



Universidade de Aveiro  
2022

José Pedro Cadete  
Tróia

Estudo e conceção de um filtro prensa para a  
indústria cerâmica





**José Pedro Cadete  
Tróia**

**Estudo e conceção de um filtro prensa para a  
indústria cerâmica**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizado sob orientação científica de Pedro André Dias Prates, Professor Auxiliar em Regime Laboral do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de Rui António da Silva Moreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



**O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor Sérgio Manuel Oliveira Tavares**

Professor Auxiliar em Regime Laboral da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor Diogo Mariano Simões Neto**

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Prof. Doutor Pedro André Dias Prates**

Professor Auxiliar em Regime Laboral da Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a todas as pessoas que me acompanharam e que se cruzaram comigo ao longo desta jornada, nomeadamente à minha família, pilar fundamental na minha vida. Obrigado mãe, obrigado pai, por me darem esta oportunidade e de nunca desistirem de mim. Obrigado aos meus primos, onde se destacam o Daniel e o Jorge, pessoas que sempre tiveram paciência e que me ajudaram. Obrigado às minhas tias e tios, que, mesmo à distância sempre me apoiaram. Não menos importante que a família, obrigado a todos os meus amigos e pessoas que conheci durante este percurso. Obrigado à Rita e ao Tiago por me aturarem sempre que precisei. Um obrigado aos Migueis, por serem as pessoas mais próximas neste curso. E claro obrigado à Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira, SA e à Universidade de Aveiro por me darem esta oportunidade. Um obrigado à Helena que sempre teve paciência para mim durante a pequena passagem pela empresa, e um grande obrigado ao meu supervisor João que foi incansável a todos os níveis. Por fim, obrigado ao meu orientador, professor Pedro Prates, pela sua disponibilidade e ajuda sempre que possível e ao meu co-orientador, professor Rui Moreira. Obrigado!





**Palavras-chave**

Filtro Prensa; Modelação; Simulação Numérica, Verificação, Estágio.

**Resumo**

O presente documento tem como propósito apresentar e descrever o estágio realizado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. O estágio foi realizado na empresa Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira SA em parceria com a Universidade de Aveiro e teve como tema a verificação e dimensionamento dos componentes principais de um filtro prensa para a indústria cerâmica, assim como realizar simulações numéricas. A Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira, SA está inserida no setor da metalurgia e metalomecânica e é uma empresa que se especializa na área de construção e manutenção de máquinas industriais (cerâmicas, serrações de madeira, construção civil). Foi proposto por parte desta empresa, um estudo e conceção de um filtro prensa para a indústria cerâmica. Este tipo de filtro separa os líquidos e os sólidos utilizando uma filtragem por pressão, onde um fluido é bombeado para o filtro prensa e é descarregado sob pressão também. No desenvolvimento do filtro prensa, foi usada a ferramenta Solidworks para auxílio da sua conceção e para simulações numéricas dos componentes principais.



**Keywords**

Filter Press; Model Design, Numeric Simulation, Verification, Internship.

**Abstract**

The purpose of this document is to present and describe the internship work carried out to obtain the Master's degree in Mechanical Engineering. The internship was carried out at the company Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira SA in partnership with the Universidade de Aveiro and its theme was the verification and the dimensioning of the main components of a filter press for the ceramic industry, as well as the numerical simulation of the components. Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira, SA is part of the metallurgy and metalworking sector and is a company that specializes in the construction and maintenance of industrial machines (ceramics, wood sawmills, civil construction). It was proposed by the company, a study and design of a filter press for the ceramic industry. This type of filter separates liquids and solids using pressure filtration, where a fluid is pumped into the filter press and a pneumatic cylinder compresses the plates in order to separate the components of the fluid. In the development of the filter press, Solidworks was used to aid on the design and for numerical simulations of the main components.



# Índice

<b>I</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	3
1.2	Motivação/Objetivos/Metodologia . . . . .	3
1.3	Organização do Documento . . . . .	4
<b>2</b>	<b>EMPRESA COBEL</b>	<b>5</b>
2.1	História/Descrição da empresa . . . . .	5
2.2	Localização e Dimensão . . . . .	5
<b>3</b>	<b>SISTEMA FILTRO PRENSA</b>	<b>7</b>
3.1	História Filtro Prensa . . . . .	7
3.2	Filtração . . . . .	9
3.2.1	Filtração a vácuo . . . . .	11
3.2.2	Filtração centrífuga . . . . .	13
3.2.3	Filtração sob pressão . . . . .	14
3.3	Funcionamento do filtro prensa horizontal . . . . .	15
3.4	Constituintes do filtro prensa . . . . .	16
3.5	Aplicações do Filtro Prensa . . . . .	19
3.5.1	Indústria Mineira . . . . .	19
3.5.2	Tratamento de Águas Residuais . . . . .	20
3.5.3	Indústria Química . . . . .	21
3.5.4	Indústria Farmacêutica . . . . .	21
3.5.5	Indústria Alimentar . . . . .	22
3.5.6	Indústria Cerâmica . . . . .	23
3.6	Configuração do filtro prensa a abordar no projeto . . . . .	23
<b>II</b>	<b>Métodos e Resultados</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>CÁLCULO E PROJETO</b>	<b>27</b>
4.1	Critérios de verificação para o cálculo (Design Criteria) . . . . .	28
4.1.1	Verificação e cálculo do número de placas . . . . .	29
4.1.2	Verificação e cálculo da dimensão do cilindro pneumático . . . . .	32
4.1.3	Seleção e verificação do dimensionamento das vigas de suporte . . . . .	39

<b>5</b>	<b>MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO NUMÉRICA</b>	<b>43</b>
5.1	Modelação do projeto . . . . .	43
5.1.1	Modelação e Simulação Numérica do cilindro pneumático . . . . .	44
5.1.2	Modelação e Simulação Numérica da viga . . . . .	47
5.1.3	Modelação e Simulação Numérica da cabeça móvel . . . . .	49
5.1.4	Modelação de outros componentes . . . . .	53
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>55</b>
6.1	Resultados para o cilindro pneumático . . . . .	55
6.2	Resultados para a viga IPE 400 . . . . .	57
6.3	Resultados para a cabeça móvel . . . . .	59
<b>III</b>	<b>Conclusões</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>63</b>
7.1	Conclusões . . . . .	63
<b>IV</b>	<b>Anexos</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>
8.1	Anexos A . . . . .	67
8.1.1	Anexo A-1 . . . . .	67
8.1.2	Anexo A-2 . . . . .	69

# Lista de Tabelas

4.1	Exigências e dados principais fornecidos pelo cliente. . . . .	28
4.2	Composição sólida da pasta cerâmica. . . . .	29
4.3	Detalhes da placa filtrante. . . . .	30
4.4	Informação sobre as bombas de pressão e cilindro. . . . .	32
4.5	Fator de Correção baseado nas características da velocidade do cilindro. . . . .	34
4.6	Massa dos respectivos componentes sustentados pelas vigas. . . . .	41
5.1	Comparação dos dados obtidos em relação ao modelo da empresa. . . . .	43





# Lista de Figuras

3.1	Extração do vinho através de uma prensa de saco (antigo Egípto) [2]; . . .	7
3.2	Esquema do processo Merrill Crowe [4]; . . . . .	8
3.3	Filtro prensa automático horizontal ou de placas verticais; . . . . .	9
3.4	Passos do processo de separação sólido-líquido [7]; . . . . .	10
3.5	Partículas alojadas fora do filtro [7]; . . . . .	11
3.6	Partículas alojadas dentro do filtro [7]; . . . . .	11
3.7	Filtro a vácuo por disco; . . . . .	12
3.8	Filtro a vácuo por correias (horizontal); . . . . .	12
3.9	Filtro a vácuo de tambor rotativo; . . . . .	12
3.10	Centrifugadora industrial; . . . . .	13
3.11	Filtro prensa horizontal ou filtro prensa de placas verticais; . . . . .	14
3.12	Filtro prensa vertical ou filtro prensa de placas horizontais; . . . . .	14
3.13	Câmaras criadas através da junção das placas; . . . . .	15
3.14	Etapas de um ciclo de um filtro prensa; . . . . .	15
3.15	Tipos de placas filtrantes; . . . . .	16
3.16	Placas e armação; . . . . .	17
3.17	Placas de compressão; . . . . .	17
3.18	Placas de compressão com membrana; . . . . .	18
3.19	Filtro de pano; . . . . .	18
3.20	Filtros prensa utilizados na indústria mineira; . . . . .	19
3.21	Esquema do processo do tratamento de águas residuais com recurso a filtro prensa; . . . . .	20
3.22	Filtro prensa utilizado na indústria química; . . . . .	21
3.23	Filtro prensa utilizado na indústria farmacêutica; . . . . .	22
3.24	Filtro prensa utilizado na indústria alimentar; . . . . .	22
3.25	Filtros prensa utilizados na indústria cerâmica; . . . . .	23
4.1	Componentes principais; a) cilindro; b) placa; c) viga.; . . . . .	27
4.2	Dimensões úteis da placa filtrante; . . . . .	29
4.3	Dimensões úteis máximas da placa filtrante; . . . . .	33
4.4	Condições fronteira [18]; . . . . .	35
4.5	Coefficientes de esbelteza para tipos de aço [18]; . . . . .	36
4.6	Coefficientes de imperfeição tendo em conta a secção transversal [18]; . . .	37
4.7	Cálculos realizados para $\lambda = 20$ ; . . . . .	38
4.8	Cálculos realizados para chegar ao valor ideal de $\lambda$ ; . . . . .	39
4.9	Características da viga IPE 400 [19]; . . . . .	40
4.10	Forças aplicadas sob as vigas (vista lateral); . . . . .	41

4.11	Características da viga IPE-400 MDSolids; . . . . .	42
4.12	Diagramas da flecha na viga; . . . . .	42
5.1	Modelação do cilindro pneumático; . . . . .	44
5.2	Fronteira e força aplicada ao modelo; . . . . .	44
5.3	Condições de Malha aplicada; . . . . .	45
5.4	Malha aplicada ao cilindro; . . . . .	46
5.5	Detalhes da malha aplicada ao cilindro; . . . . .	46
5.6	Viga IPE 400 modelada; . . . . .	47
5.7	Apoios (a verde) e forças aplicadas (a roxo) a uma só viga; . . . . .	47
5.8	Características da malha aplicada na viga; . . . . .	48
5.9	Malha aplicada à viga; a) Vista de perfil; b) Vista de topo; c) Vista lateral; . . . . .	48
5.10	Detalhes da malha aplicada à viga; . . . . .	49
5.11	Cabeça móvel modelada; . . . . .	50
5.12	Face fixada; . . . . .	50
5.13	Face onde é aplicada a força do cilindro; . . . . .	51
5.14	Condições de malha aplicada à cabeça móvel; . . . . .	51
5.15	Malha aplicada à cabeça móvel; . . . . .	52
5.16	Detalhes da malha aplicada à cabeça móvel; . . . . .	52
5.17	Cabeça fixa do cilindro pneumático; . . . . .	53
5.18	Cabeça fixa da entrada de pasta cerâmica; . . . . .	53
5.19	Tubo com costura e tampo; . . . . .	54
5.20	Conjunto tubo+tampo; . . . . .	54
6.1	Características do aço CK45; . . . . .	55
6.2	Tensão de cedência pelo critério de von Mises no cilindro; . . . . .	56
6.3	Deslocamento após aplicação dos esforços no cilindro; . . . . .	56
6.4	Características do aço S275; . . . . .	57
6.5	Tensão de cedência pelo critério de von Mises na viga; . . . . .	58
6.6	Deslocamento após aplicação dos esforços na viga; . . . . .	58
6.7	Tensão de cedência pelo critério de von Mises na cabeça móvel; . . . . .	59
6.8	Deslocamento após aplicação dos esforços na cabeça móvel; . . . . .	59



Parte I

Introdução



# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

Este documento tem como finalidade, registar o trabalho efetuado ao longo do estágio curricular na empresa COBEL – Construções Electro-Mecânicas da Beira SA, no âmbito da Unidade Curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

O estágio teve como objetivo o estudo e a verificação de dimensionamentos de vários componentes de uma máquina filtro prensa do tipo horizontal, para a indústria cerâmica. Este estágio teve a duração de, aproximadamente, 4 meses (7 de março a 24 de Junho), realizando-se um total de 540 horas de estágio, de um total de 810 horas referentes à UC.

### 1.2 Motivação/Objetivos/Metodologia

Um dos principais motivos para optar pela realização de um estágio foi a necessidade pessoal de ter um contacto direto com o mercado de trabalho e com a realidade de fazer parte do dia a dia de uma empresa. Neste cenário, foi possível meter em prática conhecimentos obtidos na área de Engenharia Mecânica, como também adquirir e desenvolver aptidões quer do âmbito pessoal como profissional.

Outro dos motivos foi a concretização da possibilidade de elaborar um projeto que assentava em áreas de interesse pessoal, como a conceção e modelação de produtos e a preparação dos respetivos desenhos técnicos.

O objetivo deste projeto consiste no desenvolvimento e conceção de um filtro prensa, através do auxílio da ferramenta Solidworks, tendo em conta as dimensões de uma máquina industrial para componentes cerâmicos. Neste trabalho serão recolhidas informações acerca do modo de funcionamento deste tipo de máquina, a realização de desenhos técnicos referentes a componentes do filtro prensa, assim como os seus estudos numéricos.

Deste modo, foram realizadas as seguintes etapas durante o decorrer do processo:

- Adquirir conhecimentos na empresa Cobel sobre a produção e o funcionamento de máquinas industriais filtro prensa;
- Análise e recolha das dimensões do tipo de máquina através de um modelo 3D disponibilizado;
- Cálculo e verificação das dimensões dos componentes principais do filtro prensa;

- Análise por elementos finitos da estrutura modelada com o auxílio da ferramenta Solidworks.
- Discussão dos resultados obtidos e sugestão futuras.

### 1.3 Organização do Documento

Este relatório encontra-se dividido em sete partes. O primeiro capítulo é referente à introdução do tema do projeto. Neste capítulo deu-se foco à contextualização deste trabalho e aos seus objetivos, tanto do tema deste relatório, como também a nível pessoal.

No segundo capítulo foi apresentado um pouco da história da empresa Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira SA, assim como a sua localização e visão enquanto empresa.

O terceiro capítulo introduz o conceito de máquina filtro prensa. Este capítulo visa sobretudo enquadrar o leitor acerca dos vários tipos de aparelhos de filtração existentes, o modo de funcionamento da máquina filtro-prensa horizontal, a enumeração dos seus constituintes e as várias aplicações em todos os tipos de indústria. Depois de revistos os conceitos teóricos acerca do projeto, os quarto e quinto capítulos concentram-se na parte prática do trabalho. No quarto capítulo são realizados cálculos para o dimensionamento de componentes, considerados principais para a construção da máquina, para, posteriormente, comparar com os valores das dimensões da máquina fornecida pela empresa.

Já o quinto capítulo concentra-se na modelação e na escolha das malhas do modelo construído a partir dos cálculos realizados no capítulo anterior, tendo como base o modelo fornecido pela empresa.

No sexto capítulo são abordados a discussão dos resultados obtidos a partir das simulações numéricas realizadas.

Por fim, no sétimo e último capítulo, as conclusões acerca do projeto realizado, recomendações futuras, outros tipos de estudo ou abordagens a ter acerca os conceitos consolidados e objetivos conseguidos.

## Capítulo 2

# EMPRESA COBEL

### 2.1 História/Descrição da empresa

A Cobel – Construções Electro-Mecânicas da Beira, SA foi fundada a 17 de outubro de 1946, através de uma estrutura familiar, e está inserida no sector da metalurgia e metalomecânica. A empresa foi criada para responder às necessidades das empresas locais, com o objetivo de fornecer serviços de qualidade a um preço acessível, comparativamente com a concorrência que existia na altura em que foi criada.

No início da sua atividade, a empresa era virada para as indústrias cerâmicas de barro vermelho e serrações de madeira. Conseguiu angariar clientes em praticamente todo o país, e até alguns fora da Europa como por exemplo Angola. Com o desenvolvimento da indústria, a empresa foi crescendo e no seu auge chegou a ter perto de 100 trabalhadores, tendo então na altura a possibilidade de assim, se tornar numa Sociedade Anónima.

Com o passar do tempo, e com a evolução do mercado, várias fábricas clientes da Cobel encerraram e outras chegaram a fundir-se. Consequentemente a empresa foi-se alargando e adaptando a outros sectores, trabalhando hoje praticamente para todos os ramos da indústria.

A Cobel tem como missão proporcionar serviços de alta qualidade respondendo assim, às necessidades específicas dos clientes.

### 2.2 Localização e Dimensão

A Cobel funciona em instalações próprias com uma área aproximada de 5000  $m^2$  e está situada na freguesia de Mogofores, concelho de Anadia. Atualmente emprega 34 trabalhadores (30 homens e 4 mulheres).





## Capítulo 3

# SISTEMA FILTRO PRENSA

Este capítulo é essencial para o decorrer do projeto, visto que tem como objetivo dar a conhecer e clarificar os vários conceitos e aplicações que englobam o uso de máquinas filtro prensa, bem como o seu *modus operandi*. Toda esta informação é sustentada através da realização de uma pesquisa minuciosa e detalhada acerca do mercado que produz este tipo de máquinas, assim como outras dissertações, artigos ou projetos desenvolvidos da área.

### 3.1 História Filtro Prensa

Os primeiros géneros de filtros prensa da história tiveram a sua origem há milhares de anos. O primeiro povo a construir um filtro do tipo prensa, foi o povo chinês. Foi durante a época da dinastia Shang (1600 a.C.), que foi concebido um tipo de filtro prensa, em madeira, para produzir chá de camélia. Já no Egipto (1543-1292 a.C.), o sumo das uvas era extraído com uma prensa de saco. A extração era realizada com o auxílio de duas estacas que atuavam como torniquete, pois eram rodadas em direções opostas (Figura 3.1). Também os romanos partilham uma história semelhante à dos egípcios, ao produzir vinho com prensas de madeira entre 100 a.C. e 400 d.C. [1].

