

Importância da Diretiva Máquinas no Projeto Mecânico

Relatório de Estágio apresentado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica – Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

João Filipe Marques da Silva

Orientador

Fernando António Gaspar Simões

Professor Coordenador, ISEC

Supervisor

Miguel Curinha Samarra

Sirmaf

AGRADECIMENTOS

Finalizada mais uma etapa de formação académica, expresso o mais profundo agradecimento a todos os que apoiaram nesta caminhada e que tornaram possível a concretização deste trabalho.

Desta forma, gostaria de agradecer em primeiro lugar à Sirmaf/Solien pela oportunidade e acolhimento durante o estágio curricular. Em especial, ao Eng. João Sobral pela oportunidade de incorporar a equipa de projeto mecânico da Solien.

Ao Doutor Eng. Miguel Samarra, um agradecimento especial pela orientação e integração durante o período de estágio, pela exigência e compreensão demonstradas, pelo apoio nas ações desenvolvidas na empresa e pela partilha de conhecimentos e experiência que se revelaram indispensáveis para a elaboração do presente relatório.

Ao Professor Doutor Eng. Fernando Simões pela orientação, apoio constante e preocupação com a integração na empresa, sendo o seu apoio e disponibilidade fulcral na realização do presente documento.

Aos Eng.^{os} Daniel Ventura e Bruno Martins pela forma como me acolheram, criando um ambiente de trabalho muito próximo e familiar, além de todos os conhecimentos transmitidos, fruto da sua experiência pessoal e profissional, estando à disposição para colocar qualquer tipo de dúvida e questão, que se revelou bastante importante para que o estágio fosse uma mais valia para o meu crescimento.

Uma palavra de agradecimento à Professora Eng.^a Luísa Pais, pela disponibilidade e apoio dado na reta final do relatório. Também à equipa Imsim, um agradecimento especial pela forma como me acolheram e se disponibilizaram para qualquer tipo de apoio dentro da empresa.

À minha família, em especial aos meus Pais, Irmão e Avó, pelo carinho, apoio e coragem que sempre me transmitiram ao acreditarem no meu sucesso.

À minha namorada, pelo apoio durante a realização do documento, pelo carinho e motivação dada especialmente ao longo do meu percurso académico.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos, colegas de curso e a todos os professores que ao longo do percurso académico partilharam o seu saber.

RESUMO

O estágio realizado no âmbito do mestrado em Engenharia Mecânica decorreu no grupo SIRMAF, integrado na equipa de projeto mecânico da empresa Solien. No decorrer do estágio foi dado ênfase à construção e dimensionamento de máquinas industriais e respetiva aplicação da Diretiva Máquinas. Através da leitura, análise e elaboração de Documentação Técnica foram adquiridos conhecimentos normativos relativamente à construção de máquinas.

O presente documento teve como principal objetivo contextualizar a Diretiva Máquinas com o projeto mecânico, abordando a estrutura e informação contida na diretiva, evidenciando a importância da segurança de máquinas através da descrição das ações desenvolvidas na Solien. Esta diretiva tem como propósito minimizar os riscos e os acidentes no trabalho, dinamizando e proporcionando o crescimento sustentável da indústria, ao elevar os requisitos essenciais de saúde e segurança, garantindo que os equipamentos produzidos na União Europeia apresentem altos níveis de qualidade e segurança.

No relatório é abordada inicialmente a empresa acolhedora, a metodologia interna de projeto e a Diretiva Máquinas, onde é descrita a estruturação e o conteúdo presente, as obrigações por parte do fabricante e posteriormente, as ações e processos a realizar para a correta aplicação da diretiva ao equipamento em desenvolvimento. É evidenciada a importância das normas europeias para a livre circulação no mercado europeu e respetiva marcação CE do equipamento, como forma de garantia por parte do fabricante do cumprimento dos requisitos essenciais de saúde e segurança. Por fim, com o propósito de fundamentar os dimensionamentos realizados nos projetos desenvolvidos, são apresentados cálculos efetuados no decorrer do estágio.

Palavras-chave: Diretiva Máquinas, projeto, equipamentos industriais, segurança, máquinas, marcação CE, avaliação de conformidade.

ABSTRACT

The internship carried out under the Master's degree of Mechanical Engineering took place at SIRMAF group, integrated at Solien's mechanical project team. During the internship, emphasis was given to the construction and dimensioning of industrial machines and the respective application of the Machine Directive. Through reading, analysis and elaboration of Technical Documentation normative, knowledge has been acquired regarding machine building.

The present document aims to contextualize the Machine Directive with the mechanical project, accosting the structure and information within the directive, showing the importance of machine security through the description of the develop actions at Solien. The purpose of this directive is to minimize the risks and accidents at work, dynamizing and providing a sustainable industry growth by raising the essential requirements of health and security, that way can be ensure that the equipment produced in European Union presents high quality and security levels.

The document is initially addressed to the host company, the internal methodology of design and the Machine Directive, where's described the structure and the present content, the obligations of the manufacture and, later, the actions and processes performed to properly apply the directive to equipment under development. The importance of European standards for free movement on the European market and their CE marking of equipment is highlighted as a guarantee by the manufacture compliance with the essential requirement of health and security. Lastly, in order to substantiate the dimensioning performed in the developed projects, calculations which were made through out the internship are presented..

Keywords: Machinery Directive, project, industrial equipment, security, machine, CE marking, conformity evaluation

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
SIMBOLOGIA	XV
SIGLAS E ABREVIATURAS	XIX
1. Introdução	21
1.1. Caracterização do Grupo Sirmaf.....	21
1.2. Objetivos e Metodologia do Trabalho.....	20
1.3. Organização do Relatório/Estrutura da Dissertação	21
2. Processo Interno para Desenvolvimento de um Projeto	23
2.1. Fluxograma de Projeto – Departamento de Engenharia	24
2.2. Apoio ao Projetista Mecânico	25
2.3. Poka Yoke.....	26
3. Projeto Mecânico no Fabrico de Equipamentos	27
3.1. Ciclo de Vida do Projeto	27
3.2. Normas Harmonizadas.....	29
3.3. Caderno de Encargos.....	30
3.4. Especificações Técnicas	30
3.5. Ferramentas de Engenharia de Processo.....	31
3.6. Documentação a Fornecer ao Cliente	32
4. Contextualização dos Projetos Desenvolvidos.....	35
4.1. Unidade de Tratamento de Ar	35
4.2. Tabuleiros para Transporte Interno de Produto.....	36
4.3. Calibres de Forma	37
4.4. Molde de Provelte	38
5. Diretiva Máquinas no Projeto Mecânico	39
5.1. Estrutura da Diretiva Máquinas	40
5.2. Obrigações do fabricante	43
5.2.1. Avaliação da Conformidade.....	43
5.2.2. Documentação Técnica	48
5.2.3. Manual de Instruções.....	48
5.2.4. Declaração CE de Conformidade	49

6. Aplicação da Diretiva Máquinas enquanto Projetista Mecânico.....	51
7. Validação Matemática de Elementos Incluídos no Projeto	69
7.1. Dimensionamento de Flanges e Juntas Não Normalizadas	69
7.2. Velocidade nas Conduitas.....	74
7.3. Perdas Térmicas	76
7.4. Dilatação Térmica	84
7.5. Dimensionamento à Encurvadura	86
8. Conclusão	89
Referências Bibliográficas	91
Anexos	93
Anexo I – Exemplo de Manual de Instruções	93
Anexo II – Desenho 2D de Fabrico	94
Anexo III – Desenho 2D Geral de Conjunto	95
Anexo IV – Largura Radial da Junta.....	96
Anexo V – Propriedades termofísicas do ar à temperatura ambiente	97
Anexo VI – Ficha técnica do aço inoxidável AISI 304 – RolMetais.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo 1 de Máquina de Montagem	21
Figura 2 – Exemplo 2 de Máquina de Montagem	21
Figura 3 - Máquina de Ensaio e Controlo.....	22
Figura 4 - Máquina de Controlo de Qualidade de Correntes.....	22
Figura 5 - Sistema de Manipulação – Célula Robot.....	22
Figura 6 - Exemplo de Linha de Produção	22
Figura 7 – Exemplo 1 de Dispositivo de Aperto de Peça.....	19
Figura 8 – Exemplo 2 de Dispositivo de Aperto de Peça.....	19
Figura 9 - Máquina de Conformação.....	19
Figura 10 - Organograma Sirmaf.....	23
Figura 11 - Fluxograma de Processo de Projeto Mecânico	24
Figura 12 - Nível de custos e pessoal ao longo do seu ciclo de vida.....	27
Figura 13 – Representação do processo de Desenvolvimento de Produto	29
Figura 14 – Representação esquemática do funcionamento da máquina	35
Figura 15 – Modelo CAD do Projeto de Tabuleiros de Transporte Interno de Produto	37
Figura 16 – Diferenças entre marcação de conformidade europeia e “China Export”	40
Figura 17 - Diagrama do processo de avaliação de conformidade.....	45
Figura 18 - Marcação ATEX	51
Figura 19 – Representação da posição correta do sensor de diferença de pressão.....	59
Figura 20 – Exemplo de desenho 2D de uma placa (Com tabela de furos)	62
Figura 21 - Exemplo de desenho 2D de um paralelepípedo simples.....	63
Figura 22 – Exemplo de desenho 2D de uma chapa quinada.....	64
Figura 23 – Planificação da chapa quinada da Figura 20.....	64
Figura 24 – Exemplo de desenho 2D de uma peça de revolução	65
Figura 25 – Etiquetas Características Elétricas	66
Figura 26 – Exemplo de chapa característica da máquina	67
Figura 27 – Forças envolvidas na união de flanges aparafusadas	69
Figura 28 – Representação da parede da conduta – Hipótese 1	77
Figura 29 – Representação da parede da conduta – Hipótese 2	77
Figura 30 – Representação da parede da conduta – Hipótese 3	78
Figura 31 – Valores típicos do coeficiente de transmissão de calor por convecção	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Listagem dos Artigos da DM.....	41
Tabela 2 – Resumo dos módulos de avaliação da conformidade CE.....	46
Tabela 3 – Simbologia aplicada na máquina do projeto A.....	57
Tabela 4 – Dilatação Linear das condutas	84

SIMBOLOGIA

A – Área da superfície transversal

A_b – Área total dos parafusos

A_m – Área mínima dos parafusos

b – Largura efetiva da junta

b_0 – Largura radial da junta

c – Calor específico

D – Diâmetro da tubagem

D_e/D_i – Diâmetro externo/interno

D_h – Diâmetro hidráulico da tubagem

dL – Variação do comprimento do corpo

dt – Diferença de tempo

E – Módulo de Elasticidade

E_{arm} – Energia armazenada pelo sistema

E_e – Energia que entra no sistema

E_g – Energia gerada pelo sistema

E_s – Energia que sai do sistema

$F_{p_{máx}}$ – Força máxima dos parafusos

G – Diâmetro do ponto de aplicação da resultante das forças de reação da junta

h_e – Coeficiente de transferência de calor externa

h_i – Coeficiente de transferência de calor interna

I – Momento de Inércia

K – Coeficiente adimensional de Euler

k – Condutividade térmica do material

L – Comprimento

L_0 – Comprimento inicial

L_e – Comprimento livre equivalente

m – Fator da junta

\dot{m} – Fluxo de massa

Nu – Número de Nusselt

P – Perímetro

P – Pressão de projeto

P_{cr} – Força máxima suportada pela coluna vertical

Pr – Número de Prandtl

Q - Caudal

$Q_{Cond.}$ – Energia transferida por condução

$Q_{Conduto}$ – Energia transferida pela conduta

$Q_{Convecção}$ – Energia transferida por convecção

Q_{Real} – Caudal Real

Ra_L – Número de Rayleigh

Re – Número de Reynolds

S_a – Tensão máxima admissível do parafuso para a temperatura ambiente

S_b – Tensão máxima admissível do parafuso na temperatura operacional

$Sg_{máx}$ – Pressão máxima da junta

T_m – Temperatura média

T_s – Temperatura superficial

T_x – Temperatura no ponto x

ΔT – Diferença de temperatura

u – Velocidade média do fluido

V – Volume do sistema

\dot{V} – Caudal Volúmico

$W_{máx}$ – Limite de compressibilidade da junta

W_{m1} – Força mínima para garantir estanquidade segundo as condições operacionais

W_{m2} – Força mínima de compressão da junta

Δx – Espessura do material isolante

Y – Pressão máxima de esmagamento

α – Coeficiente de dilatação linear do material

β – Compressibilidade

ε – Deformação específica

ν - Viscosidade cinemática do fluido

σ_{dT} – Tensão térmica originada pela dilatação

Rt – Resistência térmica

g – Aceleração da gravidade

μ – Viscosidade dinâmica

ρ – Massa Específica ou Densidade

SIGLAS E ABREVIATURAS

AISI – Instituto Americano do Ferro e do Aço “*American Iron and Steel Institute*”

ASME – Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos “*American Society of Mechanical Engineers*”

ATEX – Atmosfera Explosiva

CAD – Desenho Assistido por Computador “*Computer Aided Design*”

CE – Conformidade Europeia

CEN – Comité Europeu de Normalização

CENELEC – Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica

CNC – Comando Numérico Computorizado

DFMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha do Design “*Design Failure Mode and Effect Analysis*”

DIN – Instituto Alemão de Normatização “*Deutsche Institut für Normung*”

DM – Diretiva Máquinas

DT – Documentação Técnica

EN – Normas Europeias

EP – Elementos para Produção

ETSI – Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações

FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha “*Failure Modes and Effects Analysis*”

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional “*International Electrotechnical Commission*”

INM – Instituição Nacional de Metrologia

IPQ, I.P. – Instituto Português da Qualidade, I.P.

ISO – Organização Internacional de Normalização “*International Organization for Standardization*”

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

Lp – Nível de Pressão Sonora

Lw – Nível de Potência Sonora

MI – Manual de Instruções

NPT – Condições Normais de Temperatura e Pressão “*Normal Temperature and Pressure Conditions*”

ONN – Organismo Nacional de Normalização

OPL – Lista de Pontos em Aberto “*Open Point List*”

PDCA – Planear, Fazer, Verificar e Agir “*Plan, Do, Check, Action*”

PFMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha do Processo “*Process Failure Mode and Effect Analysis*”

PME – Pequenas e Médias Empresas

SQP – Sistema Português de Qualidade

UE – União Europeia

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

1. Introdução

1.1. Caracterização do Grupo Sirmaf

O presente relatório representa o período de Estágio Curricular que decorreu entre setembro de 2018 e junho de 2019, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos. A empresa acolhedora do estágio foi a Sirmaf – Sociedade Industrial de Reconstrução de Máquinas e Ferramentas – sediada em Taveiro, Coimbra. No entanto, foi a partir da Solien – Soluções Integradas de Engenharia, Lda – uma empresa pertencente ao grupo Sirmaf, onde foram desenvolvidos os projetos descritos no presente documento.

A Sirmaf conta com 30 anos de experiência na reconstrução de máquina-ferramenta, venda de componentes e na conceção de máquinas especiais adaptadas especificamente à necessidade de cada cliente. Constituída por 47 pessoas, forma uma equipa de projeto multidisciplinar com competências nas mais variadas áreas de engenharia. A empresa é especializada na conceção de inúmeros produtos para os mais variados setores industriais, como a indústria automóvel, eletrónica, farmacêutica e alimentar. Os resultados são claros e a empresa apresenta uma elevada organização e *know-how* na forma como corresponde às especificações técnicas do cliente. Segundo Sirmaf (2019), a sua especialização é fortemente vocacionada para:

- Máquinas de Montagem – aplicadas na produção em série de componentes essencialmente para a indústria automóvel (montagem de caixas de velocidades, *airbags*, alternadores), para a montagem de correntes de bicicletas, de esquentadores e de caldeiras domésticas (Figuras 1 e 2);



Figura 1 – Exemplo 1 de Máquina de Montagem (Recuperado de: <https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)



Figura 2 – Exemplo 2 de Máquina de Montagem (Recuperado de: <https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)

- Máquinas de Ensaio e Controlo – criadas para controlos específicos de peças e/ou equipamentos como por exemplo: *Jig's*, calibres, testes de estanquidade e ensaios de durabilidade (Figuras 3 e 4);

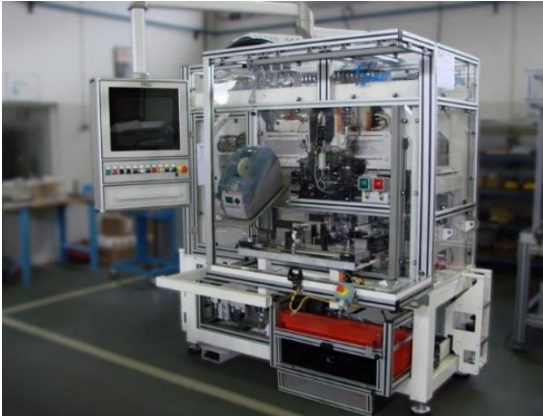


Figura 3 - Máquina de Ensaio e Controlo
(Recuperado de:
<https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)



Figura 4 - Máquina de Controlo de Qualidade de Correntes (Recuperado de:
<https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)

- Sistemas de Manipulação e Transporte – automatização de Linhas de Produção (Células Robot) através da criação de processos de montagem de componentes ou manipulação e transporte de peças em processos de carga e descarga, assim como sistemas de abastecimento (Figuras 5 e 6);



Figura 5 - Sistema de Manipulação – Célula Robot (Recuperado de:
<https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)



Figura 6 - Exemplo de Linha de Produção (Recuperado de:
<https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)

- Dispositivos de Aperto de Peça – usados na fixação de peças para maquinação por arranque de apra e através de dispositivos com acionamento hidráulico, pneumático ou manual (Figuras 7 e 8);

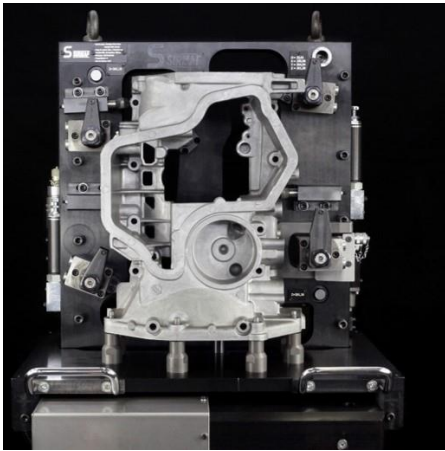


Figura 7 – Exemplo 1 de Dispositivo de Aperto de Peça (Recuperado de: <https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)



Figura 8 – Exemplo 2 de Dispositivo de Aperto de Peça (Recuperado de: <https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)

- Máquinas Especiais – face à vasta experiência e *know how* a empresa é procurada para solucionar qualquer tipo de necessidade do cliente como por exemplo na criação de máquinas de conformação (Figura 9).

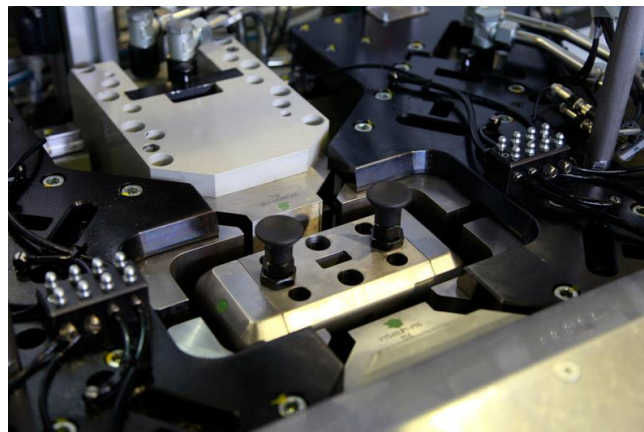


Figura 9 - Máquina de Conformação (Recuperado de: <https://www.sirmaf.pt/pt/produtos/>)

A Solien, criada em 2005, tem como principal objetivo colocar ao dispor da indústria nacional e internacional serviços de Engenharia através da integração dos seus técnicos na estrutura do cliente. A empresa é constituída por 18 colaboradores, maioritariamente engenheiros mecânicos, que oferecem soluções a questões de falta de capacidade ou de *know how* do cliente em situações pontuais ou de média duração. Para além da cedência técnica, a Solien atua na

conceção de processos industriais e na gestão de projetos de engenharia, sendo alguns dos principais serviços oferecidos:

- Projeto de Equipamentos – atuação semelhante à Sirmaf na conceção e desenvolvimento de equipamentos;
- Otimização de processos, ergonomia e segurança – levantamento das necessidades do cliente, desenvolvimento de fluxogramas e cronogramas de processos. estudo e identificação de pontos de melhoria;
- Estudos de *Layout* 2D e 3D – melhorar fluxos de matérias-primas e de produtos, assim como assegurar acessibilidades e minimizar deslocações;
- Gestão de obra – gestão de projeto e de empresas subcontratadas para a obra, gestão da implantação de máquinas.

1.2. Objetivos e Metodologia do Trabalho

No decorrer do estágio foi possível abordar várias temáticas e acompanhar todo o processo envolvente no desenvolvimento de máquinas industriais. A fase de integração consistiu na aquisição de conhecimentos normativos e na familiarização com as diretivas associadas à construção de máquinas através da leitura, análise e realização de Documentação Técnica. No decorrer do apoio à equipa de projeto mecânico, surgiu a oportunidade de modelar alguns componentes em 3D e peças a incluir na máquina em desenvolvimento. Assim, após a modelação, iniciou-se a criação dos desenhos 2D das peças e restantes Elementos para Produção. Muitas vezes, devido à complexidade da máquina, é necessário validar alguns aspetos de maior risco, sendo para isso necessário dimensionar corretamente os componentes e, se necessário, validar os mesmos através de Análises de Elementos Finitos. Complementando, as folhas de cálculo relativas aos dimensionamentos servem também de auxílio aos restantes colaboradores para que a validação do processo de dimensionamento dos componentes seja cada vez mais rápida e precisa. Tendo em conta o desenvolvimento do estágio curricular e as atividades apresentadas, surge a necessidade de compreender e fundamentar o presente documento através de pesquisas bibliográficas e webgráficas, bem como a conhecimentos lecionados e adquiridos ao longo do percurso académico do estagiário.

O objetivo do presente relatório de estágio curricular visa contextualizar a DM com o projeto mecânico de equipamentos industriais, abordando a estrutura e informação contida na diretiva e evidenciando a importância da segurança das máquinas, através da descrição das atividades desenvolvidas na empresa Solien. Dada a sua importância para o ramo e para o projetista mecânico, o presente relatório aborda as principais temáticas envolventes ao projeto mecânico e aborda a DM no contexto do estágio curricular, relatando a aplicação da diretiva através da formação obtida e conhecimentos adquiridos no período de estágio. Durante esse período, o estagiário esteve inserido na equipa de projeto mecânico da Solien com as funções de projetista mecânico.

De forma a rentabilizar ao máximo a oportunidade da inclusão numa equipa experiente de projeto, o objetivo do estagiário foi de adquirir o máximo de informação possível relativa aos

processos e às ações desenvolvidas na empresa, auxiliando a equipa em todas as vertentes e colocando em prática os conhecimentos adquiridos durante a sua formação académica. Assim, tornou-se clara a importância da Diretiva Máquinas para o projeto mecânico, podendo afirmar que o grande foco do estágio passou pela contextualização e aplicação da Diretiva nos diferentes projetos em que o estagiário esteve envolvido.

A Diretiva Máquinas (DM) estabelece as regras e os requisitos essenciais de saúde e segurança que as máquinas produzidas na União Europeia (UE) devem obedecer, de forma a serem colocadas no mercado europeu sem comprometerem a saúde e segurança das pessoas. A DM assume um papel fundamental, culminando na marcação CE e na elaboração da declaração de conformidade europeia que acompanha a máquina, garantindo assim que o equipamento cumpre as normas aplicáveis.

Devido à sua importância, a diretiva é um tema constante no dia a dia da equipa de projeto mecânica e o seu conhecimento e correta aplicação é um dos requisitos essenciais para definir um bom projetista mecânico.

1.3. Organização do Relatório/Estrutura da Dissertação

Considerando os objetivos propostos anteriormente, o presente relatório encontra-se dividido em oito capítulos. No capítulo 1 é abordado o tema do relatório e o período de estágio curricular onde é apresentado o trabalho desenvolvido, os serviços oferecidos pela Sirmaf/Solien, os objetivos do estágio e do estagiário e a estruturação do relatório.

No capítulo 2 é apresentado o processo interno da empresa onde o estágio foi realizado, como a estruturação interna, o fluxograma de projeto e ferramentas de apoio ao projetista mecânico fornecidas pela empresa. No final do capítulo é relatada uma breve contextualização do sistema *Poka Yoke*, ferramenta implementada nos projetos desenvolvidos e nos processos internos de fabrico e montagem.

O capítulo 3 compreende a abordagem teórica ao projeto mecânico, apresentando o ciclo de vida do projeto, as normas harmonizadas e introduz-se de forma sintetizada a documentação fundamental que acompanha as máquinas desenvolvidas e a lista da documentação a fornecer ao cliente no término do projeto.

No capítulo 4 procede-se à contextualização dos projetos desenvolvidos no período de estágio, sem referência ao cliente, de modo a não entrar em conflito com os acordos de confidencialidade que a empresa tem de cumprir.

O capítulo 5 aborda a importância da DM no projeto mecânico, apresentando a estruturação da diretiva e as obrigações do projetista mecânico enquanto fabricante do equipamento.

No capítulo 6 é contextualizada a DM com as ações desenvolvidas no decorrer do período de estágio em conformidade com a devida aplicação no projeto, evidenciando a sua importância e as ações realizadas na empresa por parte do estagiário.

No capítulo 7 são apresentados os dimensionamentos mais relevantes, efetuados na empresa, no contexto do projeto da unidade de tratamento de ar.

Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões relativas ao estágio e ao presente relatório, em conformidade com os objetivos propostos no presente capítulo.

2. Processo Interno para Desenvolvimento de um Projeto

A estrutura da empresa compreende 5 departamentos principais. No organograma seguinte, reproduzido através do modelo presente no website da Sirmaf (Figura 10), é possível observar os vários departamentos existentes.

