 33%.

Keywords: Operations management; Process improvement; Aluminum; Layout.

JEL Classification:

- L610 – Metals and Metal Products; Cement; Glass; Ceramics
- M10 – General Business Administration

Agradecimentos

Quero desde já expressar o meu reconhecimento e agradecimento a todos aqueles que com o seu contributo, me ajudaram a concluir mais uma etapa académica da minha vida.

A presente tese representa o culminar de um percurso académico que se iniciou no já longínquo ano de 1990. Desde o primeiro ano escolar no básico até atingir este patamar, sempre primei em dar o melhor de mim em cada momento de avaliação. Posso por isso dizer, que chegar a este ponto da vida académica foi algo árduo e exigente. Transporte comigo ao longo destes anos os valores que me foram passados pela minha família, mais concretamente pelos meus pais e avós.

Foi com eles que aprendi que nada na vida se obtém sem trabalho, colocando o melhor de nós em todos os desafios, reconhecendo os nossos limites e lutando para os ultrapassar.

Como tal, gostaria de dedicar este trabalho e de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte deste meu percurso de vida e que contribuíram para que este momento se realizasse:

Aos meus pais, Carmen e Carlos agradeço todo o apoio, carinho e paciência demonstrados agora e ao longo de toda a minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos que, voluntária ou involuntariamente, sempre encontraram formas de aliviar todo o *stress* acumulado ao longo deste ano.

Um agradecimento especial ao presidente da Anicolor, Fernando Sampaio, pela maneira prestável com que me recebeu, mostrando-se disponível para ajudar.

Agradeço ao Eng. João Pinto todo o apoio e por sempre se ter mostrado interessado e disponível em ajudar.

Finalmente, um agradecimento muitíssimo especial às professoras Raquel Xambre e Tânia Ramos, minha orientadora e coorientadora, respetivamente, pela forma incansável, prestável e positiva com quem me ajudaram, sempre acreditando em mim.

A todos um muito obrigado e um bem hajam por tornarem possível a obtenção desta etapa académica e o começo de uma nova etapa de vida, no mercado profissional.

Índice

1. Introdução.....	7
1.1. Enquadramento do tema.....	7
1.2. Problema de investigação.....	8
1.3. Objetivos	9
1.4. Estrutura do projeto.....	9
2. Revisão da Literatura	11
2.1. O problema da definição do <i>layout</i> no contexto da gestão de operações.....	11
2.2. Sistemas de produção vs Tipologias de <i>layouts</i>	12
2.3. O problema do desenho das instalações (<i>layout</i>)	15
2.4. Métodos para a resolução do problema do <i>layout</i>	15
2.4.1. Algoritmos de melhoramento do <i>layout</i>	17
2.4.2. <i>Systematic Layout Planning</i> (SLP).....	17
2.5. <i>Layout</i> dos equipamentos e localização dos pontos de <i>input/output</i>	19
2.5.1. <i>Layout</i> dos equipamentos dentro de cada departamento	19
2.5.2. Localização das estações de <i>input/output</i>	19
2.5.3. Desenho do fluxo do material	19
2.6. Critérios de avaliação do <i>layout</i>	20
2.6.1. Custos de movimentação e transporte	20
2.6.2. Outros critérios.....	22
3. Metodologia	24
4. Análise da situação atual	26
4.1. A empresa – Anicolor	26
4.2. Descrição do processo produtivo	28
4.2.1. Sistemas de transporte.....	28
4.2.2. Processos de transformação.....	30
4.2.3. Fluxograma do processo produtivo	35
4.3. Avaliação do <i>layout</i> atual.....	37
4.3.1. Matriz de distâncias.....	40
4.3.2. Matriz de fluxos	41
4.3.3. Matriz de custos	43
5. Estudo de alternativas.....	45
5.1. Alternativa 1.....	45
5.2. Alternativa 2.....	48

5.3. Alternativa 3.....	51
6. Conclusões e limitações	56
7. Bibliografia.....	59

Índice de figuras

Figura 1 - Sistemas de produção vs Layout (fonte: Adaptado de Stevenson, 2015).....	14
Figura 2 - (a) Representação discreta e (b) Representação contínua (fonte: Bozer et al, 1997).....	16
Figura 3 - Procedimento SLP (fonte: Adaptado de Gómez et al. 2003).....	18
Figura 4 - Padrão de fluxos - (a) fluxo linha contínua (b) fluxo em U - (c) fluxo em S - (d) fluxo em W (fonte: Tompkins et al, 2010)	20
Figura 5 - Carro manual.....	29
Figura 6 - Ponte grua	29
Figura 7 - Rack	29
Figura 8 - Sistemas de transporte	30
Figura 9 - Prensa.....	31
Figura 10 – Banco de estiramento	31
Figura 11 - Maturação	31
Figura 12 - Embalamento	32
Figura 13 - Principais fases do processo de extrusão	32
Figura 14 - Anodização (Anicolor, 2016)	33
Figura 15 - Lacagem vertical.....	34
Figura 16 - Lacagem madeira (Anicolor, 2016).....	35
Figura 17 - Fluxograma do processo produtivo	36
Figura 18 - Layout uniformizado.....	38
Figura 19 - Layout uniformizado com PE e PS.....	38
Figura 20 - Fluxos de material para a anodização (ton/ano)	41
Figura 21 - Fluxos de material para a lacagem (ton/ano)	42
Figura 22 - Fluxograma com as quantidades (ton/ano)	42
Figura 23 - Layout da alternativa 1	46
Figura 24 - Layout da alternativa 2	49

Índice de quadros

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos de entrada e saída das diferentes secções	39
Tabela 2 - Matriz de distâncias	40
Tabela 3 - Matriz de fluxos.....	43
Tabela 4 - Matriz de custos.....	44
Tabela 5 - Matriz de distâncias da alternativa 1	46
Tabela 6 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 1	47
Tabela 7 - Matriz de custos da alternativa 1	47
Tabela 8 - Matriz de distâncias da alternativa 2	50
Tabela 9 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 2	50
Tabela 10 - Matriz de custos da alternativa 2.....	51
Tabela 11 - Coordenadas dos pontos de entrada e saída da alternativa 3.....	53
Tabela 12 - Matriz de distâncias da alternativa 3	54
Tabela 13 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 3	54
Tabela 14 - Matriz de custos da alternativa 3	55

Sumário Executivo

A realização deste projeto de mestrado teve lugar na empresa Anicolor - Sistemas de Alumínio, Lda., organização que tem por missão desenvolver, produzir e comercializar sistemas de alumínio para arquitetura e também perfis de alumínio para os mais diversos fins industriais.

Fundada em 1982, e sediada no distrito de Aveiro, a Anicolor é atualmente uma empresa de vanguarda na área de conceção de sistemas de alumínio, que tem como objetivo principal a personalização da obra em função da necessidade específica do seu cliente e a sua plena satisfação, tendo como mercado alvo as empresas de caixilharia de alumínio. A Anicolor dispõe de dez filiais estrategicamente distribuídas por diversos distritos do país (Algarve, Aveiro, Castelo Branco, Coimbra, Guarda, Leiria, Lisboa, Porto, S. J. Madeira, Viseu e Chaves) e também de uma sucursal na vizinha Espanha, exercendo deste modo um forte posicionamento no mercado, complementado por uma forte logística de distribuição e por uma equipa comercial sempre disponível, aumentando assim a prontidão nas várias solicitações diárias.

O crescimento da empresa no mercado nacional e internacional, fez com que novos ajustes e adições fossem realizados no seu *layout* de modo a responder às exigências dos clientes. Esses ajustes foram feitos tendo em conta o espaço disponível no momento, sem um método e planeamento muito exaustivo. Assim, este trabalho tem como objetivo principal aferir os custos do *layout* utilizado atualmente pela empresa e sugerir três propostas de melhoria.

Com o objetivo de analisar o *layout* atual da empresa foi então averiguado o respetivo custo através da realização de observações, medições entre secções e uma análise do respetivo fluxo de materiais.

De seguida as diferentes secções foram uniformizadas e, com recurso a um referencial cartesiano, foram calculadas as distâncias entre si, dando origem à matriz de distâncias. Após reunir com os responsáveis da empresa, foram facultados, por aproximação, os fluxos existentes entre as diversas secções, e com esta informação foi elaborada a matriz de fluxos.

Esta análise do *layout* atual permitiu então determinar as distâncias entre as secções, e perceber os fluxos (anuais) que existem entre as mesmas. De seguida, calcularam-se os custos do respetivo *layout*, tendo-se concluído que o mesmo tem um custo atual de 2.518.577,87 u.c. por ano.

Posteriormente, foram desenvolvidas três novas propostas de *layouts* alternativos, sendo as alternativas 1 e 2 mais conservadoras e a alternativa 3 mais extrema. Para desenvolver as alternativas, foi analisada a matriz de custos, tendo-se verificado que o custo mais elevado era o transporte dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima (secção 11), com 1.040.040 u.c.. Assim, a alternativa 1 consistiu em trocar o armazém de matéria-prima (secção 11) para a localização da secção 2, um espaço disponível que se encontra próximo da extrusora e que possui a área necessária para que esta mudança seja viável. Com esta alteração, o *layout* apresentaria um custo de 1.957.193,87 u.c., o que significa uma poupança de 28,68% em relação à situação atual.

Relativamente à alternativa 2, depois de verificado que os três maiores custos no *layout* atual eram o custo da movimentação dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima (1.040.040 u.c.), a movimentação entre o armazém de matéria-prima (secção 11) e os banhos de pré-lacagem (secção 13, com 168.480 u.c.) e a movimentação dos perfis anodizados (secção 12) para a zona de rotura térmica (secção 18, com 151.988,32 u.c.), propôs-se a troca da secção 11 para a secção 2, e das secções 18, 19 e 20 para o espaço que fica disponível no lugar da secção 11. Com estas alterações obteve-se um novo *layout* com um custo de 1.935.854,05 u.c., o que significa uma poupança de 30,10% em relação ao *layout* atual.

Quanto à alternativa 3, foi proposto um *layout* criado totalmente de raiz, onde foi tido em conta o fluxo produtivo e algumas restrições/adjacências relacionadas com certos equipamentos. Depois de calculadas as novas distâncias entre as secções, obteve-se um custo final de 1.886.370,76 u.c. o que representa uma poupança de 33,51% em relação ao *layout* utilizado atualmente pela empresa.

Resumindo, os *layouts* alternativos propostos foram testados revelando melhorias na ordem dos 28% a 33% em termos de custos. Tendo sido apuradas reduções de custo significativas, a empresa Anicolor deve ponderar implementar um dos três *layouts* alternativos de modo a aumentar a sua eficiência.

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

O tema do presente projeto insere-se na área de gestão geral, com especial enfoque na gestão de operações. Um dos objetivos fundamentais da gestão da produção e operações é melhorar a utilização dos recursos existentes tendo em vista a obtenção, ao menor custo e prazo, de bens e serviços em conformidade com a qualidade especificada. Uma boa implantação (*layout*) dos vários departamentos, centros de trabalho e equipamentos é essencial para que se possa melhorar os processos (Meller et al., 1999). Assim, tendo em conta os processos e as tecnologias utilizadas, há necessidade de organizar e implantar, de uma forma adequada, os recursos físicos e humanos. Trata-se de uma decisão importante associada aos processos produtivos de bens e de serviços que, em muitos casos, requerem investimentos avultados que envolvem compromissos de longo termo e que têm um impacto significativo nos custos e na eficiência das operações. É de realçar que, embora a elaboração de uma implantação ocorra, normalmente, aquando da instalação de novos processos, há por vezes a necessidade de alteração de implantações já em funcionamento devido a, por exemplo, introdução de novos produtos, modificação no volume dos produtos, implementação de ações de melhoria para reduzir custos de transporte, entre outras.

É neste contexto que surge o presente projeto que tem como objeto de estudo os processos e o *layout* utilizado pela empresa portuguesa Anicolor, Lda., pretendendo-se melhorar a eficiência do *layout* atual. A Anicolor, Lda. é uma empresa sediada no distrito de Aveiro e é especializada em produzir e comercializar sistemas de alumínio. A empresa está dividida em dois pavilhões, um pavilhão possui a extrusora, o armazém de Aveiro, o armazém de produtos de pouca rotatividade e o armazém dos acessórios. O outro pavilhão, que se dá pelo nome de Unidade de Tratamento de Superfície (UTS) é onde está o armazém de matéria-prima (perfis), onde depois serão sujeitos aos diversos processos de transformação que a empresa realiza, tais como, anodização, lacagem, rotura térmica e mecanização. O principal produto da Anicolor é o desenvolvimento e fabrico de perfis de caixilharia de alumínio.

A motivação que levou à definição do tema do presente projeto partiu do interesse do autor pelo melhoramento de processos e aumento de eficácia em empresas de sectores competitivos, como o sector do alumínio. A escolha da empresa Anicolor

significou um desafio extra, porque obrigou à investigação sobre formas de melhorar o desempenho da produção de uma empresa portuguesa muito promissora (num contexto em que cada vez mais é necessária a agregação de valor às empresas nacionais), para que esta se possa tornar mais competitiva perante a sua concorrência em Portugal e em mercados externos.

Para poder realizar a desejada investigação, foi necessário proceder a diversas observações nas instalações da empresa, bem como à recolha de dados e análise posterior dos mesmos, com o objetivo de responder à questão central deste trabalho.

Assim, foi analisado o *layout* atual da Anicolor, e foram propostos *layouts* alternativos tendo como objetivo a obtenção de uma alternativa que apresentasse um desempenho superior ao do *layout* atualmente existente na empresa.

Com o intuito de comprovar se os *layouts* propostos têm na realidade capacidade para superar o atual, foi efetuado um estudo dos mesmos (com recurso ao *excel*), com o propósito de testar o comportamento das diferentes alternativas.

1.2. Problema de investigação

O problema do *layout* de uma instituição fabril abordado neste trabalho pode ser apresentado formalmente como se segue:

Dado:

- Um conjunto de equipamentos e/ou secções, respetivas dimensões e formas geométricas;
- Locais de pontos de entrada e saída dos materiais dos equipamentos e/ou secções;
- A estrutura de conectividade;
- Distâncias mínima e máxima de segurança e operacionalidade entre os equipamentos e/ou secções;
- Características do setor de produção e unidades de equipamentos associados, se existentes;
- Disponibilidade de espaço;
- Custo de toda a estrutura de conectividade;

Determinar:

- A disposição dos equipamentos - coordenadas e orientação;

- A estrutura de conectividade ideal (localização das entradas e saídas);

Com o objetivo de minimizar os custos de movimentação de materiais.

Neste trabalho, o propósito principal centra-se num objetivo económico, neste caso através da redução dos custos de movimentação de materiais. Este objetivo tem sido tradicionalmente adotado desde que se verificou que 20% a 50% das despesas operacionais se devem ao manuseamento de materiais e a melhoria de um *layout* pode implicar uma redução de custos de cerca de 10% a 30% (Tompkins et al., 2010). Este objetivo é muitas vezes traduzido na redução dos custos associados ao *layout*, mais especificamente na redução do custo de movimentação de materiais, mas garantindo que todas as restrições físicas e operacionais do mesmo são respeitadas. No entanto, a melhor solução encontrada deve ser sempre vista como uma solução ótima relativa, uma vez que foi construída sobre um modelo que é apenas uma tentativa de representar a complexidade dos problemas reais. Assim, as soluções obtidas devem ser utilizadas tendo em mente esta limitação. Em suma, o modelo deve ser visto como uma ferramenta de suporte à decisão que ajuda o decisor (Tompkins et al., 2010).

O trabalho apresentado está direcionado principalmente para o *layout* de unidades industriais (ou seja, máquinas, equipamentos de processamento, etc.). No entanto, esta análise pode ser facilmente adaptada a ambientes de prestação de serviços.

1.3. Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo propor um novo *layout* para a unidade de produção da empresa Anicolor, Lda. que minimize o custo de movimentação dos materiais. Como objetivos secundários pretende-se:

- Mapear os principais processos da empresa
- Caracterizar os fluxos de materiais no *layout* atual

1.4. Estrutura do projeto

O relatório está dividido em três grandes partes: contextualização, que contém toda a informação relevante para preparar o leitor para os capítulos posteriores; análise e recolha de dados e informação, onde se inclui as informações e dados recolhidos nas observações realizadas, bem como a análise dos mesmos; e compreensão e resolução do problema, onde estão incluídas as análises aos

resultados obtidos e a construção de *layouts* alternativos. Pode-se então estruturar, de uma forma generalizada, o presente documento através dos seguintes pontos:

I. Contextualização

- a. Empresa;
- b. Problema e objetivos;
- c. Revisão da literatura (contextualização científica);
- d. Métodos e metodologia (contextualização das abordagens utilizadas no presente trabalho).

II. Análise e recolha de dados e informação

- a. Processo de recolha de dados;
- b. Processo produtivo;
- c. *Layout*;
- d. Análise de dados.