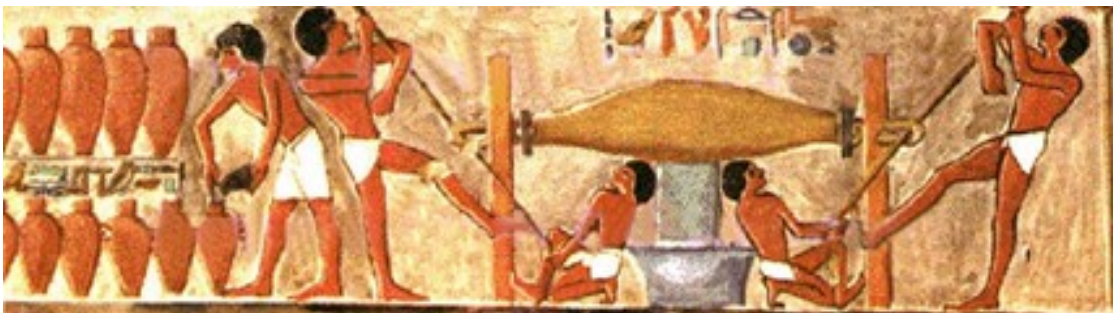


Figura 3.1: Extração do vinho através de uma prensa de saco (antigo Egipto) [2] ;

Estes conceitos arcaicos de filtro prensa permaneceram em grande parte inalterados até à revolução industrial. Em 1853, no Reino Unido, foi criado o primeiro filtro prensa

mecânico (filtro prensa Johnson Press) que era usado sobretudo para a indústria alimentar [1].

Na indústria mineira, as evoluções e inovações no setor fizeram com que a necessidade de existir um filtro prensa mais eficiente aumentasse. Em 1783, o cientista Carl William Scheele descobriu que o ouro se dissolvia em cianeto. Foi então que em 1889 surgiu a primeira aplicação de cianeto para a recuperação de ouro em máquinas filtro prensa para indústria mineira [1] [3].

Mais tarde, Charles Washington Merrill e James B. Crowe, promoveram o desenvolvimento do processo de recuperação de ouro, acabando por ser conhecido como o processo Merrill Crowe (Figura 3.2). A primeira parte do processo foi inventada por Merrill e consistia na precipitação de ouro a partir de uma solução de cianeto, utilizando aparas de zinco. Mais tarde, em 1913 Crowe adicionou uma torre de vácuo ao processo. Este método evoluiu rapidamente para utilizar pó de zinco em vez de aparas de zinco. Assim o filtro prensa foi utilizado para recuperar o pó de zinco a partir das soluções de cianeto de ouro [1].

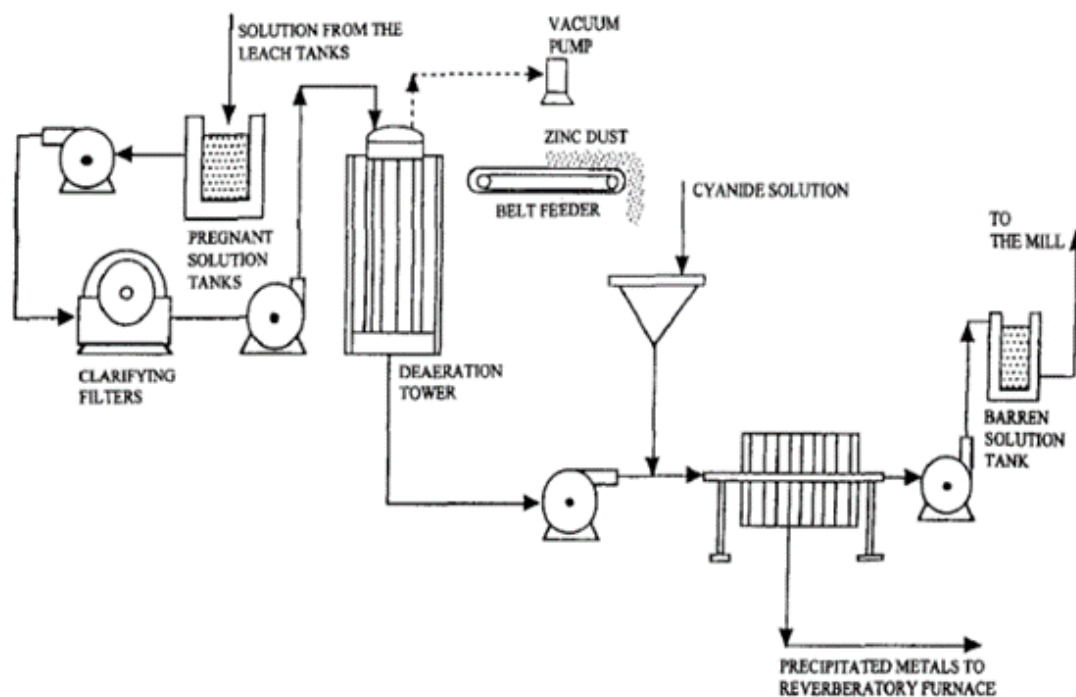


Figura 3.2: Esquema do processo Merrill Crowe [4];

Em 1959, K. Kurita e S. Suwa desenvolveram o primeiro filtro prensa automatizado do mundo. Este filtro prensa tinha uma maior eficiência na remoção dos “cakes” e na absorção de humidade. Anos mais tarde, a empresa de Kurita começou a desenvolver filtros flexíveis para diminuir a humidade nos bolos de filtração (cakes), que hoje em dia é conhecido como AFP (Automatic Filter Press) (Figura 3.3). Nesta configuração, as placas são insufladas com ar ou água para remover humidade adicional. O AFP é controlado por um PLC (Programmable Logic Controlled), dispositivo este que permite

um controlo digital que é mais preciso e permite melhorar a produção, o serviço e o tempo de funcionamento em aplicações industriais [1].

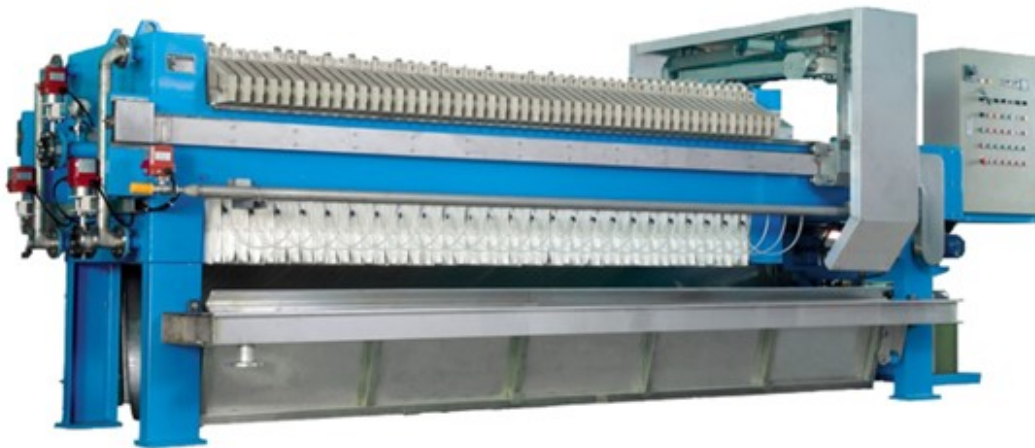


Figura 3.3: Filtro prensa automático horizontal ou de placas verticais;

## 3.2 Filtração

A filtração é o processo de separação das partículas sólidas ou micro-organismos de um líquido ou de um gás. Estes sólidos, ficam depositados num filtro (meio poroso), que é permeável apenas à fase fluida da mistura a ser separada [5]. Neste trabalho, o foco irá ser direcionado única e exclusivamente para a separação sólido-líquido.

A separação sólido-líquido pode ser dividida em quatro fases principais: Pré-tratamento, concentração de sólidos, separação de sólidos e pós-tratamento. Em todo o processo de separação, a filtração é considerada um passo muito importante, já que, é neste passo, que tanto o sólido ou o líquido podem ser reaproveitados [6]. Todos os passos de separação estão representados no diagrama abaixo (Figura 3.4):

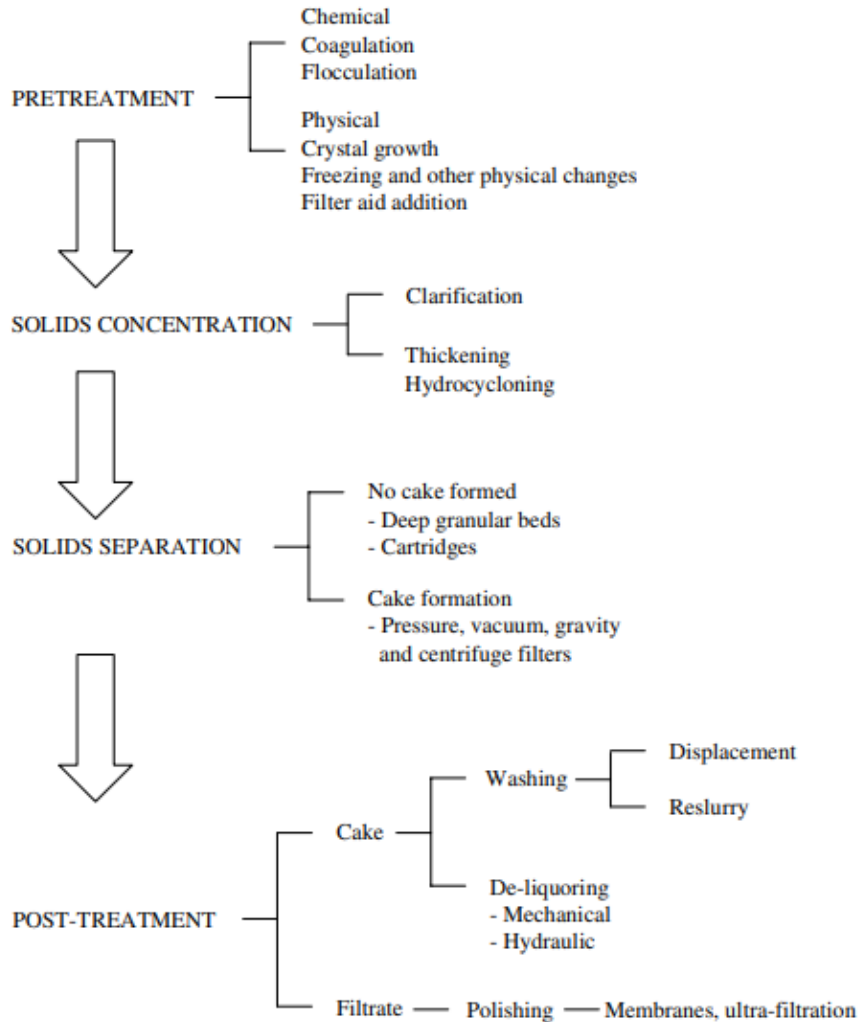


Figura 3.4: Passos do processo de separação sólido-líquido [7];

- Pré-tratamento - As propriedades do material a ser filtrado são alteradas para aumentar a sua granulometria, através por exemplo, de tratamento químico, floculação ou coagulação.
- Concentração de sólidos - Parte do líquido do material a ser filtrado é removida para reduzir a carga no filtro, por exemplo, são adicionados ao material componentes para aumentar a sua permeabilidade.
- Separação de Sólidos - Os sólidos são separados dos líquidos pela operação de filtração, podendo ou não existir a formação de lastras (denominado "filtration cake").
- Pós-tratamento - Caso exista a formação de lastras, estas são lavadas ou espremidas para remover qualquer excesso de líquido.

Concentrando agora a atenção para o terceiro ponto do diagrama, separação de sólidos, a filtração tem como objetivo a purificação do líquido, a recuperação dos sólidos ou em alguns casos, ambos. Na purificação, o líquido é tipicamente um produto valioso e os sólidos são de pequena quantidade e muitas vezes descartados sem tratamento adicional. No entanto, se o intuito é de recuperar os sólidos, estes requerem um trabalho adicional, já que têm muitas vezes de ser lavados e secos, como já se descreveu anteriormente [5].

Como se pode verificar pelo diagrama, no processo de separação de sólidos, pode existir ou não a formação de lastras. Isto significa que a localização da retenção das partículas é diferente nos dois casos. Para o caso da formação de lastra, as partículas ficam alojadas na superfície do filtro (Figura 3.5).

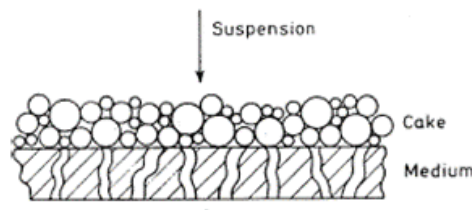


Figura 3.5: Partículas alojadas fora do filtro [7];

Para o caso da não formação de lastra, as partículas ficam alojadas no interior do filtro (Figura 3.6).

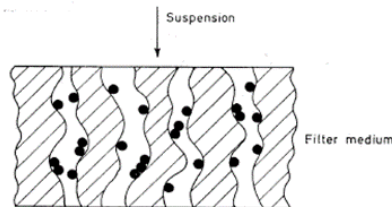


Figura 3.6: Partículas alojadas dentro do filtro [7];

### 3.2.1 Filtração a vácuo

A filtração a vácuo consiste no uso de uma bomba de vácuo que aplica uma força de sucção durante o processo. Os equipamentos de filtração a vácuo operam sempre de modo contínuo e realizam diversas etapas ao longo de um ciclo. A formação de lastras, a secagem, a lavagem e a descarga das lastras são algumas dessas etapas.

A formação de lastras pode ocorrer pela deposição do material sobre o filtro, como acontece nos filtros horizontais, ou pela aspiração do material sólido para a zona do filtro, como nos filtros de disco e tambor. O processo de secagem é realizado sob ação do vácuo e consegue retirar a água presa na estrutura da do bolo de filtração. O descarregamento do bolo formado pode ser realizado de diversas formas. No caso de filtros de discos convencionais, a descarga é feita pela inversão do fluxo de ar a atuar no filtro. Existem três tipos de filtros a vácuo (Figura 3.7, Figura 3.8 e Figura 3.9):

- Filtro a vácuo por disco;



Figura 3.7: Filtro a vácuo por disco;

- Filtro a vácuo horizontais por correia;



Figura 3.8: Filtro a vácuo por correias (horizontal);

- Filtro a vácuo de tambor rotativo.



Figura 3.9: Filtro a vácuo de tambor rotativo;

### 3.2.2 Filtração centrífuga

As centrifugadoras representam uma das principais técnicas para separar sólidos de líquidos. Este sistema é usado principalmente para sedimentação e filtração e opera em modo contínuo ou descontínuo [8].

As aplicações de separação centrífuga são variadas, desde clarificação e purificação de líquidos, espessamento, fracionamento e triagem de partículas, lavagem de sólidos, até à separação líquido-líquido ou líquido-líquido-sólido para extração de sólidos ou líquidos [8].

Misturas heterogêneas tais como o óleo e água, areia e água, gravilha e água irão acabar por se separar com o passar do tempo da sedimentação natural provocada pela força gravítica. A tecnologia de filtração centrífuga acelera este processo natural ao girar os materiais a alta velocidade. Isto gera uma força muito superior à força de gravidade, reduzindo assim o tempo de espera. Ao alterar a forma da centrifugadora, a velocidade de rotação, a orientação do rotor, a taxa de fluxo, e outros fatores, é possível melhorar a eficiência da separação dos materiais misturados na centrifugadora [9].

As centrifugadoras industriais dividem-se em dois tipos:

- Centrifugadora a dois tempos (bifásica), separa dois materiais numa única etapa. Esta é normalmente uma separação líquido-líquido (muitas vezes à base de óleo e de água) ou uma separação sólido-líquido. Uma enorme vantagem das centrifugadoras de sólidos líquidos é que podem separar consistentemente partículas e fluidos com impacto mínimo no caudal e sem a necessidade de meios filtrantes descartáveis.
- Centrifugadora a três tempos (trifásica) proporciona uma separação sólido-líquido-líquido numa única etapa (processo contínuo).



Figura 3.10: Centrifugadora industrial;



### 3.2.3 Filtração sob pressão

O sistema de filtragem sob pressão é caracterizado pela aplicação de uma força positiva sobre as placas de filtração, através do auxílio de um cilindro pneumático. Este processo pode ser realizado automaticamente ou manualmente. É neste tipo de filtração que se inserem os filtros prensa de placas.

O filtro-prensa de placas é uma máquina industrial utilizada em vários sectores da indústria para desidratar fluidos densos e lodo, separando a parte sólida da parte líquida. Tanto a parte líquida como a parte sólida podem ser aproveitados no final do processo cíclico.

Na filtragem sob pressão destacam-se dois tipos de filtro prensa, o filtro prensa horizontal ou filtro prensa de placas verticais (Figura 3.11) e o filtro prensa vertical ou filtro prensa de placas horizontais (Figura 3.12).



Figura 3.11: Filtro prensa horizontal ou filtro prensa de placas verticais;



Figura 3.12: Filtro prensa vertical ou filtro prensa de placas horizontais;

### 3.3 Funcionamento do filtro prensa horizontal

Os filtros prensa horizontais ou de placas verticais são o tipo de máquinas que funcionam através do método de filtração por pressão, como já foi referido nos capítulos anteriores. Este será o tipo de filtro prensa a ser abordado durante todo o resto do trabalho.

Durante o processo de filtração dos filtros prensa horizontais, o composto a ser filtrado é bombeado para as câmaras de placas filtrantes. Estas câmaras são "criadas" quando da junção das placas através de força exercida por um cilindro pneumático nas placas (Figura 3.13). A força exercida para o transporte do líquido é fornecida por uma bomba de alimentação. À medida que a bomba de alimentação aumenta a pressão, os sólidos acumulam-se dentro das câmaras das placas filtrantes até estas estarem completamente cheias de sólidos. Isto forma as lastras. As lastras libertam-se quando as câmaras entre as placas estão cheias, dando assim o ciclo por encerrado.

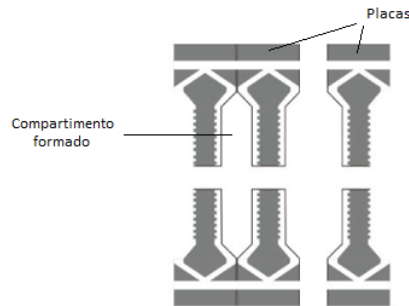


Figura 3.13: Câmaras criadas através da junção das placas;

As placas filtrantes são revestidas com panos filtrantes especiais de acordo com a respetiva aplicação. Estes panos retêm os sólidos em camadas (lastras) durante o fluxo. O filtrado, que penetra nos panos filtrantes, é descarregado ao longo de um sistema de canais através do dreno introduzido nas placas filtrantes [10].

Sendo assim, o ciclo de filtração de um filtro prensa é essencialmente dividido em quatro fases (Figura 3.14):

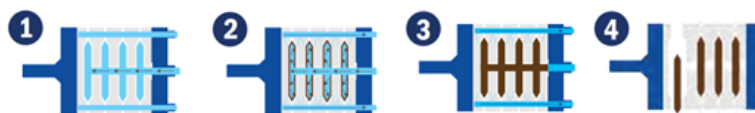


Figura 3.14: Etapas de um ciclo de um filtro prensa;

1. O material a ser filtrado é injetado para o interior das câmaras;
2. Os sólidos começam a acumular-se e a formar as lastras;
3. As lastras são formadas;
4. As placas são abertas para remover as lastras formadas.