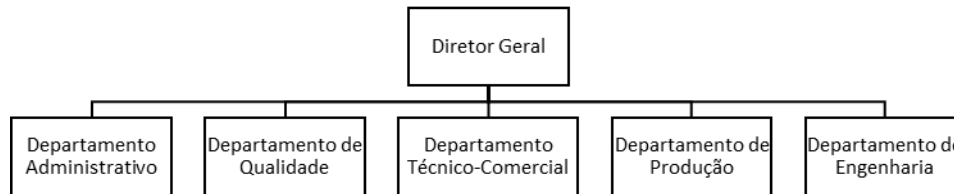


Figura 10 - Organograma Sirmaf

O Departamento Administrativo atua como líder e é responsável pelas atividades de negócio e pela gestão das finanças e dos recursos humanos. O Departamento de Qualidade, incluído no Departamento Administrativo, visa garantir a otimização dos resultados, a qualidade das máquinas produzidas e dos serviços oferecidos.

O Departamento Técnico-Comercial mantém um contato mais próximo com o cliente e é responsável pelo início dos processos inerentes ao projeto, pela definição das *guidelines* e da componente orçamental para a realização do mesmo. Adicionalmente, o departamento também é responsável pelo Estudo de Processo que inclui a criação de Especificações Técnicas necessárias antes da iniciação do projeto, e Cadernos de Encargos com base no formato do cliente e que servem de base para o Departamento de Engenharia desenvolver o projeto. O setor de vendas é também incluído neste departamento, sendo responsável pela compra e venda de componentes para as obras, assim como para reposição de *stock's* internos.

Responsável pela produção de peças e pela montagem das máquinas, o Departamento de Produção assume a etapa final do processo da obra. Na zona de Fabrico, as peças únicas criadas pelos projetistas são produzidas com o auxílio de centros de maquinação, fresadoras, tornos e serrotes mecânicos. Na zona de produção, mecânicos e eletricitas de Sistemas Industriais efetuam a montagem das máquinas que, a par com os técnicos de automação e os projetistas mecânicos realizam todos os testes e validações necessárias para que a máquina esteja totalmente funcional para entrega ao cliente.

O Departamento de Engenharia inclui duas equipas: Projeto Mecânico e Projeto Elétrico e de Automação, trabalhando constantemente em conjunto na conceção de máquinas e tendo como base o Caderno de Encargos associada a cada obra. Constituída por 16 engenheiros mecânicos, a equipa de projeto mecânico realiza a modelação 3D da máquina, os desenhos técnicos dos componentes criados e respetivos Elementos para Produção (EP). Também é da sua responsabilidade a criação de toda a documentação técnica da máquina, uma obrigação legal da Diretiva Máquinas. A equipa de projeto elétrico, constituída por 13 engenheiros eletrotécnicos, cria os esquemas elétricos e pneumáticos da máquina, sendo sua responsabilidade a

automatização e programação da máquina. Em conjunto, as equipas desenvolvem Especificações Técnicas e procedem ao dimensionamento de componentes necessários para a construção da máquina final.

2.1. Fluxograma de Projeto – Departamento de Engenharia

Cada processo tem as suas próprias características que o diferenciam de todos os outros. De uma forma geral, para o Departamento de Engenharia, o fluxograma seguinte apresenta as etapas padronizadas.

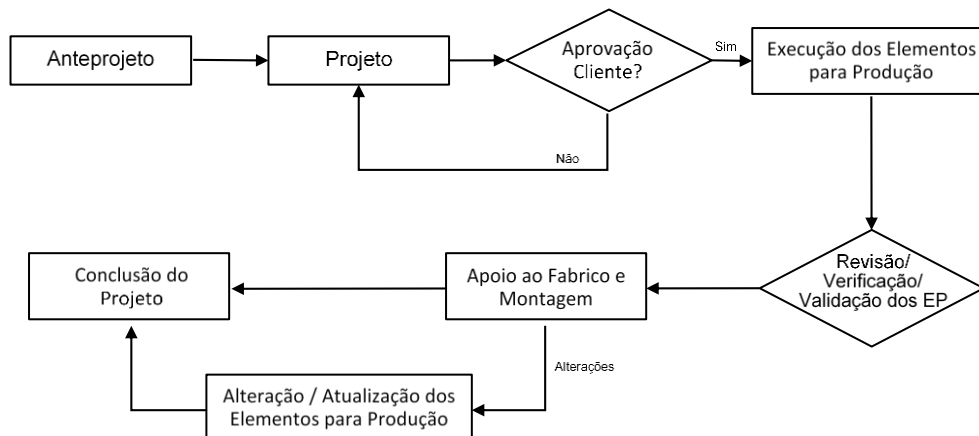


Figura 11 - Fluxograma de Processo de Projeto Mecânico (Fonte: Doc. Interna Sirmaf)

Com base na documentação interna da Sirmaf a fase de **Anteprojecto** tem como objetivo definir as linhas principais do projeto e servir de validação junto do cliente com a criação de um *Mockup* do projeto. Um *Mockup* é a representação, em escala ou tamanho real, do conceito apresentado e é usado com o intuito de demonstrar e validar junto do cliente o conceito previsto para o projeto. Com base no Caderno de Encargos, é efetuada a definição geral do funcionamento e a respetiva compatibilização dos equipamentos envolvidos no processo. Estabelecido o funcionamento procede-se ao estudo das soluções e à análise dos seus custos de modo a possibilitar a caracterização técnica dos componentes, auxiliando a sua consulta e seleção.

No **Projeto** ocorre a definição precisa de todos os componentes previstos no anteprojecto, com a criação de Especificações Técnicas que valida e compatibiliza todos os equipamentos a integrar no projeto. Nesta fase, o modelo 3D, realizado no software *Autodesk Inventor*, encontra-se numa fase final de desenvolvimento e aguarda aprovação por parte do cliente. Caso não seja aprovado, é necessário proceder às respetivas modificações do projeto.

Após a aprovação do modelo 3D realiza-se a **Execução dos Elementos para Produção** que consiste na criação dos desenhos de peças de fabrico, de conjunto, nomenclaturas e esquemas aplicados na obra. No Capítulo 3 é descrito o processo e todos os documentos que devem estar presentes para entrega dos EP ao cliente e ao Departamento de Produção.

Antes da entrega dos EP é feita uma revisão dos mesmos pelo responsável do departamento com vista a validar toda a documentação criada pelo Departamento de Engenharia e são definidas datas previstas para cada ação a desenvolver. Estas datas ditam o planeamento do Fabrico e da Montagem, e definem os prazos de entrega para as peças fabricadas e para a montagem da máquina, que inclui uma fase de testes e ensaios antes da entrega ao cliente. A validação dos EP é efetuada através da marcação “Bom para execução”, sendo que apenas documentos aprovados transitam para o Departamento de Produção. Durante as operações da Produção o projetista responsável pela obra acompanha as ações, solucionando as eventuais dificuldades que possam ocorrer durante os processos em curso. As alterações aplicadas nos elementos presentes na máquina devem ser adicionadas à sua documentação, mantendo-a devidamente atualizada ao longo de todo o processo. Finalizada a montagem procede-se à realização dos ensaios, de forma a garantir todas as funcionalidades e seguranças previstas no Caderno de Encargos. Esta tarefa é da responsabilidade de ambos os departamentos, sendo que o projeto é concluído com a validação dos ensaios.

2.2. Apoio ao Projetista Mecânico

A ferramenta mais utilizada pelo projetista é o *Autodesk Inventor*. Para apoiar a utilização do mesmo, a empresa possui um manual interno intitulado de “Manual de Projeto *Inventor*” e oferece formação regular por parte de empresas certificadas pela *Autodesk*. Assim, o estagiário teve a oportunidade de participar na formação obtendo um Certificado de Conclusão *Autodesk*.

Para facilitar a compreensão e entendimento de toda a equipa, são definidos alguns tópicos principais que uniformizam a apresentação dos modelos 3D, os desenhos de produção e alguns processos mais habituais. Complementando, são sugeridas boas práticas a ter em conta na modelação 3D, instruções para a realização de modelos em chapa e estruturas metálicas e boas práticas na realização de desenhos 2D de fabrico. É adotado um sistema de cores a aplicar na modelação 3D que subdivide três categorias típicas: as Peças Cliente, os componentes comprados standardizados e as peças a fabricar. A maior vantagem neste sistema é a fácil compreensão de todos os elementos envolvidos, sejam eles pertencentes à equipa, a outro departamento ou até mesmo o cliente. As reuniões tornam-se assim mais fluidas e produtivas, quando apresentado o estado do projeto ou do modelo 3D que está a ser desenvolvido.

Outro foco deste manual prende-se também nos tratamentos térmicos e superficiais utilizados pela empresa. Fruto da experiência adquirida e do relacionamento com vários fornecedores, são sugeridos alguns materiais e tratamentos térmicos tipicamente utilizados nos projetos realizados. Seja pelo preço do material ou pelas suas características mecânicas para maquinar e resistir às cargas a que será sujeito, alguns materiais são tipicamente escolhidos quando estão associados a um determinado processo de fabrico e utilização. Por exemplo, para construções soldadas é utilizado o Aço ao Carbono St 37 com proteção através de metalização, escolha típica na empresa devido ao historial de utilização em projetos anteriores. Concluindo, a uniformização dos tratamentos térmicos e superficiais utilizados pelas empresas

subcontratadas, levam a uma diminuição dos erros na fabricação das construções soldadas que tipicamente constituem a estrutura base da máquina projetada.

2.3. Poka Yoke

O sistema *Poka Yoke* foi criado por Shigeo Shingo, engenheiro de produção da Toyota, em 1961. O conceito foi formalmente apresentado em 1986, no livro “*Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka Yoke Systems*” do criador.

Segundo Shingo (1986), o sistema é “*uma metodologia (ferramenta) para alcançar o Defeito Zero e eliminar a necessidade de inspeções de Controle de Qualidade*”. Este tipo de sistema permite evitar a ocorrência e repetição de erros na produção e na utilização de equipamentos, utilizando mecanismos de controlo para facilitar a inserção de componentes e o fabrico dos mesmos.

Para Shimbun (1988), existem três tipos de dispositivos *Poka Yoke*:

- Dispositivos de inspeção para detetar erros na origem;
- Dispositivos de inspeção de defeitos de baixo custo;
- Dispositivos de ação imediata.

Shingo dividiu os sistemas *Poka Yoke* em duas categorias: regulação e configuração. Os sistemas reguladores podem ser métodos de controlo, que travam a máquina e cessam a operação após identificar uma anomalia, ou então métodos de aviso que se limitam a alertar os operários da ocorrência de alguma irregularidade. Os métodos de configuração são classificados quanto ao contato, ao seu conjunto e ao número de etapas. Para os métodos de contato, as anomalias são detetadas se não existir o devido contato entre o equipamento e o dispositivo de deteção. O método de valor fixo, ou de conjunto, verifica se o número de repetições pré-determinadas se repetem, enquanto o método de movimentação, ou de número de etapas, deteta anomalias avaliando se as instruções de trabalho foram, ou não, cumpridas (Shingo, 1986).

No contexto empresarial em que o estagiário esteve inserido, os sistemas *Poka Yoke* são cada vez mais utilizados, principalmente nos processos de Soldadura. Efetuados maioritariamente por fornecedores externos, a criação destes sistemas nos componentes diminui o tempo de entrega dos mesmos e diminui bastante o erro por parte do fornecedor. Devido a serem constituídos por saliências de reduzidas dimensões e espessuras, a maioria destes sistemas é fundido durante o processo de união dos materiais, não existindo qualquer vestígio dos mesmos após o tratamento e pintura das peças.

A nível construtivo, um dos projetos desenvolvidos pelo estagiário incorpora este tipo de sistema, possuindo uma base única que tem a capacidade de transportar vários tipos de componentes. Para isso, foram criados canais e batentes que impossibilitam a colocação de cada componente na posição errada, como demonstrado no capítulo 6.

3. Projeto Mecânico no Fabrico de Equipamentos

A definição de projeto mecânico pode ser apresentada de várias maneiras, no entanto é possível afirmar que o objetivo é a obtenção de um determinado produto. Assim, o projeto é definido pelo *Project Management Institute* (2008) como um esforço temporário com o objetivo de criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A definição apresentada por Completo e Melo (2017) define um projeto como o conjunto de atividades que tem um ponto inicial e um estado final definidos, perseguindo metas estabelecidas, usando um conjunto de recursos sempre limitados. Num projeto de produto o objetivo é um produto definível, tipicamente especificado em termos de custo, qualidade e prazo em resultado das atividades do projeto. Os projetos são sempre complexos, muito devido à sua singularidade, visto que sempre existirá um fator distintivo mesmo quando esse projeto utiliza elementos repetitivos

3.1. Ciclo de Vida do Projeto

A Figura 12, apresentada pelo *Project Management Institute* (PMI), demonstra de uma forma bastante simplificada, as fases do projeto de modo sequencial e que definem o processo em curso.

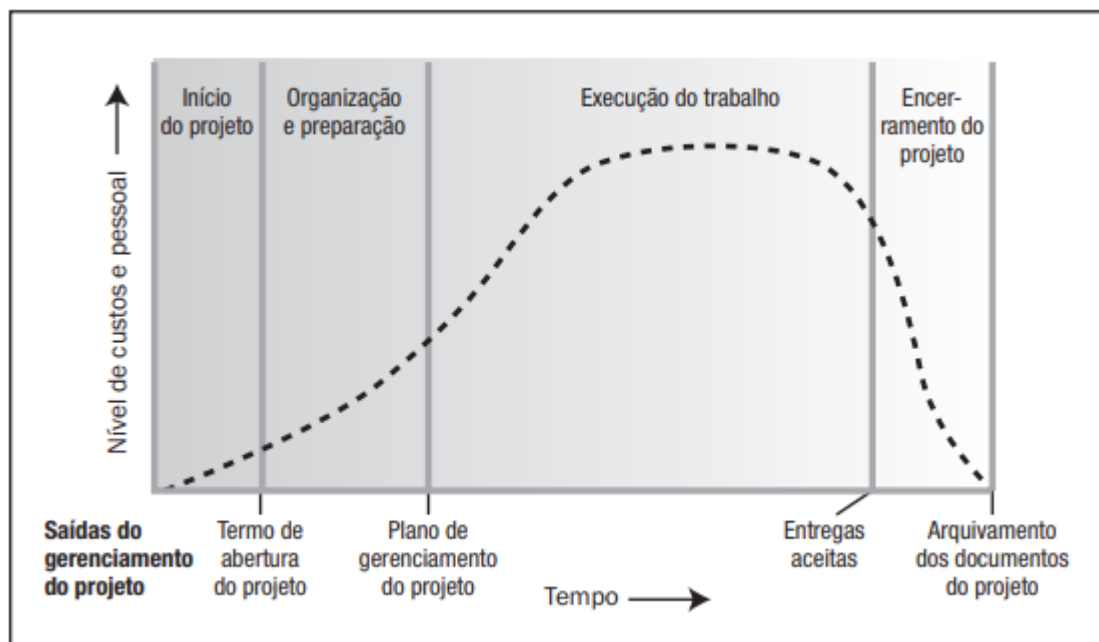


Figura 12 - Nível de custos e pessoal ao longo do seu ciclo de vida (PMI, 2012)

Na fase inicial do projeto (Anteprojeto) são definidas as principais especificações da máquina, tais como o estudo das soluções construtivas, análise dos custos e da funcionalidade. As ações realizadas no espaço temporal que definem o início do projeto e a organização do mesmo é da responsabilidade do Departamento Comercial no qual engenheiros com vastos anos de experiência estudam as diferentes soluções e características técnicas do projeto, procedendo à consulta e seleção de equipamentos a introduzir na máquina e à definição do processo geral de funcionamento. Nesta fase, caso necessário, é criado o “*Mockup*” da máquina. Após a fase

inicial de definição geral, é criado o Caderno de Encargos da obra de forma a definir concretamente e próxima da definitiva as exigências de carácter técnico que o processo terá de executar e garantir. Paralelamente, facilita a compreensão e entendimento de toda a equipa, contextualizando todos os elementos do pedido do cliente e das ações a desenvolver no projeto.

No decorrer da execução do projeto procede-se à definição precisa de todos os componentes a integrar na máquina, o que leva muitas vezes a alterações e/ou substituição de elementos, obrigando assim à criação de novas especificações técnicas e à repetição do processo de consulta e seleção de componentes. Com o auxílio dos programas de modelação, é efetuada a compatibilização de todos os equipamentos e componentes na máquina, processo que deve estar em conformidade com as normas aplicáveis. De seguida, após aprovação do cliente, procede-se ao desenvolvimento dos elementos para produção, que abrange o desenho técnico de componentes, os resultados dos ensaios efetuados, entre outros. Deve constar nesta documentação:

1. Ficha de Ensaios;
2. Nomenclatura Mecânica e Elétrica;
3. Desenhos Técnicos de Peças de Fabrico;
4. Desenhos de Conjunto e Subconjunto;
5. Esquemas Elétricos, pneumáticos e outros;
6. Fluxograma;
7. Cronograma;
8. Programas de Automatismos.

O encerramento do projeto é ditado pela entrega da máquina e de toda a documentação ao cliente, que deve conter os elementos apresentados no subcapítulo 3.6. O Desenvolvimento de Produto associado ao Ciclo de Vida do Projeto compreende uma abordagem mais detalhada ao Processo de Projeto Mecânico. Com base na Figura 13, o processo é diferenciado em três tipos: Exploração, Design e Industrialização do produto.

A fase de Exploração consiste em:

1. Conceção de ideias;
2. Análise de Requisitos e realização de Especificações e Planeamento do projeto.

Na fase de Design do produto, temos:

3. Estudos preliminares (Enquadramento Legal e Normativo);
4. Arquitetura do produto e revisão das especificações;
5. Criação e seleção de conceitos;
6. Anteprojecto (Modelação Geométrica das soluções construtivas, etc.);
7. Projeto de detalhe (Modelação Geométrica do produto acabado e criação de Documentação Técnica);
8. Prototipagem (Construção e Validação de Protótipos);

Na industrialização do produto são realizados:

9. Testes para industrialização (realização de testes preliminares e ensaios de verificação).

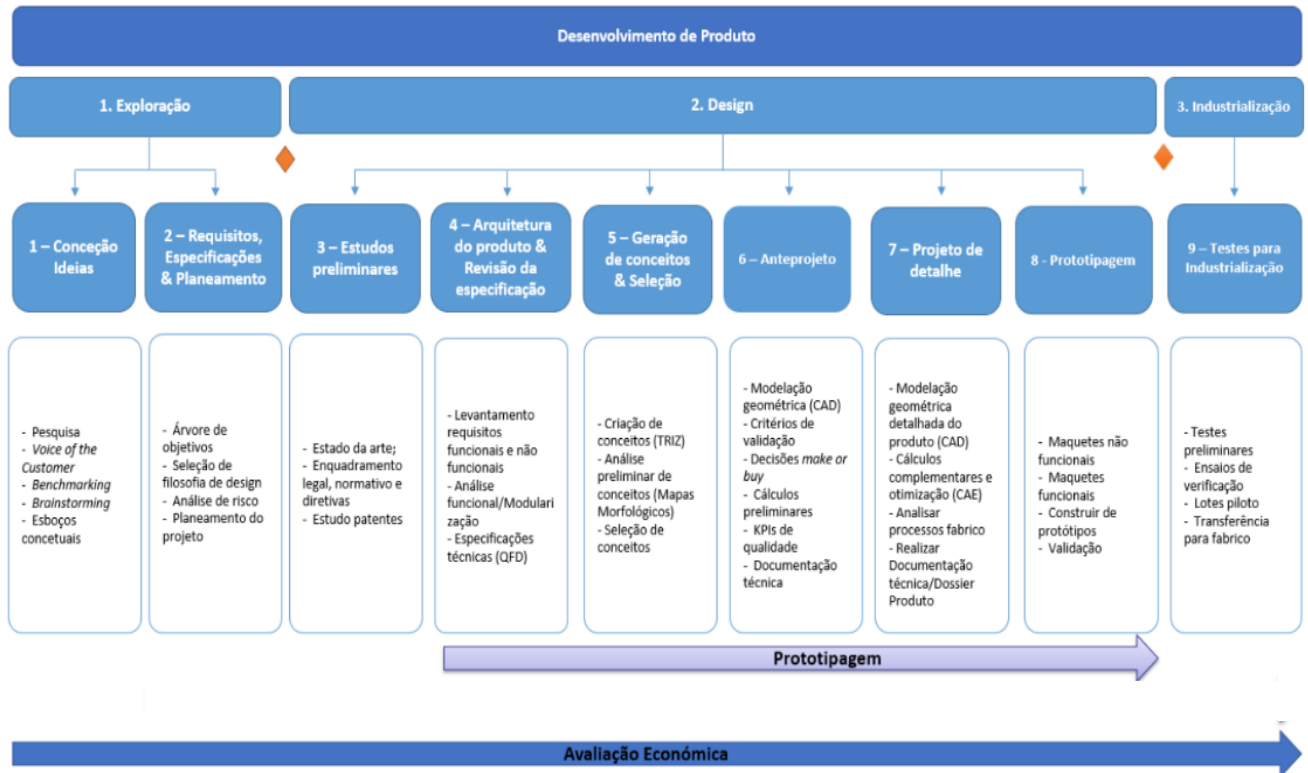


Figura 13 – Representação do processo de Desenvolvimento de Produto

3.2. Normas Harmonizadas

Com o objetivo de facilitar e potencializar as verificações de conformidade com as diretivas, as Normas Harmonizadas são elaboradas a pedido da Comissão Europeia. Ao contrário dos requisitos essenciais estas não são obrigatórias, no entanto, não conferem uma garantia de conformidade com a diretiva para a qual foi elaborada (Oliveira H., 2010).

As Normas Harmonizadas são redigidas pelos Organismos Europeus de Normalização: Comité Europeu de Normalização (CEN), Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC) ou Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI). Estes, oferecem documentos de apoio ao correto cumprimento das diretivas, criando assim a oportunidade de o fabricante elaborar e redigir a documentação necessária para apor a marcação CE nas suas máquinas (Aguiar F., 2014).

Em Portugal foi aprovada a orgânica do Instituto Português da Qualidade, I. P. (IPQ, I. P.) pelo Decreto-Lei 71/2012, de 21 de março e alterado pelo Decreto-Lei nº80/2014, de 15 de maio. O IPQ, I. P. possui a missão de coordenação do Sistema Português da Qualidade (SPQ), bem como do desenvolvimento das atividades inerentes às funções de Organismo Nacional de Normalização (ONN) e da Instituição Nacional de Metrologia (INM). O Instituto enquanto

ONN tem como objetivo promover a elaboração de normas portuguesas, garantindo a coerência e promovendo o ajustamento da legislação nacional às normas da União Europeia, e enquanto INM garantir o rigor e exatidão das medições realizadas assegurando a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida.

A nível externo, o IPQ, I. P representa Portugal nas estruturas europeias e internacionais de normalização. A nível europeu, está presente nos Organismos Europeus de Normalização, nomeadamente CEN, CENELEC e ETSI; e a nível internacional, representa o país na *Internacional Organization for Standardization (ISO)* e na *Internacional Electrotechnical Commision (IEC)* (Oliveira H., 2010).

3.3. Caderno de Encargos

De acordo com Farinha J. (2011), o Caderno de Encargos deverá invocar a legislação e todas as normas específicas necessárias para salvaguardar os interesses da empresa, incluindo o respeito do prazo de entrega por parte do fornecedor. Assim, devem ser exigidas garantias financeiras, técnicas e o cumprimento dos prazos de entrega acordados uma vez que as características técnicas e funcionais do equipamento devem ser claras e terem em consideração as normas aplicadas, a manutibilidade e a segurança do equipamento. Posteriormente procede-se à especificação do processo e às necessidades técnicas que o equipamento deve oferecer, mas não como o alcançar, ou seja, não se indica a solução técnica e/ou construtiva. Assim, o fornecedor tem toda a liberdade para desenvolver e especificar o componente/equipamento (Completo e Melo, 2017).

De forma geral, o Caderno de Encargos deve conter informação relativa a:

- Definição do produto, antes e depois de processado;
- Fluxograma de processo e a respetiva gama operatória;
- Parâmetros de processo que o equipamento deve assegurar;
- Indicação do tempo de ciclo para o processo e mudanças de *setup*;
- Layout do posto de trabalho e do espaço envolvente;
- Características das infraestruturas;
- Requisitos específicos de qualidade (Ausência de danos, capacidade¹, etc);
- Normas/Diretivas a respeitar;
- Requisitos de aceitação do equipamento;
- Cronograma do projeto até à fase final.

3.4. Especificações Técnicas

De modo a realizar consultas de mercado para o fornecimento de determinado equipamento a incluir no projeto, são criadas especificações técnicas. Estas especificações não são mais que um caderno de encargos focado num determinado equipamento, tendo o mesmo princípio de liberdade para com o fornecedor.

¹ Capacidade – Conceito que define se o produto é capaz, se respeita todas as especificações

Assim, uma especificação técnica deve abordar uma série de tópicos, com vista à correta definição do equipamento. São eles:

- Layout de implantação – prende-se com a necessidade de conhecer a área onde os equipamentos vão ser instalados, garantindo assim que as suas dimensões são compatíveis com a área disponível e considerando as interações com equipamentos e processos adjacentes;
- Especificação de produto – a par da especificação e definição do produto, deve ser contemplada uma avaliação de riscos como a *Design Failure Mode and Effect Analysis* (DFMEA) onde são avaliados os efeitos no cliente de todos os possíveis desvios às características que o produto tem de cumprir. É também importante referir que muitas vezes estas especificações são efetuadas quando o produto não está completamente definido, o que implica um contato próximo com a equipa de desenvolvimento para que todas as alterações ao *design* sejam devidamente avaliadas;
- Fluxo de processo e gama de operações – permite indicar de forma clara a sequência de operações, o tipo de operação (processo, controlo, descarga), o meio de realização (manual ou automática) e os tempos associados;
- Avaliação de risco aos processos do equipamento – Na empresa, tipicamente, é realizado um *Process Failure Mode and Effect Analysis* (PFMEA) que resulta numa série de medidas destinadas a minimizar a ocorrência de falhas de processo, que serão incluídas no Caderno de Encargos da obra.