III. Compreensão e resolução do problema

- a. Justificação dos resultados obtidos;
- b. Formulação de *layouts* alternativos;
- c. Análise de *layouts* alternativos.

Estes são então os três grandes pontos necessários para uma estruturação clara do relatório, dando, assim, a informação necessária ao leitor sobre os temas abordados e explorados no mesmo. Pretendeu-se pois, recolher dados e informações para a construção de uma solução sustentada em valores reais e após o tratamento dos dados encontrados, justificar, com base na experiência adquirida no terreno, que fatores contribuem para esses valores e o que se poderá fazer para melhorar resultados.

Assim, o primeiro capítulo ajudou a apresentar o problema e no capítulo 2 é feita a revisão da literatura necessária para enquadrar o trabalho desenvolvido. No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada. No capítulo 4, será feita uma descrição da empresa, assim como a análise da situação atual. No capítulo 5 são apresentadas e analisadas as propostas desenvolvidas e, por fim, no capítulo 6, explicam-se as principais conclusões e limitações do trabalho desenvolvido.

2. Revisão da Literatura

Neste capítulo, será feita a revisão da literatura em relação aos temas que se relacionam com o projeto apresentado, nomeadamente melhoria do *layout* e análise do fluxo de materiais das instalações.

2.1. O problema da definição do *layout* no contexto da gestão de operações

A gestão das operações preocupa-se com o desenho, operacionalização e melhoria do sistema que produz e entrega os produtos e serviços de uma empresa. É também definida como o conjunto de processos, no interior das organizações, que adquire *inputs* (trabalho, capital, materiais, energia, informação, etc.) e os transforma em *outputs* (bens e serviços) consumidos pelo mercado (Roldão & Ribeiro, 2007).

O propósito da gestão de operações varia entre questões estratégicas, táticas e operacionais. Questões estratégicas representativas incluem determinar a dimensão e a localização de fábricas, armazéns ou centros de distribuição, decidir sobre qual o processo produtivo, projetar cadeias de abastecimento, entre outras. Questões táticas incluem o *layout* das instalações, seleção de equipamentos e a sua substituição. Questões operacionais incluem programação e controlo da produção, gestão de *stocks*, controlo de qualidade e inspeção, movimentação dos materiais e as políticas de manutenção de equipamentos.

O desempenho geral de uma empresa industrial é significativamente afetado pelo *layout* das suas instalações. Os objetos a implantar na área disponível por forma a definir o *layout* podem ser qualquer recurso que facilite o desempenho de qualquer trabalho, nomeadamente uma máquina, um centro de trabalho, uma célula de fabrico, uma oficina de máquinas, um departamento, um armazém, etc. (Heragu, 1997). A disposição desses recursos resulta da combinação de tudo o que é necessário para a produção de bens ou para a prestação de serviços (Drira et al., 2007). Um *layout* bem concebido resulta numa eficiente movimentação dos materiais, tempos de transporte reduzidos e caminhos curtos. Isto, por sua vez, leva a níveis baixos de *stocks* de produtos em vias de fabrico, a uma gestão da produção eficaz, diminui os tempos de ciclo e custos de inventário, melhora o desempenho no tempo de entrega, e, conseqüentemente, origina maior qualidade do produto (Ioannou, 2007). A eficiência de um *layout* é tipicamente medida em termos de custo de manuseamento dos materiais

(transporte). Os custos de manuseamento dos materiais são diretamente influenciados pelas distâncias que a unidade de carga viaja (Meller & Gau, 1996, Heragu, 1997). Um fluxo eficaz dentro de uma instalação inclui o movimento progressivo de materiais, informações ou pessoas entre departamentos. Um caminho de fluxo direcionado é um caminho de fluxo ininterrupto a progredir diretamente da origem até ao destino. Um caminho de fluxo ininterrupto é uma via de fluxo sem retrocesso e que não cria congestionamentos e cruzamentos indesejáveis com outros caminhos (Drira et al., 2007).

2.2. Sistemas de produção vs Tipologias de *layouts*

Diversidade e volume de produção são fatores-chave de decisão quando se trata de sistemas de produção. O primeiro diz respeito ao *mix* de produtos produzidos pela organização, enquanto o volume de produção está relacionado com a quantidade de produto que é necessário produzir, ao longo de um período de tempo específico.

A relação volume/variedade pode ser vista como um índice indireto do grau de especialização dos vários recursos de produção levando, na prática, a diferentes tipos de sistemas de produção (Stevenson, 2015).

Estes são geralmente divididos em quatro grupos principais:

- Produção por projeto;
- Produção por *job-shop*;
- Produção por lotes
- Produção repetitiva;

A produção por projeto aplica-se com frequência para um produto grande e volumoso com conceção e execução única e complexa. Exemplos típicos são: pontes e construção civil ou o fabrico de aeronaves e navios. Este tipo de produto implica uma grande quantidade de afetação de recursos durante um determinado período de tempo e um longo tempo de entrega.

A produção por *job-shop* diz respeito a produtos de conceção menos complexa que a anterior, mas com maior diversidade de procura. Normalmente são fabricadas, simultaneamente, quantidades pequenas de uma grande diversidade de produtos, com várias sequências operacionais e tempos de execução curtos, partilhando simultaneamente os mesmos recursos de produção. Exemplos comuns são as pequenas e antigas indústrias metalomecânicas.

A produção por lotes ocorre quando a procura do produto tem uma dimensão considerável e existem tempos de *setup* significativos. Portanto, um grande lote é produzido, usando os recursos de produção existentes simultaneamente. Além disso, a diversidade do produto é menor e existem mais sequências operacionais semelhantes. Alguns exemplos são as fábricas típicas de têxteis e móveis.

Na produção repetitiva, a produção está associada a um pequeno conjunto de produtos relacionados, quando não únicos. Grandes volumes são processados, muitas vezes, em mais do que uma linha de produção.

Stevenson define ainda outra categoria chamada de *line flow*. Desta forma, é diferenciado claramente, o fabrico de um único produto (fluxo contínuo) e o fabrico de um conjunto de produtos (*line flow*) associados e limitados. Obviamente, essas duas abordagens podem levar a diferentes *layouts*.

Este tipo de organização encontra-se, geralmente, nas empresas de montagem de automóveis ou de produtos de eletrónica.

Na produção contínua temos produtos não individualizados (a granel) e instalações de grande dimensão e complexidade tecnológica, como por exemplo, uma refinaria de petróleo ou uma empresa de produção de pasta de papel.

Resumindo, numa produção mais diversificada é essencial o uso de recursos de produção flexíveis e multitarefa. Esses recursos são partilhados pelos diferentes produtos dentro das células de produção/secções de acordo com as similaridades operacionais dos produtos (*job-shop*, produção por lotes). À medida que o volume de produção aumenta, uma maior alocação de recursos partilhados por produto torna-se economicamente justificável. No limite, quando o volume de produção é muito grande, com uma diversidade de produtos restrita, a criação de linhas de produção dedicadas aparece como a solução mais rentável.

Assim, os tipos de sistemas de produção determinam de maneira decisiva os tipos de *layout* que podem ser implementados. Tradicionalmente são definidos quatro tipos de *layouts* (Stevenson, 2015):

- Posição fixa;
- Processo;
- Tecnologia de grupo;
- Produto.

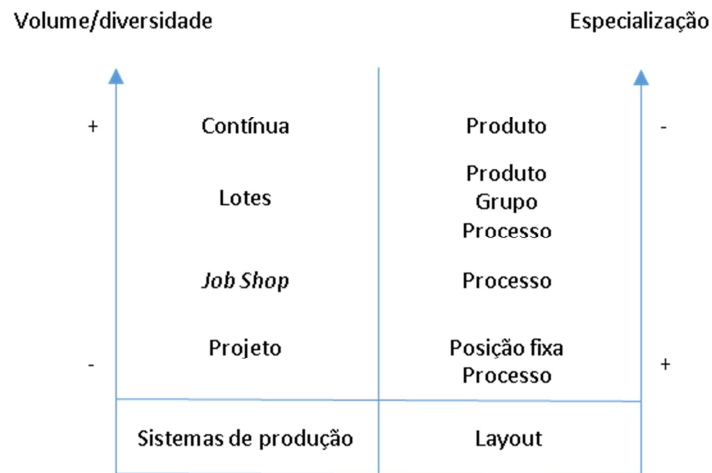


Figura 1 - Sistemas de produção vs Layout (fonte: Adaptado de Stevenson, 2015)

O tipo de *layout* por posição fixa é normalmente utilizado na produção por projeto. O produto é fabricado ou montado em local fixo, enquanto os trabalhadores, equipamentos e materiais deslocam-se para perto do produto, à medida que vão sendo necessários.

Layouts organizados por processo são frequentemente usados em produções por *job-shop* e lotes. Os recursos de produção são estáticos e agrupados em departamentos de acordo com a sua funcionalidade. Os componentes percorrem então, segundo a respetiva sequência de operações, os diferentes departamentos para serem processados.

Nos *layouts* por células/tecnologia de grupo os recursos são agrupados por família de produtos. Os equipamentos são agrupados de acordo com as famílias de produtos formando sequências operacionais. Cada grupo forma uma célula e cada célula tem o seu próprio sistema de manuseamento de materiais, tais como um robô ou um sistema de transporte. A produção por lote é geralmente associada a este tipo de *layout*.

Os *layouts* por produto estão intrinsecamente relacionados com a produção repetitiva. Os recursos de produção são frequentemente complexos e automatizados e também espacialmente dispostos de acordo com a sequência operacional do produto, tipicamente em linha.

Em suma, existe um paralelismo entre o sistema de produção e o *layout* das instalações, como pode ser visto na Figura 1. No entanto, há que referir que esta relação não é totalmente rígida.

2.3. O problema do desenho das instalações (*layout*)

Os autores Chhajed et al. (1992) e Herrmann et al. (1995) classificam o problema global da conceção das instalações em três tarefas inter-relacionadas: (i) o problema do *layout* - colocação dos recursos de produção (máquinas, departamentos ou células) dentro da área útil disponível, (ii) a localização das entradas/saídas e (iii) a determinação do sistema de rede para suportar o fluxo de material entre instalações. O problema de *layout* consiste em encontrar a solução mais eficiente para as instalações consoante a área disponível. Conforme apresentado por Drira, et al. (2007), os problemas de *layout* abordados em publicações científicas diferem, dependendo de fatores tais como: as características da organização fabril (por exemplo, o tipo do sistema de produção, o formato das instalações, o sistema de manuseamento de materiais, bem como a evolução do *layout*), os modelos (por exemplo, a formulação do problema e respetivos objetivos e restrições), e as abordagens utilizadas para resolvê-los. O resultado do problema do *layout* é um esquema, que especifica a localização relativa de cada um dos departamentos/secções.

2.4. Métodos para a resolução do problema do *layout*

O objetivo principal do problema de desenho do *layout* é, tipicamente, minimizar os custos associados às interações projetadas entre os departamentos. As interações devem refletir o custo dos fluxos de movimentação dos materiais ou a preferência em relação às adjacências entre os departamentos, onde o custo pode ser calculado através da multiplicação da distância pelo fluxo de movimentação dos materiais ou pela pontuação adjacente entre os diferentes pares de departamentos. O problema é sujeito a dois conjuntos de restrições: requisitos do departamento e área do piso e restrições da localização do departamento, isto é, os departamentos não se podem sobrepor, devem ser colocados dentro das instalações, e alguns podem ser de localização fixa ou não podem ser colocados em determinadas posições. (Meller & Gau, 1996, Castillo et al., 2005). Um *layout* pode ser representado quer de modo discreto quer de modo contínuo. Com uma representação discreta, uma grelha subjacente é definida e todos os departamentos são compostos por um número inteiro de quadrículas da grelha. Numa representação contínua, as dimensões dos departamentos não são restritas a um padrão de grelha. Dependendo do modo como o problema é abordado, discreta ou contínua, as formulações encontradas na literatura conduzem, normalmente, a *Quadratic Assignment*

Problems (QAP) ou *Mixed Integer Programming* (MIP), respetivamente (Bozer & Meller, 1997).

O problema de otimização associado para a representação discreta, Figura 2 (a), é muitas vezes tratado como QAP (Drira et al., 2007, Rosenblatt & Golany, 1992). A planta é dividida em blocos com a mesma área e forma, e a cada bloco é atribuído um departamento. Por outro lado, para a representação contínua, Figura 2 (b), o problema é muitas vezes tratado como *Mixed Integer Programming Models* (Meller et al., 1999).

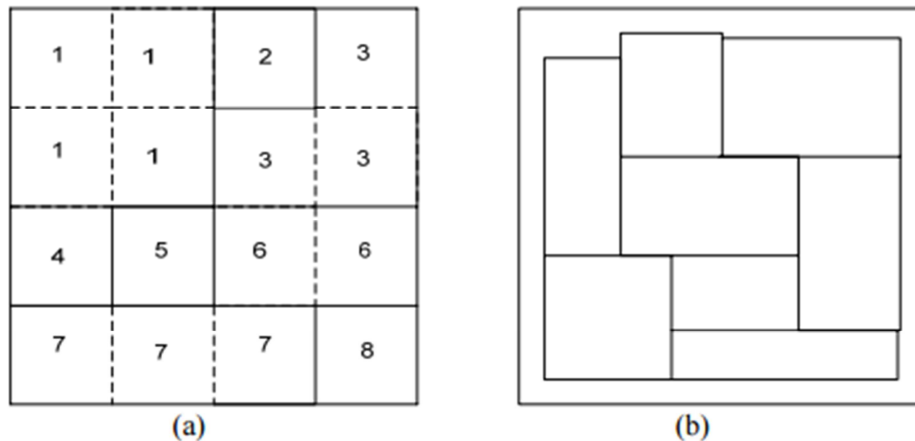


Figura 2 - (a) Representação discreta e (b) Representação contínua (fonte: Bozer et al, 1997)

Heragu (1997) e Yang e Kuo (2003) argumentam que o problema do *layout* pode ser subdividido em problemas de projeto e de otimização. O problema do projeto do *layout* não é facilmente estruturado no sentido em que tanto os critérios quantitativos como os qualitativos devem ser considerados. Tem sido publicada muita investigação sobre a questão quantitativa, a qual é resolvida primeiramente por métodos analíticos. No entanto, uma abordagem analítica geralmente produz uma boa solução para o modelo descrito, mas não necessariamente para o problema real (Singh & Singh, 2011). No problema do *layout* das instalações, existem uma série de objetivos de desenho não quantificáveis, tais como, segurança, controlo do ruído, flexibilidade na adaptação do *layout*, movimentação eficiente dos materiais e das pessoas, facilidade de expansão, utilização do espaço, que devem ser considerados quando se pretender fazer a transição de um modelo para uma solução prática (Cambron & Evans, 1991). A maioria da literatura para o problema do projeto do *layout* recai em duas categorias principais: abordagens algorítmicas e processuais (Yang & Kuo, 2003). As abordagens algorítmicas geralmente simplificam as restrições de desenho assim como os objetivos do projeto a fim de chegar a uma função objetivo substituta, cuja solução pode então ser obtida. No entanto, os resultados quantitativos obtidos não captam, muitas vezes, todos

os objetivos do desenho (Yang & Kuo, 2003). As abordagens processuais, por outro lado, poderão integrar objetivos quantitativos e qualitativos no processo de desenho (Muther, 1973). Para estas abordagens, o processo de desenho é dividido em vários passos que são resolvidos sequencialmente. No entanto, as abordagens processuais, normalmente, dependem fortemente da experiência dos especialistas (Yang & Kuo, 2003).

2.4.1. Algoritmos de melhoramento do *layout*

Vários tipos de abordagens de otimização têm sido propostas na literatura: métodos exatos como derivação e limitação, e abordagens aproximadas tais como, heurísticas e meta-heurísticas. Estes últimos têm como objetivo encontrar boas soluções, que satisfaçam certas restrições fornecidas pelo decisor, assim como procurar melhores soluções globais ou locais dado um ou vários objetivos de desempenho (Drira et al., 2007). A obtenção de soluções ótimas para o problema do *layout* não é linear porque as aproximações às soluções ideais levam tanto a problemas QAP de grande escala como a problemas de MIP. Assim, a maior parte da investigação tem sido dirigida ao desenvolvimento de procedimentos heurísticos (Bozer et al., 1994). Os algoritmos heurísticos podem ser classificados em algoritmos de construção, onde uma solução é construída de raiz, e por algoritmos de melhoramento, onde uma solução inicial é melhorada. As técnicas de construção produzem uma atribuição com base no volume de viagens entre todos os pares de departamentos por unidade de tempo e nas distâncias entre todos os pares de departamentos por unidade de tempo. Por outro lado, o CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Technique*) e o MULTIPLE (*MULTI-floor Plant Layout Evaluation*) são conhecidos algoritmos de melhoramento que utilizam troca de pares de seções (Bozer et al., 1994, Singh & Sharma, 2006). As atenções centraram-se recentemente na aplicação de meta-heurísticas (e.g. *Simulated Annealing*, Algoritmos Genéticos) para o problema do *layout*. A grande vantagem destas abordagens é evitar parar a pesquisa num ótimo local obtendo, assim, soluções melhores (Chwif et al., 1998).