### 3.4 Constituintes do filtro prensa

Como todo o tipo de maquinaria existente, que apresenta uma estrutura base bem definida, o filtro prensa é constituído por vários componentes. Embora todos sejam importantes, para este subcapítulo foram destacados apenas os que considero de mais relevância para o tipo de trabalho que foi desenvolvido.

Assim, existem três componentes principais num filtro prensa:

A primeira parte da estrutura a ser enumerada é denominado por "esqueleto do sistema" ou "frame", e atua como dispositivo de fixação para as placas filtrantes [11] [12]. É a parte que sustenta o sistema. Divide-se nas seguintes partes:

- Coletor de válvulas e tubagens;
- Sistema de cabeça fixa;
- Sistema de cabeça móvel;

Em segundo lugar, as placas filtrantes:

Existem três categorias de placas filtrantes, todas com diferentes funções. A primeira, placa e armação ("plate and frame"), a segunda, placa de compressão ("recessed chamber plate") e por fim, placa de compressão com membrana ("membrane squeeze filter plate") [11]. Os esquemas de montagem das placas encontram-se ilustrados na figura seguinte (Figura 3.15.):

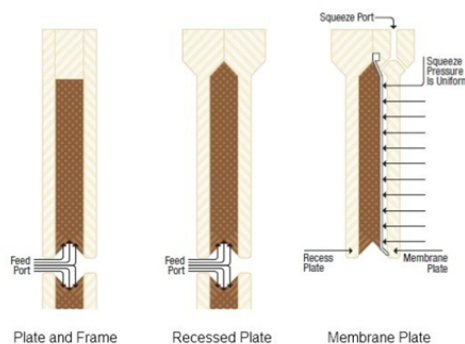


Figura 3.15: Tipos de placas filtrantes;

As primeiras placas, placas e armação (plate and frame plates) (Figura 3.16) são dos desenhos mais antigos de placas filtrantes e consistem apenas num conjunto de pelo menos três placas encostadas, onde uma delas (a interior) apresenta uma abertura, onde fica

alojada a lastra. Ainda assim, apesar de ser a menos usada e mais antiga, traz algumas vantagens, tais como:

- Permitir espessuras diferentes das lastras ao adicionar uma "frame" com a dimensão da espessura alterada;
- Operar a baixas pressões.

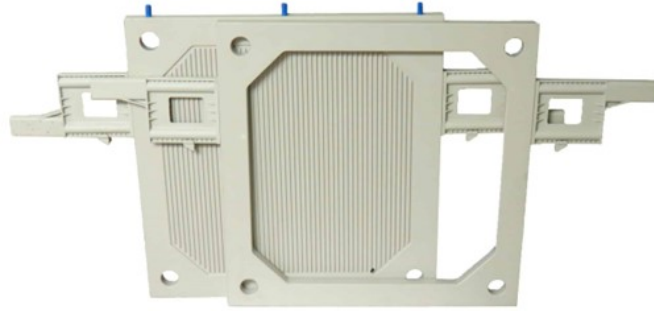


Figura 3.16: Placas e armação;

O segundo tipo de placas, as placas de compressão (recessed chamber plate) (Figura 3.17) são utilizadas em várias marcas de filtro prensa, e representam a placa mais utilizada [11]. Estas placas oferecem melhores vantagens em relação às placas de armação:

- As placas filtrantes são mais resistentes do que as placas e armação;
- No processo de abertura de placas, as lastras caem a partir do momento em que as placas são separadas, ou são facilmente removidas com uma espátula;
- Operar a pressões mais elevadas.



Figura 3.17: Placas de compressão;

Por fim as placas de compressão com membrana (Figura 3.18). Este tipo de placa é mais dispendioso do que as placas de compressão. Apresenta vantagens em relação às

placas de compressão tais como:

- Maior capacidade de filtração;
- Reduz o tempo de ciclo, podendo aumentar assim a produtividade.



Figura 3.18: Placas de compressão com membrana;

Por fim, o último elemento da estrutura, o filtro de pano, "filter cloth", que é posto em contacto com as placas filtrantes (filter plates). Tem como objetivo a acumulação dos sólidos no pano, sítio esse onde fica alojada a lastra [11].

Na filtragem de alta pressão, por vezes são utilizados fixadores para suportar os próprios tecidos filtrantes, o que favorece a evacuação do filtrado e melhora a vida útil do próprio tecido filtrante [12].



Figura 3.19: Filtro de pano;

### 3.5 Aplicações do Filtro Prensa

São inúmeras as aplicações do sistema filtro prensa nas mais vastas áreas industriais. Neste capítulo são destacadas e ilustradas as principais indústrias e os vários tipos de filtros prensa horizontais onde esta máquina é utilizada.

#### 3.5.1 Indústria Mineira

Atualmente, na indústria mineira os filtros prensa são cada vez mais usados para a filtragem de lamas para recuperação de água e também de substâncias sólidas. Normalmente, neste ramo o ideal é alcançar no fim do processo uma substância final com cerca de 20% de teor de água [13].

Os filtros prensa são utilizados em instalações de processamento da indústria mineira devido à grande flexibilidade de técnica do processo [10]. As aplicações mais frequentes são a desidratação de carvão fino, bem como a separação sólido-líquido da suspensão do concentrado de minério. Neste último ponto, metais como o zinco, o ferro e o cobre são extraídos mais facilmente do que outros metais mais preciosos como ouro, a prata e a platina que são também extraídos em minas correspondentes mas sob a forma de lastras, onde existe um filtro à prova de perfuração. Para este último são usados os filtros prensa com o uso preferencial de placas de compressão com membrana com o objetivo de alcançar rendimentos mais elevados.



Figura 3.20: Filtros prensa utilizados na indústria mineira;



### 3.5.2 Tratamento de Águas Residuais

No processo de tratamento de águas residuais os lodos ou biomassas produzidos são desidratados com o objetivo de reduzir o seu volume e consequentemente custos de eliminação [14].

A composição destas lamas é bastante impermeável, e embora possam ser sujeitas a concentrações elevadas de pressão, o tempo de remoção de água é bastante demorado. Tudo isto leva a baixos rendimentos por parte dos filtros prensa ou mesmo de centrifugadoras em alguns casos, estando assim o custo global relacionado com o tempo de ciclo. Assim, a concentração final de sólidos está diretamente relacionada com o rendimento e pode representar poupanças no custo final para a indústria de tratamento de águas, dependendo se existe uma concentração alta ou baixa de sólidos.

Nos mais recentes avanços tecnológicos, foram desenvolvidos métodos para medir e avaliar a compressibilidade e permeabilidade nas concentrações de sólidos, o que permite assim, estimar uma previsão de comportamento dos concentrados de sólidos nas máquinas de filtração.

Na figura seguinte (Figura 3.21) está ilustrado o ciclo do processo da água residual a ser tratada. Normalmente, antes de se iniciar o processo de filtração, é realizado um pré-tratamento (coagulação/floculação). Estes métodos, têm como objetivo, em primeiro lugar, através da coagulação, a formação de coágulos leves para, posteriormente, se realizar a agregação destes coágulos formando flocos mais pesados (floculação). Este pré tratamento tem como objetivo a facilitação da filtração de partículas que de outra maneira seriam demasiado pequenas para o filtro usado.

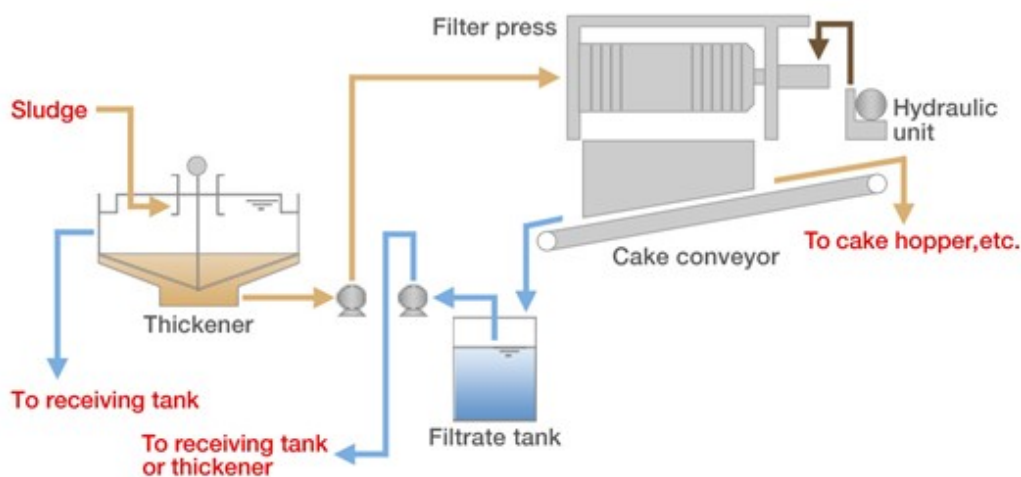


Figura 3.21: Esquema do processo do tratamento de águas residuais com recurso a filtro prensa;

### 3.5.3 Indústria Química

A indústria química e petroquímica é uma das indústrias mais exigentes a nível de sistemas de filtragem e designs de filtro prensa, isto porque no processo de filtragem os materiais que constituem o filtro prensa têm de ter uma resistência elevada aos químicos com que vão ter contacto, assim como resistência à temperatura em que vão operar. Normalmente este tipo de filtração opera numa gama de valores de temperatura entre os  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $95^{\circ}\text{C}$ . Para este tipo de indústria, o ideal é utilizar filtros prensa fabricados em aço inoxidável e com placas de compressão com membrana ou placas e armação. O objetivo é garantir uma boa segurança, uma fácil limpeza no processo e garantir que o produto final é de alta qualidade. Alguns tipos de filtração nesta indústria, englobam o tratamento de ácidos, fertilizantes e tratamento de pigmentos em cerâmica, alumínio e zinco [10].



Figura 3.22: Filtro prensa utilizado na indústria química;

### 3.5.4 Indústria Farmacêutica

O filtro prensa é também utilizado para o tratamento de água na indústria farmacêutica, isto porque, a qualidade da água farmacêutica tem influência na qualidade dos medicamentos. O filtro prensa pode remover colóides e outras substâncias indesejáveis, e assim, aumentar a pureza da água. É igualmente utilizado para separar restos de decocção para obter o líquido médico puro.

À semelhança dos filtros prensa utilizados na indústria química, o filtro prensa farmacêutico é também fabricado em aço inoxidável para garantir os mesmos propósitos [15].



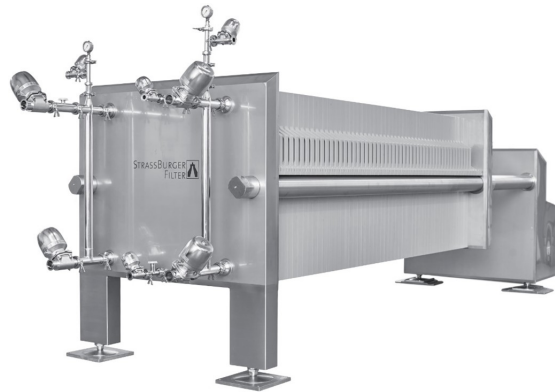


Figura 3.23: Filtro prensa utilizado na indústria farmacêutica;

### 3.5.5 Indústria Alimentar

Assim como os filtros prensa da indústria farmacêutica e da indústria química, também os filtros prensa da indústria alimentar são construídos em aço inoxidável, o que garantirá segurança, higiene e uma fácil limpeza no decorrer do procedimento. Estes filtros prensa são utilizados para a filtração de leveduras, bem como açúcar, óleo de palma ou de cozinha.

Por estar relacionado com o ramo da indústria alimentar, o que implicará no fim do processo o consumo dos alimentos para o ser humano, este tipo de máquinas tem de usar materiais de alta qualidade que sejam estáveis com o tempo e permitam uma fácil higienização. Para exemplificar, a função de uma máquina filtro prensa de açúcar é separar o teor de açúcar sólido e de água açucarada. Além disso, a máquina filtro prensa não só pode ser utilizada para extrair açúcar de cana ou açúcar de beterraba, mas como ainda pode ser utilizada para extrair maltose, glucose, frutose, xarope de glucose, xarope de ácer [15].



Figura 3.24: Filtro prensa utilizado na indústria alimentar;

### 3.5.6 Indústria Cerâmica

Por último, os filtros prensa também trazem bastantes vantagens na indústria cerâmica. As empresas que, normalmente detêm este tipo de máquinas, usam-nas para extrair a parte sólida das pastas cerâmicas residuais da sua operação habitual que sem tratamento seriam desperdícios inutilizados. Depois de passar estes resíduos num filtro prensa a parte sólida filtrada pode ser aproveitada ou vendida, existindo assim menos desperdício. À semelhança da parte sólida, também a água extraída pode ser aproveitada para outro tipo de atividades.

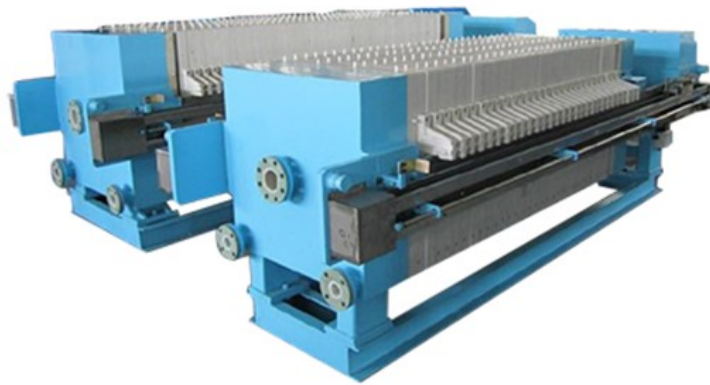


Figura 3.25: Filtros prensa utilizados na indústria cerâmica;

## 3.6 Configuração do filtro prensa a abordar no projeto

Depois de serem abordados vários tópicos e conceitos acerca dos vários tipos de filtração, onde o foco foi maioritariamente concentrado na filtração por pressão, dos tipos de filtros-prensa que existem na gama de filtração por pressão e das suas variadas aplicações, a configuração final do filtro-prensa deste projeto apresenta as seguintes características:

- Filtro prensa por pressão;
- Filtro prensa onde o composto fica alojado fora do filtro (formação de lastras);
- Filtro prensa horizontal ou de placas verticais;
- Filtro prensa com placas de compressão com membrana;
- Filtro prensa com aplicação para a indústria cerâmica.



Parte II

Métodos e Resultados



## Capítulo 4

# CÁLCULO E PROJETO

Depois de explicado o enquadramento do projeto e o funcionamento mínimo da máquina filtro-prensa, procedeu-se à fase inicial da construção do projeto.

Este capítulo, como já referido anteriormente, visa os três principais componentes a serem verificados em termos de resistência e em termos de dimensão, através de informações recolhidas na empresa, assim como sustentados na pesquisa e recolha de informação recolhida em artigos, sites de fornecedores e outros relatórios.

Os principais componentes que serão abordados neste capítulo são o cilindro pneumático, um componente importante, visto que aplica a força necessária durante o período ativo sobre as placas, o número de placas necessárias para filtrar a pasta cerâmica durante o decorrer do ciclo e, por fim, as vigas de suporte que sustentam as placas e a cabeça móvel da estrutura.

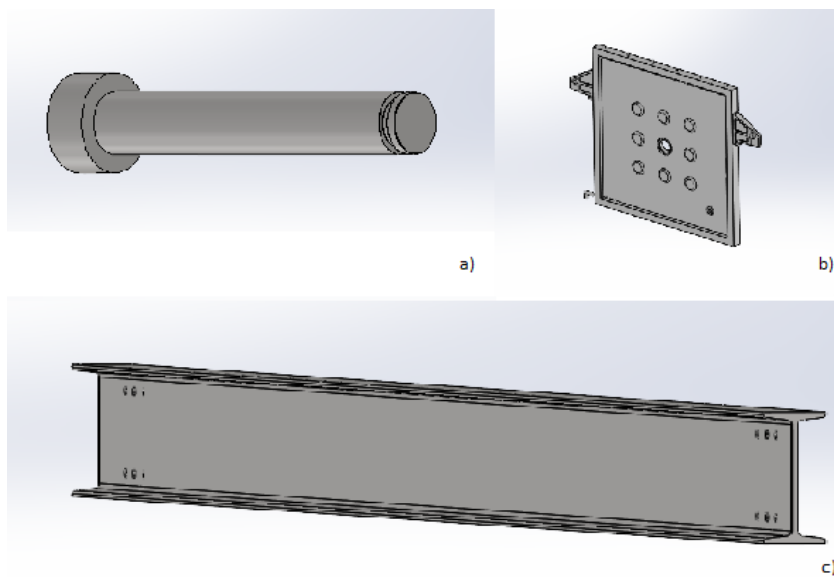


Figura 4.1: Componentes principais; a) cilindro; b) placa; c) viga.;

## 4.1 Critérios de verificação para o cálculo (Design Criteria)

Antes de se iniciar o processo de cálculo para a verificação do dimensionamento da estrutura do filtro prensa, foram recolhidas algumas informações necessárias para ter em conta os critérios de utilização para o correto funcionamento da máquina. Na tabela seguinte (Tabela 4.1.), encontram-se registados os seguintes dados.

Tabela 4.1: Exigências e dados principais fornecidos pelo cliente.

<b>Informação necessária para dimensionar um filtro de imprensa</b>	
Tipo de material a ser filtrado	Pasta cerâmica
Média material filtrado por ciclo (MF), [ $Kg/ciclo$ ]	6500
Nº de horas/dia, e dias/semana de funcionamento	8h/5dias
Tempo de ciclo	2h
Concentração de sólidos do material, início de ciclo, ( $PS_i$ )	40%
Concentração de sólidos do material, fim de ciclo, ( $PS_f$ )	75%
Temperatura de funcionamento [ $^{\circ}C$ ]	10-30
Pré-Tratamento, se necessário	Não necessário
Tamanho das placas, [ $mm$ ]	1200x1200
Espessura de lastra desejada, [ $mm$ ]	25

Para além desta informação, foi ainda divulgado, por parte da empresa, que, no pico da injeção de pasta cerâmica, os valores do material a ser filtrado poderiam atingir valores de  $7000Kg$ .

Posto isto, foi tido em conta um valor para um coeficiente de segurança (CS) para a realização dos cálculos nos subcapítulos seguintes.

$$CS = \frac{7000}{6500} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow CS = 1,077 \simeq 1,1$$

Com estes dados recolhidos é possível avançar para a próxima etapa, nomeadamente para o cálculo do número de placas verticais que a estrutura irá possuir.

#### 4.1.1 Verificação e cálculo do número de placas

Para a verificação do cálculo do número de placas filtrantes foram tidos em conta os dados de funcionamento do aparelho, as propriedades do material a ser filtrado e as dimensões das placas requeridas pelo cliente.