3.5. Ferramentas de Engenharia de Processo

Para garantir o cumprimento dos prazos acordados com o cliente e o cumprimento do Caderno de Encargos, são utilizadas ferramentas que auxiliam no acompanhamento e controlo do projeto. A OPL, ou “*Open Point List*”, é um documento identificativo de ações com o objetivo de garantir a sua conclusão e facilitar o controlo dos trabalhos em curso, dos problemas a resolver e dos resultados expectáveis aquando da sua conclusão. O seu formato varia em função da atividade visto ser um documento transversal a várias áreas de trabalho e que deve conter informação relativa à origem das ações, datas, descrição e quantificação do problema, assim como a descrição da ação, do responsável e do prazo para o término da mesma.

O ciclo *Plan, Do, Check, Action* (PDCA) é um método de análise e melhoria de processos criado por Walter Shewhart e disseminado pelo mundo por Deming. Segundo Tapping (2008), o ciclo é uma ferramenta de grande utilidade na análise e melhoria de processos organizacionais e para a eficácia do trabalho da equipa. (Farinha J.,2011)

Para Farinha (2011), o ciclo compreende quatro etapas:

- Planear (*Plan*) – definição dos objetivos a alcançar e do método para os alcançar;
- Executar (*Do*) – execução das tarefas previstas na fase de planeamento e recolha de dados para a próxima fase do processo;
- Verificar (*Check*) – verificação da execução das ações planeadas e identificação dos desvios relativamente aos objetivos;
- Agir (*Act*) – definir e identificar ações que eliminem as causas dos desvios.

Para este autor, *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) – Análise de Modos e Efeitos de Falha – é uma metodologia que garante a qualidade e fiabilidade de equipamentos e processos, desde a fase de conceção ao período de funcionamento, permitindo sistematizar a avaliação dos modos de falha. Esta ferramenta auxilia na identificação das falhas nos equipamentos através do reconhecimento das potenciais avarias e das respetivas propostas de resolução.

A análise FMEA pode ser dividida em dois grupos (Farinha J., 2011):

- FMEA de Equipamento – são consideradas falhas que podem ocorrer com o equipamento no âmbito das especificações do projeto (intitulada de FMEA de projeto com o objetivo de eliminar as falhas dos equipamentos decorrentes do projeto);
- FMEA de Processo – são consideradas falhas inerentes ao planeamento e execução do processo, evitando assim falhas de processo com o objetivo eliminar as não conformidades do equipamento com as especificações do projeto.

Segundo Toledo e Amaral (2001), as etapas da implementação da análise FMEA são iguais para ambos os grupos e consistem em 6 etapas principais (Farinha J.,2011):

1. Planeamento;
2. Análise das Falhas Potenciais;
3. Avaliação dos Riscos;
4. Melhoria;
5. Acompanhamento;
6. Relevância.

3.6. Documentação a Fornecer ao Cliente

A documentação a fornecer ao cliente, aquando do término do projeto, é habitualmente intitulada de “entregáveis” que contêm a documentação técnica e legal que acompanha a máquina, podendo variar com as diretivas e legislação aplicada ao projeto em questão. De modo geral, os entregáveis devem conter:

1. Declaração de Conformidade (Marcação CE) – documentação certificadora de que o produto satisfaz os requisitos legais previstos para a máquina;
2. *Datasheet* – define as características técnicas da máquina (usualmente incluído no manual da máquina);
3. Placa de Identificação – é da responsabilidade do fabricante o fornecimento da placa identificativa a colocar na máquina;
4. Manual de instruções técnico e operacional – é obrigação do fabricante criar e fornecer o manual de instruções, incluindo planos de manutenção;
5. Nomenclatura – identifica todos os componentes presentes na máquina;
6. Esquemas – esquemas elétricos e pneumáticos;
7. Desenhos – inclui-se neste tópico os desenhos de fabrico, de conjunto e de montagem;
8. Tabela de Manutenção Preventiva
9. Avaliação de Riscos – é fornecido todas as avaliações e análises efetuadas à máquina e ao seu funcionamento;
10. Planos de Transporte – instruções para o transporte em segurança, sem danificar a máquina ou qualquer componente;

11. Planos de Instalação – identificação da área de serviço da máquina e ligações a componentes externos;
12. Documentação Técnica dos Elementos Aplicados – *Datasheet's*, Manuais de Instruções, Esquemas e Desenhos dos componentes e equipamentos aplicados na máquina.

4. Contextualização dos Projetos Desenvolvidos

4.1. Unidade de Tratamento de Ar

A criação de uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) representa o projeto de maior dimensão e duração que teve o envolvimento do estagiário. O cliente internacional requereu uma elevada exigência e rigor em todo o processo de criação desta unidade.

O pedido do cliente foi a criação de uma UTA com capacidade para processar ar quente até 1000 m³/h Normalizados, a uma temperatura máxima entre 300°C e 350°C. O ar proveniente da cura dos metais do processo de moldagem em areia apresenta altos níveis de poluentes voláteis, emitindo maus odores e causando irritações ao contato com o ar contaminado. Um dos principais requisitos direcionou-se na necessidade de todo o equipamento ser isolado termicamente de forma a ser energeticamente eficiente e seguro para o utilizador, cumprindo todas as normas europeias aplicáveis.

De seguida é apresentada uma representação esquemática do funcionamento da máquina, assim como dos principais componentes aplicados no equipamento:

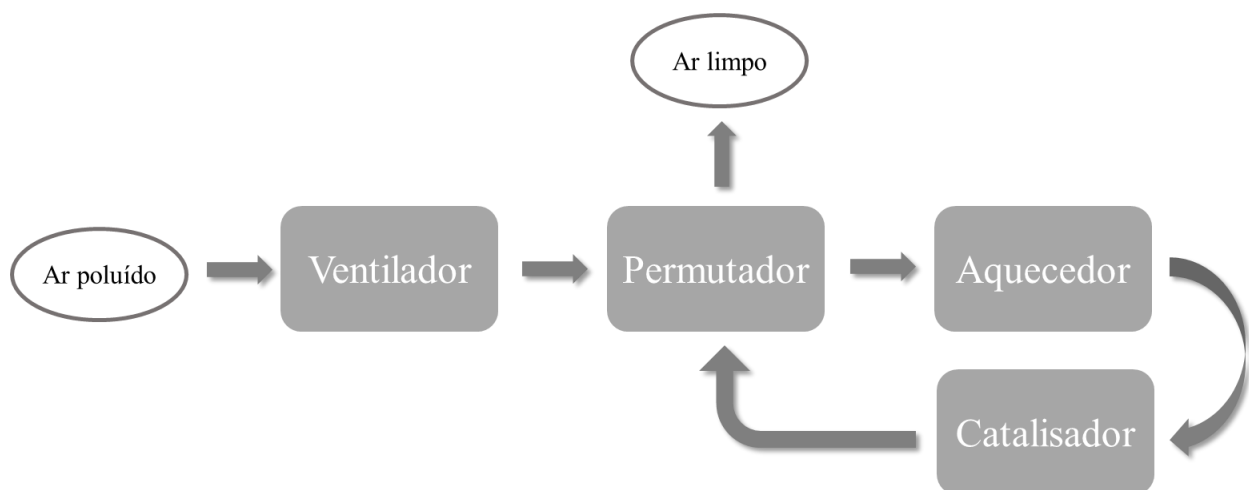


Figura 14 – Representação esquemática do funcionamento da máquina

O processo de funcionamento da UTA consiste na recolha do ar através de um Ventilador Centrífugo, possuidor de certificado ATEX, que insufla o ar para o permutador de calor onde é pré aquecido através da transferência calorífica promovida pelo permutador, entre o ar que provém dos catalisadores e o que entra na máquina. Posteriormente, o aquecedor aumenta a temperatura para valores a rondar os 350°C com o objetivo de garantir a entrada do ar nos catalisadores a pelo menos 300°C, potencializando assim um processo químico de remoção dos agentes nocivos presentes no ar contaminado. Após os catalisadores, o ar volta ao permutador de calor, onde reduz a sua temperatura transferindo calor para o ar que inicia o circuito. O processo encontra-se assim concluído, tendo como produto final um ar mais limpo e menos nocivo para o meio ambiente.

Foram aplicados sensores de Temperatura, de Humidade, de Caudal e um sensor diferencial de pressão na entrada do circuito. Os sensores de temperatura encontram-se presentes ao longo da tubagem da máquina, para controlo da temperatura em vários pontos, de modo a garantir que a reação química nos catalisadores ocorra nas condições ótimas. Os sensores de humidade e caudal encontram-se presentes na tubagem de entrada, já o diferencial de pressão aplicou-se no permutador de calor de modo a registar a diferença de pressão entre a entrada no permutador e a saída da máquina.

Relativamente ao material, foi escolhido o aço inoxidável AISI 304 nos componentes em contato com o ar poluído. As estruturas metálicas que funcionam como base do equipamento foram dimensionadas em aço de baixo carbono St37, com previsão de revestimento de forma a proteger o material da oxidação. Para proteção do isolamento, foi selecionado chapa de aço galvanizado e nos pontos críticos, aço inoxidável AISI 304, de forma resistir às eventuais condições a que a unidade seja exposta.

4.2. Tabuleiros para Transporte Interno de Produto

Neste projeto foi solicitada a criação de suportes para aplicar nos tabuleiros utilizados pelo cliente nas suas instalações, que acoplam todos os modelos já em produção, e aos quais se adicionam os novos modelos em produção. No total são oito modelos diferentes, sendo que o apoio criado tem de ser compatível com todos eles, garantindo que suportam as peças sem danos durante os processos de carga, transporte e abastecimento à linha de produção final.

O cliente forneceu o modelo 2D e 3D dos tabuleiros atuais e de todos os produtos a acoplar nos suportes, pretendendo a colaboração da Solien na apresentação de uma solução para o suporte universal. Devido ao fato do produto não poder ultrapassar os limites do tabuleiro, a primeira ação passou por estudar a disposição dos produtos, otimizando ao máximo o espaço útil. Depois da disposição definida e aprovada, foi realizado o estudo de soluções para o suporte. Assim, foram apresentados os conceitos e os modelos 3D, discutidas as soluções técnicas encontradas com o cliente e após aprovação, iniciou-se a criação dos desenhos de pormenor para o fabrico de um protótipo com vista a validar a sua funcionalidade e requisitos de segurança. A Figura 15 representa o modelo CAD do conceito aprovado para a construção dos tabuleiros.

As normas de segurança e ergonomia devem ser respeitadas integralmente, sendo que o cliente possui manuais próprios para auxiliar a gestão do projeto. Os pressupostos considerados no *design* foram: peso máximo em vazio de 6 kg, carga e descarga efetuada pelo mesmo lado, tabuleiro em alumínio e o material dos suportes em chapa de aço inoxidável, em plástico técnico ou em aço tratado, deixando a escolha ao cargo do projetista mecânico.

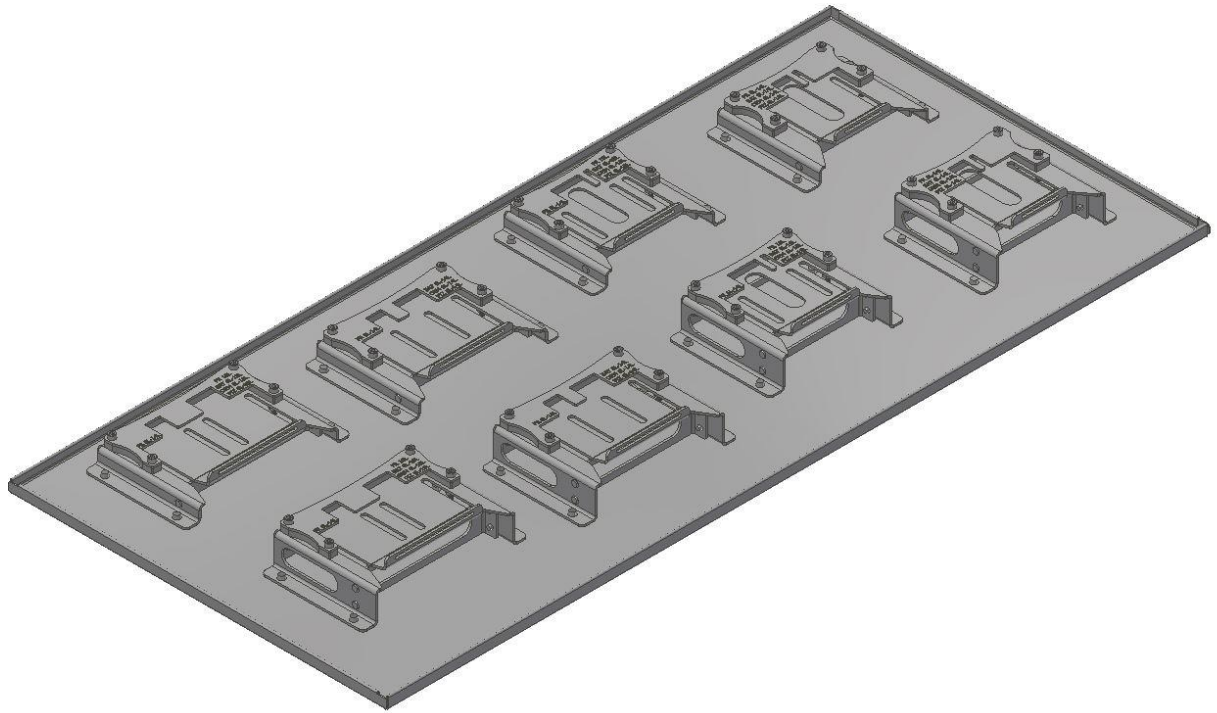


Figura 15 – Modelo CAD do Projeto de Tabuleiros de Transporte Interno de Produto

O presente projeto permitiu um acompanhamento completo das diferentes fases do projeto uma vez que foi acompanhado pelo estagiário desde o seu início, que esteve envolvido na modelação, na seleção de componentes, na criação dos desenhos técnicos, entre outros. O processo de desenvolvimento do projeto realizado pelo estagiário teve as seguintes fases:

1. Receção de tarefas através do Responsável de Engenharia;
2. Modelação 3D;
3. Aprovação do modelo (Solien);
4. Aprovação do modelo por parte do cliente;
5. Criação de desenhos 2D de fabrico;
6. Obtenção do protótipo;
7. Montagem do conjunto;
8. Teste ao protótipo nas instalações do cliente;
9. Alterações ao conceito;
10. Reformulação do modelo 3D;
11. Aprovação do modelo reformulado (Solien + Cliente);
12. Novo protótipo;
13. Aprovação do protótipo;
14. Criação dos Elementos para Produção e toda a documentação exigida pelo cliente.

4.3. Calibres de Forma

O projeto de calibres de forma prevê a criação de dois calibres de tubos e um Jig de *dry test*, de forma a validar o processo de conformação dos tubos. Com o objetivo de validar a forma correta dos tubos, o trabalho a desenvolver pela Solien incidiu na realização do projeto mecânico 3D

de dois equipamentos: um calibre para o tubo sem casquilhos e outro para um Jig *dry test* que controla o tubo após a colocação do casquilho, validando assim a sua forma dentro dos parâmetros exigidos.

No decorrer da criação dos modelos 3D, face à experiência com este cliente, o projetista mecânico deve assegurar alguns pontos, tais como:

- Garantir que o peso respeita o manual de ergonomia do cliente – máximo 6 kg;
- A tubagem deve estar integralmente em contato com o calibre, mesmo em situações de existência de tramos angulares – criação de apoios angulares;
- Nas zonas de curvatura devem existir rebaixos (0.5 mm), com vista a absorver eventuais deformações que possam ocorrer durante o processo de conformação;
- O indexador deve conter ranhuras representativas das cotas máximas e mínimas;
- Prever a utilização de cavilhas no seguimento da forma do tubo, salvaguardando uma folga de 0.1 mm entre a cavilha e o tubo;
- Os números de inventário e de referência da tubagem devem ser gravados na base a 0.2 mm de profundidade.

Após a aprovação do projeto por parte do cliente é realizado o dossier de fabrico que inclui os respetivos desenhos de pormenor, de conjunto, subconjunto, assim como a nomenclatura referente ao calibre/Jig.

4.4. Molde de Proвете

O último projeto realizado no período de estágio consistiu na criação de um molde para provetes de teste. A forma do provete foi simples e que consistiu num paralelepípedo para posterior realização de testes aos materiais injetados. Este projeto centrou-se na criação de um modelo 3D de um molde simples, prevendo um sistema mecânico de extração com a realização de desenhos de produção e a respetiva análise de mercado para fornecedores de componentes para moldes. Esta fase coincidiu com o término do período de estágio.

Relativamente ao sistema mecânico de extração, foram realizadas várias iterações do mesmo, aplicando vários conceitos tipicamente aplicados na área dos moldes, simplificando os sistemas de forma a evitar a utilização de componentes que exijam manutenção regular.

5. Diretiva Máquinas no Projeto Mecânico

O aumento da regulamentação europeia, principalmente a nível industrial, é consequente da existência de um mercado interno único a nível europeu. Numa publicação de fevereiro de 2019, a Comissão Europeia afirma que nos últimos 25 anos a sua existência melhorou significativamente a vida dos cidadãos e dos negócios. O mercado único tornou a comercialização de produtos mais justa e competitiva, criando assim oportunidades para que as Pequenas e Médias Empresas (PME) entrem facilmente no mercado, colaborando com empresas de toda a UE, criando produtos inovadores para comercializar por toda a Europa. As cadeias de valor europeias permitem uma maior diversidade, melhor qualidade e preços mais competitivos para a indústria da UE (Factsheet da Comissão Europeia, 2019)

Devido à livre circulação de produtos foi necessário regulamentar várias indústrias e mercados. A regulamentação aplicada ao setor da indústria mecânica que é responsável pela construção de equipamentos é a Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu, de 17 maio, transposta para a legislação portuguesa pelo Decreto de Lei n.º 103/2008, de 24 de junho. Esta, define os requisitos essenciais de saúde e de segurança de alcance geral, completados por uma série de requisitos mais específicos para certas categorias de máquinas (Diretiva Máquinas, 2006). Além de garantir a segurança dos equipamentos, o documento tem bastante relevância económica. A sua implementação teve um grande impacto no crescimento das PME, elevando os requisitos dos novos produtos obrigando toda a UE a crescer em conjunto, criando mais máquinas, mais fiáveis e com o mínimo custo possível. Através dos programas de PORTUGAL 2020 – COMPETE 2020 – além de apoiar e potencializar o crescimento da economia nacional, assegura o cumprimento dos objetivos e a conformidade dos produtos desenvolvidos com as respetivas diretivas. Não obstante, o principal objetivo da diretiva é de reduzir o número de acidentes de trabalho na utilização de máquinas. De forma à máquina possuir as soluções mais adequadas é importante ter em conta 3 princípios (Roseiro, 2011):

1. Eliminar ou reduzir os riscos na conceção e fabrico da máquina;
2. Implementar medidas de proteção aos riscos não eliminados;
3. Referir explicitamente na documentação os riscos residuais, bem como a necessidade suplementar de proteção individual e/ou formação específica.

A conformidade do equipamento com os requisitos de segurança, saúde e ambiente é simbolizada pela marcação de Conformidade Europeia (CE). A nível europeu, este símbolo tem um grande peso, pois assegura que o equipamento cumpre todas as disposições legais aplicáveis, servindo de garantia de qualidade para o consumidor, sendo obrigatória para todos os produtos comercializados na UE, independentemente do país onde foi fabricado. O fabricante é responsável pela aposição desta marcação, garantindo a conformidade do produto, após verificação segundo a legislação aplicável. É possível concluir que a marcação CE não implica necessariamente que o produto tenha sido testado e aprovado por uma autoridade competente. Quando os requisitos do projeto são mais elevados, seja pelos riscos associados,

ou por simples pedido do cliente, a marcação CE é validada por uma autoridade competente (Aguiar F., 2014).

A presente diretiva também refere os requisitos essenciais de saúde e segurança para a construção de máquinas da indústria alimentar, cosméticas, farmacêuticas e ainda relativamente a equipamentos para trabalhos subterrâneos.

A Diretiva Máquinas assume assim um papel fulcral na indústria, dinamizando os negócios e proporcionando o crescimento sustentável, garantindo os mais altos requisitos de qualidade e segurança nas máquinas construídas na UE, assim como a sua livre circulação no mercado. Com o grande objetivo de minimizar a sinistralidade no trabalho com máquinas, harmoniza os requisitos de segurança e saúde para elevados de proteção

Apesar da marcação ser um símbolo de conformidade em toda da comunidade europeia, no mercado internacional há quem não respeite as Diretivas Harmonizadas. A China, além de não respeitar as regras de proteção do ambiente nem a propriedade intelectual, criou uma marcação idêntica à europeia, apenas diferindo na distância entre as letras C e E. Muitos consumidores são atraídos pela extrema semelhança entre os símbolos, acabando por adquirir produtos de baixa qualidade e pouco controlo, pensando estar a adquirir produtos europeus que estão em conformidade com os parâmetros de saúde e segurança (Santos, 2014).

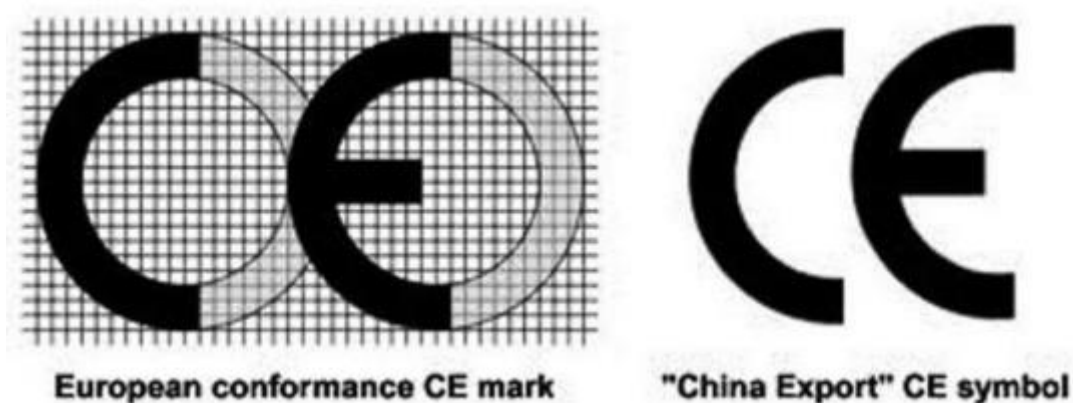


Figura 16 – Diferenças entre marcação de conformidade europeia e “China Export”
(Recuperado de: <https://support.ce-check.eu/hc/en-us/articles/360008642600>)

5.1. Estrutura da Diretiva Máquinas

A Diretiva Máquinas encontra-se listada para consulta no repositório *online* EUR-Lex, que disponibiliza acesso gratuito ao Jornal Oficial da União Europeia, ao Direito da UE, o que inclui tratados, diretivas e acordos internacionais que instituem e regem o funcionamento da mesma.

A DM está organizada em 3 partes (Aguiar F., 2014):

1. Os *Considerandos*, explicitando e clarificando o sentido da diretiva através de pontos de esclarecimento;
2. Os *Artigos*, que abrange todo o contexto geral, explicitando definições, diretivas específicas, organismos notificados, etc.;

3. Os *Anexos*, que abordam assuntos mais específicos, diferentes dos apresentados nos *Artigos*;

Como referido anteriormente, a primeira parte estrutural da diretiva explicita e clarifica o sentido da diretiva, evidenciando a importância da marcação CE, algumas obrigações para o fabricante e o objetivo principal da Diretiva: segurança.

Composta por 29 **artigos**, listados na Tabela 1, são explicitados vários pontos gerais de extrema importância para o cumprimento da DM.

Tabela 1 – Listagem dos Artigos da DM (Diretiva Máquinas, 2012)

<i>Artigo 1.º</i>	Âmbito de aplicação
<i>Artigo 2.º</i>	Definições
<i>Artigo 3.º</i>	Diretivas específicas
<i>Artigo 4.º</i>	Vigilância do mercado
<i>Artigo 5.º</i>	Colocação no mercado e entrada em serviço
<i>Artigo 6.º</i>	Livre circulação
<i>Artigo 7.º</i>	Presunção de conformidade e normas harmonizadas
<i>Artigo 8.º</i>	Medidas específicas
<i>Artigo 9.º</i>	Medidas específicas relativas a máquinas potencialmente perigosas
<i>Artigo 10.º</i>	Procedimento de oposição a uma norma harmonizada
<i>Artigo 11.º</i>	Cláusula de Salvaguarda
<i>Artigo 12.º</i>	Procedimentos de avaliação da conformidade das máquinas
<i>Artigo 13.º</i>	Procedimento para as quase-máquinas
<i>Artigo 14.º</i>	Organismos notificados
<i>Artigo 15.º</i>	Instalação e utilização das máquinas
<i>Artigo 16.º</i>	Marcação «CE»
<i>Artigo 17.º</i>	Marcação não conforme
<i>Artigo 18.º</i>	Sigilo
<i>Artigo 19.º</i>	Cooperação entre os Estados-Membros
<i>Artigo 20.º</i>	Recursos
<i>Artigo 21.º</i>	Difusão da informação
<i>Artigo 22.º</i>	Comité
<i>Artigo 23.º</i>	Sanções

<i>Artigo 24.º</i>	Alteração da Diretiva 95/16/CE
<i>Artigo 25.º</i>	Revogação
<i>Artigo 26.º</i>	Transposição
<i>Artigo 27.º</i>	Derrogação
<i>Artigo 28.º</i>	Entrada em vigor
<i>Artigo 29.º</i>	Destinatários

Dentro dos 29 artigos, alguns merecem mais atenção. É exemplo o Artigo 5.º, sendo a colocação no mercado e entrada de serviço da responsabilidade do Engenheiro, certificando-se da conformidade com as normas, assim como da recolha de toda a informação necessária para a colocação da marcação CE. Isto, obriga o responsável a conhecer toda a legislação aplicável ao projeto, visto ser um processo detalhado e de elevada exigência técnica. O Artigo 11.º clarifica a Cláusula de salvaguarda, relativamente à conformidade de uma máquina abrangida pela presente diretiva. Sempre que um Estado-Membro verifique uma máquina que ostenta a marcação CE, acompanhada da declaração CE de conformidade e que possa comprometer a saúde e segurança das pessoas, deve tomar as medidas adequadas, retirando a máquina do mercado, proibindo a sua colocação e/ou a sua entrada em serviço, restringindo assim a sua livre circulação. O Estado-Membro tem o dever de informar de imediato a Comissão e os restantes Estados-Membros das medidas aplicadas, elaborando um relatório onde indica os fundamentos e os motivos que levaram a esta decisão, especialmente se a não conformidade resultar do incumprimento do artigo 5.º, onde o fabricante é responsabilizado pela aposição da marcação CE, ou se resultar de uma aplicação incorreta ou lacunas das normas harmonizadas.