2.4.2. *Systematic Layout Planning* (SLP)

Uma bem conhecida abordagem processual para a solução do problema do *layout* é o *Systematic Layout Planning* (SLP), que foi desenvolvido no início dos anos 70 por Muther (Muther, 1973), tornando-se uma a abordagem de desenho do *layout* muito

popular. A principal razão pela qual a técnica SLP se manteve popular por mais de 30 anos é a sua abordagem simples, passo-a-passo para o desenho das instalações (Tompkins et al., 2010). É composto por quatro fases: (i) a determinação da localização da área onde os recursos serão colocados, (ii) a definição geral do *layout* global, (iii) a construção de planos de *layout* detalhados e (iv) a implementação do *layout* selecionado. Destas fases, a segunda e a terceira são muito críticas pois definir o *layout* envolve determinar o fluxo de materiais entre departamentos; examinar requisitos especiais de adjacência; determinar o espaço necessário para cada departamento, equilibrando-o com o espaço disponível, incorporando restrições práticas, por exemplo, orçamento e segurança; e gerar planos de *layout* alternativos (Heragu, 1997). Na Figura 3 está apresentada a abordagem processual do SLP.

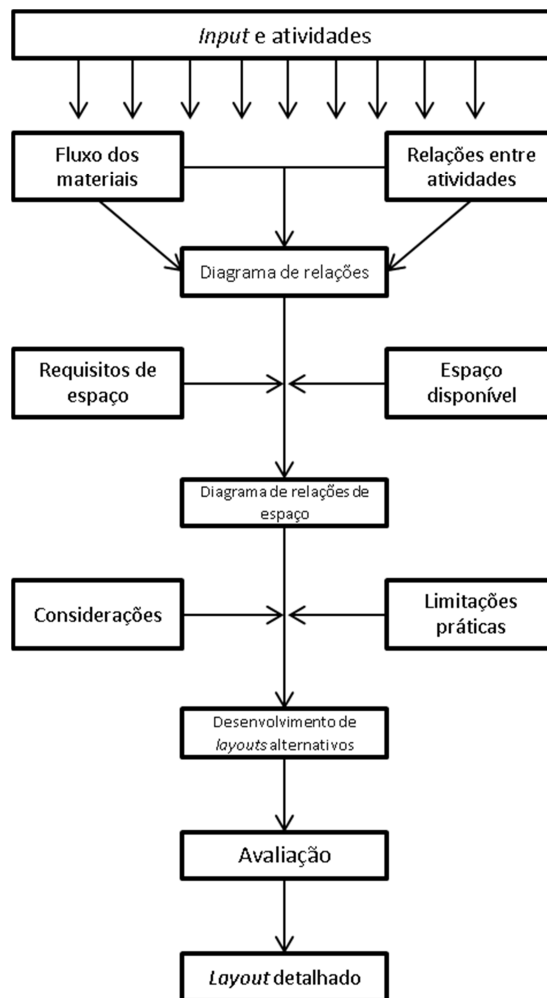


Figura 3 - Procedimento SLP (fonte: Adaptado de Gómez et al. 2003)

2.5. *Layout* dos equipamentos e localização dos pontos de *input/output*

2.5.1. *Layout* dos equipamentos dentro de cada departamento

Em princípio, o *layout* das máquinas em cada departamento pode ser determinado da mesma forma que o *layout* dos departamentos é determinado. No entanto, na maioria dos casos, o número de máquinas em cada departamento é pequeno pelo que é muito mais fácil considerar todos os *layouts* possíveis de máquinas (método de contagem) e escolher a melhor opção com base nos critérios a serem considerados (Chhajer et al., 1992, Heragu, 1997).

2.5.2. Localização das estações de *input/output*

Dependendo da situação particular, uma estação de *input/output* pode ser uma porta para um departamento, uma localização onde as unidades de carga entram e saem de um departamento ou uma estação de transferência automatizada com sistemas autónomos de veículos robóticos. Em qualquer dos casos, as localizações das estações de *input/output* têm um forte impacto sobre o custo do fluxo entre os departamentos e a configuração interna dos departamentos. Ao projetar as estações de *input/output* é importante decidir quantas estações irão ser utilizadas para cada departamento. Uma vez identificados os números de estações, a próxima tarefa é especificar todos os fluxos que se intersectam na estação identificada. Isto é semelhante ao que é comumente feito na especificação dos fluxos entre departamentos para o problema do *layout* das instalações (Montreuil & Ratliff, 1987). O objetivo é obter o conjunto de localizações que minimiza o fluxo total de material na rede do fluxo de materiais.

2.5.3. Desenho do fluxo do material

Uma das considerações importantes na conceção de uma unidade produtiva é a determinação do padrão de fluxo geral para os materiais, peças, e o inventário em vias de fabrico (Drira et al., 2007). O fluxo padrão refere-se ao padrão geral em que o produto flui, desde o começo ao final - ou seja, desde que está a ser transformado a partir de matéria-prima, passando pelo produto semi-acabado até se obter o produto acabado. O fluxo de materiais entre os departamentos é um critério usado frequentemente para avaliar o fluxo geral dentro de uma instalação. Um padrão de fluxo resulta tipicamente de uma combinação dos quatro padrões de fluxo mostrados na Figura 4. Uma consideração importante na combinação dos padrões de fluxo mostrado na Figura 4 é a localização da entrada e saída. Como resultado da disposição do *layout*,

o local da entrada (departamento de receção) e da saída (o departamento de expedição) são frequentemente fixados a uma dada localização e o fluxo no interior da instalação fica condicionado a estas restrições (Tompkins et al., 2010).

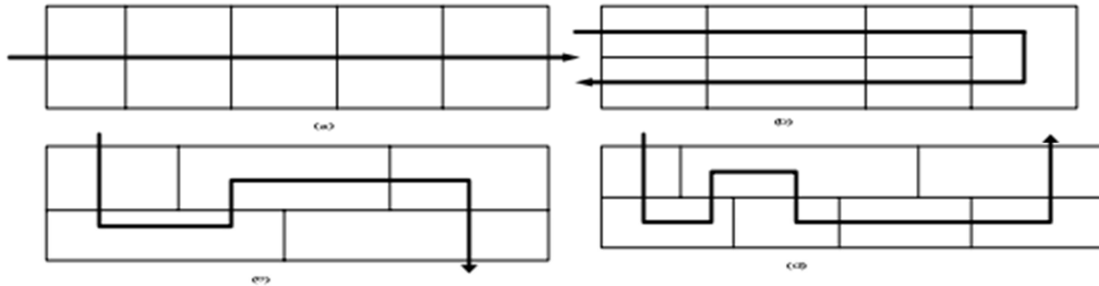


Figura 4 - Padrão de fluxos - (a) fluxo linha contínua (b) fluxo em U - (c) fluxo em S - (d) fluxo em W (fonte: Tompkins et al, 2010)

O principal objetivo do desenho da rede de fluxo dos materiais é minimizar a soma do custo fixo de construção da rede (custo fixo de construção caminho/corredor) e o custo variável dos fluxos. Antes de tomar decisões acerca do desenho da rede, há certos elementos que precisam ser abordados (Chhajed et al., 1992) como, por exemplo, as hipóteses de fluxo: algumas situações exigem manipulação interdepartamental do material que ocorre ao longo dos limites departamentais (contornos) mas, por outro lado, a estrutura do corredor pode não ser necessária para seguir os contornos departamentais (fluxo livre).

Chhajed and Montreuil (1992) desenvolveram um modelo de desenho da rede de fluxo dos materiais chamado o *Shortest rectilinear flow network problem (shortest r-flow network)*, assumindo fluxo livre, unidirecional e a norma das viagens retilíneas.

O objetivo é minimizar o custo de uma rede (custo fixo), que irá permitir o fluxo entre todos os pares de estações que têm fluxos entre elas, observadas as premissas acima descritas.

2.6. Critérios de avaliação do *layout*

2.6.1. Custos de movimentação e transporte

A eficiência de um *layout* é normalmente medida em termos de custos de transporte e manuseamento de materiais (Meller & Gau, 1996, Heragu, 1997) conforme expresso na Equação 1. Estes custos são determinados com os seguintes parâmetros: c_{ij} (custo de

mover uma carga completa de material entre os departamentos i e j), f_{ij} (fluxo de materiais do departamento i para j), e d_{ij} (distância do departamento i ao departamento j), de acordo com a Equação 1.

$$c_3 = \sum_i \sum_j c_{ij} (f_{ij} d_{ij}) \quad (1)$$

Este objetivo baseia-se no princípio de que os custos de manuseamento aumentam com a distância que a carga deve viajar. O fluxo f_{ij} representa as quantidades movimentadas. Sendo que, o manuseamento de materiais, transporte e o *layout* das instalações em operações de produção constituem 20 a 50% dos custos operacionais totais (Kusiak, 1990, Balakrishnan et al., 2003) o objetivo é, portanto, minimizar a distância de transporte, determinando os locais ideais para os diferentes departamentos. Uma melhoria adequada de um *layout* pode implicar uma redução de custos de cerca de 10% a 30% (Tompkins et al., 2010). Este objetivo é muitas vezes traduzido na redução dos custos de funcionamento do sistema, mais especificamente na redução do custo de movimentação de materiais. De notar que as soluções encontradas são, tipicamente, construídas com base em modelos que não conseguem incorporar toda a complexidade do problema em análise sendo que a sua aplicação à situação real implica, muitas vezes, adaptações e adequações da mesma.

As distâncias na Equação 1 são medidas de várias formas sendo duas das abordagens mais utilizadas as seguintes: (i) distância entre os pontos de *input/output* (I/O) - esta distância é medida entre os pontos I/O de dois departamentos e em alguns casos é medida ao longo dos corredores que ligam os departamentos; (ii) *centroid-to-centroid* (CTC) - quando os pontos de I/O dos departamentos não são conhecidos, o centróide departamental é usado para representar o ponto de I/O do departamento, calculando-se a distância através da fórmula apresentada na Equação 2. Para cada uma das medidas de distância acima mencionadas, a distância retilinear é a métrica de distância mais comum (Meller & Gau, 1996).

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

Uma vez que é difícil determinar os valores exatos de c_{ij} na Equação 1 para cada par de departamentos, são assumidos custos aproximados por oposição aos custos

exatos. Assim, se o mesmo equipamento de movimentação é utilizado para o transporte do material, então os c_{ij} são todos iguais (Heragu, 1997). Além disso, uma vez que c_{ij} é função de parâmetros diferentes (que inclui os custos repartidos fixos e variáveis dos equipamentos de movimentação, custo operacional, custo do trabalho associado, movimentos com e sem carga), determinar o valor exato não é simples. Assim, para desenvolver *layouts* alternativos, pode-se assumir que cada c_{ij} é igual a 1 e considerar a função de distância de fluxo (Equação 3) como função de custo substituto. De notar que, uma vez que a Equação 1 é uma função linear, o seu valor irá mudar de forma linear com a mudança no valor de c_{ij} .

$$C_4 = \sum_i \sum_j f_{ij} d_{ij} \quad (3)$$

2.6.2. Outros critérios

O transporte dos materiais e os custos de movimentação acima descritos representam o custo operacional de uma alternativa de *layout*. No entanto, existem outros critérios adicionais para a avaliação final de alternativas de *layout*. Lin & Sharp (1999) apresentam um conjunto de critérios estruturados, definidos para o problema de avaliação do *layout* de uma unidade fabril. Alguns dos critérios mais relevantes são:

- Investimento inicial: Algumas das alternativas de *layout* podem utilizar as instalações existentes, outras podem exigir a construção de novas instalações. Quando a construção de uma nova instalação é uma opção, o custo de investimento e o retorno que resulta desse investimento também deve ser considerado.
- Utilização do espaço: o espaço é utilizado para a colocação de máquinas de produção e equipamentos de manuseamento de materiais, para o armazenamento, para as necessidades do pessoal, para corredores dedicados à movimentação do pessoal e circulação de materiais e, eventualmente, deixando espaço livre para expansão futura. Unidades industriais modernas estão constantemente a passar por mudanças, e algum espaço pode ser reservado para expansão ou futuras alterações de *layout*. Um projeto de *layout* com uma boa utilização do espaço teria duas características:
 - Taxa de utilização do espaço razoável em termos de área e de espaço cúbico.

O espaço livre é concentrado numa área específica ou pode ser integrado para uso numa nova atividade.

- Construção de expansão, em que se pretende estimar a facilidade de expansão do espaço do edifício ou a facilidade de adição de instalações nas proximidades. Muitas vezes um *layout* precisa de modificações uma ou mais vezes durante a sua vida útil, logo, um bom projeto de *layout* deveria então considerar:
 - A área disponível para a expansão das instalações.
 - A perturbação resultante de uma expansão.
- Sistema de corredores: mede a eficácia da disposição dos corredores que suportam o fluxo de movimentos de material/pessoal entre os departamentos funcionais. As considerações a ter em conta no critério dos corredores são:
 - A área total servida por todo o sistema de corredores.
 - Facilidade de acesso: mede a disponibilidade da rede de conexões entre cada par de departamentos; a eficácia da rede do ponto de vista da segurança e congestionamento de tráfego.
- Outros critérios incluem questões relacionadas com o meio ambiente, a segurança e as considerações jurídicas. Estes critérios incluem a conexão com os métodos de manuseamento de material e equipamentos, impacto do *layout* no congestionamento do tráfego, ergonomia e considerações estéticas, considerações de segurança humana, conforto dos trabalhadores, entre outros.

Concluída a revisão a literatura, onde foram abordados os principais temas relativos a este trabalho, segue-se o capítulo 3 onde será explicada a metodologia que irá ser utilizada.

3. Metodologia

Uma correta implantação dos vários departamentos, centros de trabalho e equipamentos contribui para a redução dos movimentos de materiais e dos trabalhadores ao longo do processo produtivo. Assim, é essencial implantar adequadamente esses recursos por forma a reduzir os custos operacionais considerando, também, que estas são decisões tipicamente associadas a investimentos elevados e com impacto no desempenho do sistema a médio/longo prazo.

Após a definição das configurações básicas de implantação é aprofundado o procedimento de preparação da mesma, estabelecido em várias etapas, sendo a análise qualitativa complementada com métodos quantitativos na determinação da implantação.

Para responder ao problema de estudo deste trabalho, ou seja, propor um novo *layout* para a unidade de produção da empresa Anicolor, Lda. que minimize o custo de movimentação dos materiais, será aplicada a seguinte metodologia (e respetivos métodos):

1. Realizar pesquisa bibliográfica sobre o problema de *layouts*

Nesta fase, será feita uma pesquisa sobre o tema do *layout* recorrendo a artigos científicos e livros de reconhecidos autores.

2. Recolha de dados e análise da situação atual

Nesta fase serão realizadas deslocações à empresa Anicolor, Lda. para recolha de dados e análise da situação atual. Serão recolhidos os dados de entrada necessários ao modelo para o desenvolvimento do *layout*, tais como:

- Frequência das viagens ou fluxo de material ou alguma outra medida de interação entre instalações os recursos a implantar;
- Forma e tamanho dos recursos;
- Área disponível;
- Restrição de localização de instalações, se for o caso;
- Requisitos de adjacência entre pares de departamentos, se for o caso.

Com base nesta informação será identificado o nível de desempenho do *layout* atual, a movimentação de materiais e outros critérios, como por exemplo, a utilização do espaço. A recolha de dados e análise da situação atual basear-se-á em observação, medição, análise de relatórios e entrevistas semi-estruturadas com o engenheiro responsável pela produção, o qual me acompanhou e me ajudou no processo de recolha de informação, fazendo comigo várias visitas às instalações, explicando qual o percurso

dos perfis e as diferentes fases de transformação, facultando também o atual *layout* da empresa, os dados relativamente aos fluxos entre as diversas secções, e outra informação útil para o projeto.

3. Construção e análise de propostas alternativas

Nesta fase será definido o método de construção de *layouts* alternativos, podendo esta ser:

- independente,
- com recurso a algoritmos já disponíveis, ou
- através do desenvolvimento/adaptação de um algoritmo próprio para o problema.

Desta forma, a metodologia considerada para este projeto consistiu em, para as alternativas 1 e 2, recorrer a ideias subjacentes a muitos dos algoritmos de construção existentes (como, por exemplo, o CRAFT) tendo sido realizada a troca entre pares de secções (alternativa 1) ou entre várias secções (alternativa 2). Para a terceira alternativa gerada recorreu-se ao procedimento SLP por forma a obter uma alternativa menos condicionada ao *layout* atual da empresa.