Como já analisado na secção anterior (Capítulo 4.2.), as informações de funcionamento da estrutura são dadas pelo material filtrado por ciclo, pelo número de horas por dia de funcionamento e pelo tempo de ciclo

As características do material a ser filtrado não foram fornecidas por parte da empresa que requisitou a construção do filtro prensa. Foi então utilizada uma “composição standard” [16], onde a pasta cerâmica é composta por feldspato, argila e areia. As percentagens de cada composto e as suas densidades específicas encontram-se registadas na tabela seguinte (Tabela 4.2.):

Tabela 4.2: Composição sólida da pasta cerâmica.

Características da composição sólida		
Material	Densidade [ $Kg/m^3$ ]	Percentagem [%]
Feldspato	2700	40
Caulino	2600	50
Areia	1500	10

Por fim, as dimensões das placas que foram exigidas pelo cliente, foram extraídas através do programa *Solidworks 2021*. Através da imagem seguinte (Figura 4.2.), é possível perceber as dimensões que foram tidas em conta para o cálculo médio em cada secção. Estes valores encontram-se organizados na Tabela 4.3.

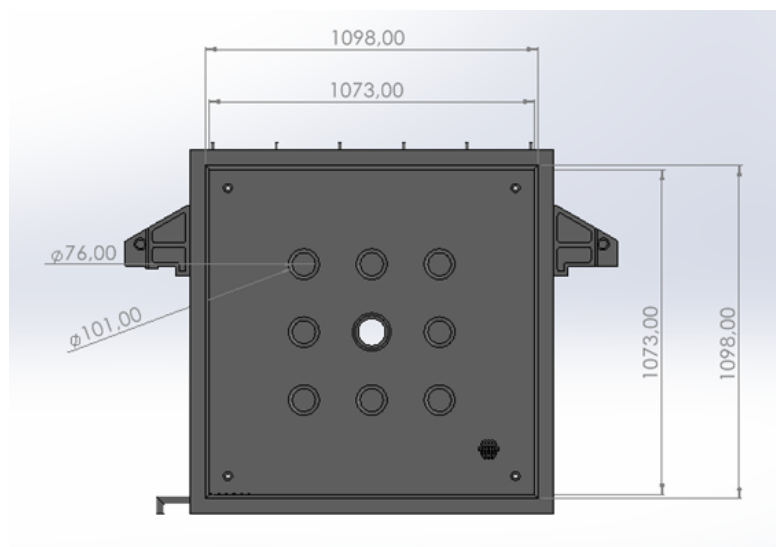


Figura 4.2: Dimensões úteis da placa filtrante;



Tabela 4.3: Detalhes da placa filtrante.

Dimensões da placa	
<b>Secção retangular</b>	
Altura média [m]	1,0855
Largura média [m]	1,0855
<b>Secção circular</b>	
Diâmetro médio [m]	0,0885
Nº de secções	8

Com estas informações foram realizados alguns cálculos secundários, para então se poder prosseguir para o cálculo do número de placas do filtro prensa.

Foram calculados, através dos valores da Tabela 4.2, a densidade da pasta cerâmica referente à parte sólida (Equação 4.1) e a sua gravidade específica, GE (Equação 4.2), com o valor da densidade específica da água de  $998Kg/m^3$ , @20°C.

$$\rho_{psolida} = \rho_{feldepasto} \cdot \%_{feldepasto} + \rho_{caulino} \cdot \%_{caulino} + \rho_{areia} \cdot \%_{areia} \quad (4.1)$$

$$\Leftrightarrow \rho_{psolida} = 2700 \cdot 0,4 + 2600 \cdot 0,5 + 1500 \cdot 0,1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \rho_{psolida} = 2530Kg/m^3$$

$$GE = \frac{\rho_{psolida}}{\rho_{agua}} \quad (4.2)$$

$$\Leftrightarrow GE = \frac{2530}{998} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow GE = 2,53$$

Também o cálculo do volume útil ( $V_{util}$ ) de cada lastra alojada entre placas foi efetuado tendo em conta os valores da tabela anterior (Tabela 4.3) e a medida da espessura de cada lastra. Procedeu-se então ao cálculo do volume retangular e das saliências circulares.

$$V_{retangular} = 1,0855 \cdot 1,0855 \cdot 0,025 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{retangular} = 0,029458m^3$$

$$V_{circular} = \pi \cdot \frac{0,0885^2}{4} \cdot 0,025 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{circular} = 0,000154m^3$$

$$V_{util} = V_{retangular} - 8 \cdot V_{circular} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{util} = 0,028227m^3$$

Tendo todos os dados disponíveis, procedeu-se ao cálculo do número de placas filtrantes através da determinação do número de lastras produzidas em cada ciclo. Para sustentar estas operações foram usadas algumas das equações presentes num exemplo de design de filtro prensa [17].

Para o primeiro passo, foi usada a Equação 4.3 para a determinação do volume total de pasta filtrada por ciclo ( $V_{Tciclo}$ ).

$$V_{Tciclo} = \frac{MF}{\%PS_f \cdot GE} \cdot CS \quad (4.3)$$

$$\Leftrightarrow V_{Tciclo} = \frac{6500}{0,75 \cdot 2,53} \cdot 1,1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{Tciclo} = 3761,33Kg \approx 3761,33L \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{Tciclo} = 3761,33dm^3 = 3,76133m^3$$

Para a segunda etapa do cálculo obteu-se o valor do número de lastras produzidas por ciclo, utilizando o valor do volume total de material da parte sólida ( $V_{Tciclo}$ ) dividido pelo volume útil de uma lastra ( $V_{util}$ ):

$$N_{lastras} = \frac{V_{Tciclo}}{V_{util}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N_{lastras} = \frac{3,76133}{0,028227} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N_{lastras} = 133,25 \simeq 134$$

Assim com o número de lastras calculado, foi possível determinar o número de placas a serem implementadas no filtro prensa.

$$N_{placas} = N_{lastras} + 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N_{placas} = 134 + 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N_{placas} = 135$$

#### 4.1.2 Verificação e cálculo da dimensão do cilindro pneumático

Na verificação do dimensionamento do cilindro pneumático foi fornecido por parte do cliente as características da bomba de injeção de fluido, assim como o material a ser usado no cilindro pneumático (Aço RK-418). Estas informações encontram-se apresentadas na tabela seguinte (Tabela 4.4):

Tabela 4.4: Informação sobre as bombas de pressão e cilindro.

Características das bombas de pressão e cilindro		
Constituintes	Pressão ( <i>bar</i> )	Material
Bomba de injeção ( $P_{bomba}$ )	16-20	-
Bomba da centralina ( $P_{bomba}$ )	300	-
Cilindro	-	Aço RK-418

À semelhança do subcapítulo anterior, foram novamente retiradas as medidas necessárias em relação à placa filtrante. Neste caso, não foram usados os valores médios das medidas das placas, mas sim as medidas onde o contacto entre a pressão exercida e área útil da lastra formada era máxima (Figura 4.2).

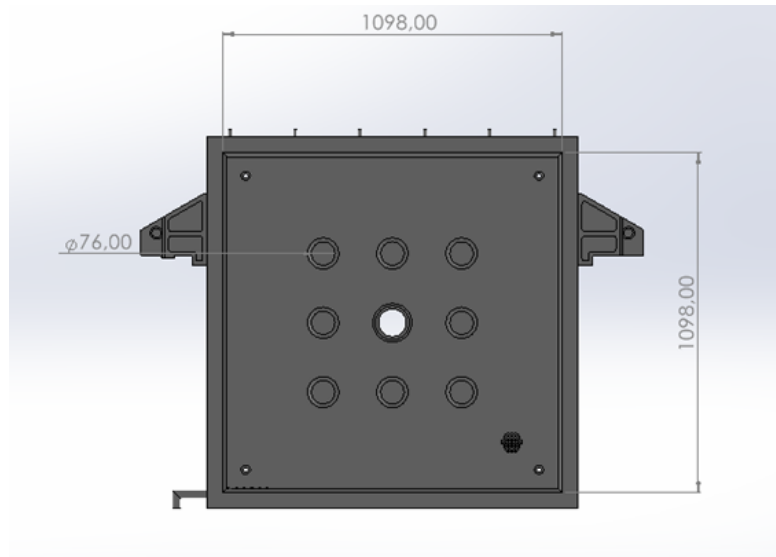


Figura 4.3: Dimensões úteis máximas da placa filtrante;

Para o cálculo do diâmetro do cilindro pneumático foi utilizado o Princípio do Equilíbrio de forças, onde a força exercida pela pressão da injeção de fluido ( $F_{bomba}$ ) teria de ser igual e aplicada no sentido contrário à força exercida pela pressão realizada pelo cilindro pneumático ( $F_{cilindro}$ ), ou seja, a resultante de forças que iria atuar no corpo teria de ser nula (Equação 4.4).

$$\begin{aligned} \vec{R} &= \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0} \Leftrightarrow & (4.4) \\ \Leftrightarrow \vec{R} &= \vec{F}_{bomba} + \vec{F}_{centralina} = \vec{0} \Leftrightarrow \\ &\boxed{\Leftrightarrow \vec{F}_{bomba} = -\vec{F}_{cilindro}} \end{aligned}$$

Para isso, primeiramente, foi calculada a área útil ( $A_{util}$ ) da lastra para no passo seguinte, ser determinada a força exercida.

$$A_{util} = A_{retangular} - 8 \cdot A_{circular} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\Leftrightarrow A_{util} = 1,169312m^2}$$

Já com o valor da área determinado, procedeu-se ao cálculo da força teórica exercida através da bomba de injeção ( $F_{bomba}$ ), através do Princípio de Pascal, Equação 4.5, usando o valor máximo de pressão apresentada pela mesma (20 bar):

$$P = \frac{F}{A} \quad (4.5)$$

$$F_{bomba} = P_{bomba} \cdot A_{util} \Leftrightarrow F_{bomba} = 20 \times 10^5 \cdot 1,169312 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \vec{F}_{bomba} = 2338624,643N$$

$$\boxed{\|\vec{F}_{cilindro}\| = 2338624,643N}$$

Para ter em conta valores mais enquadrados com a realidade, foi calculada a força de avanço real, força esta que tem em conta atritos internos. Esta força foi determinada com o auxílio da Equação 4.6 e da seguinte tabela (Tabela 4.5):

$$F_{real} = F_{cilindro} \cdot \varphi \quad (4.6)$$

Tabela 4.5: Fator de Correção baseado nas características da velocidade do cilindro.

Características da velocidade aplicada pelo cilindro	
Velocidade do deslocamento	Fator de segurança ( $\varphi$ )
Lenta e aplicada no fim do ciclo	1,25
Lenta e aplicada em todo o ciclo	1,35
Rápida e aplicada no fim do ciclo	1,35
Rápida e aplicada em todo o ciclo	1,5
Outro	1,25

No caso do cilindro pneumático que atua no filtro prensa, foi considerado um fator de correção de 1,35, visto que, o cilindro opera a uma velocidade lenta e a força é aplicada em todo o desenvolvimento do curso.

Posto isto, e recorrendo à Equação 4.6 tem-se o valor da força de avanço real:

$$F_{real} = F_{cilindro} \cdot \varphi \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_{real} = 2338624,643 \cdot 1,35 \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\Leftrightarrow F_{real} = 3157143,268N}$$

Tendo a força real calculada, procedeu-se ao cálculo da área de contacto do cilindro pneumático, usando novamente a Lei de Pascal (Equação 4.5), e utilizando desta vez, a pressão da centralina (300 bar). Pela respetiva área foi calculado também o diâmetro da secção circular do cilindro:

$$A_{cilindro} = \frac{F_{real}}{P_{cilindro}} \cdot \varphi \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow A_{cilindro} = 3157143,268 \cdot 300 \times 10^5 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow A_{cilindro} = 0,105238109m^2$$

$$\Rightarrow D_{cilindro} = 0,366050983m$$

Numa outra parte do processo do cálculo do dimensionamento do cilindro pneumático, a verificação e dimensionamento da haste do cilindro foi calculada a partir das equações do EC3 (Eurocodigo 3) que envolviam esforços à encurvadura [18].

Primeiramente, foi definido o comprimento da haste (ou o avanço que o cilindro iria realizar), a partir do modo de funcionamento da máquina e da dimensão de uma só placa. Foi atribuído um valor de 600 mm (metade do comprimento de uma placa), isto porque, na fase de descompressão das placas, as lastras são removidas uma de cada vez, ou seja, cada placa só é movida após a remoção total de uma lastra.

Assim, 600 mm foi considerado suficiente, visto que também seria o espaço que iria existir entre as placas no processo de remoção.

De seguida, através do EC3, foram definidas as condições fronteira que iriam equivaler à situação da haste durante o processo de compressão. Os vários tipos de fronteiras são visíveis na figura seguinte (Figura 4.4.).

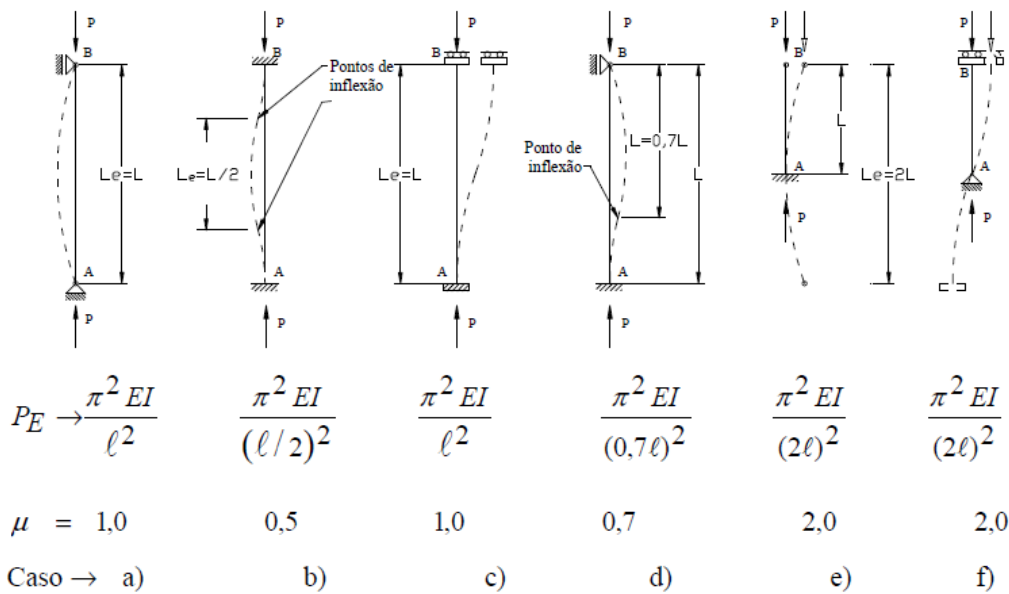


Figura 4.4: Condições fronteira [18];

Optou-se então pelo caso d), visto que, a haste, numa extremidade, irá levar um reforço de soldadura na zona em que está fixa à cabeça maior (encastramento) e no outro extremo está fixa por um fixador.

Assim,  $L_e = 0.7 \cdot L$ , onde  $L$  representa o comprimento da haste, fazendo com que  $L_e = 420mm$ .

No passo seguinte, procedeu-se ao cálculo da esbelteza reduzida que se dá pela fórmula seguinte:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad (4.7)$$

onde,  $\lambda$  é a esbelteza da barra, e é calculada em função do comprimento de encurvadura ( $L_e$ ) e do raio de giração ( $i$ ) correspondente ao plano de encurvadura:

$$\lambda = \frac{L_e}{i} \quad (4.8)$$

e onde,  $\lambda_1$  é a esbelteza de Euler, composta pelas características do material (Módulo de Young  $E$  e tensão de cedência  $f_y$ ) e é dada pela seguinte equação:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (4.9)$$

Por se tratar de um aço RK-418, um aço equivalente a CK45, respetivamente equivalente a um FE 430, pela consulta da tabela da figura seguinte (Figura 4.5.), assumiu-se num primeiro estudo iterativo,  $\lambda = 20$ , considerando assim a haste equivalente a um pilar robusto e curto.

Tipo de aço	Coef. esbelteza
Fe 360	$\lambda \leq 20$
	$20 < \lambda \leq 105$
	$\lambda > 105$
Fe 430	$\lambda \leq 20$
	$20 < \lambda \leq 96$
	$\lambda > 96$

Figura 4.5: Coeficientes de esbelteza para tipos de aço [18];

Com  $\lambda$  definido, e utilizando a Equação 4.8, calculou-se o raio de giração,  $i$ , onde se obteve um valor de  $i = 21mm$ .

De seguida, calculou-se  $\lambda_1$  utilizando a Equação 4.9, onde os valores de  $E = 200GPa$  e  $f_y = 275MPa$ , foram retirados do catálogo do fornecedor, (ANEXO A-1). Obteve-se assim um valor de  $\lambda_1 = 84,72$

Calculados  $\lambda$  e  $\lambda_1$ , utilizou-se a Equação 4.7, para o cálculo de  $\bar{\lambda}$ .

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\bar{\lambda} = 0.236}$$

Num passo seguinte, foi calculado O coeficiente de redução da resistência plástica  $\chi$ . De salientar ainda que, para valores de  $\bar{\lambda} \leq 0.2$ , o EC3 considera  $\chi = 1$ . Como  $\bar{\lambda} \geq 0.2$ , a condição não se verifica.

O coeficiente de redução da resistência plástica  $\chi$  é dado então pelas seguintes equações:

$$\chi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} \quad (4.10)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (4.11)$$

onde  $\phi$  corresponde a um coeficiente de imperfeição e é dado por:

$$\phi = 0.5 \cdot (\bar{\lambda}^2 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + 1) \quad (4.12)$$

Para se proceder ao cálculo de  $\phi$  é extraído o valor de  $\alpha$  tendo em conta a geometria da secção transversal do cilindro. Os valores de  $\alpha$  podem ser encontrados na seguinte tabela da figura:

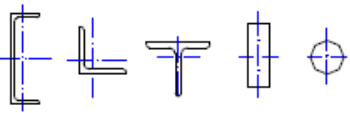
	Curva de encurvadura				
Secção	Limites		Eixo de encurvadura	Curva de encurvadura	
			qualquer	c	
Curva de encurvadura	a0	a	b	c	d
Fator de imperfeição $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Figura 4.6: Coeficientes de imperfeição tendo em conta a secção transversal [18];



Após consulta da figura, foi selecionado um  $\alpha = 0.49$  e calculou-se  $\phi$ , onde se obteve um valor de  $\phi = 0.537$ .

Reunidos todos os valores, utilizou-se a Equação 4.11. para o cálculo de  $\chi$ .

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi = 0.98$$

Num próximo passo, utilizou-se a Equação 4.10, para se determinar a tensão crítica onde se obteve um valor de  $\sigma_{crit} = 269.95 MPa$ .

Como  $\sigma_{crit} < f_y$ , considerou-se que o equilíbrio era instável.