Os Anexos, secção final da DM, descreve os processos e metodologias a aplicar na construção segura de equipamentos. No Anexo I da DM são abordados os requisitos essenciais de saúde e de segurança relativamente à conceção e ao fabrico de máquinas, especificando as generalidades na conceção, os sistemas de controlo, medidas de proteção contra perigos, etc. No início do anexo são definidos quatro princípios gerais que auxiliam a verificação dos requisitos essenciais de segurança do equipamento. São eles, conforme descrito na diretiva:

1. realização de uma avaliação de riscos iterativa, identificando os perigos e riscos associados à máquina determinando assim os requisitos de saúde e de segurança aplicáveis à mesma. Como referido na DM, “a máquina deve então ser concebida e fabricada tendo em conta os resultados da avaliação dos riscos”, sendo o fabricante responsável por:
 - determinar as limitações do equipamento (utilização prevista e má utilização);
 - identificar os perigos associados ao funcionamento da máquina;
 - avaliar os riscos, tendo em conta a gravidade de eventuais lesões e a probabilidade da sua ocorrência;
 - avaliar os riscos com o objetivo de determinar se é necessário a sua redução;
 - eliminar os perigos ou reduzir os riscos que lhe estão associados.

2. as obrigações previstas pelos requisitos essenciais são aplicadas quando existe o risco correspondente para a máquina considerada, utilizada nas condições previstas pelo fabricante ou pelo seu mandatário, mas também em situações irregulares previsíveis. Para todos, são aplicáveis os princípios de integração de segurança e as obrigações em matéria de marcação de máquinas e instruções;
3. os requisitos essenciais de saúde e segurança são obrigatórios para todas as máquinas abrangidas pela DM, no entanto, nem sempre é possível cumprir todos os requisitos. Nesse caso, a conceção deve, tanto quanto possível, cumprir os requisitos;
4. sendo o anexo composto por partes de âmbito geral e outras mais específicas, é essencial ter em conta a totalidade do documento para garantir o cumprimento de todos os requisitos essenciais, determinados em função dos resultados obtidos na avaliação de riscos efetuada em conformidade com o ponto 1 dos presentes princípios gerais.

O Anexo II da DM contém informações sobre o conteúdo da Declaração CE de conformidade para uma máquina. Esta, deve conter informações relevantes, tais como a descrição e identificação da máquina, o nome e morada do fabricante ou do representante, as normas harmonizadas utilizadas ou outras especificações técnicas, entre outras informações. Tal como o manual de instruções, a redação da declaração é sempre obrigatória em pelo menos uma língua comunitária oficial, tornando assim o fabricante responsável pela tradução da versão oficial para a língua do país de utilização, tal como é exigido na elaboração do manual de instruções da máquina.

A presente diretiva define no Anexo IX, o exame CE tipo utilizado pelas autoridades competentes quando existe a necessidade da marcação CE ser verificada e validada por um agente externo ao fabricante, validando assim o cumprimento da DM. O fabricante elabora o processo técnico da máquina, que abrange a conceção, o fabrico e o funcionamento da mesma, colocando à disposição um exemplar representativo da máquina, assim como informação complementar que se revele útil para a validação da marcação. O organismo examina o processo técnico e identifica os elementos concebidos, avaliando se a máquina foi fabricada em conformidade com as normas aplicáveis. Se o equipamento satisfizer as disposições propostas na DM é emitido um certificado CE, se não, a certificação é recusada e é devidamente fundamentada pormenorizadamente, sendo a decisão suscetível de recurso.

5.2. Obrigações do fabricante

As obrigações do fabricante perante o equipamento desenvolvido vão além dos “entregáveis” apresentados anteriormente. Devido ao fabricante ter a responsabilidade de desenvolver o equipamento cumprindo os requisitos de segurança e saúde, é também sua função comprovar devidamente o cumprimento normativo do produto para obtenção da marcação CE.

5.2.1. Avaliação da Conformidade

A Avaliação da Conformidade é definida no Guia Azul relativo à aplicação das regras da UE em matéria de Produtos, como o “processo de verificação realizado pelo fabricante através do qual se demonstra o cumprimento dos requisitos específicos aplicáveis a um dado produto”

(Blue Guide, 2016). Apesar de ser da responsabilidade do fabricante, uma terceira parte pode intervir no procedimento de avaliação.

Conclui-se então que a avaliação da conformidade pode ter três abordagens gerais:

- Nas atividades do fabricante, não existindo qualquer intervenção de terceiros, quando uma declaração, acompanhada da documentação e exames técnicos pertinentes do fabricante, é suficiente para garantir a conformidade do equipamento. Além de elaborar a documentação técnica, o fabricante realiza todos os controlos e verificações necessárias para garantir a conformidade do processo de produção;
- Na intervenção de uma unidade interna acreditada, que apesar de fazer parte da organização do fabricante, não exerce qualquer outra atividade que não a de avaliar a conformidade dos produtos. Através da acreditação é validada a competência técnica e a imparcialidade apresentada por unidades externas;
- Quando a intervenção de organismos externos é necessária, estes devem ser imparciais e independentes de qualquer assunto referente à organização ou produto em avaliação, o que inclui conflitos de interesses com o produto a avaliar.

É possível observar no Diagrama 1 a esquematização do processo de avaliação de conformidade apresentado no Guia Azul da UE.

Para simplificar e potencializar o processo de avaliação foram criados módulos de apoio, que tem visto o número de elementos a aumentar a cada edição do Guia Azul. Segundo o mesmo, “estes determinam as responsabilidades do fabricante (e do seu mandatário) e o grau de envolvimento do organismo notificado ou unidade interna acreditada”. São eles os componentes dos procedimentos de avaliação de conformidade, assim como definido nos termos da Decisão n.º 768/2008/CE (Blue Guide, 2016). O principal objetivo dos módulos é de minimizar os encargos sobre os fabricantes através de uma vasta diversidade, garantindo o nível de proteção necessário.

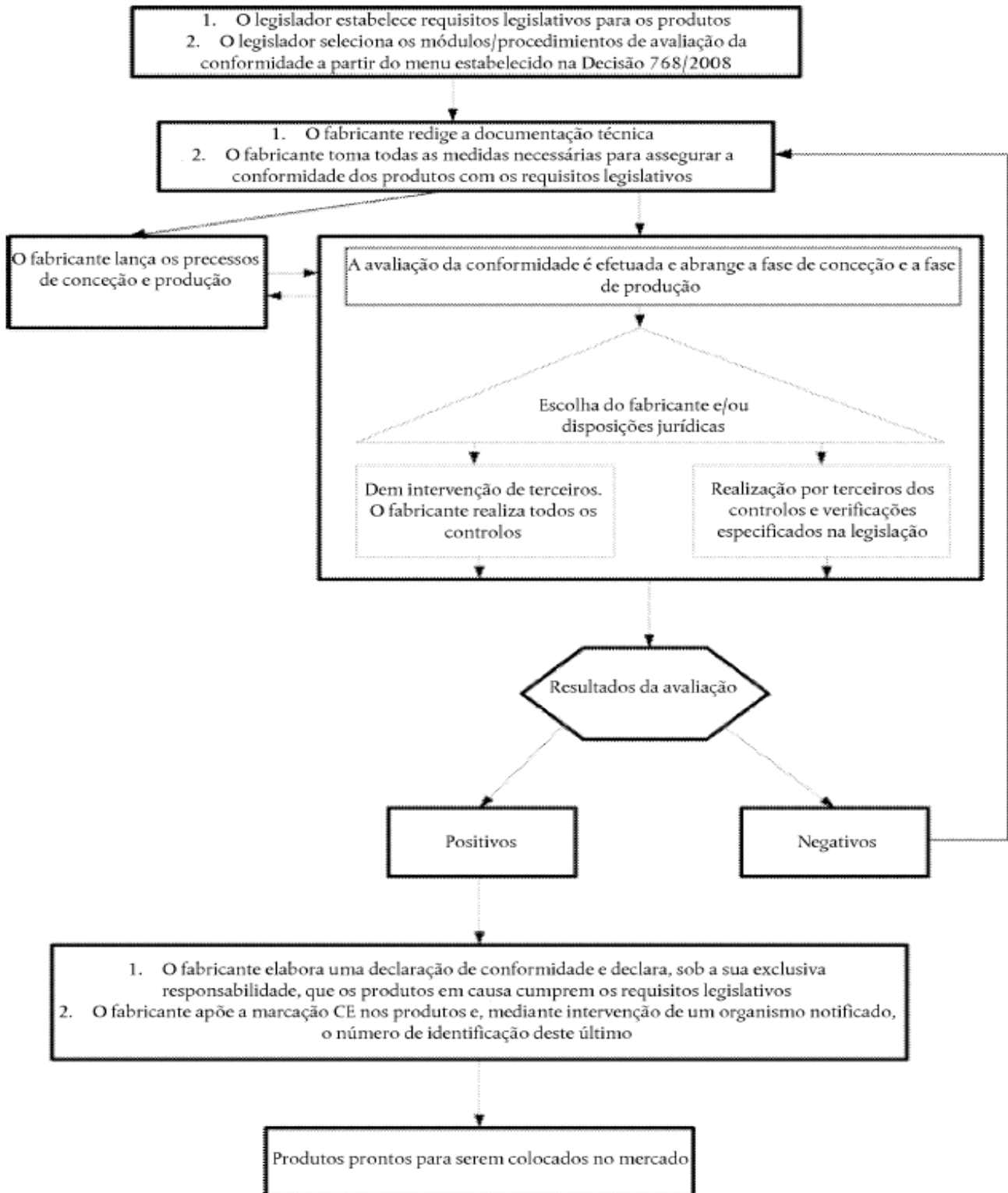


Figura 17 - Diagrama do processo de avaliação de conformidade (Blue Guide, 2016)

Devido à diversidade dos módulos existentes, apresenta-se na Tabela 2 uma perspetiva global resumida dos módulos, com base na informação disponibilizada no Guia Azul (Blue Guide, 2016).

Tabela 2 – Resumo dos módulos de avaliação da conformidade CE (Blue Guide, 2016)

Módulos	Descrição
A	Abrange a conceção e a produção.
Controlo Interno da Produção	O próprio fabricante assegura a conformidade dos produtos (não implica nenhum exame UE).
A1	Abrange a conceção e a produção.
Controlo interno da produção e ensaio supervisionado do produto	Módulo A + ensaios específicos realizados por uma unidade interna acreditada ou organismo notificado.
A2	Abrange a conceção e a produção.
Controlo interno da produção e controlos supervisionados do produto a intervalos aleatórios	Módulo A + controlos do produto efetuados por organismo notificado ou por uma unidade interna acreditada.
B	Abrange a conceção.
Exame UE de tipo	Sempre seguido de outros módulos através dos quais a conformidade é demonstrada. Um organismo notificado examina a conceção técnica, a amostra tipo e verifica e atesta a conformidade do produto.
C	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo baseada no controlo interno da produção	O fabricante deve controlar a produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos.
C1	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo UE baseada no controlo interno da produção e ensaio supervisionado do produto	O fabricante deve controlar a produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos. Módulo C + ensaios específicos realizados por unidade interna acreditada ou organismo notificado.
C2	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo UE baseada no controlo interno da produção e controlos supervisionados do produto a intervalos aleatórios	O fabricante deve controlar a produção a nível interno a fim de assegurar a conformidade dos produtos. Módulo C + controlos do produto efetuados por organismo notificado ou por uma unidade interna acreditada.
D	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo UE baseada na garantia da qualidade do processo de produção	O fabricante aplica um sistema de garantia de qualidade total da produção, a fim de assegurar a conformidade. O organismo notificado avalia o sistema de qualidade da produção.
D1	Abrange a conceção e a produção.
Garantia da qualidade do processo de produção	O fabricante aplica um sistema de garantia de qualidade total da produção, a fim de assegurar a conformidade. O organismo notificado avalia o sistema de qualidade da produção.
E	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo UE baseada na garantia da qualidade do produto	O fabricante aplica um sistema de garantia de qualidade total do produto realizando ensaios finais dos produtos, a fim de assegurar a conformidade. O módulo E é semelhante ao módulo D sem obrigações relativas aos processos de fabrico.

E1	Abrange a conceção e produção.
Garantia da qualidade da inspeção e dos ensaios do produto final	O fabricante aplica um sistema de garantia de qualidade total do produto realizando ensaios finais dos produtos, a fim de assegurar a conformidade.
F	Abrange a produção e segue-se ao módulo B.
Conformidade com o tipo UE com base na verificação do produto	O fabricante garante a conformidade com o tipo UE do módulo B, completado com a realização de exames ao produto por um organismo notificado.
F1	Abrange a conceção e produção.
Conformidade baseada na verificação do produto	O fabricante garante a conformidade dos produtos com os requisitos legislativos, completado com a realização de exames ao produto por um organismo notificado (sem implicar o módulo B).
G	Abrange a conceção e produção.
Conformidade baseada na verificação das unidades	O fabricante garante a conformidade dos produtos com os requisitos legislativos. O organismo notificado verifica cada produto individualmente a fim de assegurar a conformidade com os requisitos legislativos.
H	Abrange a conceção e a produção.
Conformidade baseada na garantia da qualidade total	O fabricante aplica um sistema de qualidade total a fim de assegurar a conformidade do produto, colocando o organismo notificado como avaliador do sistema de qualidade.
H1	Abrange a conceção e a produção.
Conformidade baseada na garantia da qualidade total e no controlo da conceção	O fabricante aplica um sistema de qualidade total a fim de assegurar a conformidade do produto. O organismo notificado avalia o sistema de qualidade e a conceção do produto, emitindo um certificado de exame UE relativo à conceção.

Dependendo do tipo de equipamento, da sua conceção e da natureza da sua produção, o legislador tem o dever de selecionar uma lista de módulos para colocar ao dispor dos fabricantes, de maneira a estes avaliarem a conformidade dos seus equipamentos, respeitando as normas harmonizadas. De modo a efetuar uma seleção adequada é importante ter em conta a complexidade dos mesmos e do equipamento, de maneira a selecionar os adequados para garantir a conformidade, evitando realizar processos demasiado dispendiosos e pesados para o fabricante. Além dos princípios baseados no tipo de produto, deve estar presente que o legislador, aquando da seleção dos módulos, deve seguir dois princípios base, de forma a colocar ao dispor do fabricante as melhores soluções (*Blue Guide*, 2016):

- Como regra geral, antes da colocação no mercado, os produtos devem estar sujeitos aos módulos referentes às fases de conceção e produção;
- O fabricante deve poder beneficiar da maior escolha possível de módulos;

Assim, o legislador concede as melhores condições para que o fabricante execute os processos de avaliação de conformidade nas melhores condições económicas e técnicas, apoiando assim as empresas no desenvolvimento da indústria nacional e no cumprimento dos objetivos dos programas económicos europeus.

5.2.2.Documentação Técnica

É responsabilidade do fabricante elaborar a Documentação Técnica (DT) do equipamento. Segundo a Decisão n.º 768/2008/CE, de 9 de julho, deve conter informações detalhadas sobre a conceção, fabrico e o funcionamento do produto, assim como uma avaliação adequada dos riscos. Segundo o Anexo VII da DM, deverá ser elaborado um processo técnico que permitirá demonstrar a conformidade da máquina com os requisitos de saúde e segurança. Este processo deve conter um processo de fabrico constituído por:

- Uma descrição geral da máquina;
- Desenhos de conjunto da máquina, dos circuitos de comando e explicações pertinentes para a compreensão do funcionamento da mesma;
- Desenhos de pormenor, notas de cálculo e resultados de ensaios;
- Documentação relativa à avaliação de riscos, que deverá conter a lista dos requisitos essenciais e as respetivas descrições das medidas de proteção aplicadas;
- Normas e outras especificações técnicas;
- Exemplar do Manual de Instruções;
- Declaração CE de conformidade;

O fabricante deve ainda demonstrar no processo técnico que, pelo modo como foi concebida e fabricada, pode ser montada e entrar em serviço em segurança.

Este processo estará presente na DT, completada com os documentos a entregar ao cliente (“entregáveis”), definidos anteriormente no capítulo 3.6.

Toda a DT deve ser acessível durante 10 anos a contar do momento em que o produto é colocado no mercado, caso surja a necessidade de futura fiscalização.

5.2.3.Manual de Instruções

O Manual de Instruções (MI) é um documento de extrema importância que acompanha cada máquina colocada no mercado. Este tem obrigatoriamente de ser o “manual original” ou uma “tradução do manual original”, neste caso, a tradução tem de ser acompanhada de um “manual original” (Diretiva Máquinas, 2006).

Na elaboração do MI devem ser tomados em conta alguns princípios gerais para a sua correta redação. O manual deve ser redigido numa ou mais línguas comunitárias oficiais, devendo figurar a menção de “manual original”. Para as traduções dos manuais originais, deve igualmente figurar uma menção referente ao documento traduzido, ou seja, “tradução do manual original”. O conteúdo presente no manual deve abranger a utilização prevista da máquina, a sua má utilização, os riscos associados e deve também ser tomado em conta a formação dos operadores que vão trabalhar com a máquina, tendo em conta o nível de formação e perspicácia esperada.

Os requisitos do MI variam consoante o tipo de máquina que está a ser fabricada, no entanto, de acordo com a DM, cada manual deve conter pelo menos informação sobre:

- Firma e endereço completo do fabricante e do seu mandatário;

- Designação da máquina;
- Declaração CE de conformidade;
- Descrição geral da máquina;
- Desenhos, diagramas e explicações necessárias para a utilização, manutenção e reparação da máquina;
- Descrição dos postos de trabalho e da utilização prevista da máquina;
- Instruções de montagem, instalação e ligação;
- Instruções relativas à entrada em serviço e, se necessário, instruções relativas à formação dos operadores;
- Apesar das medidas de segurança, informações sobre os perigos residuais;
- Medidas de proteção a tomar;
- Instruções relativas às operações seguras de transporte, movimentação e armazenamento;
- Medidas de manutenção preventiva;
- Descrição das operações de regulação e manutenção e como devem ser efetuadas com segurança, incluindo medidas de proteção a tomar;
- Ruídos aéreos emitidos (diferentes níveis de pressão acústica);

Toda a informação considerada pertinente para esclarecer ou cumprir algum dos tópicos exigidos deve ser adicionada ao MI, ainda que não referida na respetiva diretiva aplicável. É possível observar no Anexo I do presente relatório um exemplo da capa do manual de instruções de uma mesa rotativa CNC.

5.2.4. Declaração CE de Conformidade

Antes da colocação de um produto em mercado, o fabricante é obrigado, através da legislação de harmonização da UE, a redigir e assinar uma declaração CE de conformidade. Ao assinar o documento o fabricante assume a responsabilidade da conformidade do produto com a legislação aplicável, estando esta indicada na declaração.

A Decisão n.º 768/2008/CE, de 9 de julho, apresenta o modelo geral para a declaração europeia de conformidade. Este deve conter:

1. Número de identificação do produto;
2. Nome e endereço do fabricante ou do respetivo mandatário, emissor da declaração;
3. Uma frase indicativa da exclusiva responsabilidade do fabricante na emissão do presente documento;
4. Identificação do produto para permitir a sua rastreabilidade (Inclui normalmente uma fotografia do produto);
5. Toda a legislação de harmonização, normas europeias e outras especificações técnicas com a qual o produto está em conformidade;
6. Se for o caso, o nome e número de identificação do organismo notificado;
7. Informações complementares exigidas, dependendo da complexidade do produto;
8. A data de emissão da declaração, a assinatura e o título da pessoa autorizada.

De forma a auxiliar a redação da declaração foi criada a norma EN ISO/IEC 17050-1, com o objetivo de fornecer critérios gerais para elaboração da mesma.

A declaração tem de ser conservada durante 10 anos, tal como a restante documentação técnica. Bem como o manual de instruções, é obrigatória a redação e respetiva tradução para a(s) língua(s) exigida(s) pelo Estado-Membro no qual o produto está a ser colocado no mercado.

6. Aplicação da Diretiva Máquinas enquanto Projetista Mecânico

De forma a expressar os conhecimentos adquiridos e as ações desenvolvidas no período de estágio, serão contextualizados no presente capítulo os projetos referidos no capítulo 4 com base no ciclo do projeto apresentado, tendo em consideração a aplicação da DM, algumas considerações a ter presentes nas decisões e aspetos relevantes na modelação 3D. Enquanto Projetista Mecânico, um dos aspetos mais importantes é a forma como este aplica a DM nos projetos desenvolvidos, visto ser o principal ato legislativo europeu relativo aos produtos da indústria mecânica. Como o principal objetivo da diretiva é a segurança, fica claro qual o principal foco do projetista: compatibilizar a segurança do equipamento e do operário com o correto funcionamento da máquina.

Enquanto profissional da área, o engenheiro tem a obrigação de conhecer os procedimentos legais e os requisitos da certificação da máquina. O profissional tem também o dever de detetar o não cumprimento dos requisitos legais de segurança nas máquinas abrangidas pela normalização. Numa fase inicial, é necessário estudar o projeto e identificar claramente as normas aplicáveis ao equipamento que será desenvolvido. A DM é aplicada à grande maioria dos equipamentos mecânicos, sendo tipicamente acompanhada pelas normas internacionais relativas à segurança de máquinas, EN ISO 12100:2010 e EN ISO 13849-1:2015. Este conjunto de normas constitui a legislação habitualmente aplicada a equipamentos mecânicos.

Quando na presença de atmosferas explosivas, é necessário algum cuidado. O certificado ATEX (Atmosferas Explosivas) classifica o equipamento e atesta a sua conformidade com a Diretiva 2014/34/UE, de 26 de fevereiro, aplicada aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a operarem em atmosferas explosivas, cuja definição é apresentada na mesma como “uma mistura com o ar, em condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis sob a forma de gases, vapores, névoas ou poeiras, na qual, após ignição, a combustão se propague a toda a mistura não queimada”. Paralelamente, a certificação confere também a conformidade com a Diretiva 1999/92/CE, de 16 de dezembro, transposta para a legislação portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de setembro, que estabelece as prescrições mínimas destinadas a promover a segurança e proteção dos trabalhadores suscetíveis de serem expostos a este tipo de atmosfera. A marca representativa tem a marcação “Ex” e informações relativas à categoria e zona para qual o componente está certificado. A figura 18 apresenta o símbolo representativo mais utilizado na atualidade para a marcação ATEX.



Figura 18 - Marcação ATEX (Fonte: <http://pt.rs-online.com/web>)

São três as categorias aplicadas a esta marcação. A categoria 1 assegura um nível muito elevado de proteção, destinando-se a ambientes em que sejam frequentes as atmosferas explosivas. A categoria 2 asseguram um nível elevado de proteção e destinam-se a ambientes com alguma probabilidade de ocorrência, a passo que a categoria 3 oferece uma proteção “normal”, indicada para locais onde seja pouco provável existirem atmosferas deste tipo, por longos períodos. Cada categoria tem associada duas zonas, uma representativa de ambientes com poeiras (zona 0, 1 e 2) e outra com gases, vapores e neblina (zona 20, 21, 22). Temos então:

- Categoria 1 – Zona 0 e/ou 20;
- Categoria 2 – Zona 1 e/ou 21;
- Categoria 3 – Zona 2 e/ou 22.

A acompanhar a marcação, o equipamento certificado ostenta a categoria e a letra G ou D, referente à atmosfera ser gasosa (G) ou de poeiras (D).

O projeto da Unidade de Tratamento de Ar (Capítulo 4.1), intitulado de seguida como projeto A, incorporou componentes com esta certificação. Devido à poluição do ar e da elevada temperatura de entrada, foi criada uma Especificação Técnica para o ventilador estar preparado para trabalhar a 250°C, ser construído em aço inoxidável e possuir certificação ATEX de categoria 2, sujeita a atmosferas explosivas gasosas e de poeiras, correspondente às zonas 1 e 21.

No Anexo I da DM, é imposto que o fabricante “deve assegurar que seja efetuada uma avaliação dos riscos, a fim de determinar os requisitos de saúde e segurança (...)”. Esta avaliação, um dos requisitos da marcação CE, inicia-se com a realização da análise de riscos da máquina e tem como base a DM, a norma EN 12100-2 e as normas harmonizadas aplicáveis. Este processo deve ser realizado em equipa, onde um profissional experiente acompanha a equipa responsável pela conceção, construção e manutenção da máquina (Aguiar, 2014). A análise de riscos é um processo iterativo e que deve acompanhar o desenvolvimento do projeto de forma a evitar alterações futuras que além de atrasar o projeto, têm custos associados. Ao manter o registo atualizado, além de facilitar a avaliação de riscos final, é possível ao fabricante comprovar a identificação do risco e a ação realizada para a sua contenção. A apresentação da análise é feita através de uma tabela com os seguintes elementos no cabeçalho: identificação de condições perigosas, risco associado, categoria do circuito de proteção (norma EN 954-1), identificação das medidas de prevenção e as respetivas normas e diretivas referentes ao risco identificado.

No ramo de projeto de Engenharia Mecânica, o “Mockup” é uma representação pouco rigorosa do equipamento que será usada para educar, demonstrar e avaliar o design do mesmo. Internamente, esta representação é usada pelo projetista para apresentar o conceito e receber *feedback* por parte do cliente. Além disso, permite realizar uma previsão das dimensões da máquina e da disposição dos componentes, de forma a quantificar o espaço que esta ocupará no chão de fábrica, estimando assim o comprimento, largura e altura que a máquina terá. Durante o período de estágio, no decorrer do projeto relativo aos Tabuleiros de Transporte Interno (projeto B), foi realizada uma primeira versão do modelo, que serviu de guia para o produto final. Este, tinha todas as formas e dimensões necessárias para o cumprimento dos objetivos,

porém, como a questão ergonômica relativa ao peso do tabuleiro era uma questão importante para o cliente, após aprovação do Mockup foram realizadas modificações com vista à redução de peso e preço, utilizando chapa quinada para os suportes, o que levou a uma redução significativa do peso do tabuleiro e conseqüentemente, do preço por suporte. Também no projeto do molde para provete (projeto D), ficou ao cargo do estagiário o estudo de mercado e apresentação de alguns modelos possíveis de aplicar no molde. Estes “Mockup’s” permitiram excluir algumas hipóteses e selecionar o caminho mais seguro para o dimensionamento do molde, pois era pretendido um sistema mecânico de extração dos provetes, com poucos componentes devido ao reduzido orçamento do projeto.