De seguida, proceder-se-á à análise e avaliação da situação atual da empresa, fazendo-se uma descrição do seu processo produtivo e análise do *layout* atual.

4. Análise da situação atual

Neste capítulo é feita uma análise à situação atual da empresa, nomeadamente no que respeita ao seu *layout* atual (Anexo 1) tendo-se identificado as diferentes secções e o fluxo dos materiais.

As necessidades de melhoramento surgem com as práticas correntes relacionadas com o processo produtivo atual. A Anicolor, fundada em 1982, dedicava-se inicialmente à anodização e mecanização de alumínio, mas ao longo dos anos a empresa foi-se adaptando às necessidades dos mercados e com isso veio a necessidade de expansão das instalações. Passados cinco anos, em 1987, introduziu no seu processo produtivo a lacagem decorativa. Uns anos mais tarde, em 1997, foi a vez da lacagem vertical passar a fazer parte do seu processo e, em 2011, investiu numa linha de extrusão de alumínio, como forma de extrudir os seus próprios perfis sem depender de terceiros. Hoje, as instalações da empresa são muito maiores, tendo uma área útil de cerca de 22000m² e englobam extrusão, lacagem, anodização, mecanização e rotura térmica de perfis de alumínio. Cada um destes processos será explicado com mais pormenor nos próximos pontos.

4.1. A empresa – Anicolor

A Anicolor - Sistemas de Alumínio tem por missão desenvolver, produzir e comercializar sistemas de alumínio para arquitetura e também perfis de alumínio para os mais diversos fins industriais (Anicolor, 2016).

Fundada em 1982, e sediada no distrito de Aveiro, a Anicolor é atualmente uma empresa de vanguarda na área de conceção de sistemas de alumínio, que tem como objetivo principal a personalização da obra em função da necessidade específica do seu cliente e a sua plena satisfação, tendo como mercado alvo as empresas de caixilharia de alumínio (Anicolor, 2016). A Anicolor dispõe de dez filiais estrategicamente distribuídas por diversos distritos do país (Algarve, Aveiro, Castelo Branco, Coimbra, Guarda, Leiria, Lisboa, Porto, S. J. Madeira, Viseu e Chaves) e também de uma sucursal na vizinha Espanha, exercendo deste modo um forte posicionamento no mercado, complementado por uma forte logística de distribuição e por uma equipa comercial sempre disponível, aumentando assim a prontidão nas várias solicitações diárias. Em conjunto com os seus parceiros estratégicos de negócio, arquitetos, *designers*, construtores civis, serralharias de alumínio ou outros intervenientes, a Anicolor tem

vindo a impor no mercado nacional os seus sistemas, os quais têm vindo a ser distinguidos pelos organismos competentes, com as mais elevadas classificações de desempenho ao nível da certificação de produto. O seu esforço em inovar e melhorar diariamente tem sido ferramenta imprescindível para alcançar os objetivos pretendidos.

Tendo como filosofia a gestão integral do processo de fabrico a partir do pedido e da necessidade de cada cliente, a Anicolor assegura a extrusão dos perfis, o seu corte à medida e os melhores tratamentos de superfície (anodizado, lacado ou lacado madeira) de modo a garantir um elevado coeficiente de satisfação.

Equipada com tecnologia de ponta, a Anicolor dispõe de uma elevada e flexível capacidade de extrusão. Possui também uma das mais modernas linhas de lacagem vertical da Europa, duas linhas de lacagem horizontal, uma renovada linha de anodização, uma linha de inserção e aperto de poliamida totalmente automatizada para a produção dos sistemas de rotura térmica e também aquela que foi a primeira lacagem “efeito madeira” do país.

Bem conhecedora das responsabilidades que os anos de existência lhe conferem, a Anicolor tem hoje certificados todos os seus tratamentos de produto. Os certificados de qualidade da anodização, Qualanod, e da lacagem, Qualicoat, incluindo a classe Seaside, garantem aos seus clientes produtos cuja qualidade do tratamento superficial está certificada (Site da Anicolor).

Para além dos sistemas de alumínio que já fazem parte do portfólio de produtos da Anicolor, a empresa dispõe de um gabinete de investigação e desenvolvimento I&D o qual tem como objetivo a criação, conceção e desenvolvimento de toda a engenharia de produto subjacente a este sector.

A sua capacidade de inovação constante permite a criação de soluções de vanguarda ajustadas à realidade e dimensão de cada projeto de obra.

A Anicolor no seu conjunto, incluindo a fábrica, comerciais e pessoal afeto a cada uma das filiais, tem 180 colaboradores.

Quanto à faturação, e de acordo com dados publicados na última edição da revista “1500 Maiores Empresas de Aveiro - 2014”, a Anicolor ocupava nesse ano o lugar 127, num universo de 700 empresas. O volume de negócios de 2013 foi de 18,76 milhões de euros, contrastando com os 17,87 milhões de 2012, significando isto um crescimento neste indicador de 4,98%. O resultado líquido de 2013 foi de 1,63 milhões de euros, ao passo que em 2012 esse valor foi de 704.991€. Houveentão um crescimento nos lucros de 131,21% naquele período.

O objeto de estudo do presente trabalho é o *layout* atual da empresa pretendendo-se, portanto, analisar a eficiência do mesmo considerando a distância percorrida e o fluxo de materiais.

Face à análise da situação atual será, então, possível propor alterações que visem melhorar o desempenho da organização. As propostas de alteração deverão ter por objetivo reduzir o custo total de movimentação de materiais e serão definidas tendo por base uma lógica semelhante à dos algoritmos de melhoramento, assim como outras considerações mais extremas que permitam a definição de alternativas diferentes. Será seguida uma lógica semelhante à do SLP por forma a analisar o *layout* atual, definir as alternativas, avaliar essas alternativas e identificar a proposta mais adequada.

As propostas desenvolvidas terão, naturalmente, que ser avaliadas e comparadas por forma a que se possa perceber qual a mais adequada.

4.2. Descrição do processo produtivo

4.2.1. Sistemas de transporte

Relativamente aos sistemas de transporte utilizados nas secções fabris, tudo tem início com a descarga dos *biletas* de alumínio, matéria-prima a partir da qual se procede à extrusão dos perfis. A descarga deste material é feita mediante a utilização de um empilhador, também necessário para o seu carregamento na extrusora.

Após a extrusão, existem duas alternativas de percurso para o material:

1. Este segue em bruto para o cliente e, nesse caso, é embalado em caixas e carregado no respetivo meio de transporte que levará os perfis ao seu destino, através de uma ponte grua ou empilhador.
2. Este segue para a Unidade de Tratamento de Superfície (UTS) da Anicolor para que seja sujeito às várias operações que aí ocorrem.

Na segunda situação, o material é colocado numas peças de aço em forma de U (designados por *racks*) (Figura 5) e transportado para o armazém de material em bruto da UTS numa carrinha. Após dar entrada na UTS é descarregado e armazenado no respetivo lugar através de pontes grua (Figura 6).

Quando o material segue para as linhas de tratamento, o seu transporte é feito com a ajuda de carros manuais (Figura 7) próprios para o efeito ou recorrendo a uma ponte grua (Figura 6).

Após o seu tratamento, e no caso de haver necessidade de enviar os perfis para as linhas de rotura térmica, estes serão transportados também em carros manuais (Figura 7) e daí para a embalagem.

Por fim, depois de embalados, os perfis vão para a expedição em *racks* (Figura 5) destinados a cada filial da Anicolor. Na Figura 8 está representado esquematicamente o *layout* e os fluxos associados ao processo descrito.



Figura 5 - Rack

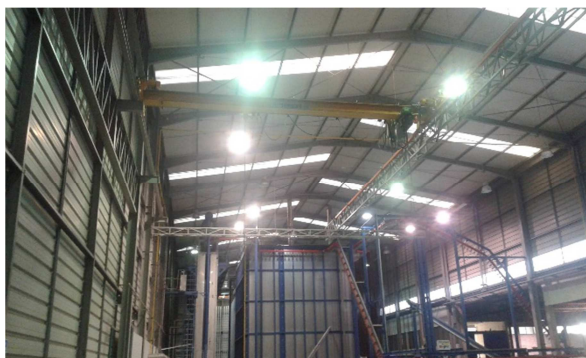


Figura 6 - Ponte grua

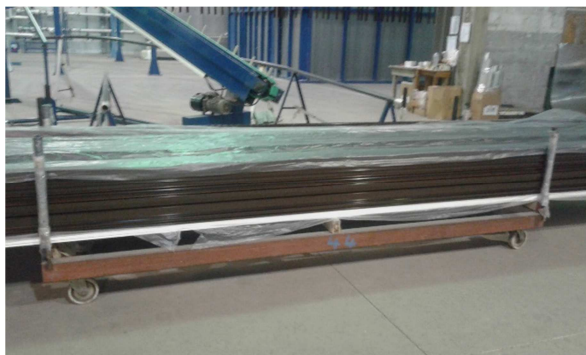


Figura 7 - Carro manual

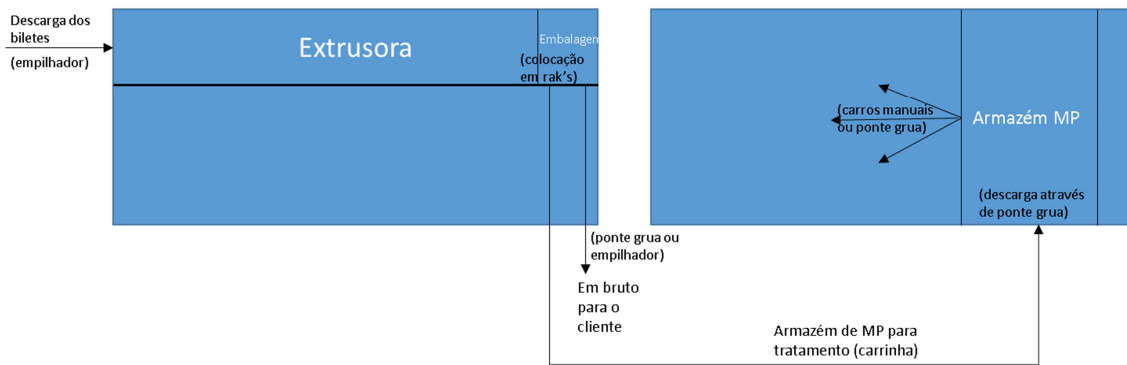


Figura 8 – Representação esquemática dos sistemas de transporte

4.2.2. Processos de transformação

4.2.2.1. Extrusão

A extrusão é um processo de transformação a quente de cilindros de liga de alumínio (*biletas*) em perfis, através da sua compressão contra uma ferramenta, designada matriz, que lhe vai conferir a forma desejada.

As ligas de alumínio geralmente usadas na extrusão de perfis para arquitetura são as da classe 6000 que, tendo uma elevada aptidão ao trabalho a quente, são tratáveis termicamente e oferecem boa resistência à corrosão, revelando um bom compromisso entre resistência mecânica e ductilidade (Anicolor, 2016).

O ciclo de produção da extrusão começa com o aquecimento do *bilete* a 460°C, para, posteriormente ser cortado em função da quantidade de perfil a extrudir.

A prensa de extrusão (Figura 9) recebe de um lado o *bilete*, e do lado oposto a matriz, também ela previamente aquecida de modo a evitar choques térmicos. O *bilete* é comprimido contra a matriz através de um pistão, saindo da prensa o perfil, cuja forma está inscrita na matriz.

Ventiladores colocados à saída da prensa e ao longo de uma pista com perto de 100 metros arrefecem o perfil, sendo a ponta deste presa por um alicate (*puller*), que o puxa até final da pista.

De seguida, o perfil passa para o banco de estiramento (Figura 10) onde é fixo nas extremidades por duas garras e estirado para alinhamento de eventuais torções e para fazer o seu desempenho, seguindo depois para o corte à medida solicitada pelo cliente.

Por último, segue-se a maturação (Figura 11) onde, num forno de envelhecimento artificial, os perfis permanecem 6 horas a 185°C para reforço das suas propriedades mecânicas.

Finalmente o perfil poderá ser embalado (Figura 12) e expedido ou reencaminhado para a Unidade de Tratamento de Superfície da Anicolor onde receberá os tratamentos de anodização ou lacagem. Na Figura 13 encontram-se resumidos todos estes passos.



Figura 9 - Prensa



Figura 10 – Banco de estiramento



Figura 11 - Maturação



Figura 12 - Embalamento

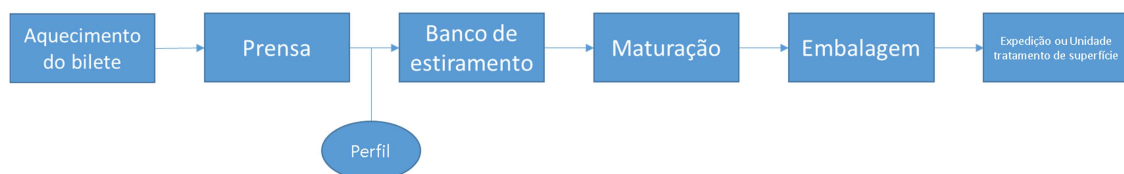


Figura 13 - Principais fases do processo de extrusão

4.2.2.2. Anodização

A anodização (Figura 14), ou oxidação anódica, é um processo eletrolítico que confere ao alumínio, através da sua imersão em vários banhos, uma camada superficial protetora e decorativa, a camada anódica.

Tal processo promove a corrosão controlada do metal, de modo a provocar o crescimento artificial e acelerado da película de óxido, com o objetivo de obter uma superfície resistente à corrosão e com possibilidade de coloração (Anicolor, 2016).

A espessura da camada anódica será tanto maior, quanto mais corrosiva for a atmosfera a que o alumínio vai estar sujeito, no entanto, espessuras superiores a 25 micrómetros não trazem melhorias significativas de resistência à corrosão.

A Anicolor fornece a todos os seus clientes perfis com a classe de espessura mínima de 15 micrómetros, garantindo desta forma a qualidade do produto.

O certificado europeu de qualidade Qualanod, do qual a Anicolor é detentora, atesta a qualidade dos produtos anodizados.

A anodização permite um equilíbrio perfeito entre diversidade de acabamento em cor e textura, proteção corrosiva, longevidade dos materiais e baixo custo de manutenção.

Através de processos químicos e mecânicos é possível obter os mais diversos tipos de acabamentos e colorações:

- **Acetinado:** Aspeto mate obtido através de uma operação química.
- **Polido:** Aspeto brilhante e espelhado obtido através de um escovamento macio aplicado ao material.
- **Lixado:** Obtido através da passagem de uma lixa sobre os perfis, obtendo-se uma superfície com especto riscado.
- **Repolido:** Tratamento posterior à anodização que confere ao material um aspeto envernizado, podendo ser efetuado em qualquer um dos pré-tratamentos anteriores.



Figura 14 - Anodização (Anicolor, 2016)

4.2.2.3. *Lacagem*

O processo de lacagem (Figura 15) é um processo de natureza electrostática que consiste em revestir a superfície dos perfis de alumínio com resinas de poliéster em pó, cujas resistências química e mecânica são adequadas para ambientes externos (Anicolor, 2016).

Para o fazer, a Anicolor está equipada com a mais recente tecnologia, nomeadamente uma linha de lacagem vertical e duas linhas de lacagem horizontal, e conta com a colaboração de um conjunto de pessoas altamente especializadas nas técnicas de lacagem, trabalhando diariamente para dar resposta à crescente procura de perfis lacados.

A capacidade produtiva que possui permite à Anicolor lacar qualquer cor incluída na carta RAL¹, com as mais variadas opções de acabamento, sejam brilhantes, metalizadas ou texturadas, assim como a lacagem decorativa ou efeito madeira.

¹ RAL é um sistema de definição de cores desenvolvido originalmente em 1927 na Alemanha a partir de uma tabela de 40 tonalidades.

O certificado europeu de qualidade Qualicoat, do qual a Anicolor é detentora e que inclui os requisitos para a classe Seaside, dá ao cliente final a garantia de qualidade na aquisição de produtos lacados.



Figura 15 - Lacagem vertical

4.2.2.4. *Lacagem madeira*

Utilizando técnicas de sublimação em fornos apropriados, e mediante a aplicação de películas de diferentes cores e texturas, a empresa oferece ainda uma vasta gama de lacados imitação madeira, com um alto nível de qualidade, durabilidade e realismo.

A lacagem efeito madeira (Figura 16), ou lacagem decorativa, é um tipo de acabamento que confere aos perfis um efeito estético a imitar a madeira.

O seu pré-tratamento é igual ao da lacagem convencional, no entanto, a tinta usada no processo é um poliuretano transparente e poroso, produto não tóxico e resistente às condições climáticas, com elevada resistência mecânica e aos raios UV.