Posto isto, realizou-se um estudo iterativo para a determinação do diâmetro da haste, onde o valor de  $\lambda$  foi alterado ao longo do estudo até se chegar a um valor ideal de  $\lambda$  e, onde todas as condições eram respeitadas. Os cálculos realizados, tanto para os cálculos realizados anteriormente como para o estudo encontram-se especificados nas figuras seguintes:

Encurvadura -->	E	200000 Mpa		$\lambda$	20
				L	600 mm
	$\alpha$	0,49		Le	420 mm
				i	21 mm
				$\lambda_1$	84,7224534
				$\lambda_-$	0,23606493
				$\phi$	0,536699233
				$\chi$	0,981648592
	$\sigma_{ced}$	275 MPa		$\sigma_{crit}$	269,9533628 MPa
	Força de avanço	3888000 N	>	Fmax	1496019 N
				A	5541,769441 mm <sup>2</sup>
				D min	84 mm

Figura 4.7: Cálculos realizados para  $\lambda = 20$ ;

Encurvadura -->	E	200000	Mpa		$\lambda$	12,53
					L	600 mm
	$\alpha$	0,49			Le	420 mm
					i	33,51955307 mm
					$\lambda_1$	84,7224534
					$\lambda_-$	0,147894678
					$\phi$	0,498170614
					$\chi$	1
	$\sigma_{ced}$	275	MPa		$\sigma_{crit}$	275 Mpa
	Força de avanço	3888000	N	<	Fmax	3882746 N
					A	14119,07687 mm <sup>2</sup>
					D min	134,0782123 mm

Figura 4.8: Cálculos realizados para chegar ao valor ideal de  $\lambda$ ;

Analisando a Figura 4.8, consegue-se perceber que foram respeitadas algumas condições, nomeadamente a situação onde  $\bar{\lambda} \leq 0.2$ , o e se considerou  $\chi = 1$ . Para além disso, foram consideradas as seguintes equações para a determinação do diâmetro através do raio de giração.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4.13)$$

onde,  $I$  corresponde ao momento de inércia e  $A$  a área correspondente à secção circular, e são dados por:

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (4.14)$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (4.15)$$

Chegou-se assim, a um valor de  $d_{min} = 135mm$

Com as dimensões definidas para o cilindro, passou-se então para a escolha do compartimento onde o cilindro iria ser inserido (camisa). A camisa foi selecionada através de uma tabela de um catálogo de fornecedores de tubos de aço com costura, que se encontra presente no Anexo A-2, tendo em conta as características do cilindro.

Após consulta da tabela, foi escolhido o tubo com diâmetro 457mm e com uma espessura na costura de 45,24mm.

### 4.1.3 Seleção e verificação do dimensionamento das vigas de suporte

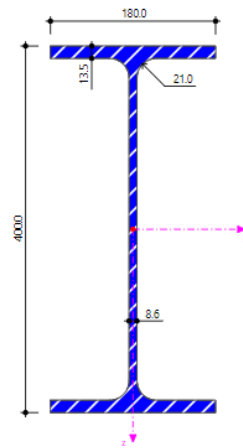
As vigas de suporte são uma outra parte importante da estrutura, e por essa razão, foram selecionadas para serem reveladas as suas principais características. As vigas são

colocadas paralelas entre si e têm como principal objetivo suportar quase toda a estrutura principal do filtro prensa, nomeadamente, as placas e a cabeça móvel, para além do acréscimo do peso da pasta injetada durante o processo.

Para a escolha do tipo de viga, a empresa já tinha selecionado a viga do tipo IPE 400. As suas características são apresentadas na figura seguinte (Figura 4.9.).

### IPE 400

- Euronorm 19-57; DIN 1025-5; ASTM A 6/A 6M
- SZS



[mm]

Figura 4.9: Características da viga IPE 400 [19];

Com o tipo de viga escolhido, foi projetado o comprimento da mesma viga, tendo em conta o número de placas na posição de compressão ( $135 \times 67 \text{ mm} = 9045 \text{ mm}$ ), o comprimento que o cilindro iria avançar (600mm), a espessura da cabeça móvel e a espessura dos dois suportes em cada extremo da estrutura.

O comprimento final arbitrado foi de  $12 \text{ m}$ , adotando-se assim uma posição mais conservadora.

Para verificar esta seleção, realizou-se um estudo teórico, onde foram efetuados os cálculos das forças e momentos aplicados sob as vigas, com o objetivo de perceber se a viga resistia aos esforços aplicados. Para estes cálculos foram extraídos os valores da massa das placas, da cabeça móvel e da pasta injetada, situada entre placas. (Tabela 4.7.)

Tabela 4.6: Massa dos respectivos componentes sustentados pelas vigas.

Massa dos respectivos componentes sustentados pelas vigas	
Componentes	Massa (Kg)
Placa	60
Cabeça Móvel	2000
Lastra	74.35

Sabendo que a única força que atua sobre as vigas é a força gravítica, as massas de cada componente foram multiplicadas pelo valor da força gravítica, obtendo-se assim o seguinte esquema (Figura 4.10.):

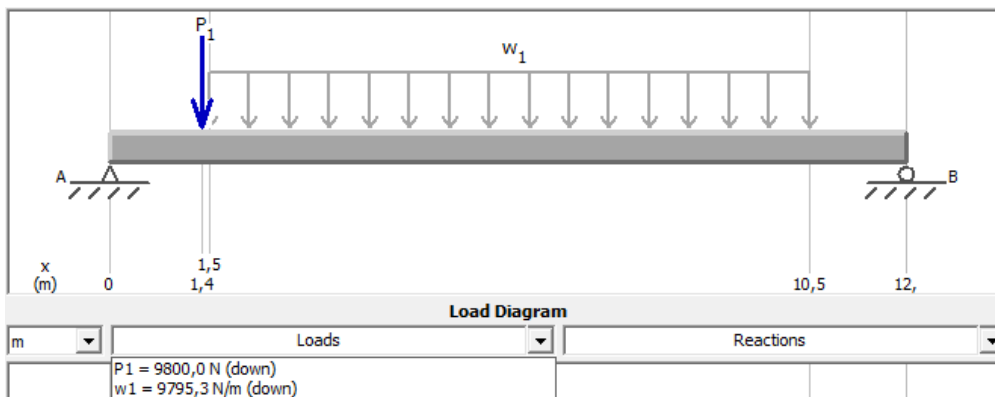


Figura 4.10: Forças aplicadas sob as vigas (vista lateral);

Como se verifica, existe uma única força singular aplicada (criada pela cabeça móvel) e uma força distribuída, referente ao peso das placas e da pasta alojada entre as mesmas.

Também as características da forma da viga foram tidas em conta (Figura 4.11)

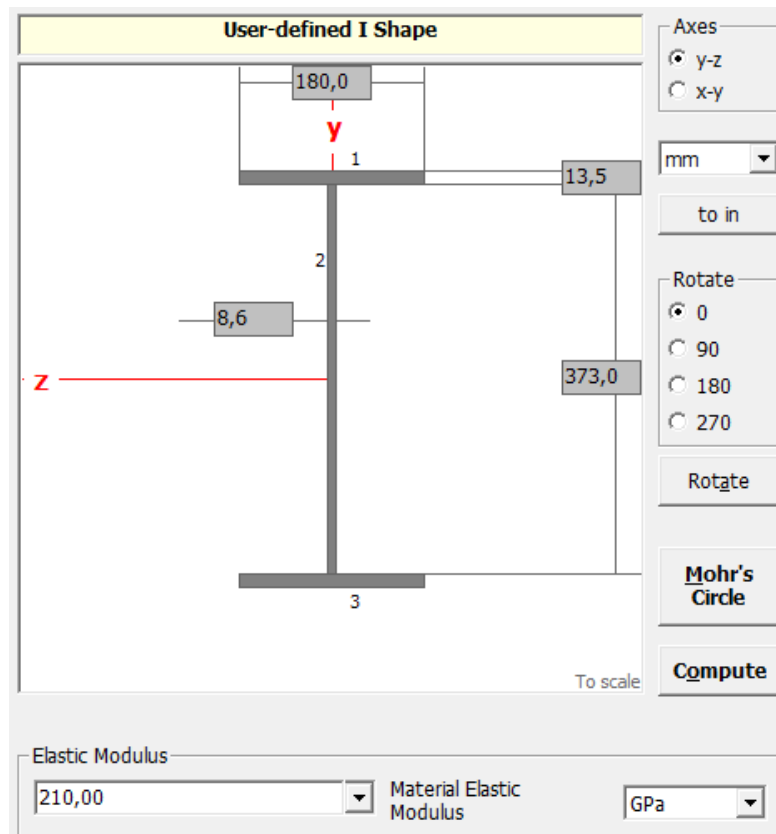


Figura 4.11: Características da viga IPE-400 MDSolids;

Para simplificação dos cálculos e considerando que a estrutura é simétrica e apresenta características homogêneas, os cálculos foram realizados apenas para uma única viga. Dividiram-se então as forças aplicadas por dois.

Através da ferramenta MDSolids, foi achado então o valor da flecha através das forças que atuavam na viga. (Figura 4.12.)

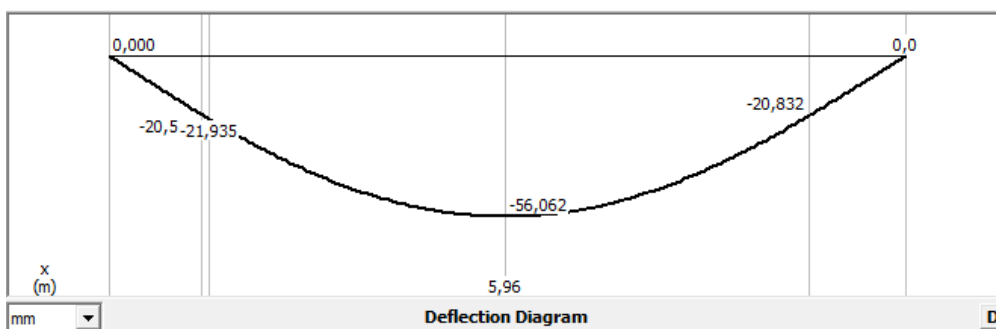


Figura 4.12: Diagramas da flecha na viga;

Pela observação do diagrama, conclui-se que a flecha máxima corresponde ao valor de 55,062mm, um valor considerado pequeno tendo em conta o comprimento da viga.

## Capítulo 5

# MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Neste capítulo, com o auxílio da ferramenta SolidWorks, foi realizada a modelação 3D e as respetivas simulações numéricas em cada componente considerado importante, assim como em toda a estrutura. Para a realização da modelação foram tidos em conta os valores obtidos no capítulo anterior. Para além dos três principais componentes, foram modelados os suportes localizados nos extremos do filtro prensa e a cabeça móvel.

### 5.1 Modelação do projeto

Para a modelação do projeto foi tido como referência, um modelo 3D fornecido pela empresa, ao qual foram efetuados os ajustes calculados no Capítulo 4. Para efeitos de comparação, as principais características do modelo fornecido são as seguintes:

Tabela 5.1: Comparação dos dados obtidos em relação ao modelo da empresa.

Comparação dos dados obtidos em relação ao modelo da empresa		
Componentes	Dimensões empresa	Dimensões calculadas
Nº de placas	120	135
Cilindro pneumático	$\phi 360\text{mm}/\phi 220\text{mm}$	$\phi 366\text{mm}/\phi 135\text{mm}$
Camisa	$\phi 419\text{mm}$	$\phi 457\text{mm}$
Viga	11m	12m

À exceção do número de placas, todos os outros valores calculados rondam os números fornecidos pela empresa. A discrepância no valor do número de placas pode estar relacionada com o uso do coeficiente de segurança utilizado no Capítulo 4.1.1.

Posto isto, procedeu-se à modelação e simulação dos respetivos componentes.

### 5.1.1 Modelação e Simulação Numérica do cilindro pneumático

A partir dos valores calculados no capítulo 4, procedeu-se à modelagem dos componentes principais do filtro prensa. O primeiro elemento modelado foi o cilindro pneumático, que se encontra representado na seguinte figura:

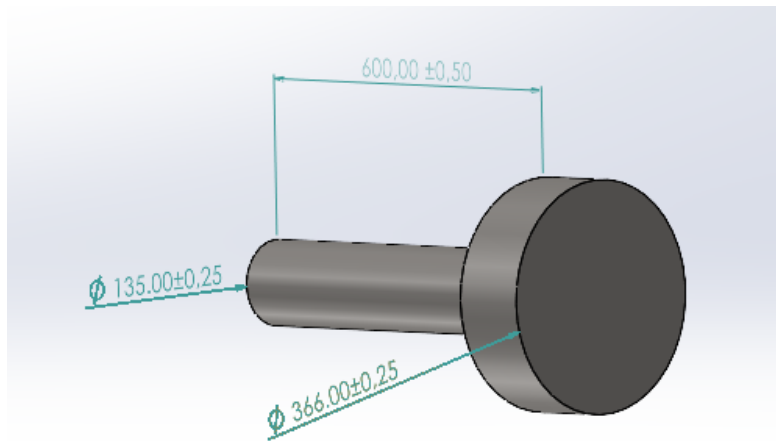


Figura 5.1: Modelação do cilindro pneumático;

Depois de modelado, procederam-se as simulações numéricas (estáticas) para o componente, onde numa etapa inicial foi considerada uma fronteira e a força aplicada, como se pode constatar pela figura seguinte:

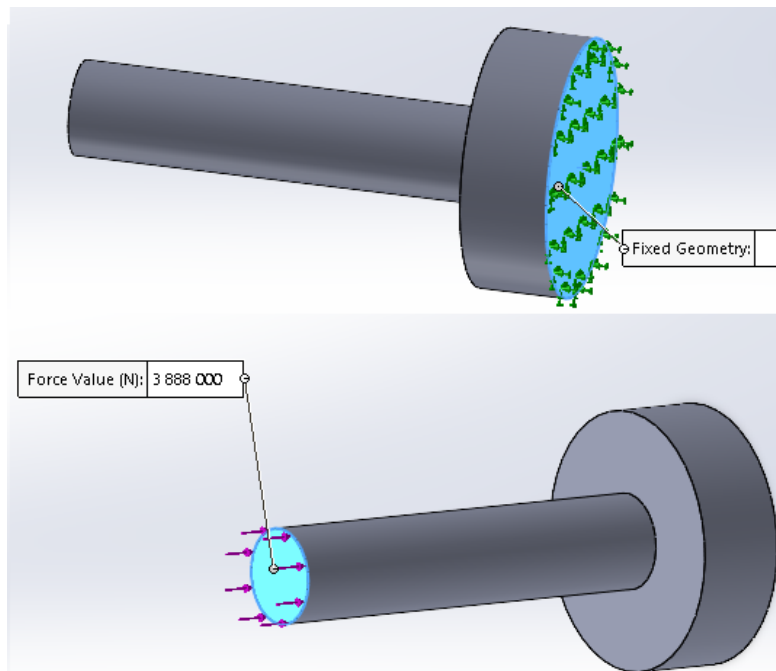


Figura 5.2: Fronteira e força aplicada ao modelo;

De seguida, procedeu-se à aplicação da malha. Para a escolha da malha existiam três opções:

- Standard Mesh;
- Curvature-Based Mesh;
- Blended Curvature-Based Mesh;

Para a Standard Mesh, utiliza a triangulação Voronoi-Delaunay, que tenta maximizar o menor ângulo de todos os triângulos, enquanto a geometria está a ser dividida em triângulos ou tetraedros [20]. A Curvature-Based Mesh cria automaticamente mais elementos em áreas de maior curvatura, sem necessidade de controlo da malha e por fim, a Blended Curvature-Based Mesh adapta automaticamente o tamanho do elemento à curvatura local da geometria para criar um padrão de malha mais lisa. Também pode superar falhas na malha, gerando uma malha sólida com elementos de maior qualidade [20].

Assim, foi escolhida a Blended Curvature-Based Mesh por ser a mais precisa e mais rápida e foi aplicada uma malha mais fina à haste, por se tratar da parte mais frágil da estrutura (Figura 5.3.).

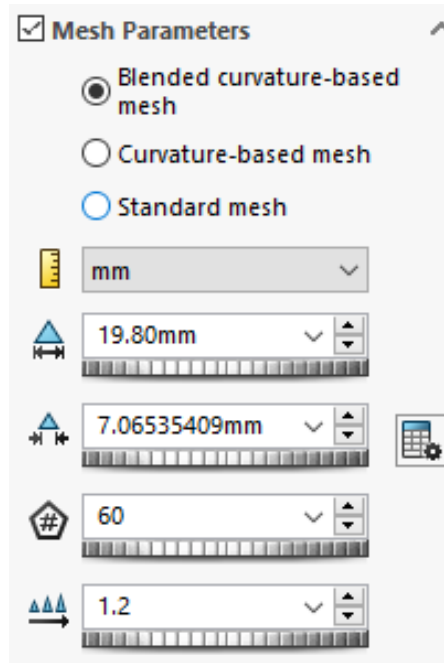


Figura 5.3: Condições de Malha aplicada;

Pela visualização da figura anterior, é possível observar que existem 4 aspectos a ter em conta. O tamanho máximo e mínimo dos elementos, o número mínimo de elementos num círculo e a taxa de crescimento do tamanho do elemento.

Aplicando os valores, obteu-se a seguinte malha (Figura 5.4.):



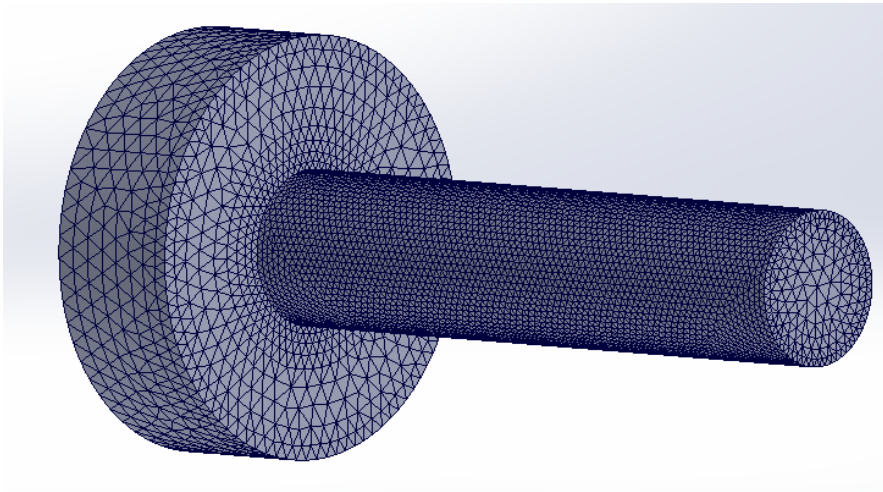


Figura 5.4: Malha aplicada ao cilindro;

Depois de realizada a malha, foram inspecionados os detalhes da mesma para se verificarem os critérios que correspondiam a uma qualificação de "malha boa". Uma malha considerada de boa qualidade tem um "Aspect Ratio" inferior a 5 para a maioria dos seus elementos (90% ou mais) [21].