Num projeto mecânico habitualmente existem 3 tipos de componentes:

- Peças cliente – são peças tipicamente de produção própria, fundamentais no funcionamento da máquina e que não devem ser alteradas;
- Peças de fabrico próprio – peças fabricadas quando os componentes *standard* não cumprem os requisitos. O custo é acrescido no seu fabrico, ficando o projetista responsável por todo o processo e documentação necessária para a sua produção;
- Peças *Standard* – por regra, deve ser escolhido este tipo de peças devido à disponibilidade e ao reduzido preço a que são vendidas;

A escolha de componentes é um processo muitas vezes demorado e que assume grande importância no desenvolvimento da máquina. Um erro na escolha dos componentes pode trazer prejuízos ao projeto e atrasos nos prazos acordados com os clientes. Para isto, recorre-se às Especificações Técnicas definidas no capítulo 3.4 para obter junto dos fornecedores a melhor solução técnica. Estas, dependem do tipo de componente, das condições de trabalho e da rigorosidade exigida para os componentes de medição e controlo, na medida em que a especificação deve acompanhar as condições operatórias da máquina e respeitar o Caderno de Encargos. Por exemplo, no projeto A estamos perante um ambiente extremamente rico em compostos orgânicos voláteis, a uma elevada temperatura. Naturalmente, há que ter em atenção estes fatores na escolha do componente, na medida em que o próprio e os seus materiais constituintes têm de suportar os gases poluídos e manter as suas propriedades e funções a elevadas temperaturas. Neste projeto, as Especificações Técnicas foram apenas realizadas para os componentes principais – ventilador, permutador e aquecedor – uma vez que era necessário garantir algumas funções e características únicas nestes componentes. A especificação do ventilador, por exemplo, baseou-se em 4 aspetos fundamentais:

- Requisitos do ventilador (caudal, pressão, temperatura de funcionamento, material e condições de funcionamento);
- Segurança (certificação ATEX e marcação CE);
- Documentação a fornecer (deve incluir: ficheiros CAD 3D, declaração de conformidade CE, manual de instruções, instruções de instalação e de manutenção);

- Proposta comercial (indicação da melhor solução, condições do fornecimento e transporte, assim como as condições de pagamento).

Os restantes componentes aplicados, sejam válvulas, sensores, parafusaria ou isolamento, tiveram uma abordagem mais direta por parte do projetista. Neste caso, que se repetiu nos demais projetos, o profissional responsável realiza uma procura no mercado e comunica diretamente com os departamentos comerciais dos fornecedores, indicando as especificações requeridas e procurando, em conjunto, encontrar a solução que melhor se aplica para o problema em questão. No projeto A havia a indicação de preferência relativamente à localização destes mesmos fornecedores, de maneira a evitar custos extras na deslocação e envio dos componentes. Assim, preferencialmente, o fornecedor estaria sediado no país de montagem da máquina, o que se revelou um desafio para o estagiário visto este ter a seu cargo a responsabilidade de fazer parte dos contatos com os fornecedores. Foi assim possível o crescimento das relações profissionais, da comunicação com fornecedores e foi uma ótima experiência nos contatos comerciais, visto ser muitas vezes obrigado a explicar o processo, o funcionamento da máquina e a especificar devidamente (principalmente telefonicamente) o que se pretendia dos componentes solicitados. O estagiário realizou inúmeros contatos, solicitando orçamentos e prazos de entrega relativos a revestimentos, componentes mecânicos e elétricos, elementos de fixação, sensores, etc. Este tipo de ações promove um contato mais direto e uma troca de conhecimentos que vai de encontro aos objetivos europeus para o desenvolvimento da indústria.

Segundo a DM, “os materiais utilizados para o fabrico da máquina (...) não devem estar na origem de riscos para a segurança e saúde das pessoas”. Além dos inúmeros métodos existentes para a seleção de materiais, é importante ter em conta determinados fatores, tais como:

- Condições laborais;
- Preço;
- Peso estimado;
- Temperatura de Serviço;
- Humidade;
- Características do fluido presente na máquina, etc.

Salvo indicação do cliente, ou em condições especiais, a Sirmaf define internamente uma lista de materiais associada a componentes habitualmente utilizados.

No contexto do estágio curricular, o projeto A foi totalmente desenvolvido em aço inoxidável austenítico, devido ao ar que circula no interior da máquina não reagir quimicamente com o mesmo. Este possui um elevado teor de compostos voláteis, constantemente a temperaturas na ordem dos 300°C, o que origina fenómenos de oxidação ou deterioração das condutas caso não seja selecionado o material adequado às condições. Foi então selecionado o aço inoxidável AISI 304 (EN: X5 Cr Ni 18-10) visto apresentar uma percentagem de carbono muito reduzida, o que confere uma resistência à corrosão superior à dos aços inoxidáveis normais. Tem a vantagem de poder ser soldado sem perder a resistência à corrosão, evitando assim tratamentos térmicos adicionais. O projeto B tinha, em destaque, as questões ergonómicas relativas ao peso dos

tabuleiros e ao preço final por suporte. Posto isto, a opção que foi tomada seguiu o sentido de optar pela utilização de um aço de construção, de baixo custo, utilizando chapas quinadas para garantir a resistência e posicionamento do produto final. Tanto o projeto relativo aos Calibres de forma (projeto C), como o projeto D tinham indicações específicas do cliente relativamente ao material a utilizar.

Depois do processo de anteprojecto, é altura de o projetista mecânico iniciar a Modelação 3D do Equipamento. Relativamente ao programa utilizado, a Sirmaf/Solien utiliza o *Autodesk Inventor*, sobre o qual oferecem formações constantes relativamente a melhoria de processos, novas ferramentas e todas as potencialidades programáticas que possam ser vantajosas para o melhor o rendimento do coletivo. Internamente, como referido anteriormente, existe imenso material de apoio. Um dos manuais de consulta mais frequente é o Manual de Projeto Inventor onde são definidas algumas boas práticas e métodos para cotação e identificação de peças. Na definição inicial do sketch 3D deve utilizar-se sempre simetria a partir da origem, usando projeções dos planos originais, o que facilita bastante na altura de colocar restrições e definir uma posição para o componente na máquina. O *sketch* deve estar totalmente restringido e centrado (alteração da cor das linhas indicam a completa restrição do desenho), sendo que cotas iguais ou diretamente relacionadas devem utilizar a designação de função, para no caso de surgir a necessidade de alterar a dimensão da peça apenas ser necessário alterar uma cota. Um dos aspetos mais importantes é a definição do modo de fabrico da peça, caso esta não seja um componente *standard*. Cabe ao projetista analisar e determinar qual o melhor método a aplicar, equilibrando paralelamente a funcionalidade da peça com o seu preço. Habitualmente, os processos mais utilizados é a maquinação CNC e o corte a laser que apesar de ter um preço mais reduzido tem limitações em termos de espessura.

A utilização do comando *HOLE* é recomendada devido a permitir a completa definição da furação, que além do diâmetro é possível definir o tipo e classe do furo, informação transposta para os desenhos 2D de forma automática. Antes de terminada a geométrica 3D deve ser especificado nas propriedades do modelo o material e o tratamento térmico/superficial a aplicar na peça.

O *Inventor* é também utilizado como verificador de modelos 3D, com a utilização do comando detetor de interferências, diminuindo o erro humano durante a desenvolvimento do componente. Simultaneamente, é possível verificar as diferentes movimentações da máquina, através do correto restringimento, possibilitando uma análise inicial ao funcionamento da máquina, o que por vezes evita atrasos e erros que mais tarde podem comprometer os prazos de entrega e o cumprimento do orçamento acordado. São criadas no programa áreas de trabalho personalizadas de forma a uniformizar internamente a modelação de estruturas metálicas com base no perfil de alumínio estrutural de quatro canais que permite uma montagem rápida da estrutura e uma grande adaptabilidade da estrutura ao chão de fábrica.

Também para a parafusaria existem livrarias internas onde estão presentes os tipos de parafusos tipicamente utilizados nas máquinas. Por exemplo, a parafusaria utilizada com mais frequência

é a DIN 912 com acabamento superficial de oxidação negra, revestindo o parafuso de forma a evitar a corrosão através de um processo rápido e com custos reduzidos. A utilização de um grupo reduzido de elementos de fixação permite uma uniformização dos processos internos através da criação de hábitos e rotinas de trabalho eficientes. Paralelamente às rotinas internas, muitas vezes o próprio cliente exige a utilização de um certo material ou um tipo de parafusos diferentes do habitualmente utilizado, como por exemplo parafusos de segurança. Nestas situações, cabe ao projetista mecânico conjugar as exigências técnicas do cliente com os processos internos, tendo permanentemente presente a importância e as exigências da DM.

Para isto, no Anexo I da DM, são referidos os princípios de integração da diretiva e orientações para a conceção de máquinas, tendo em conta o tipo de equipamento desenvolvido. De maneira a integrar devidamente a segurança do equipamento, respeitando a sua funcionalidade, é importante ter em conta alguns princípios fundamentais. De acordo com a DM, as máquinas devem ser concebidas de forma a cumprir a função a que se destina sem expor as pessoas a riscos. Para tal, é necessário ter em conta não só a utilização prevista da máquina, mas também a sua má utilização previsível. As medidas de segurança implementadas devem ter como base a análise de riscos efetuada, considerando as fases de conceção, transporte, montagem e desmontagem da máquina. Após a seleção das medidas adequadas, devem ser aplicados os seguintes princípios, pela ordem indicada:

1. Eliminar ou reduzir os riscos (integração da segurança na conceção e no fabrico da máquina);
2. Aplicar medidas de proteção aos riscos que não podem ser eliminados;
3. Informar o utilizador dos riscos residuais, indicando se é exigida formação específica e/ou medidas de proteção individual.

No projeto A, apesar de todos os componentes de segurança aplicados, o risco residual referido no manual técnico e operacional incide sobre o risco de explosão, devido ao contato com partes quentes e de uma possível presença de uma atmosfera com concentrações tóxicas e explosivas. Assim, é indicado no manual que o operador deve utilizar equipamento individual de proteção: capacete, luvas, óculos, roupa anti estática e calçado de segurança. Também foi aposta sinalização relativa aos perigos e cuidados a ter com o equipamento (Tabela 3).

Com vista ao seu manuseamento, o equipamento e os seus componentes devem poder ser manuseados e transportados de forma segura sem serem danificados. Se a massa, dimensão ou forma não permitir o transporte manual, a máquina e os seus elementos devem ser equipados com acessórios de elevação, ou a possibilidade de ser equipada com os mesmos, eliminando a possibilidade de deslocamentos instáveis.

Tabela 3 – Simbologia aplicada na máquina do projeto A (Fonte: Doc. Interna Sirmaf)

	Perigo elétrico		Superfície quente
	Atmosfera explosiva		Perigo de explosão
	Proibido fumar		Proibido utilizar fogo
	Proibido uso de telefone		Aerossol inflamável

No caso de o transporte ser realizado de forma manual, este deve ser facilmente manuseado e possuir meios para garantir a sua movimentação com toda a segurança, tanto para o equipamento, como para quem o transporta. Os planos de transporte incluem indicações de utilização e cuidados a ter com o manuseamento do equipamento, de forma a clarificar o utilizador dos riscos inerentes à movimentação da máquina. São também apresentadas as medidas gerais do equipamento e o seu peso. No projeto A, devido à grande dimensão da máquina, foi criado pelo estagiário dois planos de transporte e elevação para movimentação e transporte da máquina em segurança. Ambos os planos indicam que as ações devem ser realizadas por um profissional treinado e autorizado, utilizando equipamentos de proteção pessoal indicados para este tipo de operação. São também referidos alguns dos principais cuidados a ter no decorrer da operação, tais como o impedimento da movimentação livre dos elementos da máquina, a proteção da mesma no transporte para evitar danos e indicações específicas tendo em conta o equipamento utilizado para movimentar a máquina. Um dos planos prevê a utilização de um empilhador para movimentar e elevar o equipamento através da estrutura base da máquina que possui dois tubos retangulares devidamente dimensionados em termos de compatibilidade com o empilhador e alinhado com o centro de gravidade da máquina. Devido ao seu peso, o manuseamento deve ser realizado por um empilhador pesado que eleve mais de 2500 kg. Em alternativa, o segundo plano de transporte prevê a movimentação da máquina através de uma estrutura de elevação, nomeadamente uma grua ou ponte rolante possuidora de marcação CE, elevando o equipamento através de cintas acopladas a olhais de elevação do tipo DIN 580, colocados nas extremidades da estrutura base da máquina. Todos os acessórios e componentes de elevação devem respeitar a DM e possuir marcação CE. No caso das cintas de elevação, além da marcação CE, devem também respeitar a norma EN 1492 que

especifica as características de fabrico das cintas, assim como os domínios de aplicação das mesmas.

Os restantes projetos desenvolvidos previam o manuseamento manual, sendo apenas necessário garantir a segurança do operador no transporte do equipamento.

Relativamente à Ergonomia do equipamento, o projetista deve reduzir o incómodo, a fadiga e a tensão física e psíquica do operador, tendo em conta os seguintes princípios (Diretiva Máquinas, 2006):

- Considerar diferenças morfológicas, de força e de resistência dos operadores;
- Prever espaço suficiente para movimentar livremente as diferentes partes do corpo do operador;
- Evitar que a máquina defina a cadência de trabalho;
- Evitar uma supervisão que exija concentração prolongada;
- Adaptar a interface homem/máquina às características previsíveis do operador.

Para garantir a ergonomia do operador, é importante conhecer e aplicar alguns fatores: a postura neutra, a zona de conforto, proceder à redução do excesso de força, frequência e duração das operações, assim como fornecer iluminação adequada ao posto de trabalho.

Segundo Pikaar (2011), a legislação deve estar sempre presente, mas não ser o foco principal, pois nesta são definidos os requisitos mínimos de saúde e segurança, que podem deferir dos requisitos ideias para a máquina em questão. Deste modo, além da análise e implementação das normas relativas à ergonomia, para cada caso deve ser realizada uma análise às condições laborais, testando e avaliando a ergonomia associada ao posto de trabalho. Alguns exemplos de legislação aplicada à ergonomia são: ISO 6385 (2016) *Ergonomic principles in the design of work systems* e a norma EN 614-1:2006+A1:2009, *Safety of machinery – ergonomic design principles*. Otimizar as condições de trabalho é uma negociação complexa entre os custos, perigos, produtividade e a qualidade das condições de trabalho (Pikaar, 2011). No projeto A, as questões de ergonomia analisadas são relativamente à colocação dos sensores, do quadro elétrico e dos dispositivos de comando. Como a máquina não exige a presença constante de um operador, a preocupação a ter enquanto projetista mecânico passa pela análise da altura a que estes componentes devem estar. Na impossibilidade de colocar todos à mesma altura, os de maior uso e relevância foram colocados sensivelmente ao nível dos olhos (entre 1,5 e 1,7 metros de altura). Pertencem a este grupo o quadro elétrico, o dispositivo de paragem de emergência e alguns sensores que procedem a medições relevantes para garantir o correto funcionamento da máquina. Estes sensores devem ser colocados tendo em conta, não só a ergonomia, mas também a garantia da correta medição.

Por exemplo, os sensores que medem a diferença de pressão, em tubagens redondas, devem ser colocados em tubagens lineares onde até ao sensor esteja 7 vezes o diâmetro da conduta e 3 vezes o diâmetro da conduta, após o sensor, garantindo assim a correta medição e recolha de dados (Figura 19).

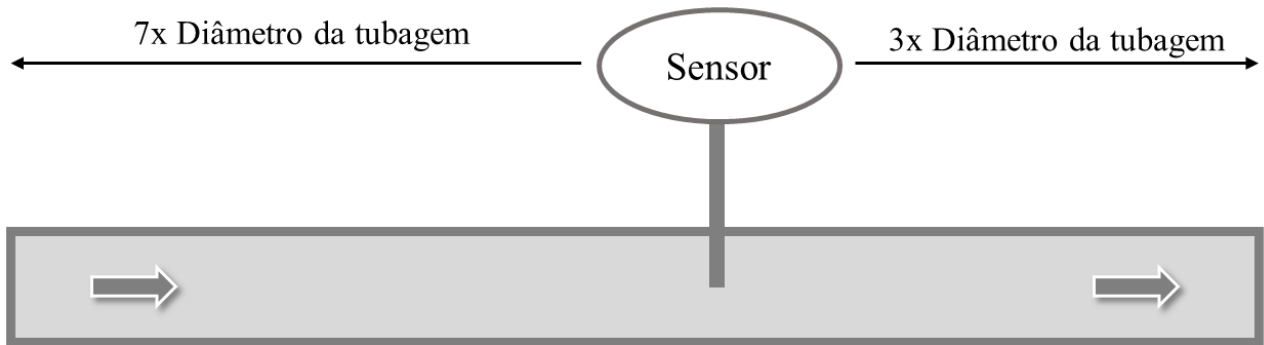


Figura 19 – Representação da posição correta do sensor de diferença de pressão

As questões de ergonomia relativas ao projeto B e C prendem-se apenas no peso do equipamento, porém, estas limitações são definidas através das normas internas de ergonomia do cliente.

As paragens, quer sejam normais ou de emergência são efetuadas através de dispositivos de comando. Estes, devem ser:

- Visíveis e identificáveis;
- Dispostos de forma segura e ergonómica, promovendo uma ação sem hesitações ou perdas de tempo;
- Dispostos fora das zonas de perigo, exceto se necessário, como por exemplo para os comandos de paragem de emergência;
- Situados de modo a que a sua manobra não provoque riscos adicionais;
- Concebidos ou protegidos de modo a serem usados apenas em ações deliberadas;
- Fabricados de forma a resistir aos esforços previsíveis.

A máquina deve estar equipada com dispositivos de comando que permitam a sua paragem em total segurança. Assim, as paragens podem ser de 3 tipos:

- Paragem normal – em função dos perigos existentes, o dispositivo para todas as funções da máquina, ou parte delas, sendo que a ordem de paragem deve ter prioridade sobre as ordens de arranque. A alimentação de energia dos acionadores deve ser interrompida;
- Paragem por razões operacionais – quando é necessário um comando de paragem que não interrompa a alimentação de energia dos acionadores, a função de paragem deve ser monitorizada e mantida;
- Paragem de emergência – de forma a evitar situações de perigo iminente, a máquina deve estar equipada com um ou vários dispositivos de paragem de emergência. O dispositivo deve estar devidamente identificado, provocando a paragem do processo perigoso sem criar riscos suplementares.

Nos projetos desenvolvidos, apenas o projeto A exigia a presença de dispositivos de comando de paragem de emergência, colocado na posição descrita anteriormente, onde a alimentação elétrica da máquina é cessada, mantendo o equipamento em segurança.

A presente diretiva define algumas medidas a implementar contra a proteção de perigos de natureza mecânica. Alguns riscos referidos na DM são:

- Risco de perda de estabilidade – a máquina deve ter estabilidade para evitar a sua queda ou movimentos descontrolados durante os processos de transporte, montagem e desmontagem. Caso não seja possível, aplicar meios de fixação próprios e especificar os planos de transporte no manual de instruções (Exemplo: Planos de Transporte da máquina do projeto A)
- Risco de rutura em serviço – os materiais utilizados devem apresentar resistência mecânica adequada aos fenómenos previstos de fadiga, envelhecimento, corrosão e abrasão. No manual de instruções deve estar especificado instruções de manutenção e substituição de peças;
- Risco devidos a superfícies, arestas e ângulos – na modelação do equipamento é garantido que os elementos da máquina não possuem arestas vivas, ângulos vivos ou superfícies rugosas suscetíveis de causar ferimentos ao operador;
- Riscos ligados aos elementos móveis – devem ser concebidos e fabricados de forma a evitar o risco de contato ou ser munidos de dispositivos de proteção. O manual deve identificar esses dispositivos de proteção e fornecer instruções para a sua utilização segura;

Os dispositivos de proteção devem ser robustos, não constituir perigo suplementar e permitir intervenções indispensáveis de manutenção da máquina.

Além dos referidos anteriormente, no projeto A foi necessário o aprovisionamento de riscos específicos da máquina. A energia elétrica pode originar riscos adicionais, visto ser a fonte de alimentação do equipamento. Para evitar este perigo, no quadro elétrico da máquina existem dispositivos de segurança contra picos de corrente e tensão, sendo que o equipamento respeita a Diretiva de baixa voltagem, 2014/35/UE e a diretiva de compatibilidade eletromagnética, Diretiva 2014/30/UE. O ruído produzido pelo ventilador é minimizado com o revestimento térmico, que diminui os valores do ruído para valores aceitáveis. Aspectos como a elevada temperatura, o risco de explosão e de emissões de substâncias perigosas são riscos que não podem ser eliminados. Assim, no manual de instruções são indicados estes perigos e como foram minimizados ou até mesmo eliminados, nomeadamente através da aplicação de uma camada de 150 mm de isolamento que reduz a temperatura superficial da máquina.

No projeto B, através da utilização de *Poka Yoke's* são eliminados (ou reduzidos ao máximo) o erro na utilização do tabuleiro, através da criação de canais e batentes que apenas permitem ao modelo correto acoplar no suporte.

As ações de manutenção dependem de cada máquina e do tempo de vida e utilização dos componentes. Na generalidade, as operações de regulação, manutenção, reparação e limpeza da máquina devem poder ser efetuadas com a máquina parada. No caso de não ser possível, tipicamente prevê-se a montagem de equipamentos de diagnóstico de avarias. A máquina deve também ser concebida de modo a dispor de acesso seguro a todos os locais de intervenção durante o funcionamento da mesma.

O projeto A prevê a manutenção dos catalisadores através de uma porta de acesso frontal. Esta está definida no manual através de um processo indicando passo por passo como se deve proceder para remover em segurança os componentes da máquina. Esta e outras ações de manutenção são intensivamente descritas no manual técnico da máquina.

Finalizada a modelação da máquina e após aprovação do cliente, procede-se à realização dos desenhos de fabrico e montagem, à construção de protótipos e inicia-se o processo inerente à marcação CE.

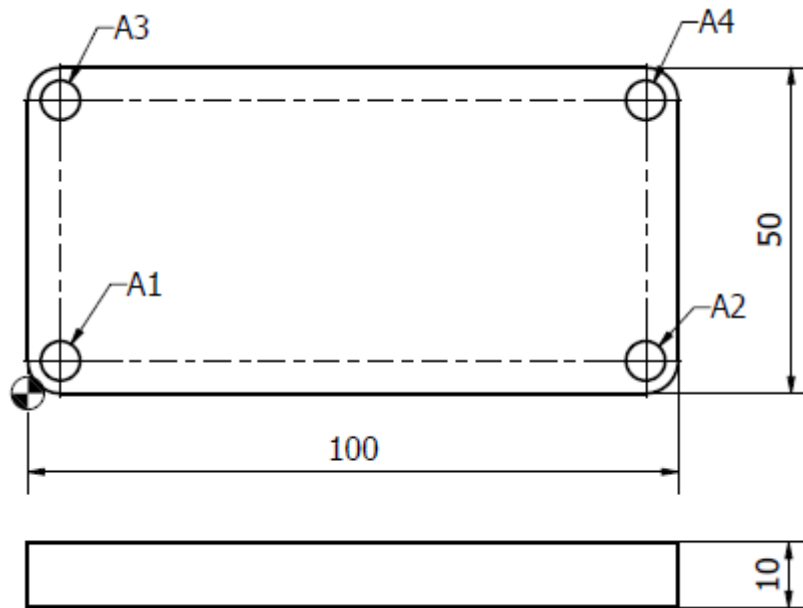
No manual de projeto, documento interno de apoio ao projetista, são indicadas boas práticas na cotação dos desenhos de forma a otimizar o tempo despendido na realização dos mesmos, sem comprometer a exequibilidade da peça. Em qualquer desenho, deve ser cotado em primeiro as dimensões gerais da peça, dimensões estas que servem de base para chegar à dimensão de material necessário em bruto. Outra boa prática é a utilização da cotação em paralelo, indicando ao fabrico qual o zero peça. Como todos os desenhos possuem uma tolerância geral indicada na legenda, apenas as cotas necessárias devem tolerância única. Além destes aspetos, há algumas regras gerais que devem ser consideradas na cotação de desenhos 2D:

- Não cruzar cotas;
- Não cotar em linhas invisíveis;
- Não repetir cotas;
- As cotas devem ser dadas relativamente à mesma referência;
- Quando necessário definir a tolerância, esta deve incluir qual a tolerância pretendida e o intervalo máximo e mínimo aceitável.

Os desenhos gerais da máquina devem conter apenas as cotas gerais (comprimento, largura e altura) e cotas indicativas, tais como a altura do solo ao painel de controlo, ao quadro elétrico, etc. É também prevista a representação da área de manutenção da máquina e a área de trabalho destinada ao operador. Apenas os conjuntos são identificados através do comando *Auto Balloon*, identificando individualmente cada conjunto da máquina (Anexo III).

O *standard* de cotação para as peças de fabrico varia consoante o tipo de peça a ser cotada. Quando estamos perante uma placa, como é possível observar na Figura 20, apenas duas vistas são necessárias para cotar toda a peça. Neste caso, o projetista deve:

- Cotar comprimento, largura e espessura;
- Aplicar toleranciamento dimensional e geométrico, quando necessário;
- Utilizar a tabela de furos para cotação da furação;



HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	5,00	5,00	∅6,00 THRU
A2	95,00	5,00	∅6,00 THRU
A3	5,00	45,00	∅6,00 THRU
A4	95,00	45,00	∅6,00 THRU

Figura 20 – Exemplo de desenho 2D de uma placa (Com tabela de furos)

Perante a presença de peças paralelepípedicas simples (Figura 21):

- Cotar comprimento, largura e espessura;
- Cotar furos, rasgos, roscas e outro tipo de elemento funcional, assim como a sua localização;
- Aplicar toleranciamento dimensional e geométrico, quando necessário.