Depois, através de um processo de transferência de calor, dá-se uma sublimação, em que a decoração existente numa película de filme especial, penetra na pintura de base que previamente é feita aos perfis, podendo-se obter espessuras de penetração na ordem dos 70 micrómetros.

Para além de poder ser executada em todo o tipo de perfis, a lacagem decorativa é também muito utilizada para decorar chapas para apanelados.

É o tipo de acabamento indicado para a parte interior dos sistemas de rotura térmica, nos quais se pode optar por um lacado ou anodizado para o exterior e no interior por "madeira" semelhante à do mobiliário, isto é, por um acabamento mais acolhedor que os acabamentos clássicos do alumínio.

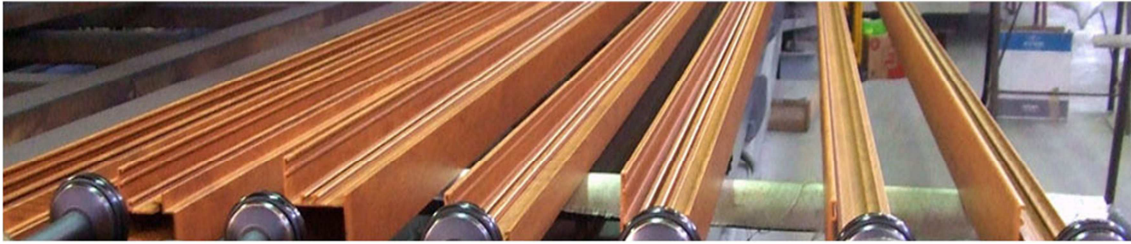


Figura 16 - Lacagem madeira (Anicolor, 2016)

4.2.2.5. Mecanização

Uma das vantagens dos perfis de alumínio face a outros materiais é a possibilidade de estes serem aplicados em diversas situações bastando para tal que o produto seja desenvolvido e desenhado tendo em vista a sua aplicação final.

Adaptando-se à necessidade constante em disponibilizar ao cliente o seu produto acabado, a Anicolor criou uma área específica dedicada à maquinação dos seus perfis em função da finalidade a que se destinam.

Consegue, deste modo, levar a cabo as mais diversas operações de precisão, tais como corte, furação, fresagem, torneamento, roscagem ou outras, em função de cada projeto.

4.2.2.6. Rotura térmica

A montagem de perfis com rotura térmica consiste na união de dois semi-perfis utilizando baguetes de poliamida, originando um só perfil com características muito especiais:

- A possibilidade de utilizar perfis com duas cores, uma exterior e outra interior;
- A criação de uma barreira que quebra a condutividade térmica do alumínio, fazendo aumentar o conforto térmico e acústico das habitações e, assim, diminuir os consumos energéticos.

A Anicolor detém tecnologia de vanguarda para a montagem deste tipo de perfis.

4.2.3. Fluxograma do processo produtivo

Na Figura 17 é apresentado o fluxograma que resume o processo produtivo da Anicolor com o objetivo de facilitar a visualização do fluxo produtivo.

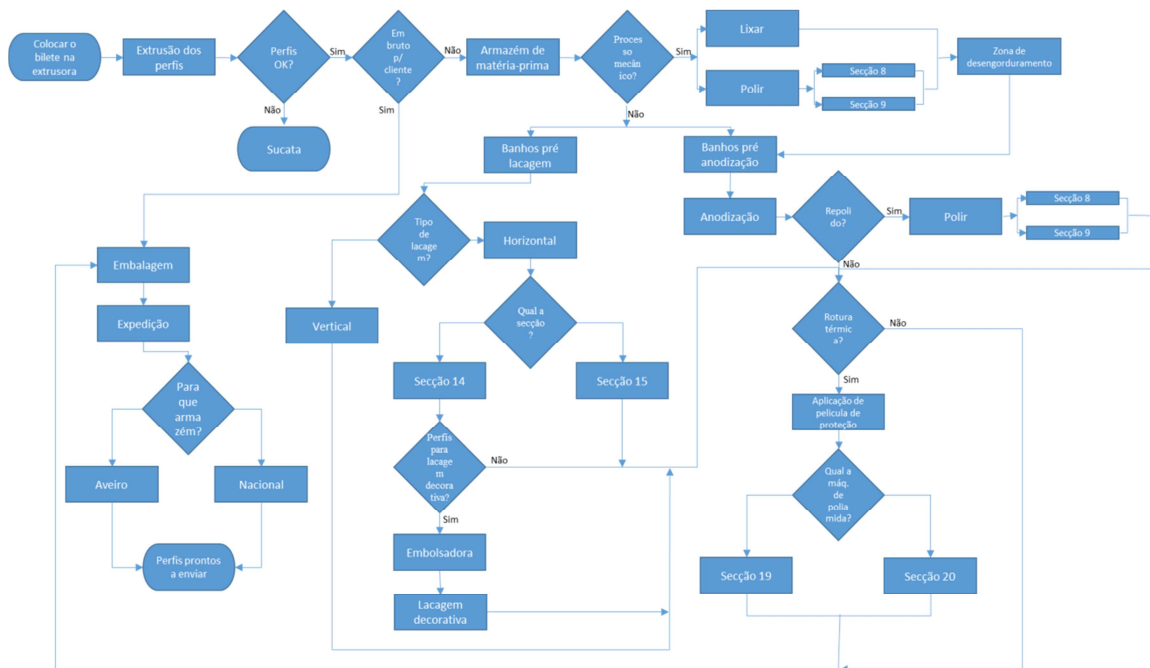


Figura 17 - Fluxograma do processo produtivo

O processo produtivo começa com a introdução de uma quantidade específica de *bilete* de alumínio na extrusora e com a seleção da matriz do perfil que se pretende extrudir. Depois da extrusão são verificados os perfis que se encontram em conformidade, sendo os não conforme, cerca de 5%, classificados como sucata. Os perfis em conformidade podem depois seguir dois caminhos, o primeiro é o embalamento para seguir em bruto para o cliente final (cerca de 5%), e o segundo é o transporte para a UTS onde são armazenados no armazém de matéria-prima (cerca de 90%). Na UTS tem início o seu processo de tratamento de superfície. À saída do armazém de matéria-prima os perfis podem seguir para vários tratamentos, tais como, a anodização (cerca de 40%), a lacagem vertical ou horizontal (cerca de 45%), e a lacagem decorativa (cerca de 15%).

Na anodização, os perfis podem seguir diretamente para os banhos para serem anodizados (cerca de 90%), ou podem ser previamente lixados (cerca de 5%), ou polidos (cerca de 5%), tendo que passar posteriormente na zona de desengorduramento antes de seguirem para os banhos para serem anodizados. Os perfis anodizados que foram polidos, podem ser repolidos caso seja requisito do cliente (cerca de 1%). No final deste processo, os perfis seguem para o embalamento (cerca de 20%), ou seguem para a secção de rotura térmica (cerca de 80%), de onde têm que regressar para serem embalados e expedidos.

Relativamente à lacagem, os perfis antes de serem lacados passam todos eles por um banho de pré-tratamento para depois seguirem para a lacagem vertical, a qual representa cerca de 70% do total dos perfis lacados ou seguem para as linhas horizontais, que representam os restantes 30%. Como são duas linhas horizontais, o trabalho é repartido em 50% para cada uma. No final deste processo, os perfis seguem para o embalamento (cerca de 20%), ou seguem para a secção de rotura térmica (cerca de 80%), de onde têm que regressar para a secção de embalamento dos perfis lacados para serem embalados e expedidos.

Quanto à lacagem decorativa, os perfis passam pelo mesmo banho de pré-tratamento e seguem para uma das linhas horizontais (secção 14) onde é aplicada uma cor base antes de irem para a secção da lacagem decorativa. No final deste processo, os perfis seguem para o embalamento (cerca de 20%), ou seguem para a secção de rotura térmica (cerca de 80%), de onde têm que regressar para a secção de embalamento dos perfis lacados para serem embalados e expedidos.

No final destes processos os perfis seguem para o armazém de Aveiro (cerca de 20%), (secção 4) ou seguem para a expedição, para os restantes armazéns da Anicolor dedicados ao material acabado.

4.3. Avaliação do *layout* atual

Neste subcapítulo será feita a análise aos dados recolhidos na empresa ou disponibilizados por esta para se perceber se o *layout* atual (Anexo 1) pode ser melhorado e, caso isso se verifique, sugerir um novo *layout* à empresa.

Depois de ser facultado o *layout* da empresa (Figura 18 e Anexo 1), o primeiro passo foi determinar e uniformizar as diferentes secções com formas geométricas de mais fácil interpretação, sendo predominante a utilização de formas geométricas regulares (retângulos e quadrados).

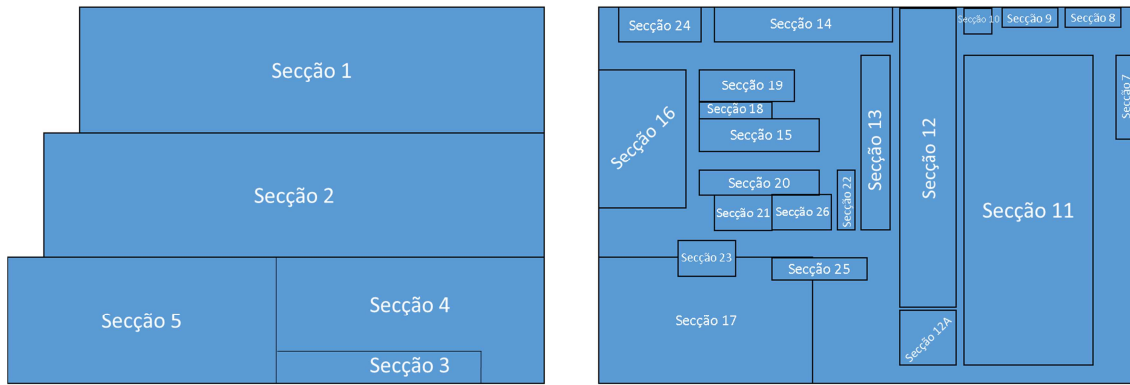


Figura 18 - Layout uniformizado

De seguida, identificaram-se por aproximação à realidade, os pontos de entrada e saída de cada secção (Figura 19 e Anexo 1).

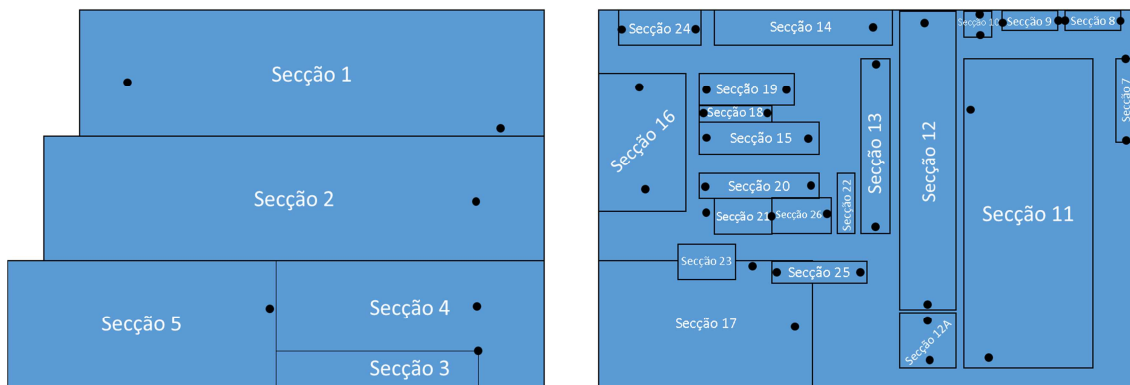


Figura 19 - Layout uniformizado com PE e PS

Identificados estes pontos, com recurso a um referencial cartesiano, determinaram-se as coordenadas x e y , representadas na Tabela 1, de cada um deles por forma a se proceder ao cálculo das distâncias retilineares entre cada um dos pontos de entrada e de saída com interações de fluxo de materiais entre si (foram calculadas apenas as distâncias com mais relevância).

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos de entrada e saída das diferentes secções

Secção	Coordenadas			
	PE		PS	
	x	y	x	y
1 Extrusora	0	54	150	44,6
2 Pavilhão do meio	142,6	34	142,6	34
3 Armazém de acessórios	147,2	7	147,2	7
4 Armazém de Aveiro	142,6	15	142,6	15
5 Armazém de prod. pouca rotatividade	62,4	15	62,4	15
6 Escritórios	*	*	*	*
7 Lixadora	334,2	54	334,2	64
8 Polidora 1	326	70	318	70
9 Polidora 2	306,4	70	295	70
10 Zona de desengorduramento	286	70	282,4	66
11 Armazém de MP	300	2	276	7
12 Anodização	268	67	266	22
12A Embalamento da Anodização	266	14	263	6
13 Banhos pré lacagem	247	30	247	62
14 Lacagem 1	254,6	68	254,6	68
15 Lacagem 2	234	51	234	51
16 Lacagem decorativa	187	57	193	57
17 Lacagem vertical	229	12	212	30
18 Máq. película de proteção	211	55	201	55
19 Máq. poliamida antiga	218	58	202	60
20 Máq. poliamida nova	211	40	201,6	42
21 Expedição	212	35	198	35
22 Expedição perdis lacados	238,5	35	232	35
23 Armazém de diversos	*	*	*	*
24 Máq. película decorativa	200	70	191	70
25 Embalamento perfis lacados	223	26	235,5	26
26 Armazém de perfis PVC	225	35	213	35

* Pouca ou nenhuma influência

Legenda: PE – Ponto de Entrada; PS – Ponto de Saída

4.3.1. Matriz de distâncias

Como referido anteriormente, depois de identificados os pontos de entrada (PE) e saída (PS) das várias secções, recorreu-se ao cálculo das distâncias retilineares entre as mesmas por se considerar ser uma perspetiva mais realista e que reflete melhor as distâncias que os perfis percorrem na empresa.

A fórmula utilizada para estes cálculos está representada na Equação 2 e os cálculos discriminados foram remetidos para anexo (Anexo 2). Na Tabela 2 pode-se verificar os resultados obtidos, sendo de notar que apenas as distâncias entre as secções com interações foram calculadas.

A Tabela 2 mostra-nos a distância entre um ponto de saída e um ponto de entrada de cada secção, mas nos perfis anodizados existem duas situações em que é importante saber, mais concretamente, uma situação ocorre quando os perfis anodizados vão para as secções de rotura térmica (secções 18, 19 e 20) e voltam à secção da anodização para embalar. Como o embalamento (secção 12A) é na parte final da anodização, é necessário saber qual a distância do ponto de saída da rotura térmica ao ponto de entrada do embalamento dos perfis anodizados. A outra situação ocorre quando os perfis depois de anodizados vão ser repolidos (secções 8 e 9) e acontece a mesma situação explicada anteriormente só que, neste caso, é necessário ver a distância entre o ponto de saída das polidoras e o ponto de entrada do embalamento.

Tabela 2 - Matriz de distâncias

Matriz com as distâncias entre as diferentes secções																														
		Ponto de entrada																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
P o n t o d e s a í d a	1													192,6																
	2																													
	3																													
	4																													
	5																													
	6																													
	7												54,2																	
	8											32			108							122								
	9											9			85							99								
	10														15,4															
	11											105,2	113	93,4																
	12											108	88,4																	
	12A																													
	13																													
	14																													
	15																													
	16																													
	17																													
	18																													
	19																													
	20																													
	21																													
	22																													
	23																													
	24																													
	25																													
26																														

4.3.2. Matriz de fluxos

Depois de calculadas as distâncias retilineares, foi necessário determinar os fluxos entre as diversas secções, dando origem à matriz de fluxos.