Pela seguinte figura (Figura 5.5.) é possível verificar que essa condição é válida.

Study name	Static 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	19,8 mm
Min Element Size	7,06535 mm
Mesh quality	High
Total nodes	227043
Total elements	158957
Maximum Aspect Ratio	4,1488
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	100
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:08
Computer name	

Figura 5.5: Detalhes da malha aplicada ao cilindro;

### 5.1.2 Modelação e Simulação Numérica da viga

Também a viga foi modelada conforme as suas características, e o seu aspeto está ilustrado na seguinte figura (Figura 5.6):

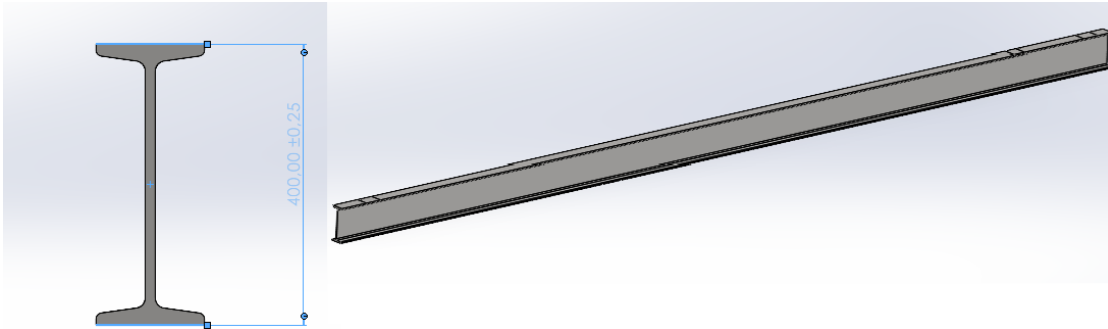


Figura 5.6: Viga IPE 400 modelada;

De seguida, foram definidos os apoios e fixadores conforme o CAD fornecido pela empresa (dois apoios simples móveis no centro da viga, um apoio simples móvel num extremo e apoio e um apoio simples fixo no outro extremo) e as forças aplicadas, quer pelo conjunto placas+lastras, quer pela cabeça móvel. O aspeto final é o seguinte (Figura 5.7.):

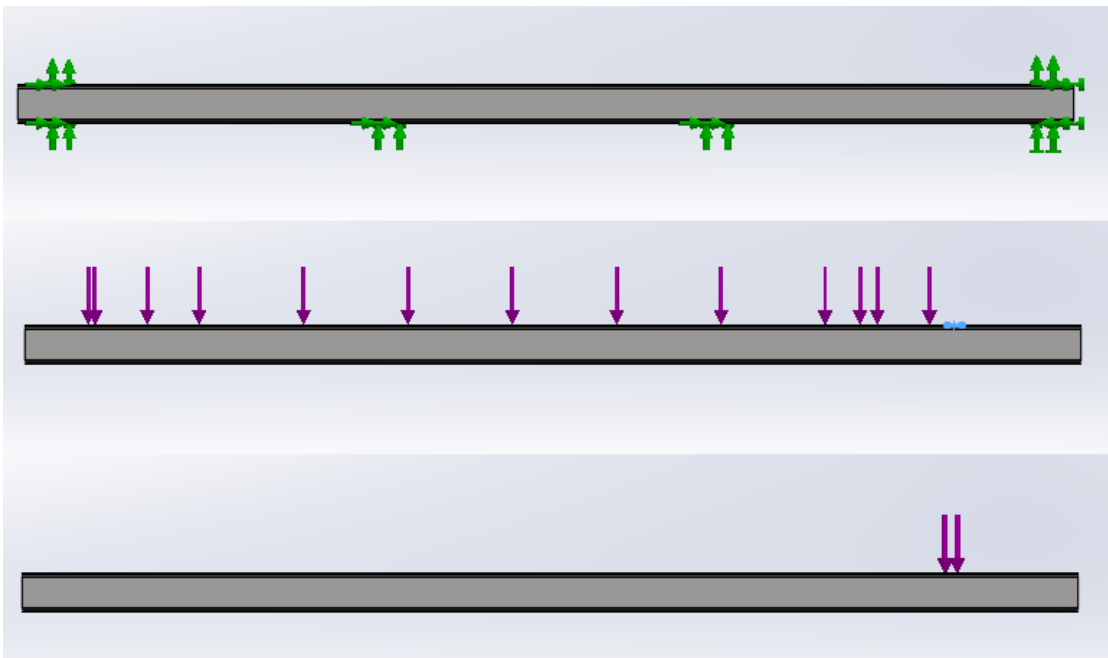


Figura 5.7: Apoios (a verde) e forças aplicadas (a roxo) a uma só viga;

À semelhança do cilindro, foi utilizado também neste subcapítulo a malha Blended

Curvature-Based, onde foram introduzidas as características seguintes (Figura 5.8):

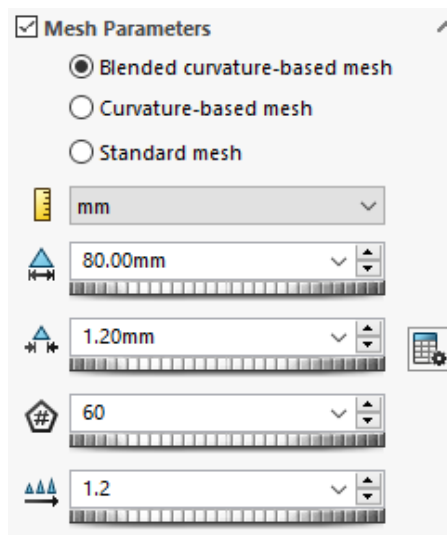


Figura 5.8: Características da malha aplicada na viga;

Depois de aplicada a malha, a viga fica com o seguinte aspeto (Figura 5.9):

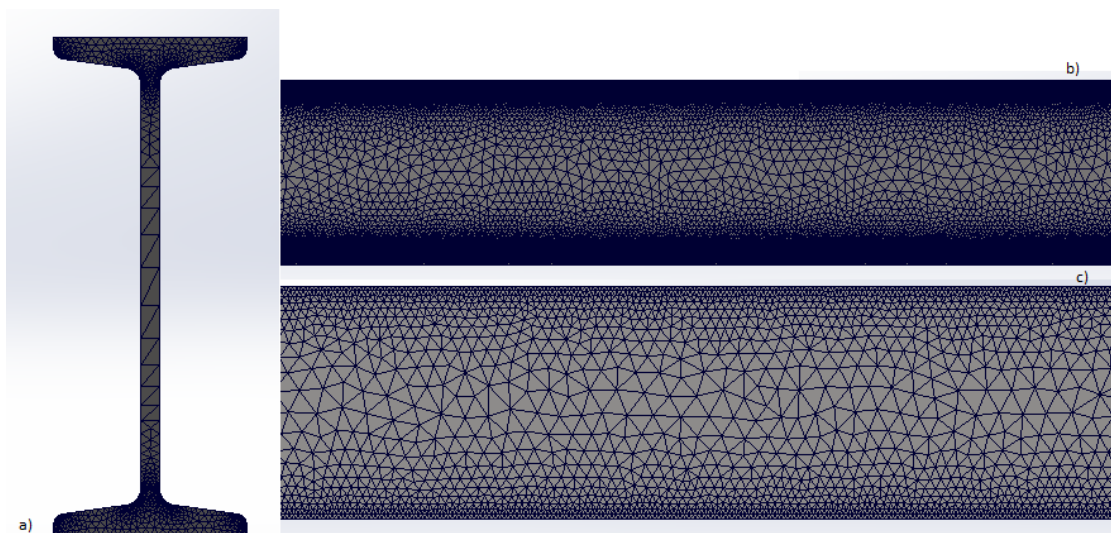


Figura 5.9: Malha aplicada à viga; a) Vista de perfil; b) Vista de topo; c) Vista lateral;

Também os critérios aplicados ao cilindro, foram aplicados à viga. Os valores extraídos do diagnóstico da malha aplicada (Figura 5.10) são:

Study name	Static 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-b
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	80 mm
Min Element Size	1,2 mm
Mesh quality	High
Total nodes	36410038
Total elements	24834012
Maximum Aspect Ratio	5,2527
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99,8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:26:27
Computer name	

Figura 5.10: Detalhes da malha aplicada à viga;

Fazendo uma análise à Figura 5.10., é de fácil compreensão que esta simulação, comparativamente com a simulação do cilindro, demorou muito mais tempo devido à geometria e comprimento da viga, que implicou a existência de mais nós e elementos para efeitos de cálculo na simulação.

Também de notar que o "Maximum Aspect Ratio" não satisfaz a condição referida anteriormente e, que a percentagem de elementos com um "Aspect ratio" < 3, apresenta uma percentagem superior a 90.

### 5.1.3 Modelação e Simulação Numérica da cabeça móvel

Por fim, o último componente a ser modelado e simulado foi a cabeça móvel. Este componente foi modelado a partir da cabeça móvel fornecida pela empresa. Para a sua projecção foi tido em conta o peso e material da cabeça móvel da empresa e do comprimento e largura das placas.

Posto isto, foi modelada uma cabeça móvel a partir de um bloco de aço com espessura de 150mm. Também os fixadores às vigas foram mantidos.

A cabeça móvel encontra-se na figura seguinte (Figura 5.11):

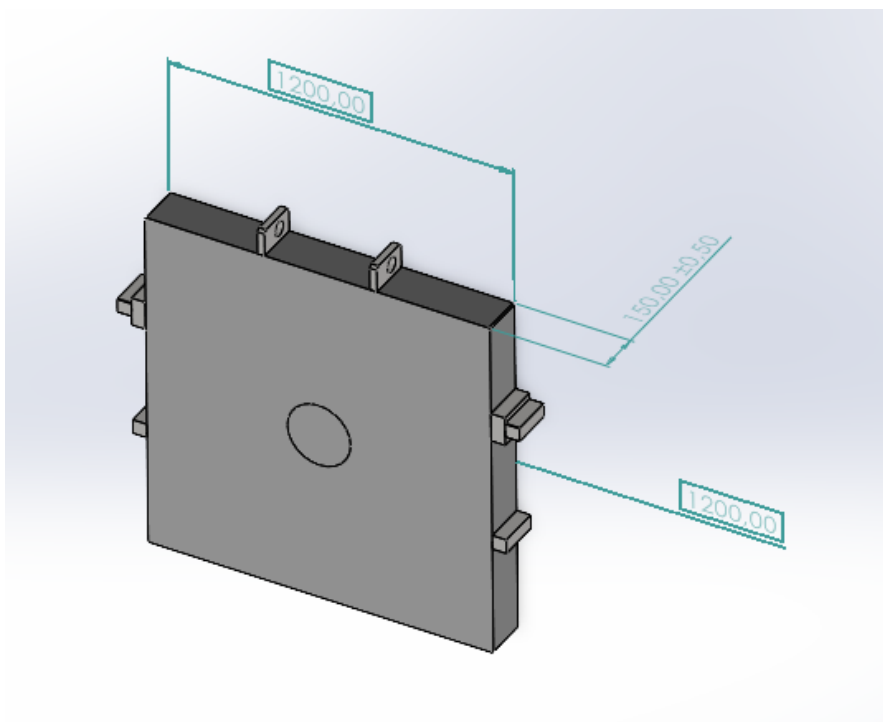


Figura 5.11: Cabeça móvel modelada;

Tal como nos componentes anteriores, foi realizado uma simulação numérica estática, onde se fixou uma face (face encostada a uma placa) e se aplicou uma força (força do cilindro aplicada numa zona).

A fixação e a força aplicada encontram-se nas seguintes figuras(Figura 5.12 e 5.13), respetivamente:

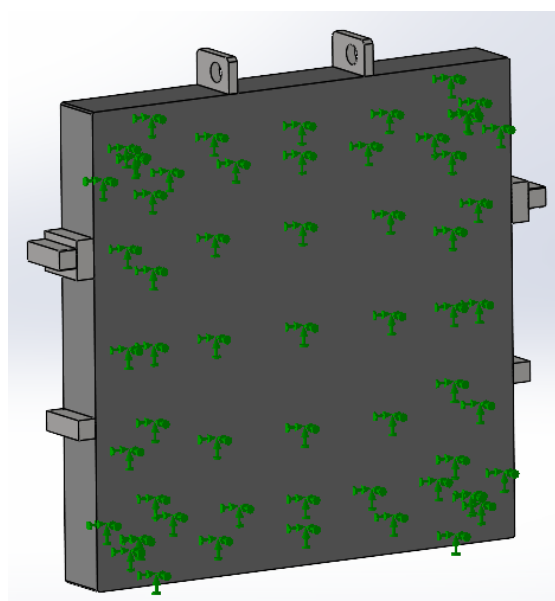


Figura 5.12: Face fixada;

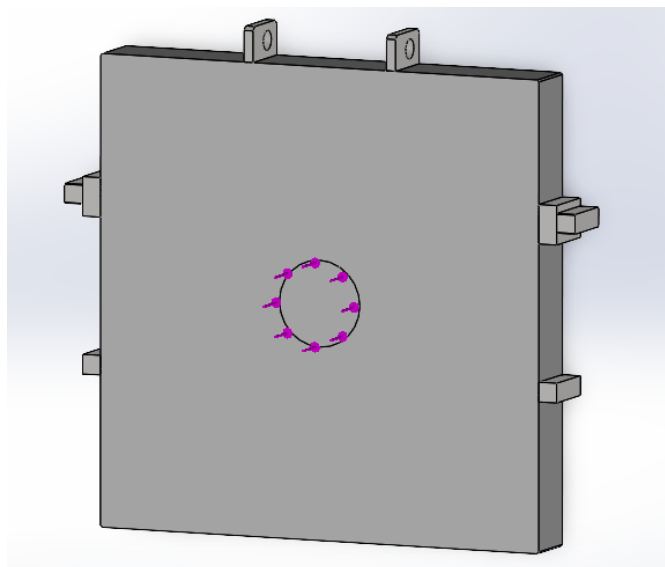


Figura 5.13: Face onde é aplicada a força do cilindro;

Também neste caso foi utilizada a malha Blended Curvature-Based, onde foram aplicadas as seguintes características (Figura 5.14):

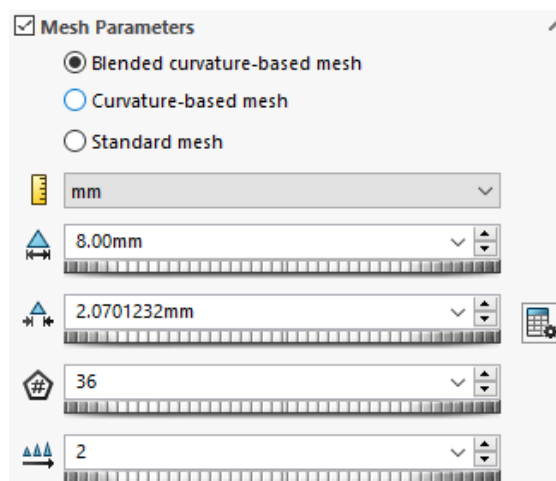


Figura 5.14: Condições de malha aplicada à cabeça móvel;

Aplicadas as seguintes condições, o aspeto da malha na cabeça móvel e respetivos fixadores é o seguinte (Figura 5.15):

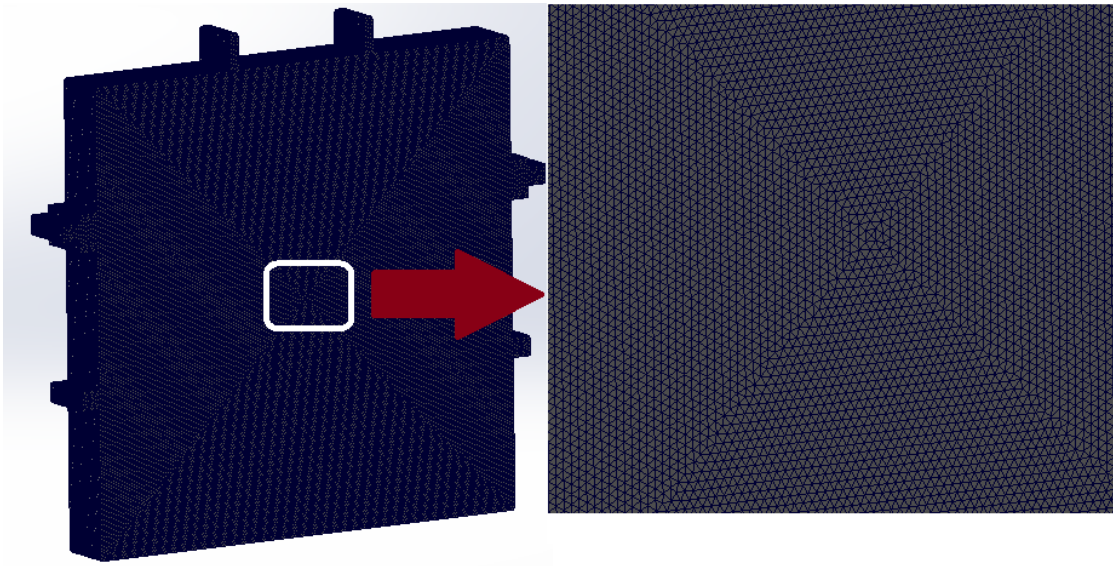


Figura 5.15: Malha aplicada à cabeça móvel;

À margem dos componentes modelados anteriormente, foram aplicados também à cabeça móvel os mesmos critérios que qualificam uma malha boa.

Os valores do diagnóstico da malha encontram-se na figura seguinte (Figura 5.16):

Study name	Static 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-base
Jacobian points for High quality mesh	At Nodes
Max Element Size	8 mm
Min Element Size	2,07012 mm
Mesh quality	High
Total nodes	3523264
Total elements	2538639
Maximum Aspect Ratio	4,9511
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99,9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Remesh failed parts independently	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:01:59
Computer name	

Figura 5.16: Detalhes da malha aplicada à cabeça móvel;

Pela observação da tabela da figura, é possível perceber que a malha cumpre os dois critérios.

#### 5.1.4 Modelação de outros componentes

Neste subcapítulo foram modelados componentes em que não existiu simulação numérica realizada, as cabeças fixas situadas em cada extremo da estrutura e a camisa do cilindro pneumático.

As duas cabeças fixas, tal como a cabeça móvel, foram modeladas a partir das cabeças fixas existentes, fornecidas pela empresa. Tal como com a cabeça móvel, foi considerado para as cabeças fixas estruturas em blocos de aço, desta vez com espessura de 200mm. Também para as cabeças fixas foram aproveitadas as estruturas das peças que fixam a viga.