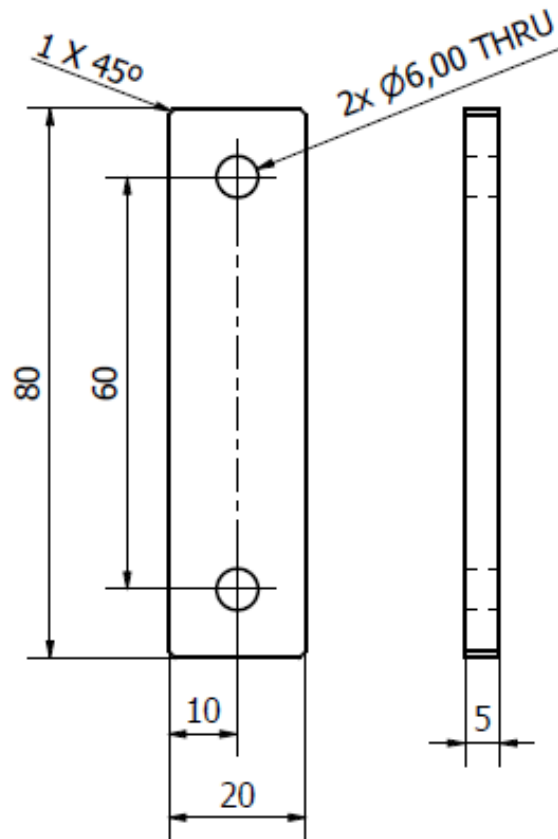


Figura 21 - Exemplo de desenho 2D de um paralelepípedo simples

Quando as peças paralelepipedicas são complexas e fabricadas através de CNC, o projetista deve aplicar as indicações referidas anteriormente, com a diferença de que não é necessário cotar a localização dos elementos funcionais, apenas quando estes possuem uma necessidade funcional no equipamento. Quando o processo de fabrico é a maquinação, deve ser tomado em conta o trajeto da ferramenta na obtenção de ângulos internos, visto ser impossível obter um ângulo de 90°. Assim deve ser prevista a compensação das arestas internas, evitando assim um aumento do tempo de maquinação em casos que não são relevantes.

Para chapas quinadas, o processo é o seguinte (Figura 22 e 23):

- Cotar comprimento, largura e espessura;
- Cotar dimensões gerais da peça;
- Apresentar uma vista planificada apenas com o comprimento e largura da planificação;
- Aplicar toleranciamento dimensional e geométrico, se necessário;
- Cotar furos, rasgos, roscas e outro tipo de elemento funcional.

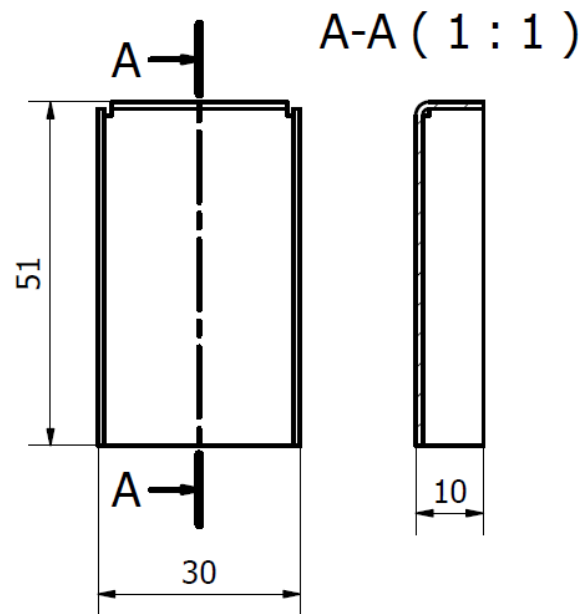


Figura 22 – Exemplo de desenho 2D de uma chapa quinada

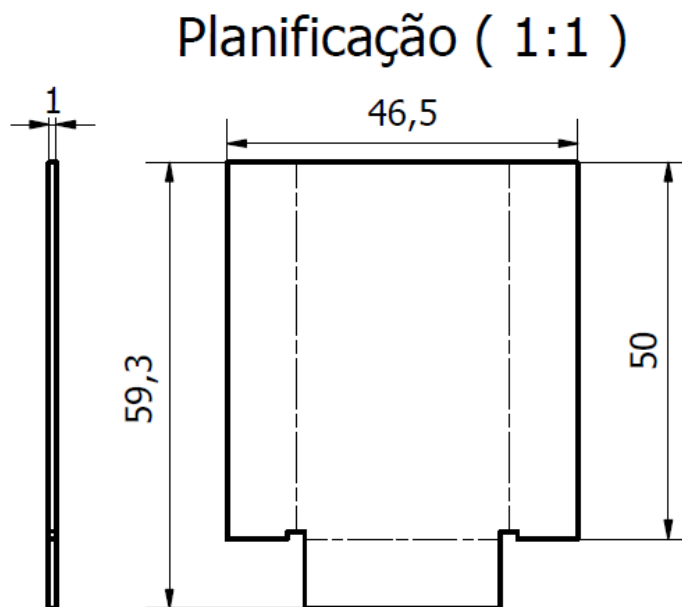


Figura 23 – Planificação da chapa quinada da Figura 20

As peças de revolução, têm habitualmente tolerância individual ao diâmetro, como por exemplo na cotagem de veios, sendo necessário o apoio em tabelas de toleranciamento.

Nas peças de revolução procede-se da seguinte forma (Figura 24):

- Cotar comprimento total;
- Cotar dimensões axiais;
- Cotar todos os diâmetros ao longo da peça;
- Aplicar toleranciamento dimensional e geométrico, quando necessário.

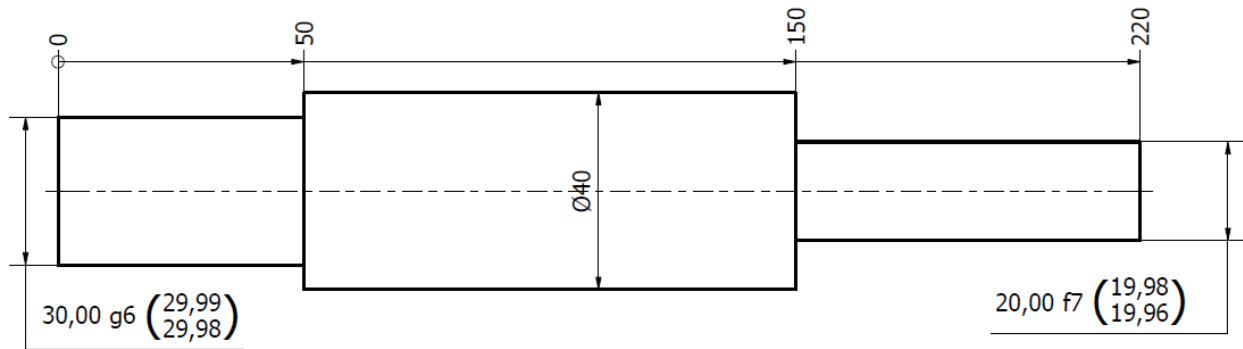


Figura 24 – Exemplo de desenho 2D de uma peça de revolução

O desenho técnico de construções soldadas tem pelo menos duas folhas, uma para o desenho de construção e outra para o de maquinação. O desenho de construção deve apresentar:

- Lista de materiais;
- Dimensões totais da peça;
- Cotas de posicionamento;
- Desenhos individuais dos componentes;
- Notas relativas à soldadura: afagar cordão de solda, não preencher com cordão, manter esquadria, etc.

Na segunda folha, no desenho de maquinação devem ser indicadas:

- Dimensões dos elementos maquinados;
- Dimensões necessárias para o posicionamento dos elementos;
- Aplicar toleranciamento dimensional e geométrico, se necessário;
- Notas relevantes para a maquinação: proteger zonas maquinadas, aplicar proteção anticorrosiva, etc.

As estruturas em perfil de alumínio que servem de base para as máquinas fabricadas são também realizadas internamente. Além da apresentação das vistas necessárias à compreensão da estrutura, o desenho deve conter:

- Dimensões gerais da estrutura;
- Localização dos perfis;
- Lista de materiais, peças e componentes;
- Cotar os furos e a sua localização;
- Aplicar comando *Auto Balloon* para identificar cada perfil;
- Notas relativas à montagem: aplicar painéis de rede, garantir esquadria, etc.

O estagiário, no contexto do estágio curricular, criou desenhos de fabrico e montagem nos vários projetos desenvolvidos. Os desenhos 2D apresentados nos Anexos II e III foram realizados no âmbito do projeto B e representam, respetivamente, um desenho de fabrico e o desenho geral do conjunto.

O protótipo do projeto A foi montado e testado nas instalações do cliente. A responsabilidade da equipa passava pelo acompanhamento dos testes e validação do correto funcionamento, obrigando a deslocamentos frequentes por parte dos colegas mais experientes da equipa. No projeto B foi criado um protótipo para testar a sua funcionalidade. Como os tabuleiros previam o transporte de 8 modelos em simultâneo, de diferentes tipos, era necessário garantir o seu correto funcionamento. Para isso, o estagiário criou os desenhos de fabrico do suporte a testar, contactou fornecedores de corte a laser e deslocou-se às instalações do cliente com vista à aprovação do protótipo. Após duas iterações aos suportes, o cliente aprovou o projeto e procedeu-se à realização dos restantes desenhos de fabrico, de montagem e à entrega da documentação técnica exigida pelo cliente, que consistia apenas nos desenhos e em indicações para a correta utilização do tabuleiro. Além disso, foram cumpridas as exigências do cliente em termos do peso (ergonomia) e preço.

Um dos ensaios efetuados ao protótipo do projeto A consistiu na validação do cumprimento das condições específicas de funcionamento relativas ao nível de pressão acústica ponderada A nas zonas de trabalho. Segundo os dados do fabricante e tendo em conta que o ventilador opera a baixas rotações, o nível de pressão acústica (L_p) é inferior ao valor máximo definido de 70 dB. As considerações de projeto foram validadas através de testes realizados nas instalações do cliente, por laboratórios certificados que tinham em vista a validação das condições específicas de funcionamento para os níveis de ruído, segundo a norma ISO 3744, de outubro de 2010.

O processo de obtenção da marcação CE do equipamento foi apenas realizado no projeto A. Porém, o processo foi finalizado antes do início do estágio curricular. Na empresa são utilizados modelos para placas e etiquetas características dos equipamentos mecânicos e elétricos. Na Figura 25 é possível observar o modelo utilizado para as etiquetas características de componentes elétricos.



Figura 25 – Etiquetas Características Elétricas (Fonte: Doc. Interna Sirmaf)

O processo de avaliação de conformidade foi desempenhado por uma entidade externa, nomeadamente o Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), que aprovou o processo técnico da máquina e comprovou que os requisitos essenciais de saúde e segurança estavam cumpridos. Na Figura 26 é possível observar a chapa característica de uma máquina desenvolvida pela Sirmaf, com marcação CE.



Figura 26 – Exemplo de chapa característica da máquina

O estagiário esteve diretamente envolvido na realização do Manual de Instruções onde procedeu à esquematização do funcionamento da máquina e à representação do suporte para remoção dos catalisadores. Todas as instruções de manutenção dos catalisadores, que indicava como proceder para remover e substituir os elementos da máquina, foram realizadas pelo estagiário com supervisão do orientador, completando o manual que se encontrava em desenvolvimento, finalizando assim a documentação necessária a entregar ao cliente.

7. Validação Matemática de Elementos Incluídos no Projeto

O estagiário, em conjunto com a equipa Solien, desenvolveu vários cálculos necessários para o desenvolvimento do projeto A. Alguns serviram para validar o funcionamento da máquina, enquanto outros foram realizados por exigência específica do cliente.

7.1. Dimensionamento de Flanges e Juntas Não Normalizadas

Devido às dimensões e à secção das condutas da máquina, muitas ligações foram totalmente dimensionadas pela equipa de projeto. Para proceder ao dimensionamento é necessário determinar aspetos como a espessura e largura da flange, número de parafusos, configuração da junta, entre outros, para que após a montagem seja atingida a estanquidade do circuito, garantindo a correta vedação da união. De acordo com Veiga (2008), uma junta ao ser apertada, preenche as imperfeições da flange potencializando a vedação ideal. Para isto, devem ser considerados quatro fatores:

- Força de compressão inicial – preenche as imperfeições, devendo ser limitada para não danificar a junta;
- Força residual de vedação – deve existir uma pressão residual sobre a junta, de forma a manter o contato com a flange;
- Seleção dos materiais – a correta seleção do material, como referido no capítulo 6, é um fator importante, pois o material da junta deve resistir às forças a que será submetida, ao mesmo tempo que resiste ao fluido presente no interior da tubagem;
- Acabamento superficial – para cada material e tipo de junta deve ser aplicado o acabamento superficial recomendado, de forma a potencializar a estanquidade. Como regra geral, as superfícies devem ser rugosas para aplicação de juntas não metálicas e devem possuir um acabamento liso para as juntas metálicas.

Na figura 27 estão representadas as quatro forças envolvidas na união das flanges aparafusadas.

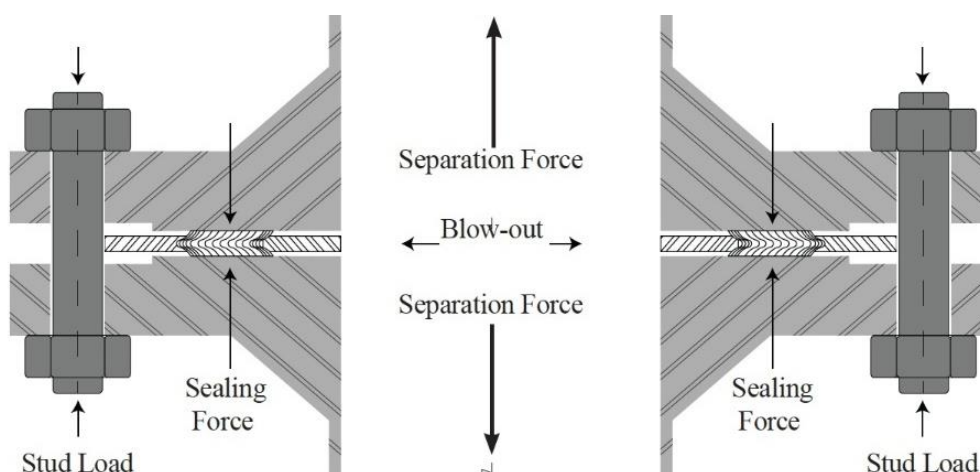


Figura 27 – Forças envolvidas na união de flanges aparafusadas

(Fonte: <http://www.teaditgroup.com/eu/index.php/produtos/gaskets>)

- Força radial (*Blow-out*) – força exercida sobre a junta, originada pela pressão interna;
- Força de separação (*Separation Force*) – também originada pela pressão interna, tende a separar as flanges;
- Força dos parafusos (*Stud Load*) – corresponde à pressão exercida pelo aperto dos parafusos;
- Força de vedação (*Sealing Force*) – força que comprime as flanges contra a junta. Corresponde à força dos parafusos menos a força de separação.

Um dos procedimentos utilizados no dimensionamento de juntas redondas é o do ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), presente no Apêndice 2 do Capítulo VIII Divisão 1 do Código ASME, estabelecendo assim os critérios a seguir no projeto de juntas industriais. Este procedimento, abordado no livro de Veiga (2008), não considera fatores como o relaxamento da junta e os efeitos provocados por variações térmicas. Para a aplicação da metodologia apresentada de seguida, devem ser considerados os seguintes dados da junta:

- Características da junta: $m = 2.9$ e $Y = 3500$ psi;
- Pressão máxima de compressão da junta: $S_{g\text{máx}} = 25000$ psi;
- Diâmetro externo = 0.7493 m;
- Diâmetro interno = 0.7112 m;
- Pressão de projeto = 150 psi = 1034213 Pa.

Para as uniões de condutas redondas, foi aplicada a seguinte metodologia:

1. Força mínima de compressão da junta;

Sem ter em conta a pressão de trabalho, a equação 1 determina a força mínima para esmagar a junta sem a danificar.

$$W_{m2}[N] = \pi \cdot b \cdot G \cdot Y \quad (1)$$

A incógnita b é definida como a largura efetiva da junta e é calculado por:

- $b = b_0$ quando b_0 for igual ou menor que 6.4 mm (2.1)

ou

- $b = 0.5 (b_0)^{0.5}$ quando b_0 for maior que 6.4 mm (2.2)

Para a obtenção do valor de b_0 é necessário recorrer a tabelas que definem a largura radial da junta, com base no tipo da mesma (Veiga J., 2008).

No caso de estudo, foi considerado o perfil 1a da tabela presente no Anexo IV e procedeu-se à resolução da equação 3, calculado através da subtração da largura efetiva da junta no valor do diâmetro externo:

$$N = \frac{(De - Di)}{2} \quad (3)$$

$$N = \frac{(0.7493 - 0.7112)}{2} = 0.01905 \text{ m}$$

Obtido o valor de N é possível resolver a Equação 4:

$$b_0 = \frac{N}{2} \quad (4)$$

$$b_0 = \frac{0.01905}{2} = 0.0095 \text{ m} = 9.5 \text{ mm}$$

Como o valor de b_0 é superior a 6.4 mm, temos que o valor de b é dado pela Equação 2.2:

$$b = 0.5 \cdot (0.0095)^{0.5} = 0.0078 \text{ m}$$

Considerando G como o diâmetro do ponto de aplicação da resultante das forças de reação da junta, temos que:

$$G = De - 2 \cdot b \quad (5)$$

$$G = 0.7493 - 2 \cdot 0.0078 = 0.7337 \text{ m}$$

A força mínima de compressão é dada pela Equação 1:

$$W_{m2} = \pi \cdot 0.0078 \cdot 0.7337 \cdot (3500 \cdot 6894.75729) = 432615.3 \text{ N}$$

2. Força mínima para garantir estanquidade segundo as condições operacionais;

Tendo em conta a pressão de projeto, a força mínima de compressão é dada pela equação 2.

$$W_{m1}[N] = \left(\pi \cdot G^2 \cdot \frac{P}{4} \right) + (2 \cdot b \cdot \pi \cdot G \cdot m \cdot P) \quad (6)$$

$$W_{m1} = \left(\pi \cdot 0.7337^2 \cdot \frac{1034213}{4} \right) + (2 \cdot 0.0078 \cdot \pi \cdot 0.7337 \cdot 2.9 \cdot 1034213) = 544847.7 \text{ N}$$

3. Área mínima dos parafusos;

Deve ser calculada a área mínima dos parafusos, tendo em consideração as forças definidas em 1 e 2. Considera-se S_b como a tensão máxima admissível do parafuso na temperatura operacional e S_a como a tensão máxima admissível do parafuso para a temperatura ambiente. Neste caso, foi considerado o mesmo valor para ambos, 172.4 MPa.

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (7)$$

$$A_{m1} = \frac{544847.7}{172.4 \cdot 10^6} = 0.00316 \text{ m}^2$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (8)$$

$$A_{m2} = \frac{432615.3}{172.4 \cdot 10^6} = 0.00251 \text{ m}^2$$

4. Cálculo dos parafusos;

O dimensionamento dos parafusos deve ser realizado de modo a que a soma das suas áreas seja maior que o valor mais elevado obtido no ponto 3. Assim temos:

$$A_b \geq A_m \Leftrightarrow A_b \geq (n^{\circ} \text{ parafusos} \times \text{área resistiva do parafuso}) \quad (9)$$

Para uma parafusaria com um diâmetro de 25.4 mm, a sua área resistiva é de 0.0003554 m². Assim, com 12 parafusos temos cumprida a condição:

$$A_b = (12 \cdot 0.0003554) = 0.004265 \text{ m}^2 \geq A_{m1}$$

5. Força mínima de aperto;

A força mínima de aperto (W_m) corresponde ao maior valor das forças de compressão calculadas no ponto 1 e 2.

6. Limite de compressibilidade da junta;

O limite máximo de força a aplicar na junta é determinado pela expressão 6.

$$W_{m\acute{a}x} = Sg_{m\acute{a}x} \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (De^2 - Di^2) \quad (10)$$

$$W_{m\acute{a}x} = 172.4 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0.7493^2 - 0.7112^2) = 7533129 \text{ N}$$

7. Força máxima dos parafusos

A força máxima exercida pelos parafusos deve ser sempre menor que o limite de compressibilidade da junta, de forma a garantir que a junta não é danificada, comprometendo assim a estanquidade da máquina. Através da equação 7 e 8 é relacionada a força exercida pelos parafusos com a força máxima a aplicar na junta, onde A_p é a área resistiva do parafuso e S_y a tensão de limite elástico do parafuso.

$$F_{pmax} = A_p \cdot S_y \quad (11)$$

$$F_{pmax} = 0.0003554 \cdot 723.9 \cdot 10^6 = 257291.7 \text{ N}$$

Assim, o limite de compressibilidade da junta deve ser menor que a força máxima exercida pelos parafusos, traduzido pela Equação 12:

$$W_{m\acute{a}x} \leq F_{pmax} \cdot n^{\circ} \text{ parafusos} \quad (12)$$

$$W_{m\acute{a}x} \leq 257291.7 \cdot 12 = 3087500 \text{ N}$$

Após a análise dos resultados é possível comprovar que a força exercida pelos parafusos é superior ao limite da junta, o que obriga a uma reformulação da parafusaria. A solução passa pela alteração da dimensão e número de parafusos utilizados.

Como não existe um processo definido para o dimensionamento de juntas de secção quadrada, foi analisada a força mínima para garantir estanquidade segundo as condições operacionais, garantindo simultaneamente a compressão da junta. Proceder-se então a um processo iterativo, definindo o número e dimensão da parafusaria aplicada, garantindo que a força exercida pelos

parafusos é maior que o valor máximo para a força mínima calculada anteriormente. A metodologia aplicada foi: determinação das forças mínimas descritas no ponto 1 e 2; cálculo da carga máxima exercida pelo parafuso; força total dos parafusos. Após a obtenção dos valores W_{m1} e W_{m2} foram selecionados três parafusos para testar: M12, M10 e M8. Para cada um temos que a tensão de cedência é de 640 MPa.

Com base no ponto 7 e considerando W_{m1} como o valor mais elevado para a força mínima, temos para cada um dos parafusos:

- Parafuso M12 (d = 12 mm; p = 1.75 mm)

$$F_{pmax} = \pi \cdot \left(\frac{d-p}{2}\right)^2 \cdot S_y = \pi \cdot \left(\frac{12-1.75}{2}\right)^2 \cdot 640 = 52810 \text{ N}$$

$$n^{\circ}parafusos \geq \frac{W_{m1}}{F_{pmax}} = \frac{544847.7}{52810} \approx 10 \text{ parafusos}$$

- Parafuso M10 (d = 10 mm; p = 1.5 mm)

$$F_{pmax} = \pi \cdot \left(\frac{10-1.5}{2}\right)^2 \cdot 640 = 36316.8 \text{ N}$$

$$n^{\circ}parafusos \geq \frac{W_{m1}}{F_{pmax}} = \frac{544847.7}{36316.8} \approx 15 \text{ parafusos}$$

- Parafuso M8 (d = 8 mm; p = 1.25 mm)

$$F_{pmax} = \pi \cdot \left(\frac{8-1.25}{2}\right)^2 \cdot 640 = 22902 \text{ N}$$

$$n^{\circ}parafusos \geq \frac{W_{m1}}{F_{pmax}} = \frac{544847.7}{22902} \approx 24 \text{ parafusos}$$

Tendo em conta que o número de parafusos deve ser múltiplo de 4, o número de parafusos M12 seria de 12 e M8 16, perfazendo assim a força máxima exercida pelos parafusos. Todos os valores são superiores a W_{m1} e W_{m2} , respeitando o limite de compressibilidade máxima da junta (ponto 6).

O processo de dimensionamento descrito anteriormente não foi o único método utilizado uma vez que os resultados obtidos para as juntas retangulares não foram coerentes, o que não permitiu validar o dimensionamento das juntas. A solução encontrada pela equipa de projeto da Solien consistiu no dimensionamento das flanges por parte dos elementos mais experientes da equipa, validando a estanquidade da ligação através de análises de elementos finitos efetuadas pelo supervisor da empresa. Devido à elevada complexidade e responsabilidade associada ao dimensionamento das flanges, o estagiário apenas observou este processo.

7.2. Velocidade nas Conduitas

Para garantir o correto funcionamento da máquina, foi necessário garantir determinadas condições de velocidade à entrada e à saída do equipamento, com valores entre 10 a 15 m/s, sabendo que o ar entra a 160°C.

Para a realização dos cálculos foram considerados os apontamentos teóricos da disciplina de Mecânica dos Fluidos da Licenciatura em Engenharia Eletromecânica, em paralelo com o livro de Franco Brunetti, *Mecânica dos Fluidos*, de 2008.

O primeiro passo consistiu na determinação do tipo de escoamento, com base nas considerações verificadas por *Osborne Reynolds* em 1883, na sua famosa experiência onde observou os diferentes tipos de escoamento. Esta, permitiu ao físico a criação do número de *Reynolds*, demonstrando que o tipo de escoamento depende da velocidade média do fluido (u), do diâmetro da tubagem (D) e da viscosidade cinemática do fluido (ν).

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu} = \frac{u \cdot D}{\nu} \quad (13)$$

Dependendo do valor do número de *Reynolds* o tipo de escoamento é definido da seguinte forma:

- Escoamento laminar – $Re < 2000$;
- Escoamento de transição – $2000 < Re < 2300$;
- Escoamento turbulento – $Re > 2300$.

Como a máquina estava prevista para funcionar com a entrada do ar a ser efetuada a 20 °C ou a 160 °C, ambos os casos foram considerados para a determinação do tipo de escoamento. Para uma tubagem DN 150, com um caudal de 1000 m³/h foram considerados os valores de viscosidade cinemática de $15.11 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$ e $29.85 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$, respetivamente para 20°C e 160 °C. Paralelamente foi analisado o tipo de regime no ponto mais quente da máquina (350°C), considerando uma viscosidade cinemática de $55.05 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$.