Foi, assim, necessário reunir com a empresa de forma a saber, aproximadamente, quais os fluxos de material entre as secções tendo estes sido representados através dos esquemas que se encontram nas Figuras 20 e 21. Os fluxos apresentados referem-se a um horizonte temporal anual, neste caso relativamente ao ano de 2015. Esquemáticamente, para cada um dos processos, temos então:

- Anodização:

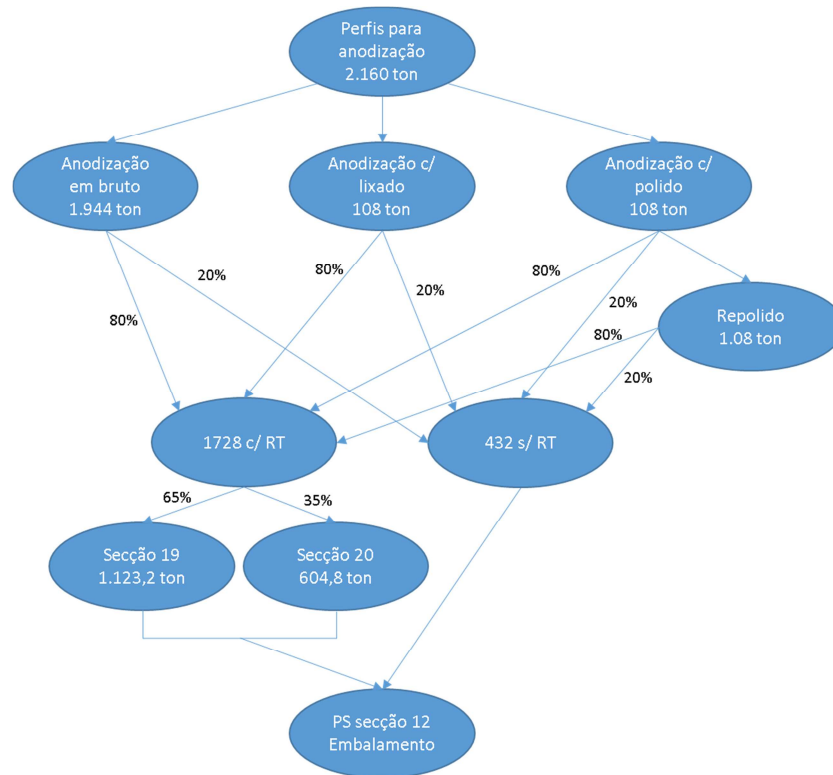


Figura 20 - Fluxos de material para a anodização (ton/ano)

- Lacagem (vertical e horizontal) e lacagem decorativa

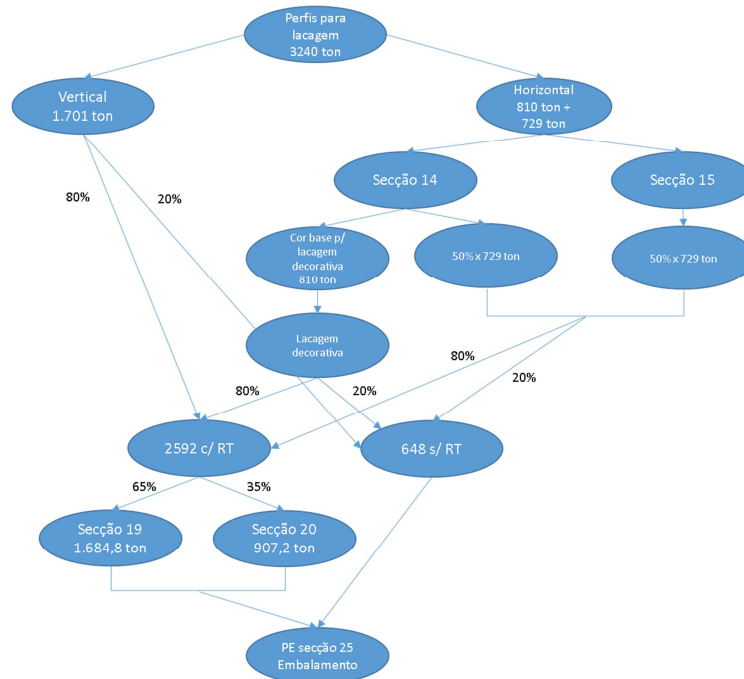


Figura 21 - Fluxos de material para a lacagem (ton/ano)

Na Figura 22 é apresentado o fluxograma do processo produtivo com as quantidades (em toneladas/ano) entre as secções.

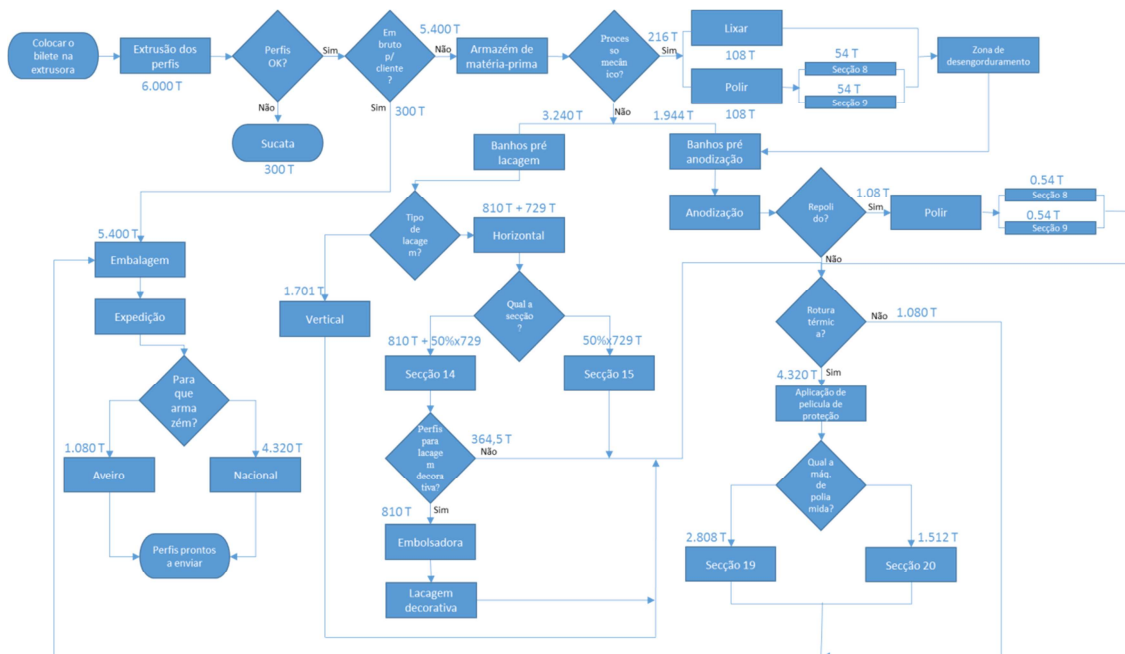


Figura 22 - Fluxograma com as quantidades (ton/ano)

Na Tabela 3 encontram-se, então, todos os fluxos entre as secções.

Tabela 3 - Matriz de fluxos

Matriz com os fluxos (em toneladas movimentadas)																													
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a r i d a	1											5400																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7											108																	
	8										54				0,11							0,43							
	9										54				0,11							0,43							
	10													216															
	11								108	54	54			1944		3240													
	12									0,54	0,54																		
	12A				432										431,78							1727,14							
	13																												
	14																1174,5	364,5			1701								
	15																					291,6						810	72,9
	16																					291,6							72,9
	17																					648							162
	18																					1360,8							340,2
	19																						2808	1512					
	20														1123,2														1684,8
	21														604,8														908,28
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

4.3.3. Matriz de custos

Depois de calculadas as distâncias entre secções e depois de se conhecerem os fluxos de material entre elas, o próximo passo é o cálculo dos custos totais do layout atual. Por se considerar complexo apurar o custo de transporte por unidade de fluxo e por unidade de distância entre os recursos i e j , para este caso em particular, considerou-se que o custo de movimentação é igual para todas as situações, neste caso igual a 1 unidade de custo (u.c.). Sendo assim, apenas se multiplicam as distâncias pelos fluxos (Equação 1).

Na Tabela 4 é possível ver os custos de cada movimento.

Tabela 4 - Matriz de custos

		Matriz de custos (distâncias x fluxos)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
p o n t o d e s a í d a	1												1040040																
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7													5853,6															
	8												1728		11,88							52,46							
	9												486		9,35							42,57							
	10													3326,4															
	11								11361,6	6102	5043,6			132192		168480													
	12								58,32	47,736					3454,24							151888,32							
	12A					55900,8																		138240					
	13																15973,2	8748			115668								
	14																				16094,56						45846	5365,44	
	15																				7873,2							2624,4	
	16																					12960						9882	
	17																					35380,8						5103	
	18																						56160	37800					
	19														123552													92664	
	20														5883,52														33969,672
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																					13770							
26																											31104		
Custo total																													
2518577,87																													

O layout atual tem assim, aproximadamente, um custo total de 2.518.578 unidades de custo.

O próximo passo será o estudo de layouts alternativos, recorrendo a ligeiras alterações na localização de algumas secções ou a alterações mais radicais, por forma a verificar a possibilidade de redução dos custos de movimentação atuais.

5. Estudo de alternativas

Nesta secção pretende-se estudar as alternativas ao layout atual da Anicolor. Optou-se por apresentar três alternativas, sendo duas delas mais conservadoras, onde apenas se mudaram algumas secções para espaços disponíveis no layout atual e outra alternativa mais radical onde não se consideraram quaisquer restrições, construindo assim um layout de raiz.

5.1. Alternativa 1

Para a primeira alternativa, verificou-se que o maior custo era o transporte dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima, custo esse com o valor de 1.040.040 u.c.. Conforme a Tabela 4, replicada abaixo, é possível verificar essa situação (valor em realce).

Matriz de custos (distâncias x fluxos)																													
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a i d a	1											1040040																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7											5853,6																	
	8											1728			11,88							52,46							
	9											486			9,35							42,57							
	10														3326,4														
	11										11361,6	6102	5043,6		132192	168480													
	12										58,32	47,736			3454,24							151988,32							
	12A						55900,8																						
	13																												
	14																												
	15																												
	16																												
	17																												
	18																												
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

Neste momento existe uma área livre de 3.741m² no mesmo pavilhão onde se encontra a extrusora, sendo esse espaço a secção 2 (Figura 19 e Anexo 1). Desta forma, tendo o armazém de matéria-prima uma área de 3.111m², considerou-se a possibilidade de mudar o armazém para esse espaço disponível, ficando assim próximo da extrusora.

Com esta mudança, as coordenadas da secção 11 passam a ser as coordenadas da secção 2, sendo possível visualizar essas mudanças no layout em anexo (Anexo 3 e Figura 23).

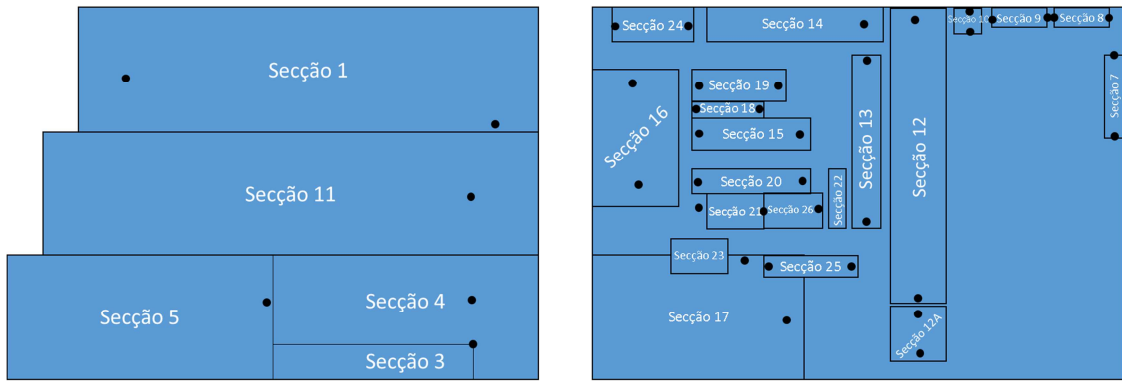


Figura 23 - Layout da alternativa 1

Foram também calculadas as novas distâncias (Anexo 3) resultantes desta alteração, obtendo-se uma nova matriz de distâncias (a amarelo estão os valores que se alteraram na matriz) que, considerando os mesmos fluxos, deu origem a uma nova matriz com os custos de movimentação (Tabelas 5, 6 e 7).

Tabela 5 - Matriz de distâncias da alternativa 1

		Matriz com as distâncias entre as diferentes secções																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a í d a	1											18																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7												54,2																
	8											32			108							122							
	9											9			85							99							
	10																												
	11													15,4															
	12											211,6	219,4	199,8			158,4												
	12A										108	88,4				8						88							
	13																												
	14																13,6	24			68								
	15																					56,6						56,6	73,6
	16																					27							36
	17																					20							61
	18																					26							15
	19																						20	25					
	20															110													55
	21															92,4													37,4
	22																												
	23																												
	24																												
	25																				17								
26																													

Tabela 6 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 1

		Matriz com os fluxos (em toneladas movimentadas)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a í d a	1											5400																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7											108																	
	8											54			0,11							0,43							
	9											54			0,11							0,43							
	10													216															
	11											108	54	54		1944		3240											
	12															431,78							1727,14						
	12A																								1728				
	13																												
	14																											810	72,9
	15																												72,9
	16																												162
	17																												340,2
	18																												
	19																												1684,8
	20																												908,28
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

Tabela 7 - Matriz de custos da alternativa 1

		Matriz de custos (distâncias x fluxos)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a í d a	1												97200																
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7													5853,6															
	8												1728																
	9												486																
	10																												
	11																												
	12																												
	12A																												
	13																												
	14																												
	15																												
	16																												
	17																												
	18																												
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

Custo total
1957193,87

Esta mudança significou uma alteração no custo total do layout que passou de 2.518.577,87 para 1.957.193,87 unidades de custo, representando esta alteração uma descida de cerca de 28,68% nos custos do layout atual.

5.2. Alternativa 2

Para a segunda alternativa, verificaram-se que os maiores custos eram o transporte dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima, com um custo no valor de 1.040.040 u.c., o custo de movimentação entre o armazém de matéria-prima e os banhos de pré-lacagem, com um custo no valor de 168.480 u.c. e o custo da movimentação dos perfis anodizados para a secção da colocação da película protetora antes da rotura térmica, com um custo no valor de 151.988,32 u.c., conforme é possível verificar na Tabela 4, replicada abaixo (valores em destaque).

		Matriz de custos (distâncias x fluxos)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a f i d a	1											1040040																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7												5853,6																
	8												1728																
	9												486																
	10																												
	11																												
	12																												
	12A																												
	13																												
	14																												
	15																												
	16																												
	17																												
	18																												
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

Como uma mudança da secção dos banhos de pré-lacagem seria muito dispendiosa pois tratam-se de estruturas fixas construídas naquele local da implantação, optou-se por mudar apenas o armazém de matéria-prima (secção 11) e as secções de rotura térmica (secções 18, 19 e 20).

Neste momento existe uma área livre de 3.741m² no mesmo pavilhão onde se encontra a extrusora, sendo esse espaço a secção 2. Desta forma, tendo o armazém de matéria-prima uma área de 3.111m², optou por se mudar o armazém para esse espaço disponível, ficando próximo da extrusora, tal como estudado na alternativa 1. Com a mudança do armazém de matéria-prima para essa secção, ficamos com o seu espaço disponível e, assim, foi possível uma mudança adicional tendo sido transferidas as secções 18, 19 e 20 para esse espaço.

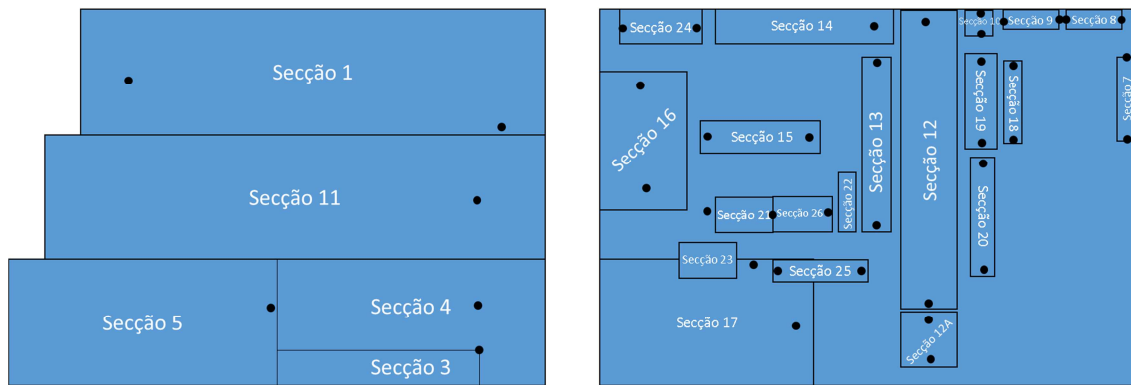


Figura 24 - Layout da alternativa 2

Com estas mudanças, surgiram novos pontos de entrada e saída para as respetivas secções e um novo layout (Figura 24 e Anexo 4), sendo que assim foram calculadas as novas distâncias (Tabela 8 e Anexo 4) resultantes da passagem da secção 11 para a secção 2 e das secções 18, 19 e 20 para a secção 11, obtendo-se o seguinte (a amarelo estão os valores que se alteraram na matriz de distâncias):

- Coordenadas da secção 11 passam a ser as da secção 2
- Coordenadas da secção 18:
 - Ponto de entrada (283,6 ; 47)
 - Ponto de saída (283,6 ; 58)
- Coordenadas da secção 19:
 - Ponto de entrada (278,6 ; 56)
 - Ponto de saída (278,6 ; 39)
- Coordenadas da secção 20:
 - Ponto de entrada (278,6 ; 18)
 - Ponto de saída (278,6 ; 28)

Com base nas novas distâncias calculadas (Tabela 8) e nos fluxos entre secções (Tabela 9) foi possível obter uma nova matriz com os custos de movimentação (Tabela 10).