As cabeças encontram-se nas figuras seguintes (Figura 5.17 e Figura 5.18):

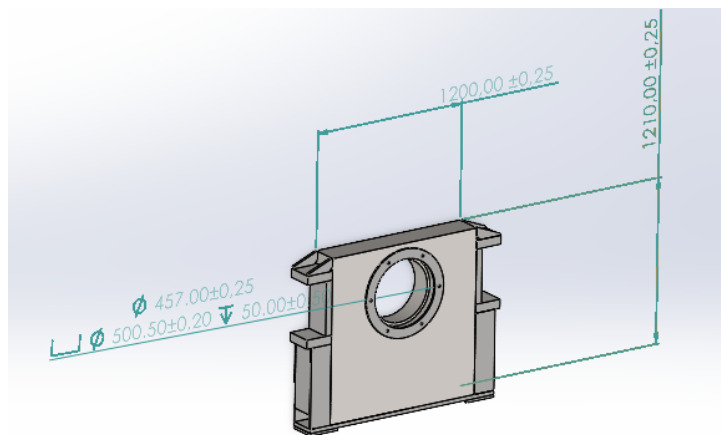


Figura 5.17: Cabeça fixa do cilindro pneumático;

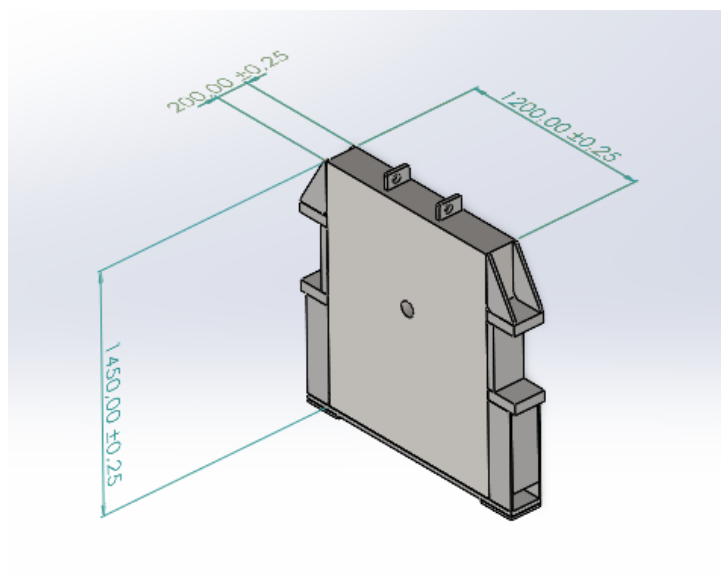


Figura 5.18: Cabeça fixa da entrada de pasta cerâmica;

A camisa e o tampo também foram modelados e são apresentados nas seguintes figuras



(Figura 5.19 e Figura 5.20):



Figura 5.19: Tubo com costura e tampo;

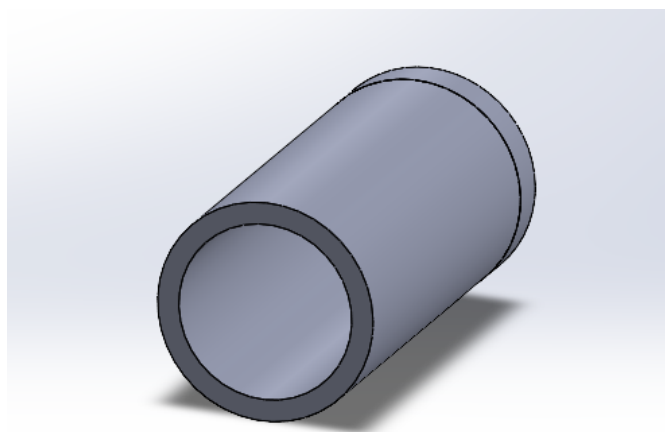


Figura 5.20: Conjunto tubo+tampo;

Posto isto, procedeu-se à simulação numérica. A discussão de resultados será abordada no capítulo seguinte.

## Capítulo 6

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Resultados para o cilindro pneumático

Após a modelação de todos os componentes, deu-se início à simulação numérica dos componentes com as respetivas malhas aplicadas.

Antes disso, atribui-se o tipo de material ao cilindro. Para isto, foi criado um ficheiro com as características do Aço CK45 e adicionada à biblioteca de materiais do "Solidworks".

As características encontram-se especificadas na figura seguinte (Figura 6.1):

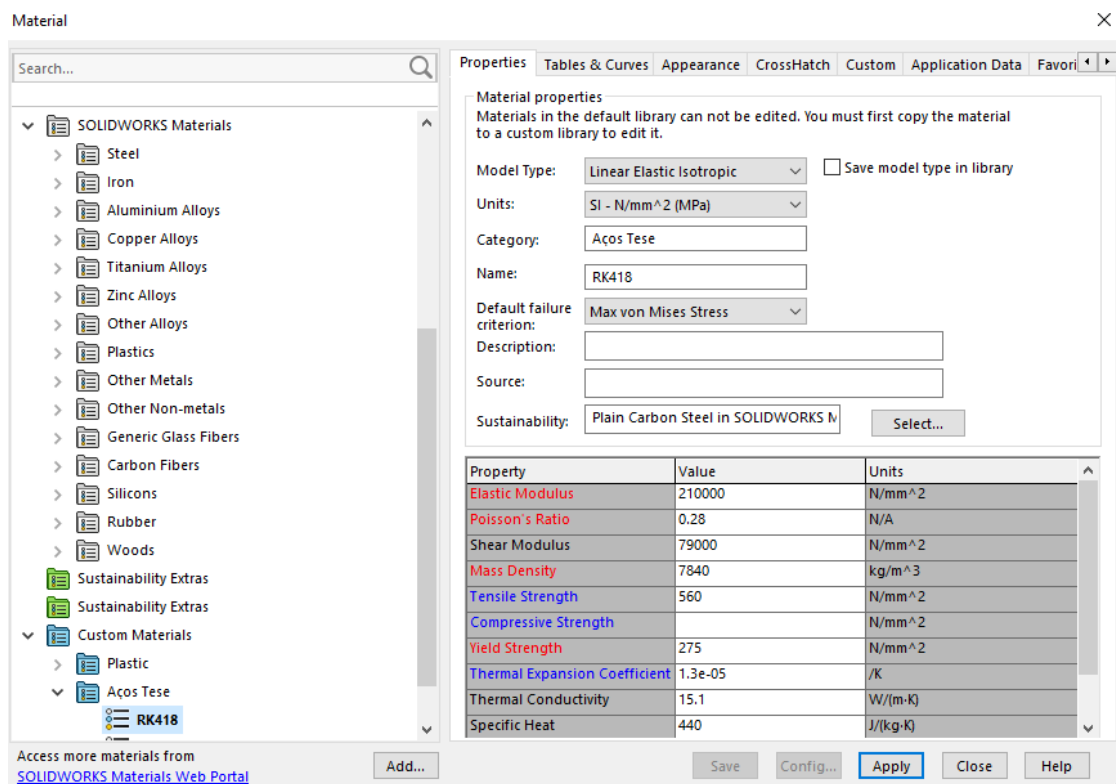


Figura 6.1: Características do aço CK45;

Após a aplicação do material procedeu-se à simulação numérica da malha aplicada no cilindro. Os resultados da tensão pelo critério de cedência de von Mises (Figura 6.2) e o respetivo deslocamento (Figura 6.3) são os seguintes:

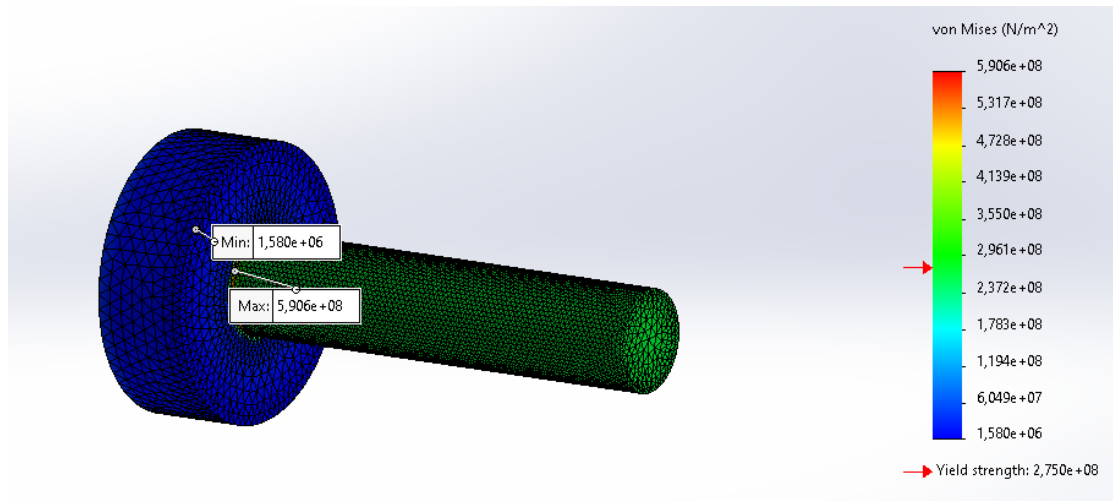


Figura 6.2: Tensão de cedência pelo critério de von Mises no cilindro;

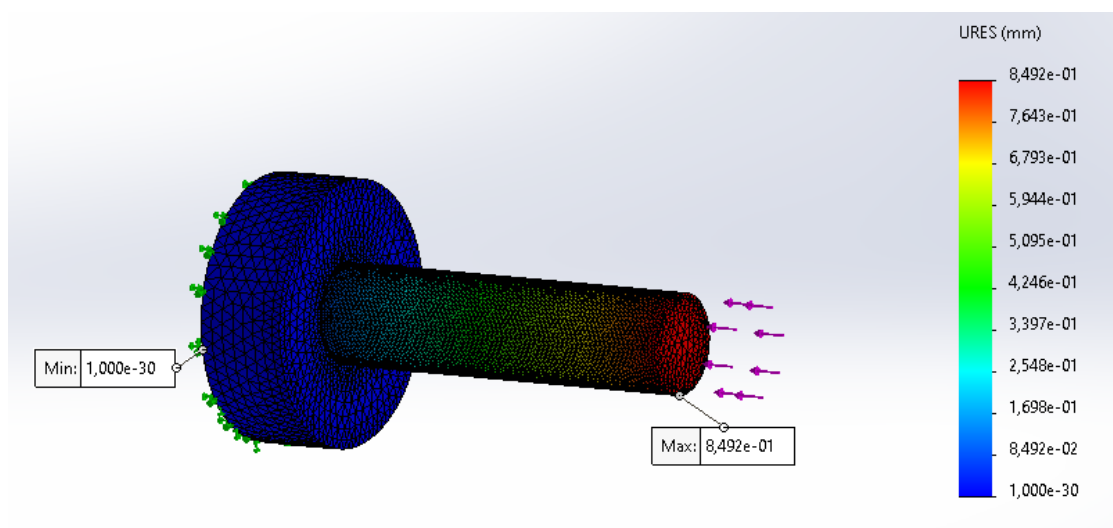


Figura 6.3: Deslocamento após aplicação dos esforços no cilindro;

Pela análise da figura 6.2, é possível perceber que o cilindro projetado não é viável, pois a tensão máxima de von Mises (590 MPa), excede a tensão de rutura do material (575 MPa).

Vários fatores podem influenciar esta ocorrência, nomeadamente o comprimento da haste arbitrado em função do tamanho das placas, ou a não realização de outros tipo de cálculo, nomeadamente tensão de flexão, ou até mesmo o coeficiente de segurança

utilizado para a força de avanço ser um pouco elevado.

Para a figura 6.3, não se verifica um deslocamento preocupante, já que a taxa da relação entre comprimento total e deslocamento é inferior a 0.15 %.

## 6.2 Resultados para a viga IPE 400

Na sequência das etapas realizadas anteriormente, também para a viga foi criado e atribuído um material (Aço S275). As suas características são ilustradas na figura seguinte (Figura 6.4):

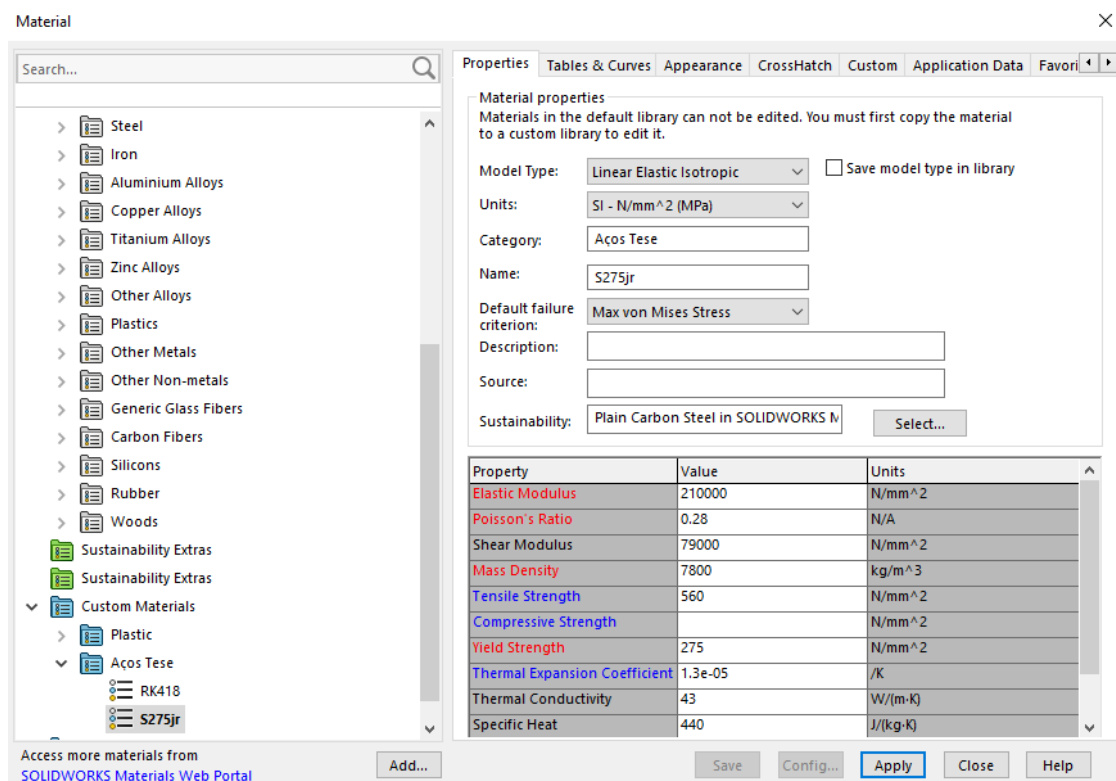


Figura 6.4: Características do aço S275;

Com a atribuição do material, começou-se então a simulação numérica da malha aplicada na viga. Os resultados da tensão de von Mises (Figura 6.5) e dos deslocamentos (Figura 6.6) são os seguintes:

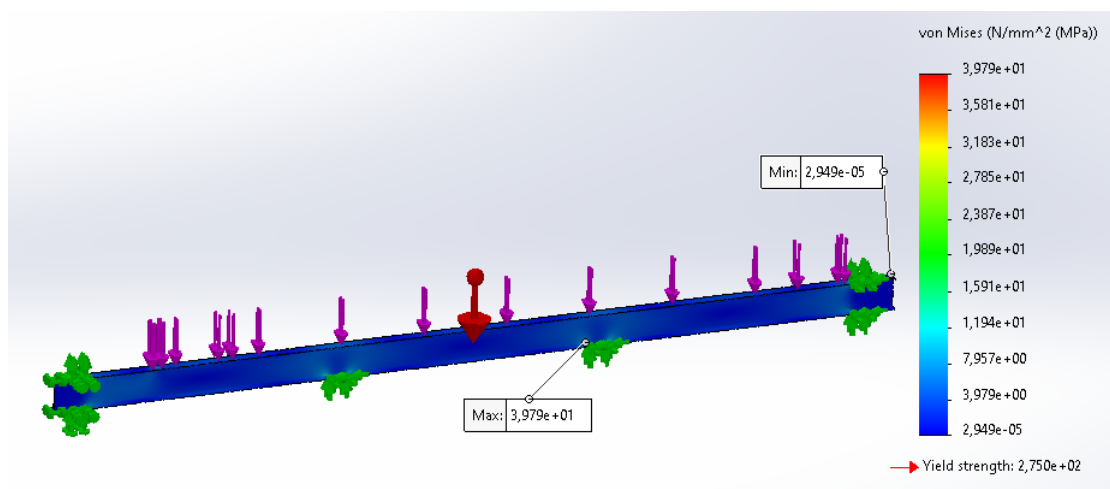


Figura 6.5: Tensão de cedência pelo critério de von Mises na viga;

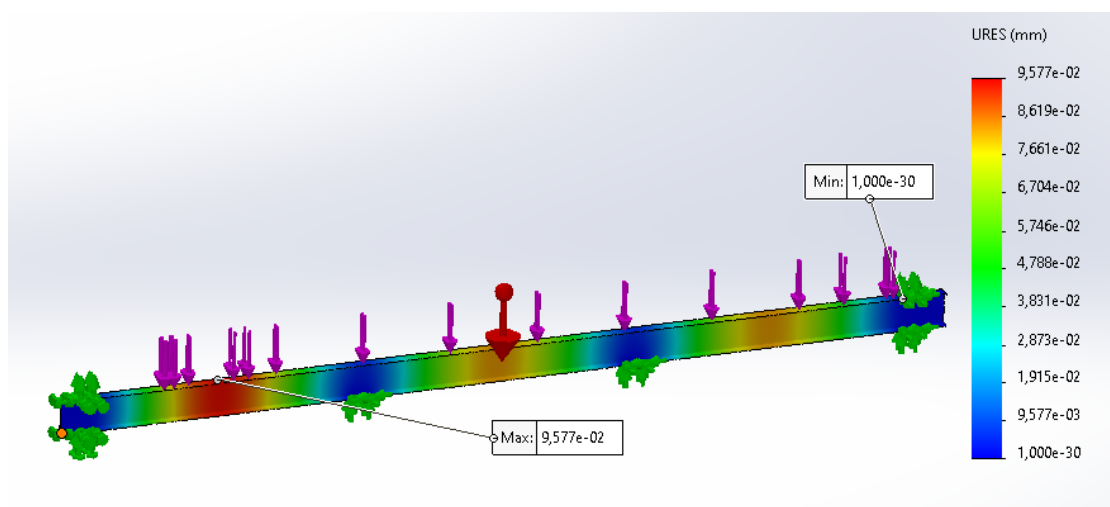


Figura 6.6: Deslocamento após aplicação dos esforços na viga;

Analisando a figura 6.5, percebeu-se que a tensão máxima de Von Mises é muito inferior à tensão de cedência do material. Com uma discrepância de valores consideráveis, pode-se admitir que a viga esta sobredimensionada, e o uso de um IPE mais baixo seria uma hipótese viável.