Os fornecedores de ventiladores especificam o equipamento baseado nas condições NPT, *Normal Temperature and Pressure Conditions*, onde as características do ar são: temperatura de 20°C; pressão atmosférica; e densidade do ar no valor de 1.204 kg/m³. Apesar do caudal ser constante, a massa de ar varia com a temperatura e densidade do ar. De forma a quantificar a expansão volumétrica, foi aplicada a Equação 14 para determinar o caudal real, calculando posteriormente a velocidade associada ao mesmo.

$$Q_{Real} = \frac{Q_{Normalizado} \cdot (273.15 + T_{Operacional})}{(273.15 + T_{NPT})} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (14)$$

Tendo como base o caudal real, foi calculada a velocidade média de escoamento (u) através da Equação 15, onde A corresponde à área interna da tubagem, no valor de 0.021 m².

$$u = \frac{Q_{Real}}{A} \quad (15)$$

Para a entrada de ar a 20°C temos:

$$Q_{Real (20^{\circ}C)} = Q_{Normalizado} = 1000 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$u_{20^{\circ}C} = \frac{Q_{Real} \text{ [m}^3\text{/s]}}{A \text{ (DN150)}} = \frac{1000}{3600} = 0.2778 \text{ [m/s]}$$

$$Re_{20^{\circ}C} = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{0.2778 \cdot 0.1625}{15.11 \cdot 10^{-6}} = 3000$$

Para a entrada de ar a 160°C temos:

$$Q_{Real (160^{\circ}C)} = \frac{1000 \cdot (273.15 + 160)}{(273.15 + 20)} = 1478 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$u_{160^{\circ}C} = \frac{Q_{Real} \text{ [m}^3\text{/s]}}{A \text{ (DN150)}} = \frac{1478}{3600} = 0.4106 \text{ [m/s]}$$

$$Re_{160^{\circ}C} = \frac{0.4106 \cdot 0.1625}{29.85 \cdot 10^{-6}} = 2200$$

Por fim, foi aplicada a mesma metodologia para a conduta retangular que incorpora os catalisadores. Os resultados obtidos são apresentados considerando o ar da conduta a 350°C.

$$Q_{Real (350^{\circ}C)} = \frac{1000 \cdot (273.15 + 350)}{(273.15 + 20)} = 2126 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$u_{350^{\circ}C} = \frac{Q_{Real} \text{ [m}^3\text{/s]}}{A \text{ (0.47} \times \text{0.47)}} = \frac{2126}{3600} = 0.589 \text{ [m/s]}$$

Para a obtenção do número de Reynolds, foi calculado o diâmetro hidráulico (D_h) da tubagem, através da expressão 16 onde A é a área da secção transversal e P o perímetro.

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad (16)$$

$$D_h = \frac{4 \cdot 0.2209}{4 \cdot 0.47} = 0,47 \text{ [m]}$$

$$Re_{350^{\circ}C} = \frac{u \cdot D_h}{\nu} = \frac{0.589 \cdot 0.47}{55.05 \cdot 10^{-6}} = 5000$$

O mesmo processo foi aplicado a cada secção da máquina que resultou na construção de uma folha de cálculo para posterior validação do dimensionamento. O valor máximo do caudal real deve ser inferior ao caudal máximo do ventilador. Desta forma foi possível concluir que estamos perante um regime turbulento em toda a máquina e que as condições necessárias para o correto funcionamento dos catalisadores são cumpridas.

7.3. Perdas Térmicas

As perdas térmicas foram analisadas com base na definição da espessura de isolamento necessária a aplicar na máquina, e na determinação das perdas térmicas da máquina por condução uma vez que durante os testes ao protótipo da máquina a temperatura superficial do revestimento encontrava-se acima dos 50°C, valor máximo aceite pelo cliente.

De modo a determinar a espessura de isolamento necessária a aplicar na máquina, foram utilizadas duas análises: a análise energética das perdas térmicas por condução no isolamento; e o balanço energético das perdas térmicas por convecção.

Para quantificar as perdas térmicas por condução foi aplicada a Lei de Fourier para o cálculo das perdas num cilindro oco, com vista a analisar a tubagem de entrada da máquina e a perda térmica associada a uma espessura de isolamento de 50, 100 e 150 mm. Com base no livro de Robert Balmer, *Modern Engineering Thermodynamics*, e na documentação de apoio da Sirmaf, foi determinada a quantidade de energia perdida para cada espessura de isolamento. A Equação básica da lei de Fourier relativa à condução é dada por

$$\dot{Q}_{cond} = k \cdot A \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \quad (17)$$

onde k representa a condutividade térmica do material, A a área da superfície transversal, ΔT a variação da temperatura e Δx a espessura do material isolante.

A Equação 17 analisa a taxa de transferência de calor através do isolamento, de forma a quantificar a energia transferida por condução através do mesmo e a influência da colocação de várias camadas sobrepostas, visto que o isolamento selecionado foi fornecido em placas de 50 mm de espessura.

Nos seguintes cálculos foi considerado um troço de 1 metro (L), uma condutividade térmica de 0.05 [W/m² · °C] e uma área superficial calculada previamente de valor 1,6 m².

Para 50 mm de isolamento:

$$\dot{Q}_{cond} = 0.05 \cdot 1.6 \left(\frac{(160 - 23)}{0.05} \right) = 219.2 [W]$$

Para 100 mm de isolamento:

$$\dot{Q}_{cond} = 0.05 \cdot 1.6 \left(\frac{(160 - 23)}{0.1} \right) = 109.6 [W]$$

Para 150 mm de isolamento:

$$\dot{Q}_{cond} = 0.05 \cdot 1.6 \left(\frac{(160 - 23)}{0.15} \right) = 73.1 [W]$$

Após concluir que 3 camadas de isolamento definem a transferência de calor por condução em valores aceitáveis pelo cliente, analisou-se de seguida a transferência de energia por convecção.

Para prever a temperatura superficial (T_s) após a aplicação do isolamento, foi realizado um processo iterativo de cálculo com o objetivo de provar que a temperatura da superfície externa não seria superior a 50°C , considerando 150 mm de isolamento térmico. Tendo em conta que o ar no interior da conduta circula a 350°C , o balanço energético pode apresentar 3 abordagens unidirecionais:

- Hipótese 1: Considerar uma conduta de aço inoxidável isolada termicamente e com revestimento exterior em aço galvanizado (Figura 28).

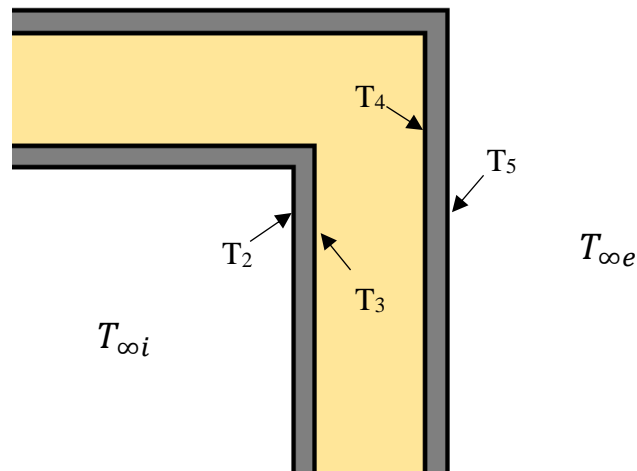


Figura 28 – Representação da parede da conduta – Hipótese 1

A Hipótese 1 considera que existe convecção forçada em $T_{\infty i} - T_2$, condução de calor em $T_2 - T_3$, $T_3 - T_4$, $T_4 - T_5$; e em $T_5 - T_{\infty e}$ existe convecção natural sobre uma placa vertical, sendo o objetivo obter a temperatura superficial da superfície 5 (T_5).

- Hipótese 2: Considerar que a temperatura superficial da conduta é igual à temperatura do ar que circula na tubagem, assim como a existência de isolamento térmico e revestimento exterior em aço galvanizado (Figura 29).

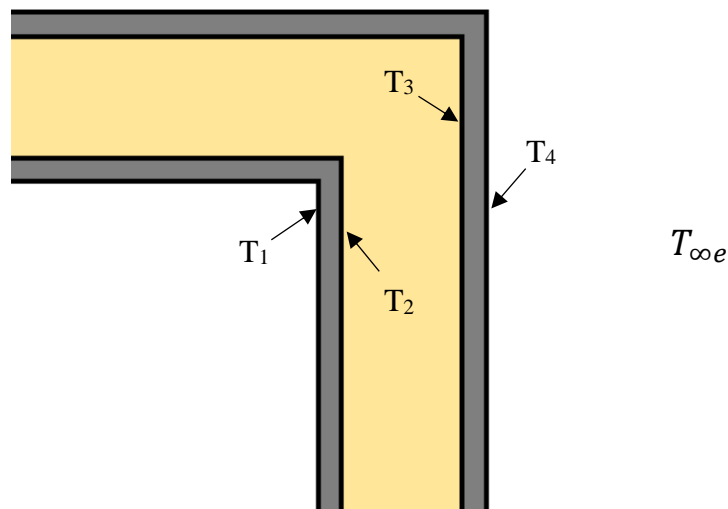


Figura 29 – Representação da parede da conduta – Hipótese 2

Nesta consideração não se considera a convecção forçada e admite-se uma temperatura superficial interna constante de 350°C (T_1).

- Hipótese 3: Devido à reduzida espessura das paredes que fazem fronteira com o isolamento, simplifica-se a análise considerando apenas 3 temperaturas: temperatura da superfície interna; temperatura da superfície externa; e temperatura ambiente. Assim, assume-se o valor de 350°C em T_1 (Figura 30).

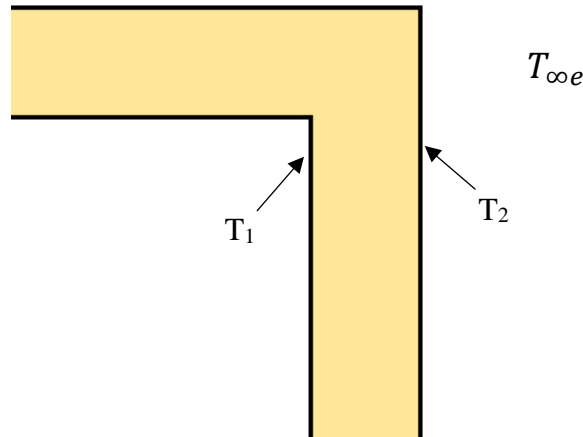


Figura 30 – Representação da parede da conduta – Hipótese 3

Com base nas ações desenvolvidas no decorrer do estágio, é seguidamente apresentado o processo matemático para as resoluções das Hipóteses 1 e 3.

A Hipótese 1 compreende uma análise mais abrangente ao caso de estudo, considerando todas as transferências de calor relevantes para a obtenção da temperatura superficial do revestimento. Com base na Figura 28, devem ser tomadas as seguintes considerações:

- Análise unidirecional (do interior da conduta para o exterior);
- Regime permanente;
- Propriedades constantes;
- Sem geração interna de calor.

Com base na informação contida no livro de Bergman, Lavine, Incropera e Dewitt intitulado *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, deve ser efetuado um balanço energético à superfície 5. Tendo em conta a Primeira Lei da Termodinâmica (Lei da Conservação de Energia), é apresentada a seguinte Equação de balanço energético

$$E_{arm} = E_e - E_s + E_g \quad (18)$$

onde E_{arm} é a energia armazenada no sistema, E_e a energia que entra no sistema, E_s a energia que sai do sistema e E_g a energia gerada pelo sistema.

O valor da E_{arm} é obtido através de

$$E_{arm} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} \quad (19)$$

sendo V o volume do sistema. Como estamos perante um regime permanente ($\frac{dT}{dt} = 0$), o valor da energia armazenada e o valor de E_g são iguais a zero, uma vez que não existe geração interna de calor.

Assim, o balanço energético à superfície exterior (Superfície 5 – Figura 28) é expresso por

$$E_e = E_s \Leftrightarrow Q_{Conduto} = Q_{Convecção}$$

Segundo Bergman *et al.* (2011), a transferência de calor é expressa na Equação 20, sendo ΔT a diferença de temperatura relevante e $\sum Rt$ o somatório das resistências térmicas associadas aos constituintes da secção analisada, representando o calor proveniente da conduta.

$$Q = Q_{Conduto} = \frac{\Delta T}{\sum Rt} \quad (20)$$

Devido ao balanço energético ser efetuado à superfície exterior, o calor proveniente da transferência de calor por convecção é dado pela Equação

$$Q_{Convecção} = h_e \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (21)$$

onde h_e é o coeficiente de transmissão de calor por convecção, A a área da parede, T_s a temperatura superficial e $T_{\infty e}$ a temperatura exterior. Assim é possível expressar através da Equação 22 o desenvolvimento da Equação 18, referente ao balanço energético à superfície externa.

$$\frac{\Delta T}{\sum Rt} = h_e \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty e}) \quad (22)$$

Aplicando a Equação 22 ao caso em estudo obtemos

$$\frac{(T_{\infty i} - T_5)}{(Rt_{1-2} + Rt_{2-3} + Rt_{3-4} + Rt_{4-5})} = h_e \cdot A \cdot (T_5 - T_{\infty e})$$

Para desenvolver a expressão e obter o valor de T_5 , foi analisada a transferência de calor entre cada superfície, com base na Figura 28.

a) Resistência térmica convectiva interior

Devido à circulação de ar quente no interior da conduta estamos perante convecção forçada no interior de uma conduta quadrada. Bergman *et al.* (2011) afirma que a resistência térmica associada à convecção forçada é dada pela Equação 23, sendo h_i o coeficiente de transmissão de calor por convecção.

$$Rt_{1-2} = \frac{1}{h_i \cdot A} \quad (23)$$

Assim, torna-se necessário determinar o tipo de regime presente na tubagem, parâmetro calculado de seguida. Para determinar o regime, calcula-se o número de Reynolds que pode ser determinado através de

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (24)$$

sendo \dot{m} o fluxo de massa de ar, D a largura da conduta e μ a viscosidade dinâmica do ar.

Através da Tabela presente no Anexo V referente às propriedades termofísicas do ar, para uma temperatura média de 623,15 Kelvin ($350^\circ\text{C} + 273,15 = 623,15 \text{ K}$), foram interpolados os valores das propriedades correspondentes a 600 K e 650 K, obtendo-se os seguintes valores para a temperatura média:

- Massa específica: $\rho = 0,55966 \text{ [kg/m}^3\text{]}$;
- Calor específico: $C_p = 1,0566 \text{ [} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K}\text{]}$;
- Viscosidade dinâmica: $\mu = 313,53 \cdot 10^{-7} \text{ [N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}\text{]}$;
- Viscosidade cinemática: $\nu = 56,17 \cdot 10^{-6} \text{ [} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\text{]}$
- Condutividade térmica: $k = 48,196 \cdot 10^{-3} \text{ [} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\text{]}$;
- Número de Prandtl: $Pr = 0,687$.

O fluxo de massa de ar é calculado através da multiplicação do caudal volúmico pela massa específica:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (25)$$

sendo \dot{V} o caudal volúmico. Considerando um caudal máximo do ventilador de 1500 metros cúbicos por hora, temos:

$$\dot{m} = 0,55966 \cdot 1500 = 839,49 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = 0,233 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Considerando a largura da conduta de 0,15 metros, o número de Reynolds é:

$$Re = \frac{4 \cdot 0,233}{\pi \cdot 0,15 \cdot 313,53 \cdot 10^{-7}} = 63080$$

Como o número de Reynolds é superior a 2300 estamos perante Regime Turbulento. Assim, o número de Nusselt é dado por

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^n \quad (26)$$

Assumindo que estamos perante um arrefecimento, o valor de n é assumido como 0,3 e obtemos o seguinte resultado:

$$Nu = 0,023 \cdot 63080^{4/5} \cdot 0,687^{0,3} = 142,1$$

O coeficiente de transmissão de calor interno é dado por

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{Dh} \quad (27)$$

Considerando que Dh (Equação 16) é igual a 0,15 metros, temos:

$$h_i = \frac{142,1 \cdot 48,196 \cdot 10^{-3}}{0,15} = 45,7 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

b) Resistências térmicas condutivas, $Rt_{2-3} = Rt_{4-5}$

Em ambos os casos estamos perante uma condução unidimensional. O valor da resistência térmica associada à condução é dado por

$$Rt_{2-3} = \frac{dx}{k \cdot A} \quad (28)$$

onde dx é a espessura das chapas de aço.

Com base no Anexo VI e considerando que a parede é de 2 mm de aço inoxidável AISI 304, o valor de k é substituído pelo k_{inox} , que corresponde a $15 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$.

c) Resistência térmica condutiva, Rt_{3-4}

A condução é unidimensional, tal como a situação anterior. Neste caso, para uma espessura de 150 mm de isolamento, a resistência térmica associada ao isolamento é dada pela Equação 28, substituindo o valor de k pelo $k_{isolamento}$, correspondente a $0,055 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$.

d) Resistência térmica convectiva exterior, $Rt_{5-\infty e}$

Estamos perante convecção natural sobre uma parede vertical, onde o calor transferido é calculado através da Equação 21. Para realizar o cálculo é necessário obter o valor de h_e , considerando a dimensão característica da parede de 0,7 metros (L). Primeiramente procede-se às interpolações necessárias para obter as propriedades do ar (Anexo V) para a média entre a temperatura ambiente e a temperatura expectável da superfície (Equação 29).

$$T_m = \frac{(T_s + T_{\infty e})}{2} \quad (29)$$

$$T_m = \frac{((50 + 273,15) + (20 + 273,15))}{2} = 308,15 [K]$$

Para a temperatura média obtemos os seguintes valores interpolados entre 300 K e 350 K:

- Difusidade térmica: $\alpha = 23,7 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$;
- Viscosidade cinemática: $\nu = 16,7 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$;
- Compressibilidade: $\beta = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{308,15} = 3,24 \cdot 10^{-3} [K^{-1}]$;
- Condutividade térmica: $k = 26,9 \cdot 10^{-3} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$;
- Aceleração da gravidade: $g = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

Calcula-se então o número de Rayleigh através da Equação 30:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta(T_S - T_{\infty e}) \cdot L^3}{\alpha \cdot \nu} \quad (30)$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \cdot 3,24 \cdot 10^{-3} (323,15 - 293,15) \cdot 0,7^3}{23,7 \cdot 10^{-6} \cdot 16,7 \cdot 10^{-6}} = 8,26 \cdot 10^8$$

Como o número de Rayleigh está compreendido entre $10^4 < Ra_L < 10^9$, o número de Nusselt é obtido através de

$$Nu = 0,59 \cdot Ra_L^{1/4} \quad (31)$$

$$Nu = 0,59 \cdot (8,26 \cdot 10^8)^{1/4} = 100$$

Assim o valor de h_e é dado por:

$$h_e = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (32)$$

$$h_e = \frac{100 \cdot 26,9 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 3,8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

De forma a validar os valores obtidos para a taxa de transmissão de calor na entrada e na saída, considera-se a Figura 31 onde se verifica que para ambos os tipos de convecção, os valores se encontram dentro do intervalo de valores típicos.

Process	h (W/m ² · K)
Free convection	
Gases	2–25
Liquids	50–1000
Forced convection	
Gases	25–250
Liquids	100–20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2500–100,000

Figura 31 – Valores típicos do coeficiente de transmissão de calor por convecção
(Bergman *et al.*, 2011)

Finalizando, torna-se possível calcular o valor de T_5 que é representado pela Equação 22 aplicada ao caso de estudo.

$$\frac{(T_{\infty i} - T_5)}{\left(\frac{1}{h_i \cdot A} + 2 \cdot \frac{\Delta x}{k_{inox} \cdot A} + \frac{\Delta x}{k_{isolamento} \cdot A} \right)} = h_e \cdot A \cdot (T_5 - T_{\infty e})$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \frac{(T_{\infty i} - T_5)}{\left(\frac{1}{h_i \cdot A} + 2 \cdot \frac{\Delta x}{k_{inox} \cdot A} + \frac{\Delta x}{k_{isolamento} \cdot A}\right)} &= h_e \cdot A \cdot (T_5 - T_{\infty e}) \\ \Leftrightarrow \frac{(623,15 - T_5)}{\left(\frac{1}{45,7} + 2 \cdot \frac{0,002}{15} + \frac{0,15}{0,055}\right)} &= 3,8 \cdot (T_5 - 293,15) \\ \Leftrightarrow T_5 &= 321,98 \text{ K} = 48,8 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

A Hipótese 3, processo adotado no decorrer do estágio, aborda as transferências de calor de maior relevância. De forma a facilitar a análise, considerou-se a temperatura interior superficial (T_1) de 350°C , a temperatura exterior superficial (T_2) e a temperatura ambiente (T_∞) (Figura 30). Estas considerações permitiram trabalhar dentro da segurança e evitar a análise da convecção forçada nas curvas e nas reduções de secção na conduta da máquina, visto que a análise se focou numa secção quadrada da máquina.

Procedeu-se assim à determinação da temperatura superficial exterior através da Equação 22 aplicada à Hipótese 3, considerando condução de calor entre o isolamento, o que resulta em

$$\frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{\Delta x}{k_{isolamento} \cdot A}\right)} = h_e \cdot A \cdot (T_2 - T_{\infty e}) \quad (33)$$

Uma vez que as condições do escoamento são iguais às consideradas na Hipótese 1, o valor de h_e , $k_{isolamento}$ e dx são iguais aos considerados anteriormente. O valor de T_2 é obtido através do desenvolvimento da Equação 33, descrita em seguida:

$$\begin{aligned} \frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{\Delta x}{k_{isolamento} \cdot A}\right)} &= h_e \cdot A \cdot (T_2 - T_{\infty e}) \\ \Leftrightarrow \frac{(623,15 - T_2)}{\left(\frac{0,15}{0,055}\right)} &= 3,8 \cdot (T_2 - 293,15) \\ \Leftrightarrow T_2 &= 322,2 \text{ K} = 49,05^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Como foi provado, ambas as considerações apresentam um resultado inferior aos 50°C observados no revestimento da máquina, durante os testes do protótipo, o que obrigou a uma análise cuidada das pontes térmicas existentes na máquina porque os cálculos anteriores indicaram que a temperatura não deveria ser tão elevada. Foram então identificadas pontes térmicas nos suportes estruturais da máquina e na conduta dos catalisadores. Assim, foi criada uma instrução de trabalho para acompanhar a máquina e auxiliar a inspeção da aplicação do isolamento. Esta incluiu imagens indicativas das possíveis pontes térmicas, exemplos de cálculos de perdas energéticas por condução e/ou convecção e ainda indicações relativas à aplicação do isolamento e os aspetos necessários para garantir o correto funcionamento da máquina que garante 150 mm de isolamento em todas as direções.

Após a análise das perdas térmicas, foi possível concluir que 150 mm de isolamento é suficiente para garantir os requisitos de saúde e segurança relativa à segurança do operador, e para garantir uma temperatura superficial inferior a 50°C. Adicionando, a instrução criada deve ser utilizada por operadores devidamente formados e com capacidade intelectual para interpretar e validar os resultados obtidos, munidos de proteção individual.

7.4. Dilatação Térmica

Como a temperatura de funcionamento da máquina é bastante elevada, é importante analisar os efeitos da dilatação térmica na estrutura do equipamento. Devido à variação da temperatura no interior da máquina, cada conjunto foi analisado individualmente, quantificando a dilatação total da máquina. O deslocamento é obtido através da seguinte Equação:

$$dL = \alpha \cdot L_0 \cdot dT \tag{34}$$

Onde:

- dL é a variação do comprimento do corpo [m];
- α é o coeficiente de dilatação linear do material [°C⁻¹];
- L_0 é o comprimento inicial do corpo [m];
- dT é a variação da temperatura [°C];

A máquina foi dividida em três zonas: condutas, permutador de calor e união entre ventilador e permutador. Cada uma foi analisada individualmente, sendo o caso das condutas o mais complexo pois exigiu uma divisão suplementar, devido à presença do aquecedor que leva a que dentro das condutas existam diferentes temperaturas. De forma a exemplificar os cálculos efetuados, é possível observar na tabela 4 a dilatação térmica associada às condutas, visto ser a zona de maior interação em termos de temperatura e deslocamento. Como a secção das condutas é constituída por dois troços dispostos horizontalmente, é importante analisar a diferença de dilatações entre a conduta superior e a inferior, visível na última linha da tabela 4, retirada da folha de cálculo desenvolvida no período de estágio. Cada secção das condutas foi dividida em dois de forma a analisar detalhadamente o comportamento de cada troço.

Tabela 4 – Dilatação Linear das condutas

	dL [mm]	dL [m]	α [m/m°C]	L0 [m]	dT [°C]
Conduta Superior I – Secção 1	2,87	0,0029	0,000017	0,65	260
Conduta Superior I – Secção 2	3,32	0,0033	0,000017	0,65	300
Conduta Superior II – Secção 1	2,53	0,0025	0,000017	0,496	300
Conduta Superior II – Secção 2	3,04	0,0030	1,75E-05	0,496	350
Conduta Inferior – Secção 1	8,35	0,0084	0,000017	1,694	290
Conduta Inferior – Secção 2	2,86	0,0029	0,000017	0,6	280
Desvio da expansão da conduta superior e inferior	0,55				

Considerando que o material das condutas é o aço inoxidável normalizado AISI 304, os valores considerados para o coeficiente de dilatação tiveram como base a ficha técnica do material disponibilizada pelo fornecedor de aços RolMetals, disponível no Anexo VI.

Após a verificação de que a conduta superior expande mais que a inferior, é necessário quantificar esta diferença em termos de esforços. Procedeu-se então ao cálculo da tensão originada pela alteração da temperatura, percebendo-se assim qual dos ramos (superior ou inferior) iria promover esforços na conduta de ligação. Tendo em consideração que a expansão restrita de um material é convertida em tensão, foram consideradas 4 equações fundamentais para a análise numérica: a equação do deslocamento (Equação 34), do módulo de elasticidade (E) (Equação 35) e da deformação elástica (ε) (Equação 36), que podem ser combinadas com a expressão da tensão térmica originada pela dilatação (σ_{dT}) (Equação 37),

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (35)$$

$$\varepsilon = \frac{dL}{L_0} \quad (36)$$

$$\sigma_{dT} = E \cdot \varepsilon \quad (37)$$

sendo σ a tensão aplicada.