Tabela 8 - Matriz de distâncias da alternativa 2

		Matriz com as distâncias entre as diferentes secções																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a í d a	1											18																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7											54,2																	
	8											32			108							57,4							
	9											9			85							34,4							
	10												15,4																
	11									211,6	219,4	199,8			158,4	108,4													
	12									108	88,4				8							42,6							
	12A					129,4																		80					
	13															13,6	24			68									
	14																				50						56,6	73,6	
	15																				53,6							36	
	16																				100,6							61	
	17																				88,6							15	
	18																					7	45						
	19													37,6														68,6	
	20													26,6														57,6	
	21																												
	22																												
	23																												
	24																			17									
	25										103,9															12			
26																													

Tabela 9 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 2

		Matriz com os fluxos (em toneladas movimentadas)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P o n t o d e s a í d a	1											5400																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7												108																
	8											54			0,11							0,43							
	9											54			0,11							0,43							
	10													216															
	11									108	54	54			1944		3240												
	12										0,54	0,54				431,78							1727,14						
	12A																												
	13																												
	14																											810	72,9
	15																												72,9
	16																												162
	17																												340,2
	18																												
	19																												
	20																												1684,8
	21																												908,28
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													

Tabela 10 - Matriz de custos da alternativa 2

Matriz de custos (distâncias x fluxos)																													
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
p o n t o d e s a l i d a	1											97200																	
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7											5853,6																	
	8										1728				11,88							24,682							
	9										486				9,35							14,792							
	10													3326,4															
	11							22852,8	11847,6	10789,2				307929,6		351236													
	12							58,32	47,736						3454,24								73976,184						
	12A					55900,8																		138240					
	13																												
	14															15973,2	8748				115668								
	15																											45846	5365,44
	16																												2624,4
	17																												9882
	18																												5103
	19																												
	20														42232,32														115577,28
	21														16887,68														29316,928
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													
		Custo total																											
		1935854,05																											

Esta mudança significou uma alteração no custo total do layout que passou de 2.518.577,87 u.c. para 1.935.854,05 u.c., representando esta alteração uma descida de cerca de 30,10% nos custos do layout atual.

5.3. Alternativa 3

Para a alternativa 3 foi criado um layout (Anexo 5) totalmente de raiz e sem quaisquer restrições para além da configuração dos edifícios existentes. Teve-se em consideração o processo produtivo da empresa e, seguindo a sua lógica, alocaram-se as secções ao espaço disponível. Desta forma, a primeira secção a alocar foi a secção 1 (extrusora) mantendo-se na mesma posição inicial. De seguida, por uma questão de proximidade e conveniência para com a secção 1, e indo de encontro a alternativa 1, fixou-se a secção 11 (armazém de matéria-prima). Como a matéria-prima sai do armazém para os vários tipos de tratamento, no restante espaço disponível alocaram-se as polidoras, a lixadora, a zona de desengorduramento, a zona de rotura térmica, os banhos de pré-lacagem, as lacagens horizontais e uma zona de embalamento ao centro. Estando a área deste edifício praticamente completa, as restantes secções são alocadas no segundo edifício. Sendo assim, a lacagem vertical fica na mesma posição inicial, o armazém de produtos com pouca rotatividade fixou-se no canto superior esquerdo, abaixo deste alocou-se a lacagem decorativa juntamente com a máquina de película decorativa. Foi criada uma zona de embalamento junto às lacagens decorativa e

horizontal. A expedição surge ao lado destas secções e do armazém de Aveiro que também passou para este edifício, assim como o armazém de acessórios.

Com o novo *layout* proposto, surgiram novos pontos de entrada e saída das secções, representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Coordenadas dos pontos de entrada e saída da alternativa 3

Secção	Coordenadas			
	PE		PS	
	x	y	x	y
1 Extrusora	0	54	150	44,6
2 Pavilhão do meio	*	*	*	*
3 Armazém de acessórios	251	27	251	27
4 Armazém de Aveiro	251	12	281	0
5 Armazém de prod. pouca rotatividade	184	60	245	49
6 Escritórios	*	*	*	*
7 Lixadora	-2	21	-2	21
8 Polidora 1	-2	15	-2	15
9 Polidora 2	-2	9	-2	9
10 Zona de desengorduramento	-2	4,6	-2	4,6
11 Armazém de MP	150	44,6	0	23
			156	23
12 Anodização	0	12	56	12
12A Embalamento perfis lacados e anodizados	69	18	69	18
13 Banhos pré lacagem	159	18	121	18
14 Lacagem 1	129	10	82	10
15 Lacagem 2	121	18	82	18
16 Lacagem decorativa	208	40	204	40
17 Lacagem vertical	229	12	212	30
18 Máq. película de proteção	78	13	60	13
19 Máq. poliamida antiga	82	3,4	56	3,4
20 Máq. poliamida nova	82	8,6	56	8,6
21 e 22 Expedição	218	43	250	0
23 Armazém de diversos	*	*	*	*
24 Máq. película decorativa	185,6	34	185,6	46
25 Embalamento perfis lacados	218	34	235	34
26 Armazém de perfis PVC	*	*	*	*

* Pouca ou nenhuma influência

Legenda: PE – Ponto de entrada; PS – Ponto de saída

Com estas mudanças, e considerando os mesmos fluxos entre as diferentes secções, foram calculadas as novas distâncias (Tabela 12 e Anexo 5) entre as mesmas, dando origem a novas tabelas de distâncias e de custos.

Tabela 12 - Matriz de distâncias da alternativa 3

		Matriz com as distâncias entre as diferentes secções																											
		Ponto de entrada																											
P o n t o d e s a í d a		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
	1												1																
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7													16,4															
	8													10,4															
	9													4,4															
	10														9,4														
	11								4	10	16				11		8												
	12									61	61																		
	12A				188																								
	13																16	0			114								
	14														21						7						127		
	15														13						9								
	16																					157							16
	17																					151							10
	18																						31,6	26,4					
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
25																													
26																													

Tabela 13 - Matriz de fluxos (em toneladas) da alternativa 3

		Matriz com os fluxos (em toneladas movimentadas)																											
		Ponto de entrada																											
P o n t o d e s a í d a		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
	1												5400																
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7												108																
	8												54									0,43							
	9												54									0,43							
	10																												
	11														216														
	12														1944		3240												
	12A														431,78								1727,14						
	13																												
	14																												
	15																												
	16																												
	17																												
	18																												
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
25																													
26																													

Tabela 14 - Matriz de custos da alternativa 3

		Matriz de custos (distâncias x fluxos)																											
		Ponto de entrada																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
p o n t o d e s a í d a	1													5400															
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7														1771,2														
	8														561,6														
	9														237,6														
	10																												
	11																												
	12																												
	12A																												
	13																												
	14																												
	15																												
	16																												
	17																												
	18																												
	19																												
	20																												
	21																												
	22																												
	23																												
	24																												
	25																												
26																													
Custo total																													
1886370,76																													

Esta mudança significou uma alteração no custo total do layout que passou de 2.518.577,87 u.c. para 1.886.370,76 u.c., representando esta alteração uma descida de cerca de 33,51% nos custos do layout atual.

6. Conclusões e limitações

No presente capítulo serão sintetizadas as diferentes etapas percorridas durante a realização do trabalho, bem como as conclusões relevantes de cada uma dessas fases.

O presente trabalho incidiu sobre a empresa portuguesa de produção de perfis de alumínio Anicolor, Lda. O objetivo principal deste trabalho foi aferir os custos do *layout* utilizado atualmente pela empresa e sugerir três alternativas em que se verificasse uma redução de custos significativa. Para tal, foi necessário realizar observações e medições nas instalações da empresa, bem como obter dados por parte da mesma para que fosse possível calcular os resultados.

O trabalho iniciou-se, assim, pela análise do *layout* atual, isto é, foram calculadas as distâncias entre as secções, e registados os fluxos (anuais) que existem entre as mesmas. De seguida, calcularam-se os custos do respetivo *layout*, tendo-se concluído que o mesmo tem um custo atual de 2.518.577,87 u.c. por ano. De seguida, foram desenvolvidas três novas propostas de *layouts* alternativos, sendo as alternativas 1 e 2 mais conservadoras e a alternativa 3 mais extrema. Para desenvolver as alternativas, foi analisada a matriz de custos, tendo-se verificado que o custo mais elevado era o transporte dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima (secção 11), com 1.040.040 u.c.. Assim, a alternativa 1 consistiu em trocar o armazém de matéria-prima (secção 11) para a localização da secção 2, um espaço disponível que se encontra próximo da extrusora e que possui a área necessária para que esta mudança seja viável. Com esta alteração, o *layout* (Anexo 3) apresentaria um custo de 1.957.193,87 u.c., o que significa uma poupança de 28,68% em relação à situação atual.

Não sendo uma alteração muito difícil de realizar, implicaria, naturalmente, alguns custos e gastos de tempo para fosse possível transferir todo o armazém de matéria-prima para uma nova localização.

Relativamente à alternativa 2, depois de verificado que os três maiores custos no *layout* atual eram o custo da movimentação dos perfis extrudidos para o armazém de matéria-prima (1.040.040 u.c.), a movimentação entre o armazém de matéria-prima (secção 11) e os banhos de pré-lacagem (secção 13, com 168.480 u.c.) e a movimentação dos perfis anodizados (secção 12) para a zona de rotura térmica (secção 18, com 151.988,32 u.c.), propôs-se a troca da secção 11 para a secção 2, e das secções 18, 19 e 20 para o espaço que fica disponível no lugar da secção 11. Com estas

alterações obteve-se um novo *layout* (Anexo 4) com um custo de 1.935.854,05 u.c., o que significa uma poupança de 30,10% em relação ao *layout* atual.

As principais dificuldades de implementação desta alternativa relacionam-se com o custo e o tempo despendido na mudança de todo o armazém de matéria-prima para uma nova localização e a movimentação das máquinas da secção 18, 19 e 20 para uma nova localização.

Quanto à alternativa três, foi proposto um *layout* (Anexo 5) criado totalmente de raiz, onde foi tido em conta o fluxo produtivo e algumas restrições/adjacências relacionadas com certos equipamentos. Depois de calculadas as novas distâncias entre as secções, obteve-se um custo final de 1.886.370,76 u.c. o que representa uma poupança de 33,51% em relação ao *layout* utilizado atualmente pela empresa.

A implementação desta alternativa implicaria um elevado custo de recolocação de todo o equipamento, uma vez que só a extrusora se mantinha na sua atual posição.

A análise efetuada permitiu perceber que, por exemplo, se a empresa optasse por implementar a alternativa 1 já conseguiria uma redução significativa dos custos de movimentação de material sem precisar de incorrer em grandes custos.

Naturalmente, o estudo realizado apresenta algumas limitações, particularmente a dificuldade de obtenção de dados completamente fiáveis. Muita informação foi recolhida no terreno e com observações, porém outros dados foram fornecidos pelo responsável da produção, sendo, deste modo, valores aproximados. Por último, do ponto de vista da empresa, poderá existir alguma dificuldade em implementar estas alterações dado que existem custos associados às mesmas e, eventualmente, poderiam ter que lidar com uma possível resistência à mudança por parte dos empregados. De qualquer modo, são limitações e adversidades que, no longo prazo, poderão compensar a dificuldade de uma mudança.

Para trabalho futuro, recomenda-se a realização do mesmo estudo, mas com acesso a dados reais e não aproximados, podendo assim obter-se resultados mais rigorosos e fiáveis. Adicionalmente, seria interessante experimentar outras alternativas de *layouts*, recorrendo, por exemplo, a algoritmos que permitissem gerar e comparar um conjunto de alternativas de uma forma mais rápida.

Por fim, fazer um pouco de *benchmarking* junto de empresas com processos e produtos semelhantes aos da Anicolor por forma a tentar encontrar pontos comuns e divergentes que ajudassem a incrementar a velocidade dos processos e a reduzir os

custos com vista à otimização dos mesmos, seria também um tópico para investigação futura.

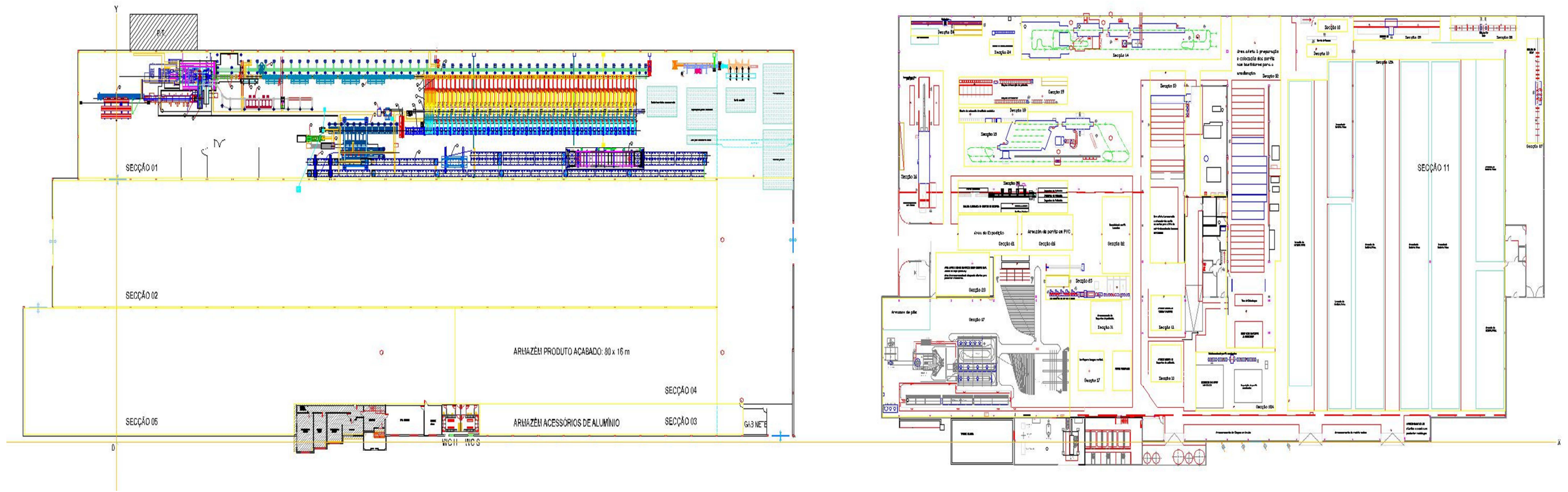
7. Bibliografia

- Anicolor. (17 de 2 de 2016). Obtido de Website da Anicolor: <http://www.anicolor.pt/>
- Balakrishnan, J., Cheng, C. H., Conway, D. G., & Lau, C. M. (2003). A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem. *International Journal of Production Economics*, 86(2), 107-120.
- Bozer, Y. A., Meller, R. D., & Erlebacher, S. J. (1994). An improvement-type layout algorithm for single and multiple floor facilities. *Management Science*, 40(7), 918-932.
- Bozer, Y., & Meller, R. (1997). A reexamination of the distance-based facility layout problem. *IIE Transactions*, 29(7), 549-560.
- Cambron, K., & Evans, G. (1991). Layout design using the analytic hierarchy process. *Computers & Industrial Engineering*, 20(2), 211-229.
- Castillo, I., Westerlund, J., Emet, S., & Westerlund, T. (2005). Optimization of block layout design problems with unequal areas: A comparison of MILP and MINLP optimization methods. *Computers and Chemical Engineering*, 30(1), 54-69.
- Chhajed, D., Montreuil, B., & Lowe, T. J. (1992). Flow network design for manufacturing systems layout. *European Journal of Operational Research*, 57(2), 145-161.
- Chwif, L., Barretto, M. R., & Moscato, L. A. (1998). A solution to the facility layout problem using simulated annealing. *Computers in Industry*, 36, 125-132.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255-267.
- Gómez, A., Fernández, Q. I., De la Fuente Garcia, D., & García, P. J. (2003). Using genetic algorithms to resolve layout problems in facilities where there are aisles. *International Journal of Production Economics*, 271-282.
- Heragu, S. (1997). *Facilities Design*. Boston: PWS Publishing company.
- Herrmann, J. W., Ioannou, G., Minis, I., Nagi, R., & Proth, J. M. (1995). Design of material flow networks in manufacturing facilities. *Journal of Manufacturing Systems*, 14(4), 277-289.
- Ioannou, G. (2007). An integrated model and a decomposition-based approach for concurrent layout. *Computers & industrial engineering*, 52(4), 459-485.
- Kusiak, A. (1990). *Intelligent manufacturing systems*. NJ: Prentice-Hall International.
- Lin, L. C., & Sharp, G. P. (1999). Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. *European Journal of Operational Research*, 116, 110-117.
- Meller, R. D., & Gau, K.-Y. (1996). The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 15(5), 351-366.
- Meller, R. D., Narayanan, V., & Vance, P. H. (1999). Optimal facility layout design. *Operations Research Letters*, 23, 117-127.
- Montreuil, B., & Ratliff, H. (1987). Optimizing the location of input/output stations within facilities layout.
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning* (2nd ed.). Boston: Cahners Books.
- Roldão, V. S., & Ribeiro, J. S. (2007). *Gestão das Operações - Uma abordagem integrada*. Lisboa: Monitor.
- Rosenblatt, M., & Golany, B. (1992). A distance assignment approach to the facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 57(2), 253-270.
- Singh, S. P., & Sharma, R. R. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30, 425-433.