A figura 6.6. apresenta valores de deslocamento muito baixos, onde o máximo valor de deslocamento vertical é de 0.96mm num comprimento total de 12 metros. Mais uma vez pode concluir-se que a viga escolhida é sobredimensionada, mesmo com o acréscimo dos dois apoios centrais.

### 6.3 Resultados para a cabeça móvel

À semelhança da viga, também o aço S275 foi aplicado à cabeça móvel para a realização da simulação numérica. Após a aplicação do material os resultados obtidos foram os seguintes (Figura 6.7 e Figura 6.8):

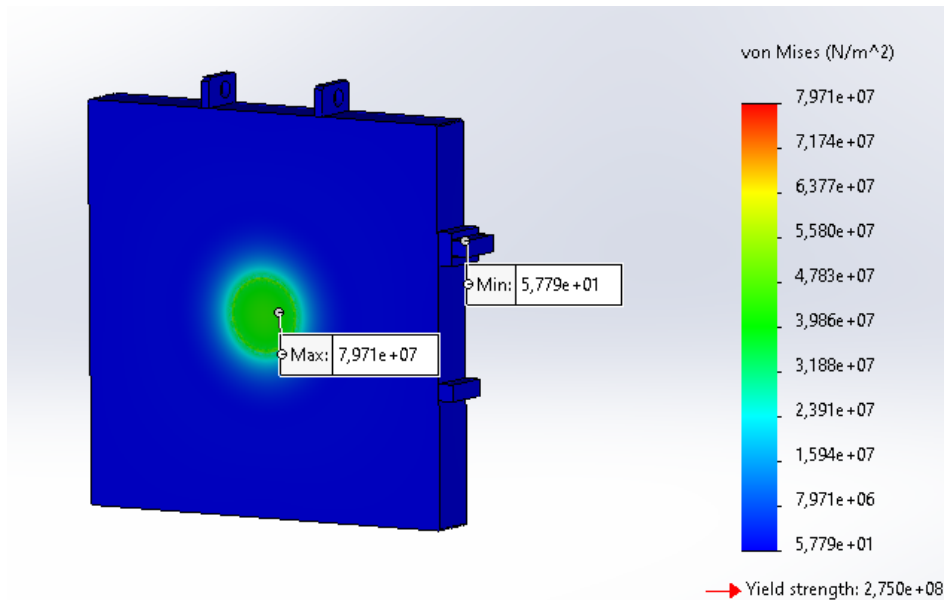


Figura 6.7: Tensão de cedência pelo critério de von Mises na cabeça móvel;

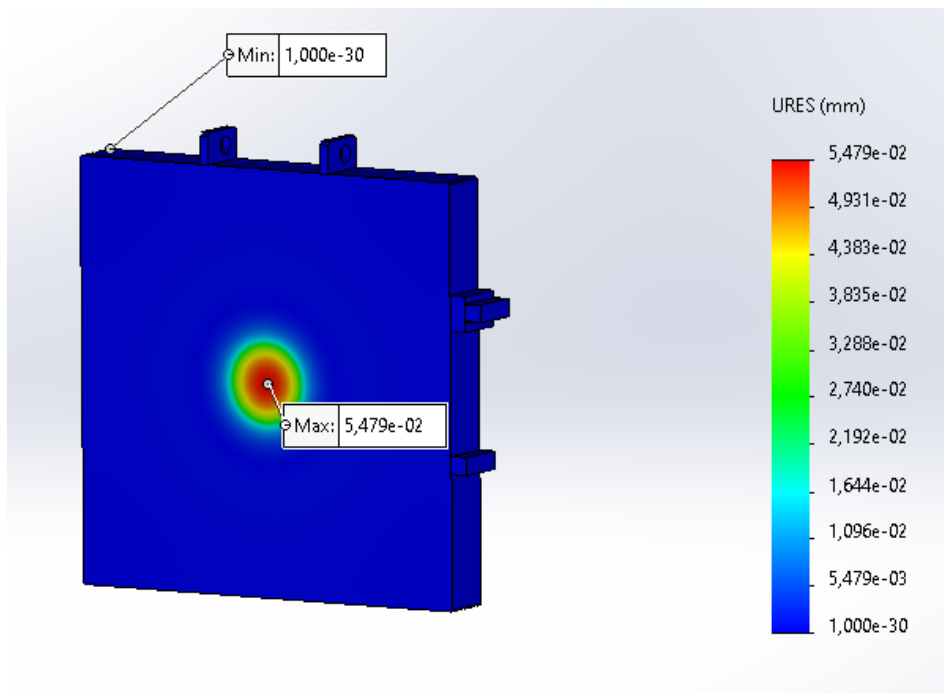


Figura 6.8: Deslocamento após aplicação dos esforços na cabeça móvel;

Tal como a viga, a projeção da cabeça móvel pode ser considerada sobredimensionada, pois o valor da tensão de von Mises é muito inferior à tensão de cedência, assim como o deslocamento apresentado ser bastante inferior à espesura da cabeça.

É fundamental destacar também que a força aplicada apresenta a área da secção do cilindro dimensionado, cilindro esse mal projetado, podendo assim existir um erro relativo em relação aos valores obtidos.

Parte III

Conclusões





## Capítulo 7

# CONCLUSÕES

### 7.1 Conclusões

Neste relatório de estágio, analisou-se o dimensionamento e a verificação dos principais componentes que constituem uma máquina filtro prensa. Os elementos destacados foram o número de placas, as vigas de apoio das placas e o cilindro pneumático. Comparando os valores um a um, o número de placas calculado ficou um pouco distante do valor do número de placas fornecido pela empresa. Esta pequena diferença pode estar relacionada com o uso do coeficiente usado. De lembrar que, o não uso do coeficiente, antecipava um valor de 122 placas, valor este mais próximo das 120 placas. Já o cálculo do cilindro pneumático, apresentou uma grande diferença no valor do diâmetro da haste. Como já referido, esta discrepância pode estar relacionada com o comprimento arbitrado para haste, a não realização de outro tipo de cálculos ou até mesmo o uso de um coeficiente de segurança excessivo na aplicação da força. Por fim, a viga apresenta um comprimento semelhante ao estipulado.

Numa outra parte do trabalho, as simulações numéricas apresentaram valores muito satisfatórios, à exceção do cilindro pneumático que excedeu os valores de tensão de rutura do material. A viga e a cabeça móvel, como já referido, apresentam possibilidades de estarem sobredimensionados. Para o caso da viga, a recomendação deixada, é a de se realizar um estudo de se optar por uma viga de dimensão mais pequena, podendo assim ter a possibilidade de reduzir custos.

Do ponto de vista pessoal, através deste estágio foi possível adquirir novos conhecimentos técnicos, tais como o aperfeiçoar a parte de desenho e de modelação de peças mecânicas industriais e de simulação numérica. Foi cumprido também o objetivo de lidar com o dia a dia de trabalhar numa empresa e de ter contacto com clientes.



**Parte IV**  
**Anexos**



## Capítulo 8

# ANEXOS

### 8.1 Anexos A

#### 8.1.1 Anexo A-1



### Normas:

EN: C 45 E	AISI: 1045	DIN: Ck 45
Fornecimento: EN 10277-2		

### Estado de fornecimento:

Cromado Duro  $\geq 20$  microns (ISO f7)

### Perfis disponíveis:

$\varnothing$	$\square$	$\square$	Chapa
14 a 120 mm EN 10060	---	---	---

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%):

C	Si	Mn	P	S	Cr + Mo + Ni
0,42-0,50	< 0,40	0,50-0,80	$\leq 0,035$	$\leq 0,035$	$\leq 0,63$

### CARACTERÍSTICAS:

Veio de aço de construção redondo, cromado duro.

### APLICAÇÕES PRINCIPAIS:

Hastes de amortecimento, macacos hidráulicos e pneumáticos, cavilhas para casquilhos de bronze e resinas sintéticas, veios hidráulicos.

### PROPRIEDADES:

Densidade: 7,84 Kg/dm<sup>3</sup>

Coefficiente de Dilatação Térmica, 10<sup>-6</sup>m/mK:

20 a 600 °C	20 a 500 °C	20 a 400 °C	20 a 300 °C	20 a 200 °C	20 a 100 °C
14,7	14,2	13,7	13,1	12,3	11,6

Condutibilidade Térmica, W/mK:

400 °C	200 °C	20 °C
---	---	15,1

Módulo de Elasticidade, GPa:

600 °C	500 °C	400 °C	300 °C	200 °C	100 °C	20 °C	0 °C	-100 °C
---	---	---	---	---	---	200	---	---

Propriedades Mecânicas:

$\varnothing$ (mm)	Espessura (t) (mm)	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A% (LO=5do)
$\leq 16$	$\leq 16$	> 620	> 340	> 14
$\leq 100$	$\leq 100$	> 580	> 305	> 16
$\leq 250$	$\leq 250$	> 560	> 275	> 16

### Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar  
Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410  
[www.ramada.pt](http://www.ramada.pt) | [acos.ovar@ramada.pt](mailto:acos.ovar@ramada.pt)

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores apresentados são indicativos, não podendo possuir carácter vinculativo, dado existirem variações resultantes de erros associados aos ensaios e às actualizações documentais.

Data de Atualização: 09-03-2018

### 8.1.2 Anexo A-2



Diámetro Nominal	O.D. mm	Schedule					STD e	Schedule			XS e	Schedule					XXS
		5 S	10 S	10	20	30		40 S	40	60		80 S	80	100	120	140	
1/8"	10.3		1,24				1.73				2.41						
			0.28				0.37				0.47						
1/4"	13.70		1.65				2.24				3.02						
			0.49				0.63				0.80						
3/8"	17.10		1.65				2.31				3.20						
			0.63				0.84				1.10						
1/2"	21.30	1.65	2.11				2.77				3.73					4.78	7.47
		0.80	1.00				1.27				1.62					1.95	2.55
3/4"	26.70	1.65	2.11				2.87				3.91					5.56	7.82
		1.03	1.28				1.69				2.20					2.90	3.64
1"	33.40	1.65	2.77				3.38				4.55					6.35	9.09
		1.30	2.09				2.50				3.24					4.24	5.45
1 1/4"	42.20	1.65	2.77				3.56				4.85					6.35	9.70
		1.65	2.70				3.39				4.47					5.61	7.77
1 1/2"	48.30	1.65	2.77				3.68				5.08					7.14	10.15
		1.91	3.10				4.05				5.41					7.25	9.56
2"	60.30	1.65	2.77				3.91				5.54					8.74	11.07
		2.40	3.93				5.44				7.48					11.11	13.44
2 1/2"	73.00	2.11	3.05				5.16				7.01					9.53	14.02
		3.69	5.26				8.63				11.41					14.92	20.39
3"	88.90	2.11	3.05				5.49				7.62					11.13	15.24
		4.51	6.45				11.29				15.27					21.35	27.68
3 1/2"	101.60	2.11	3.05				5.74				8.08						
		5.18	7.40				13.57				18.63						
4"	114.30	2.11	3.05				6.02				8.56		11.13			13.49	17.12
		5.84	8.36				16.07				22.32		28.32			33.54	41.03
5"	141.30	2.77	3.40				6.55				9.53		12.70			15.88	19.05
		9.47	11.57				21.77				30.97		40.28			49.11	57.43
6"	168.30	2.77	3.40				7.11				10.97		14.27			18.26	21.95
		11.32	13.84				28.26				42.56		54.20			67.56	79.22
8"	219.10	2.77	3.76		6.35	7.04	8.18		10.31		12.70		15.09	18.26	20.62	23.01	22.23
		14.79	19.96		33.31	36.81	42.55		53.08		64.64		75.92	90.44	100.92	111.27	107.92
10"	273.00	3.40	4.19		6.35	7.80	9.27		12.70	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40	25.40
		22.63	27.78		41.77	51.03	60.31		81.55	81.55	96.01	114.75	133.06	155.15	172.33	155.15	155.15
12"	323.80	3.96	4.57		6.35	8.38	9.53	10.31	14.27	12.70	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40	25.40
		31.25	36.00		49.73	65.20	73.88	79.73	108.96	97.46	132.08	159.19	186.97	208.14	238.76	186.97	186.97
14"	355.60	3.96	4.78	6.35	7.92	9.53	9.53	11.13	15.09	12.70	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71		
		34.36	41.30	54.69	67.90	81.33	81.33	94.55	126.71	107.39	158.10	194.96	224.65	253.56	281.70		
16"	406.40	4.19	4.78	6.35	7.92	9.53	9.53	12.70	16.66	12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49		
		41.56	47.29	62.64	77.83	93.27	93.27	123.30	160.12	123.30	203.53	245.56	286.64	333.19	365.35		
18"	457.00	4.19	4.78	6.35	7.92	11.13	9.53	14.27	19.05	12.70	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24		
		46.81	53.26	70.57	87.71	122.38	105.16	155.80	205.74	139.15	254.55	309.62	363.56	408.26	459.37		
20"	508.00	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70	9.53	15.09	20.62	12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01		
		59.25	68.61	78.55	117.15	155.12	117.15	183.42	247.83	155.12	311.17	381.53	441.49	508.11	564.81		
22"	559.00	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70	9.53		22.23	12.70	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98		
		65.24	75.53	86.54	129.13	171.09	129.13		294.25	171.09	373.83	451.42	527.02	600.63	672.26		
24"	610.00	5.54	6.35	6.35	9.53	14.27	9.53	17.48	24.61	12.70	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54		
		82.47	94.53	94.53	141.12	209.64	141.12	255.41	355.26	187.06	442.08	547.71	640.03	720.15	808.22		
26"	660.00			7.92	12.70		9.53			12.70							
				127.36	202.72		152.87			202.72							
28"	711.00			7.92	12.70	15.88	9.53			12.70							
				137.32	218.69	271.21	164.85			218.69							
30"	762.00	6.35	7.92	7.92	12.70	15.88	9.53			12.70							
		118.33	147.28	147.28	234.67	292.18	176.84			234.67							
32"	813.00			7.92	12.70	15.88	9.53	17.48		12.70							
				157.24	250.61	312.15	188.82	342.91		250.61							
34"	864.00			7.92	12.70	15.88	9.53	17.48		12.70							
				167.20	266.61	332.12	200.31	364.90		266.61							
36"	914.00			7.92	12.70	15.88	9.53	19.05		12.70							
				176.96	282.27	351.70	212.56	420.42		282.27							
38"	965.00						9.53			12.70							
							224.54			298.24							
40"	1.016.00						9.53			12.70							
							236.53			314.22							
42"	1.067.00						9.53			12.70							
							248.52			330.19							
44"	1.118.00						9.53			12.70							
							260.50			346.16							

Nota.— Os pesos são para tubagem de aço carbono com extremos planos.  
Os diversos graus de aço inoxidável permitem consideráveis variantes nos pesos. Os inoxidáveis ferríticos podem pesar aproximadamente 5% mais e os austeníticos aproximadamente 2% mais, os valores desta tabela estão baseados no peso de aço carbono.

# Bibliografía

- [1] K. J. McGrew and P.E., “Historical Development of the Automated Filter Press,” no. 916, p. 5, 2019. [Online]. Available: <http://tonspershour.com/wp-content/uploads/Historical-AFP-Development.pdf>
- [2] E. Dodd, “Remaking history: using Ancient Egyptian techniques, I made delicious olive oil at home – and you can too,” 2022. [Online]. Available: <https://theconversation.com/remaking-history-using-ancient-egyptian-techniques-i-made-delicious-olive-oil-at-home-and-you-can-to>
- [3] McLanahan, “Aggregate, Mineral and Agricultural Equipment | McLanahan,” 2022. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/>
- [4] 911 Metallurgist, “Gold & Silver Merrill-Crowe Zinc Precipitation Circuit Operation.” [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/merrill-crowe-zinc-precipitation-circuit-operation>
- [5] S. Ripperger, W. Gösele, C. Alt, and T. Loewe, “Filtration, 1. Fundamentals,” *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, pp. 1–38, 2013.
- [6] A. Barua, “Experimental Study of Filter Cake Cracking,” no. May, pp. 1–255, 2014.
- [7] T. S. Khean, “Studies in Filter Cake Characterisation and Modelling,” *Environmental Engineering*, p. 194, 2003.
- [8] H. Anlauf, “Recent developments in centrifuge technology,” *Separation and Purification Technology*, vol. 58, no. 2, pp. 242–246, 2007.
- [9] “Fluid Separation Technology | Trucent.” [Online]. Available: <https://www.trucent.com/>
- [10] MSE Filterpressen, “MSE Filterpressen® - Kammerfilterpressen & Membranfilterpressen Hersteller.” [Online]. Available: <https://mse-filterpressen.de/>
- [11] “Wastewater Treatment Equipment - M.W. Watermark.” [Online]. Available: <https://mwwatermark.com/>
- [12] A. Rizo, “Información del estudiante y de la empresa,” 2015.
- [13] B. Fränkle, P. Morsch, C. Kessler, T. Sok, M. Gleiß, and H. Nirschl, “Iron Ore Tailings Dewatering: Measurement of Adhesion and Cohesion for Filter Press Operation,” *Sustainability*, vol. 14, no. 6, p. 3424, mar

2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3424/htmhttps://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3424>
- [14] A. D. Stickland, S. J. Skinner, R. G. Cavalida, and P. J. Scales, “Optimisation of filter design and operation for wastewater treatment sludge,” *Separation and Purification Technology*, vol. 198, no. April, pp. 31–37, 2018.
- [15] Golden Triumph, “Filter Press Machine & Spare Parts, Industrial Pressure Filter Manufacturer.” [Online]. Available: <https://www.filterpressmachines.com/>
- [16] C. S. C. Oliveira, “Controlo Estatístico - Indústria Cerâmica,” p. 92, 2012. [Online]. Available: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/25107>
- [17] M. von Sperling and C. A. d. L. Chernicharo, “Sludge treatment and disposal.” *WATER & WASTE TREAT. J.*, vol. 6, 2007.
- [18] N. Portuguesa, “Norma Portuguesa Eurocódigo 3-Projeto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios,” 1993. [Online]. Available: [www.ipq.pt](http://www.ipq.pt)
- [19] “Software de Análise Estrutural de Construções | Dlubal Software.” [Online]. Available: <https://www.dlubal.com/pt>
- [20] “Meshing Options - 2021 - SOLIDWORKS Help.” [Online]. Available: <https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c{ }meshing{ }options.htm?id=7236c6828ed74a489e328dd0244d038e{ }Pg0>
- [21] “Mesh Quality Checks - 2021 - SOLIDWORKS Help.” [Online]. Available: <https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c{ }Mesh{ }Quality{ }Checks.htm>