Considerando as equações apresentadas anteriormente, foi calculada a tensão por dois métodos:

1. Combinando as Equações 36 e 37 temos:

$$\sigma_{dT} = E \cdot \frac{dL}{L_0} \quad (38)$$

Considerando que o material tem um módulo de *Young* no valor de 200 GPa e que, para um comprimento de 2292 mm temos uma expansão de 1 mm, obteve-se o seguinte resultado:

$$\sigma_{dT} = E \cdot \frac{dL}{L_0} = 200 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2292} = 87.3 \text{ MPa}$$

2. Desenvolvendo a Equação 37, com base nas Equações 34 e 36, temos a seguinte expressão:

$$\sigma_{dT} = E \cdot \frac{(\alpha \cdot L_0 \cdot dT)}{L_0} = E \cdot \alpha \cdot dT \quad (39)$$

Analisando individualmente a conduta superior e a inferior, realizou-se um balanço final aos esforços promovidos pelas condutas. Para a conduta superior, que incorpora o aquecedor, temos:

- Coeficiente de dilatação térmica (400 °C) – $17.5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$
- Variação da temperatura (balanço entre a temperatura média na conduta e a temperatura ambiente no exterior) – 282.5 °C

Desenvolvendo a Equação 39 obtemos:

$$\sigma_{dT(Heater)} = E \cdot \alpha \cdot dT = 200 \cdot 10^3 \cdot 17.5 \cdot 10^{-6} \cdot 282.5 = 988.75 \text{ MPa}$$

Analisando a conduta inferior, os dados a considerar são:

- Coeficiente de dilatação térmica (300 °C) – $17 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$
- Variação da temperatura (balanço entre a temperatura média na conduta e a temperatura ambiente no exterior) – 265 °C

Os esforços criados pela expansão da conduta inferior são obtidos através de

$$\sigma_{dT(Catalyst)} = E \cdot \alpha \cdot dT = 200 \cdot 10^3 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot 265 = 901 \text{ MPa}$$

O balanço final aos esforços gerados pelas condutas é dado por

$$\sigma_{dT} = \sigma_{dT(Heater)} - \sigma_{dT(Catalyst)} = 988.75 - 901 = 87.75 \text{ MPa}$$

Finalizando, podemos concluir que os dois métodos apresentam resultados semelhantes, podendo assim concluir que os esforços a considerar na conduta de união, será de aproximadamente 87.5 MPa na zona de ligação com a conduta superior.

7.5. Dimensionamento à Encurvadura

A base da máquina está equipada com 8 varões roscados que servem de suporte a toda a estrutura superior. No decorrer do desenvolvimento do projeto, surgiu a necessidade de avaliar se estes eram capazes de suportar o peso total do equipamento. Para isso, procedeu-se à análise dimensional à encurvadura de forma a quantificar a força que seria necessário cada varão suportar, calculando paralelamente o diâmetro recomendado para o varão.

Recorrendo à documentação de apoio da disciplina de Estruturas Mecânicas do Mestrado em Engenharia Mecânica, foi determinado o coeficiente adimensional, K, que depende do tipo de apoio da coluna. Para a aplicação da fórmula de *Euler* foi selecionado um valor de K=2, que especifica uma coluna com uma extremidade livre e outra encastrada. Este fator determina também a substituição na fórmula de *Euler* de L, comprimento livre da coluna de valor 0,15 metros, pelo comprimento livre equivalente ($L_e = KL$). Para proceder ao cálculo, é necessário considerar o módulo de elasticidade de 207 GPa e o momento de inércia da secção circular ($I = 5.42 \cdot 10^{-10} \text{ [m}^4\text{]}$).

Calculada através do comprimento e da rigidez à tração, a fórmula de *Euler* determina a força máxima (ou crítica) suportada pela coluna vertical (Equação 40).

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_e^2} \quad (40)$$

Resolvendo a equação, obtemos:

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot 5.42 \cdot 10^{-10}}{(2 \cdot 0.15)^2} = 12280.96 \text{ N}$$

Como estamos perante 8 apoios, de forma a determinar o peso suportado por cada apoio é necessário dividir a força anterior pelos 8 apoios e dividir pela aceleração da gravidade para obter o resultado em quilograma.

$$P_{Cr\ Apoio} = \frac{P_{Cr}}{8} = 1535.12\ N$$

$$P_{Cr\ Apoio} = \frac{1535.12}{9.81} = 156\ kg$$

Podemos então concluir que cada apoio irá suportar no máximo, 156 kg.

Os varões que constituem os apoios da máquina são da categoria M12. Com o objetivo de validar que o diâmetro dos apoios suporta o peso da máquina em segurança, procede-se à determinação do diâmetro recomendado. Para isso, calcula-se o momento a que o apoio está sujeito durante o funcionamento da máquina, sendo este criado pela força de atrito proveniente da expansão térmica da mesma. Através da equação 41, é calculado o valor da força de atrito (Fa), considerando o coeficiente de atrito de 0,2, correspondente ao material utilizado, e uma força normal associada ao peso suportado por cada apoio. Este valor foi arredondado para 1600 N, representando os 156 kg que cada apoio suporta.

$$Fa = \mu \cdot N \quad (41)$$

Sendo μ o coeficiente de atrito e N a força normal. Assim:

$$Fa = 0,2 \cdot 1600 = 320\ N$$

Determinada a força de atrito, considera-se que o valor do braço (b) corresponde ao comprimento livre do apoio que é de 0,112 metros. Através da equação 37 é possível determinar o momento fletor (M) associado às forças de atrito.

$$M = Fa \cdot b \quad (37)$$

$$M = 320 \cdot 0,112 = 35,84\ N \cdot m$$

Para determinar o diâmetro recomendado, é necessário desenvolver a equação 38 que representa a tensão normal associada flexão, para obter a equação 39 que permite determinar o diâmetro recomendado para os apoios.

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{Ix} \quad (38)$$

Onde d é o diâmetro e Ix é o momento polar de inércia. Desenvolvendo:

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3}$$

A expressão que determina o diâmetro recomendado para os apoios é

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \sigma}} \quad (39)$$

Considerando a tensão de cedência do material de 230 MPa, temos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 35,84}{\pi \cdot 230 \cdot 10^6}} = 0.0117 \text{ m}$$

O diâmetro recomendado para o apoio é 11,7 mm, o que valida a utilização de varões M12 para os apoios da máquina.

8. Conclusão

A Solien é uma empresa com uma carteira de clientes vasta e com elevada experiência, sendo uma mais valia estar integrada no grupo Sirmaf dado o acesso preferencial ao conhecimento do grupo na área da construção de máquinas especiais. Ao longo do percurso do estagiário, foi possível observar a importância da Diretiva Máquinas na elaboração de projetos mecânicos que garante o cumprimento dos requisitos essenciais de saúde e segurança.

Tendo em conta que os serviços oferecidos pela Solien são vastos e centrados nas necessidades do cliente, foi necessário abordar diversas temáticas experienciadas pelo estagiário e que consolidam o tema do presente documento uma vez que a análise de um só projeto se revela insuficiente para demonstrar as ações desenvolvidas no período de estágio curricular. Adicionalmente, refere-se que um fator preponderante na definição da abordagem ao presente documento centrou-se na baixa ênfase dada à DM no meio académico. É opinião do estagiário que a documentação normativa deve possuir um papel mais preponderante academicamente de forma a que o cumprimento das principais diretivas seja um tema presente em todos os profissionais da área.

Relativamente aos objetivos previamente definidos, destaca-se o desenvolvimento da contextualização da DM ao longo do presente documento com as ações desenvolvidas no projeto mecânico de equipamentos através de documentação normativa, pesquisas bibliográficas e da experiência adquirida nos nove meses de estágio curricular. Assim, afirma-se que estes foram alcançados através da contextualização da DM com as ações desempenhadas, da apresentação de exemplos da aplicação de cada ponto chave da diretiva e sua fundamentação teórica visto que a sua correta análise e compreensão é fundamental para garantir o cumprimento dos requisitos de saúde e segurança. Os objetivos só foram possíveis alcançar devido ao foco do estagiário estar centrado na organização sistemática da informação relativa ao desenvolvimento do projeto mecânico e a sua relação com a Diretiva Máquinas.

Devido ao período de estágio na empresa ser de duração inferior ao período usual de desenvolvimento completo de um projeto, e pelo facto do estagiário ter estado envolvido em diversos projetos, foram sentidas dificuldades na definição da abordagem deste relatório. Além disso, a ausência de publicações credíveis que abordassem diretamente a DM e a dificuldade de contextualização da diretiva nas ações realizadas na empresa foi também um obstáculo que teve de ser ultrapassado. Apesar das dificuldades sentidas, foi bastante gratificante o estagiário ter tido a oportunidade de trabalhar e adquirir experiência em várias áreas da engenharia, acompanhando uma equipa experiente e dinâmica que cooperou e auxiliou na aquisição de conhecimentos na área do projeto de Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos. O conhecimento e experiência adquirida só foi possível devido à equipa onde o estagiário esteve integrado que disponibilizou total apoio nas ações desempenhadas e motivação constante.

No decorrer do estágio e na elaboração do presente relatório, o estagiário adquiriu conhecimentos relevantes para as funções de projetista mecânico, em grande parte devido ao apoio da equipa de trabalho, acrescido do interesse e motivação pessoal constante, contribuindo assim para o aprofundamento de conhecimento normativo e da conclusão deste documento.

Também se torna essencial referir que através da postura adotada pelo estagiário de elevada curiosidade e interesse pelos temas abordados foi possível concluir esta etapa com sucesso.

Deste relatório sobressai também a importância das normas europeias para a livre circulação do equipamento no mercado europeu, às quais garantem o cumprimento normativo através da marcação CE do equipamento, e a clarificação de que o principal objetivo da DM se foca na garantia por parte do fabricante dos requisitos essenciais de saúde e segurança do equipamento e do operador. O estágio curricular permitiu compreender a importância da DM na área de projeto mecânico de equipamentos, assim como para o próprio projetista. Durante os nove meses de permanência na Solien foi possível evidenciar que um dos aspetos mais importantes que define um bom projetista mecânico é ter sempre presente a diretiva e aplicar os seus requisitos de forma natural e intuitiva no decorrer de todo o processo de desenvolvimento de um equipamento. Como prospeção futura, a intenção centra-se pela criação de uma base de conhecimento sólida e que seja vantajosa para os profissionais da área através da exploração de outras normas relevantes, nomeadamente as designadas Diretivas Nova Abordagem, ou através de uma abordagem mais focada na marcação CE.

Referências Bibliográficas

Aguiar, F. (2014). *Uma Metodologia para Aplicação da Marcação CE em Máquinas* (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Amaro, P. (2017). *Apontamentos Práticos da Unidade Curricular de Estruturas Mecânicas*, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Autoridade de Segurança Alimentar e Económica. (2016). *Segurança das Máquinas*. Recuperado de: <https://www.asae.gov.pt/newsletter2/asaenews-n-95-marco-2016/seguranca-das-maquinas.aspx> [acedido em novembro de 2018]

Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., Dewitt, D. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Nova Jersey, Estados Unidos da América: John Wiley & Sons.

Budynas, R. & Nisbelt, J. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. Nova Iorque, Estados Unidos da América: McGraw-Hill.

Comissão Europeia. (2016). *Guia Azul de 2016 sobre a Aplicação das Regras da UE em matéria de Produtos*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/growth/content/%E2%80%98blue-guide%E2%80%99-implementation-eu-product-rules-0_en

Comissão Europeia. (2019). *The Single Market: Europe's best asset in a changing world*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/factsheet_single_market.pdf

Completo, A. & Melo, F. (2017). *Introdução ao Projeto Mecânico*. Porto, Portugal: Quântica Editora.

Documentação Interna Sirmaf

Engineering ToolBox. (2003). *Decibel A, B and C*. Recuperado de: https://www.engineeringtoolbox.com/decibel-d_59.html

Farinha J. (2011). *Manutenção – A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Lisboa, Portugal: Monitor.

Instituto Português da Qualidade, I.P. (2008). *Decisão n.º 768/2008/CE*. Recuperado de: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/493403fe-dd8d-4178-9297-1b324d5b140a/language-pt>

Instituto Português da Qualidade, I.P. (2008). *Decreto de Lei n.º 103/2008*. Recuperado de: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/456188/details/maximized>

Instituto Português da Qualidade, I.P. (2012). *Decreto de Lei n.º 71/2012*. Recuperado de: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/553661/details/maximized>

Instituto Português da Qualidade, I.P. (2019). *Instituto Português da Qualidade*. Recuperado de: <http://www1.ipq.pt/PT/IPQ/Pages/IPQ.aspx>

Instituto Português da Qualidade, I.P. (2019). *Relatório Anual de Atividades 2010*. Recuperado de:

http://www1.ipq.pt/PT/IPQ/InstrumentosGestao/RelatorioActividades/Documents/Relatorio_Atividades_2010.pdf

International Standardization Organization. (2004). *ISO/IEC 17050-1*. Recuperado de: <https://www.qsp.org.br/biblioteca/pdf/iso17050-1.pdf>

Mendes, J. (2006). *Apontamentos da Unidade Curricular de Mecânica dos Fluidos*, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Oliveira, H. (2010). *A Marcação CE e as Directivas Nova Abordagem*. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/15563838.pdf>

Parlamento Europeu e do Conselho. (2006). *Directiva 2006/42/CE relativa às máquinas e que altera a Directiva 95/16/CE*. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042>

Pikaar, R. (1990). *Meeting diversity in Ergonomics*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/261625949_Ergonomics_in_control_room_design

Project Management Institute, Inc. (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Recuperado de: https://www.works.gov.bh/English/ourstrategy/Project%20Management/Documents/Other%20PM%20Resources/PMBOKGuideFourthEdition_protected.pdf

Roseiro, L. (2011). *Apontamentos Teóricos da Unidade Curricular de Estruturas Mecânicas*, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Santos, G. (2014). *Engenharia.pt – Uma via verde para o desenvolvimento tecnológico e económico de Portugal*. Porto, Portugal: Vida Económica.

Sea Soluções. (2019). *Proteções das Máquinas, qual a sua Importância*. Recuperado de: <https://sea-solucoes.com/site/protecoes-das-maquinas-qual-importancia/>

Shimbun, N. (1988). *Poka Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects*. Recuperado de: https://books.google.pt/books?id=hR_8U1z6d_oC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false

Shingo, S. (1996). *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia da Produção*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/327634491_Conceitos_do_Sistema_Toyota_de_Producao_propostos_por_Shingo_e_Ohno_e_sua_aplicabilidade_atual_nas_organizacoes

Sirmaf. (2019). *Serviços*. Recuperado de <https://www.sirmaf.pt/pt/servicos/>

Veiga, J. (2008). *Juntas Industriais*. Recuperado de: <https://pt.scribd.com/document/369125115/Juntas-Industriais-Teadit-2008>

Anexos

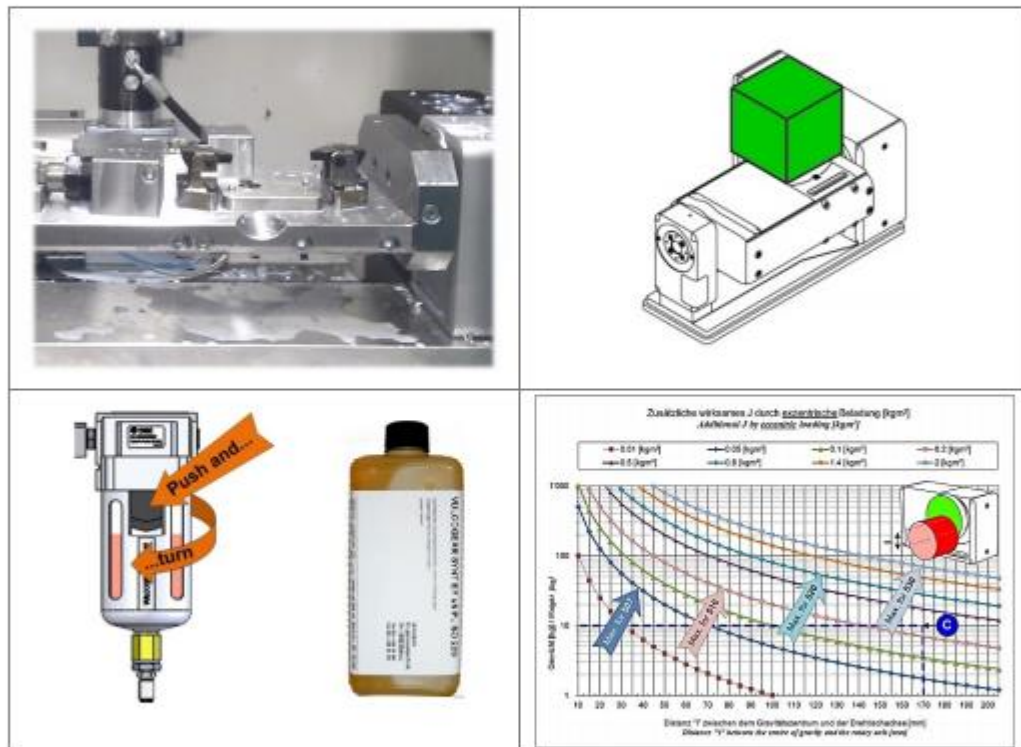
Anexo I – Exemplo de Manual de Instruções

 LEHMANN®

Manual de instruções PADRÃO

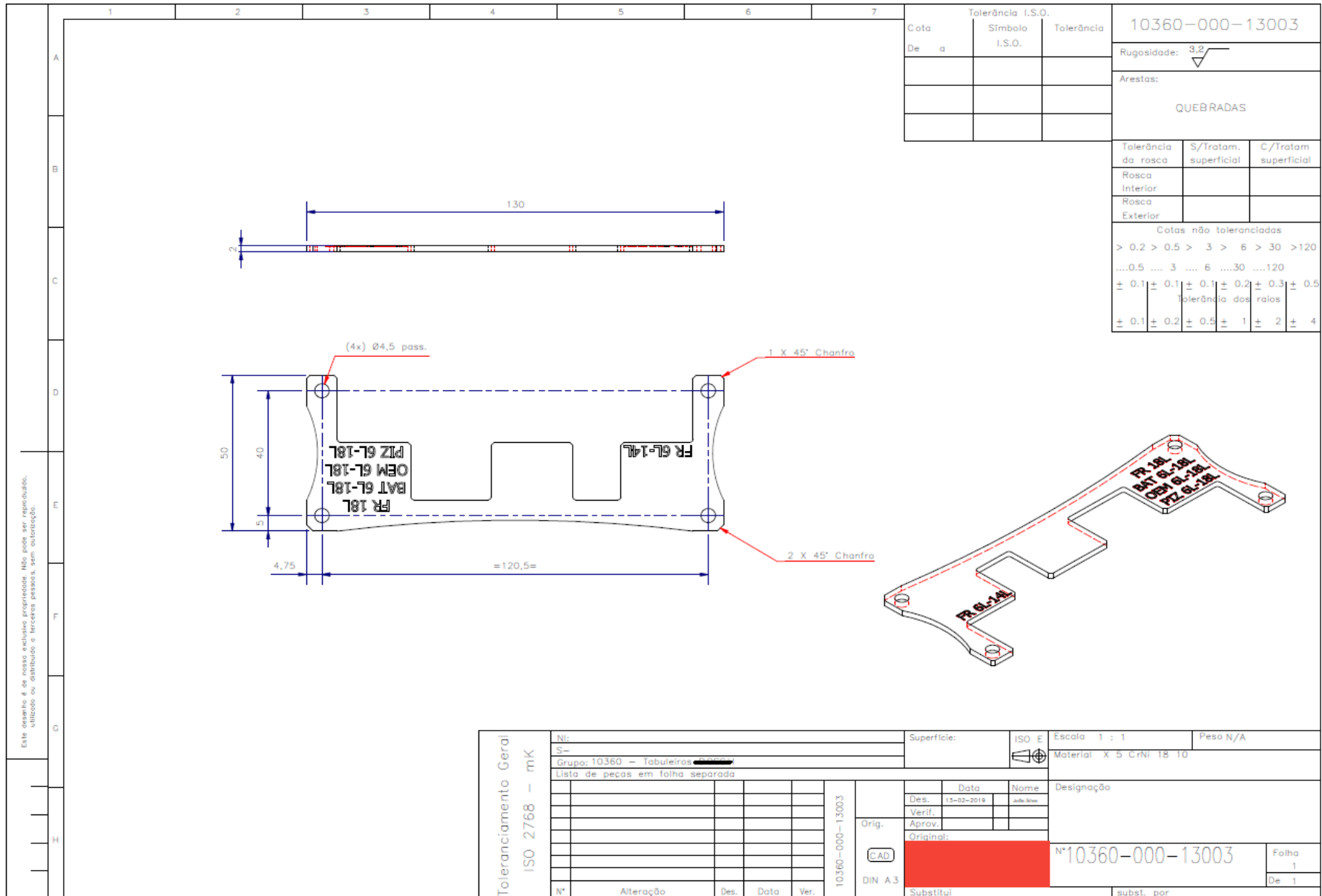
Mesa rotativa pL-CNC Série

Com engrenagem – tecnologia **preciGEAR**



Fabricante:
Peter Lehmann AG
Bäraustrasse 43
CH-3552 Bärau
www.lehmann-rotary-tables.com

Anexo II – Desenho 2D de Fabrico



Anexo IV – Largura Radial da Junta

Perfil da Superfície de Vedação		Largura Efetiva b_0	
		Coluna I	Coluna II
(1a)		$N / 2$	$N / 2$
(1b)		$N / 2$	$N / 2$
(1c)	$w \leq N$	$(w + T) / 2$	$(w + T) / 2$
(1d) Vide nota 1	$w \leq N$	$(w + N) / 4$ máx	$(w + N) / 4$ máx
(2) Ressalto de 0.4 mm	$w \leq N/2$	$(w + N) / 4$	$(w + 3N) / 8$
(3) Ressalto de 0.4 mm	$w \leq N/2$	$N / 4$	$3N / 8$
(4) Vide nota 1		$3N / 8$	$7N / 16$
(5) Vide nota 1		$N / 4$	$3N / 8$
(6)		$w / 8$	—

Fonte: (Veiga J., 2008)

Anexo V – Propriedades termofísicas do ar à temperatura ambiente

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
● 300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
● 350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
● 600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
● 650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Fonte: (Bergman, 2011)

Anexo VI – Ficha técnica do aço inoxidável AISI 304 – RolMetais



AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 304

DESCRIÇÃO DO MATERIAL

Aço inoxidável ao Cromo - Níquel, com uma baixíssima percentagem de carbono: <0,07%. Esta circunstância confere-lhe uma resistência à corrosão inter-cristalina (destruição do grão, por corrosão) superior à dos normais aços inoxidáveis tipo 18/8. Pode ser soldado, mesmo para ser exposto a severo ataque corrosivo, sem que necessite de tratamento térmico após a soldadura, dada a quase total eliminação da formação de carbonetos, consequência dos modernos processos por que é produzido. No caso de soldadura oxi-acetilénica, é indispensável usar chama neutra. É um aço com estrutura austenítica, pelo que é anti-magnético. A sua dureza não pode, pois, ser aumentada por têmpera. Não é aconselhável para trabalhos a temperaturas constantes superiores a 300°C. Permite excelente maquinabilidade. É muito dúctil, sendo de fácil estampagem e embutidura. É resistente à corrosão da maior parte dos ácidos e sais. Deve ser polido, o que elevará a sua resistência à corrosão.

PERFIS DISPONÍVEIS: Redondo, rectangular.

ESTADO DE FORNECIMENTO: Tratado

COR: Preto, laranja

APLICAÇÕES

Tinas, recipientes diversos, tubagens, veios e outro equipamento para as indústrias de tinturaria, de laticínios, de bebidas, de produtos alimentares, de combustíveis, etc.

NORMAS

Werk N.	Euronorm EN	DIN	AISI	AFNOR	SS
1.4301	X 5 Cr Ni 18-10	X 5 Cr Ni 18 9	304	Z 6 CN 18 10	2333

COMPOSIÇÃO QUÍMICA %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	N
≤ 0.07	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.015	≤ 0.045	17.0 - 19.5	8.00 - 10.5	≤ 0.11

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Solução-Recozido à temperatura ambiente (amostras longitudinais)									
Dureza HB 30	Limite Elasticidade 0,2% ≥ Mpa		Resistência à tracção Mpa		Alongamento L ₀ =5 d ₀ ≥ %	Estricção Z ≥ %	Resiliência 0,2% J (prova DVM)		
≤ 215	190	225	500 - 700		45	60	≥ 100		
Estado solução-recozido a elevadas temperaturas									
0,2% Limite Elasticidade em Mpa									
100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C
1550	1400	1270	1180	1100	1040	980	950	920	900
Coeficiente de dilatação térmica entre 20 °C e °C (10-6 K-1)									
100	200	300	400	500	600	700	800		
16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	18.5	18.5	19.0	

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidade (20 °C) g/cm ³	Calor Especifico (20 °C) J/(g.K)	Condutividade Térmica (20 °C) W/(K.m)	Resistência Eléctrica (20 °C) .mm ² /m	Modulo de Elasticidade (20 °C) kN/mm ²	Magnético
7.9	0.50	15	0.73	200	Não*

TRATAMENTO TÉRMICO

Tratamento	°C	Método
Forjamento e Laminagem	1200 - 900	Forjar rápido e energicamente, e arrefecer ao ar seco do ambiente (não soprado). Evitar a permanência a temperaturas entre 600 e 800°C. Em caso contrário, o aço deverá ser reaquecido a 1100°C. e arrefecido rapidamente até à temperatura ambiente.
Têmpera	1000 - 1100	Aquecer até à temperatura indicada e, logo que esta seja atingida, arrefecer imediatamente: Espessuras até 2 mm: ao ar; Espessuras além de 2 mm: em água.

Recuperado de:

http://rolmetais.com/ficheiros/fichas_tecnicas/FT_23_ficha_tecnica_AISI_304_Site.docx.pdf