- Singh, S. P., & Singh, V. K. (2011). Three-level AHP-based heuristic approach for a multi-objective facility layout problem. *International Journal of Production Research*, 49, 1105-1125.
- Stevenson, W. J. (2015). *Operations Management, 12th edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. (2010). *Facilities Planning (4th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc.
- Yang, T., & Kuo, C. (2003). A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 128-136.

Anexos

Anexo 1



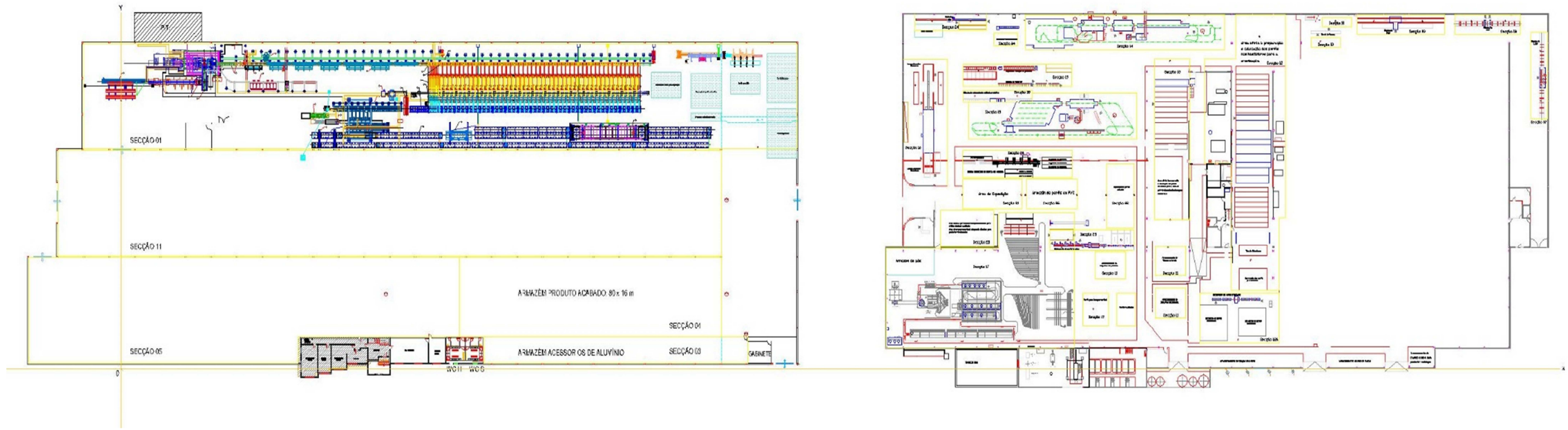
Anexo 2

Cálculo das distâncias retilineares entre os principais pontos:

- $d_{ps14/pe25} = |254,6-223| + |68-26| = 73,6$
- $d_{ps15/pe25} = |234-223| + |51-26| = 36$
- $d_{ps14/pe18} = |254,6-211| + |68-55| = 56,6$
- $d_{ps15/pe18} = |234-211| + |51-55| = 19$
- $d_{ps24/pe16} = |191-187| + |70-57| = 17$
- $d_{ps16/pe25} = |193-223| + |57-26| = 61$
- $d_{ps16/pe18} = |193-211| + |57-55| = 20$
- $d_{ps7/pe10} = |334,2-286| + |64-70| = 54,2$
- $d_{ps8/pe10} = |318-286| + |70-70| = 32$
- $d_{ps9/pe10} = |295-286| + |70-70| = 9$
- $d_{ps10/pe12} = |282,4-268| + |66-67| = 15,4$
- $d_{ps1/pe11} = |150-300| + |44,6-2| = 192,6$
- $d_{ps1/pe4} = |150-142,6| + |44,6-15| = 37$
- $d_{ps1/pe5} = |150-62,4| + |44,6-15| = 117,2$
- $d_{ps1/pe21} = |150-212| + |44,6-35| = 71,6$
- $d_{pe2/ps1} = |142,6-150| + |34-44,6| = 18$
- $d_{pe1/ps2} = |142,6-0| + |34-54| = 162,6$
- $d_{ps3/pe4} = |147,2-142,6| + |7-15| = 12,6$
- $d_{ps21/pe5} = |198-62,4| + |35-15| = 155,6$
- $d_{ps21/pe4} = |198-142,6| + |35-15| = 75,4$
- $d_{ps11/pe7} = |276-334,2| + |7-54| = 105,2$
- $d_{ps11/pe8} = |276-326| + |7-70| = 113$
- $d_{ps12/pe8} = |266-326| + |22-70| = 108$
- $d_{ps11/pe9} = |276-306,4| + |7-70| = 93,4$
- $d_{ps12/pe9} = |266-306,4| + |22-70| = 88,4$
- $d_{ps11/pe12} = |276-268| + |7-67| = 68$
- $d_{ps11/pe13} = |276-247| + |7-30| = 52$
- $d_{ps7/pe12} = |334,2-268| + |64-67| = 69,2$
- $d_{ps8/pe12A} = |318-266| + |70-14| = 108$
- $d_{ps9/pe12A} = |295-266| + |70-14| = 85$

- $d_{ps13/pe14} = |247-254,6| + |62-68| = 13,6$
- $d_{ps13/pe15} = |247-234| + |62-51| = 24$
- $d_{ps13/pe17} = |247-229| + |62-12| = 68$
- $d_{ps12A/pe21} = |263-212| + |6-35| = 80$
- $d_{ps12/pe18} = |266-211| + |22-55| = 88$
- $d_{ps18/pe19} = |201-218| + |55-58| = 20$
- $d_{ps18/pe20} = |201-211| + |55-40| = 25$
- $d_{ps17/pe22} = |212-238,5| + |30-35| = 31,5$
- $d_{ps17/pe18} = |212-211| + |30-55| = 26$
- $d_{ps19/pe25} = |202-223| + |60-26| = 55$
- $d_{ps20/pe25} = |201,6-223| + |42-26| = 37,4$
- $d_{ps25/pe22} = |235,5-238,5| + |26-35| = 12$
- $d_{ps12/pe19} = |263-218| + |6-58| = 97$
- $d_{ps12/pe20} = |263-211| + |6-40| = 86$
- $d_{ps19/pe12A} = |202-266| + |60-14| = 110$
- $d_{ps20/pe12A} = |201,6-266| + |42-14| = 92,4$
- $d_{ps14/pe19} = |254,6-218| + |68-58| = 46,6$
- $d_{ps15/pe19} = |234-218| + |51-58| = 23$
- $d_{ps14/pe20} = |254,6-211| + |68-40| = 71,6$
- $d_{ps15/pe20} = |234-211| + |51-40| = 34$
- $d_{ps16/pe19} = |193-218| + |57-58| = 26$
- $d_{ps16/pe20} = |193-211| + |57-40| = 35$
- $d_{ps17/pe25} = |212-223| + |30-26| = 15$
- $d_{ps8/pe18} = |318-211| + |70-55| = 122$
- $d_{ps14/pe16} = |254,6-187| + |68-57| = 78,6$
- $d_{ps25/pe22} = |235,5-238,5| + |26-35| = 12$
- $d_{ps9/pe18} = |295-211| + |70-55| = 99$
- $d_{ps12/pe12A} = |266-266| + |22-14| = 8$
- $d_{ps14/pe24} = |254,6-200| + |68-70| = 56,6$
- $d_{ps12A/pe4} = |263-142,6| + |6-15| = 129,4$
- $d_{ps25/pe4} = |235,5-142,6| + |26-15| = 103,9$

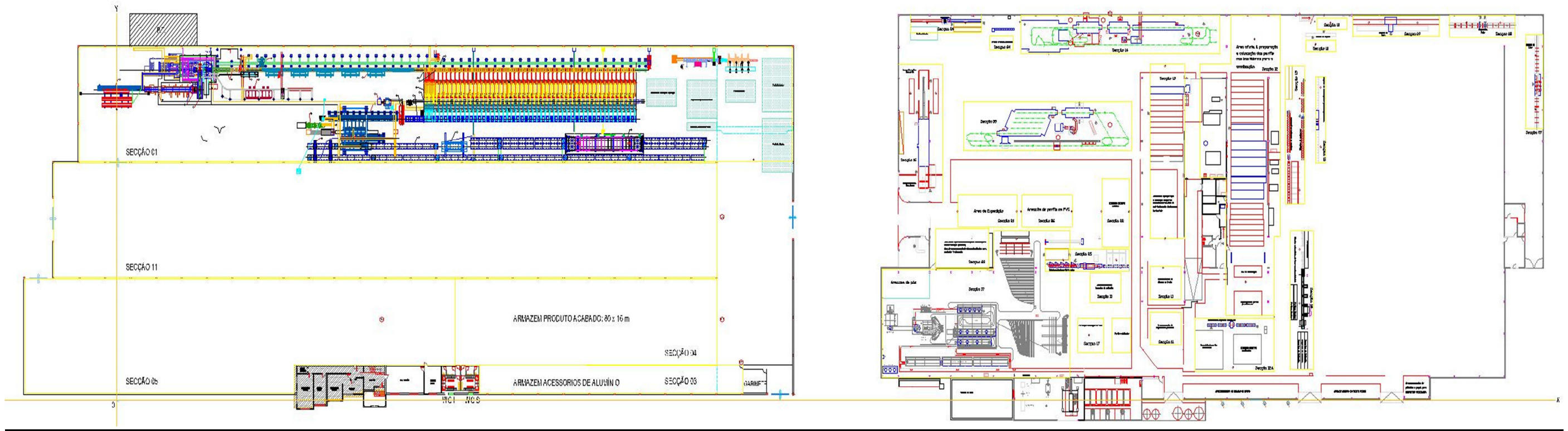
Anexo 3



Assumindo que a secção 11 passa a ser a secção 2, temos:

- $d_{ps1/pe2} = |150-142,6| + |44,6-34| = 18$
- $d_{ps2/pe7} = |142,6-334,2| + |34-54| = 211,6$
- $d_{ps2/pe8} = |142,6-326| + |34-70| = 219,4$
- $d_{ps2/pe9} = |142,6-306,4| + |34-70| = 199,8$
- $d_{ps2/pe12} = |142,6-268| + |34-67| = 158,4$
- $d_{ps2/pe13} = |142,6-247| + |34-30| = 108,4$

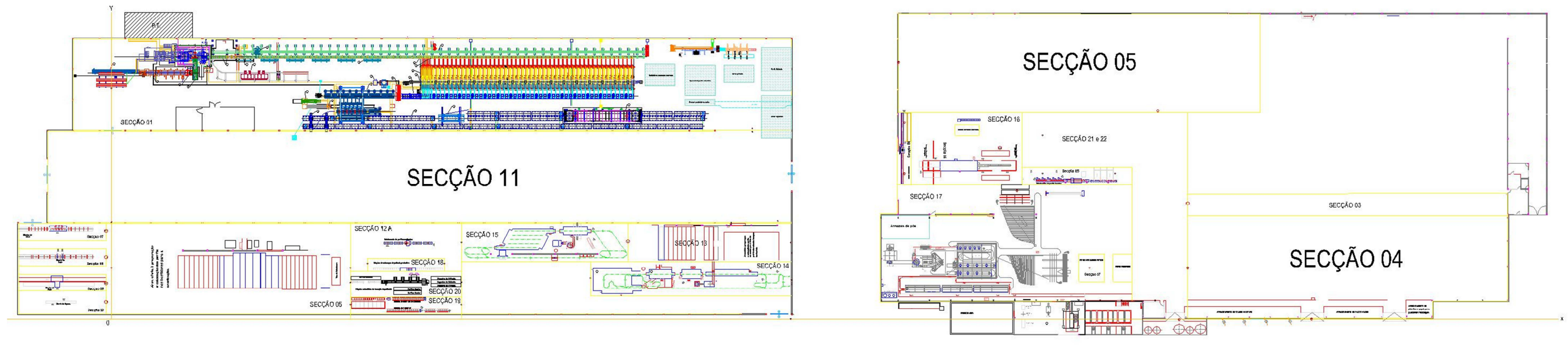
Anexo 4



Novas distâncias:

- $d_{ps12/pe18} = |266-283,6| + |22-47| = 42,6$
- $d_{ps8/pe18} = |318-283,6| + |70-47| = 57,4$
- $d_{ps9/pe18} = |295-283,6| + |70-47| = 34,4$
- $d_{ps14/pe18} = |254,6-283,6| + |68-47| = 50$
- $d_{ps15/pe18} = |234-283,6| + |51-47| = 53,6$
- $d_{ps16/pe18} = |193-283,6| + |57-47| = 100,6$
- $d_{ps17/pe18} = |212-283,6| + |30-47| = 88,6$
- $d_{ps18/pe19} = |283,6-278,6| + |58-56| = 7$
- $d_{ps18/pe20} = |283,6-278,6| + |58-18| = 45$
- $d_{ps19/pe25} = |278,6-223| + |39-26| = 68,6$
- $d_{ps20/pe25} = |278,6-223| + |28-26| = 57,6$
- $d_{ps19/pe12A} = |266-278,6| + |14-39| = 37,6$
- $d_{ps20/pe12A} = |266-278,6| + |14-28| = 26,6$

Anexo 5



Novas distâncias:

- $d_{ps1/pe11} = |150-150| + |44,6-44,6| = 0$ (considera-se 1 devido a deslocações mínimas necessárias)
- $d_{ps7/pe10} = |-2-(-2)| + |21-4,6| = 16,4$
- $d_{ps8/pe10} = |-2-(-2)| + |15-4,6| = 10,4$
- $d_{ps9/pe10} = |-2-(-2)| + |9-4,6| = 4,4$
- $d_{ps8/pe18} = |-2-78| + |15-13| = 82$
- $d_{ps9/pe18} = |-2-78| + |9-13| = 84$
- $d_{ps10/pe12} = |-2-0| + |4,6-12| = 9,4$
- $d_{ps11/pe7} = |0-(-2)| + |23-21| = 4$
- $d_{ps11/pe8} = |0-(-2)| + |23-15| = 10$
- $d_{ps11/pe9} = |0-(-2)| + |23-9| = 16$
- $d_{ps11/pe12} = |0-0| + |23-12| = 11$
- $d_{ps11/pe13} = |156-159| + |23-18| = 8$
- $d_{ps12/pe8} = |56-(-2)| + |12-15| = 61$
- $d_{ps12/pe9} = |56-(-2)| + |12-9| = 61$
- $d_{ps12/pe18} = |56-78| + |12-13| = 23$
- $d_{ps13/pe14} = |121-129| + |10-18| = 16$
- $d_{ps13/pe15} = |121-121| + |18-18| = 0$
- $d_{ps13/pe17} = |121-229| + |18-12| = 114$
- $d_{ps14/pe18} = |82-78| + |10-13| = 7$
- $d_{ps14/pe24} = |82-185,6| + |10-34| = 127$
- $d_{ps14/pe12A} = |82-69| + |10-18| = 21$
- $d_{ps12A/pe21e22} = |69-218| + |18-43| = 174$
- $d_{ps15/pe18} = |82-78| + |18-13| = 9$
- $d_{ps15/pe12A} = |82-69| + |18-18| = 13$
- $d_{ps16/pe18} = |208-78| + |40-13| = 157$
- $d_{ps18/pe19} = |60-82| + |13-3,4| = 31,6$
- $d_{ps18/pe20} = |60-82| + |13-8,6| = 26,4$
- $d_{ps19/pe12A} = |56-69| + |3,4-18| = 27,6$
- $d_{ps20/pe12A} = |56-69| + |8,6-18| = 22,4$
- $d_{ps24/pe16} = |185,6-208| + |46-40| = 28,4$

- $d_{ps17/pe18} = |212-78| + |30-13| = 151$
- $d_{ps8/pe12A} = |-2-69| + |15-18| = 74$
- $d_{ps9/pe12A} = |-2-69| + |9-18| = 80$
- $d_{ps12/pe12A} = |56-69| + |12-18| = 19$
- $d_{ps16/pe25B} = |208-218| + |40-34| = 16$
- $d_{ps17/pe25B} = |212-218| + |30-34| = 10$
- $d_{ps12A/pe4} = |69-251| + |18-12| = 188$
- $d_{ps25B/pe4} = |235-251| + |34-12| = 38$
- $d_{ps25B/pe21e22} = |235-218| + |34-43| = 26$