



## Aglomeración de cortiça por compressão a quente

FÁBIO MIGUEL CARDOSO MARTINS

Outubro de 2015

# Aglomeración de cortiça por compressão a quente

Fábio Miguel Cardoso Martins

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



16 de outubro de 2015



Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º Ano do Mestrado em Engenharia  
Mecânica – Materiais e Tecnologias de Fabrico

Candidato: Fábio Miguel Cardoso Martins, Nº 1130244, [1130244@isep.ipp.pt](mailto:1130244@isep.ipp.pt)

Orientação Científica: Professor Doutor João Francisco Silva, [jfs@isep.ipp.pt](mailto:jfs@isep.ipp.pt)

Coorientação: Professor Doutor Manuel Dores de Castro, [mdc@isep.ipp.pt](mailto:mdc@isep.ipp.pt)

Mestrado em Engenharia Mecânica  
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



16 de outubro de 2015



*Ao meu Avô...*



## *Agradecimentos*

A realização deste projeto não teria sido possível sem o contributo de várias pessoas. Seria impossível enumerar todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento académico e profissional com o desenvolvimento desta dissertação. No entanto, é importante realçar algumas dessas pessoas:

Ao Professor Doutor João Francisco Silva, pelo incentivo e encorajamento, pela atenção despendida e pela disponibilidade constante.

Ao Professor Doutor Manuel Castro, por ter impulsionado esta ideia desde o primeiro momento.

Às oficinas mecânicas do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP, na pessoa do Eng.º Victor Moreira, pelo auxílio prestado na maquinagem dos componentes do molde.

Ao Sr. Dionísio Armindo, a quem devo muita da aprendizagem prática que me possibilitou a execução deste projeto.

À empresa UNICOR, Lda., pelo fornecimento do granulado indispensável à execução das peças em estudo.

Aos meus Pais e família, que sempre estiveram presentes e sempre me incentivaram nesta etapa importante.

À minha namorada Sofia Vivas, pela paciência, dedicação, auxílio e incentivo constantes. Pela compreensão nos momentos mais difíceis e pelas palavras de conforto e alento que sempre me impulsionaram para a finalização deste trabalho.

A todos o meu sincero e humilde obrigado.



## *Resumo*

A diversificação do uso dos produtos de cortiça exige uma adaptação constante dos processos produtivos utilizados para a transformação deste produto.

Este trabalho tem como principal intuito a idealização e investigação de um novo processo de fabrico adaptado a um tipo muito particular de produto, os aglomerados puros de cortiça. Estes, não recorrem a qualquer tipo de aglutinante para assegurar a sua ligação, apenas as resinas contidas na própria cortiça são utilizadas para esse efeito.

Analisando os processos de fabrico atuais, verifica-se que, a conceção de geometrias complexas com aglomerados puros de cortiça, só é possível com recurso à maquinação. Este processo gera desperdício e tem uma série de processos que o antecedem, destacando-se a aglomeração prévia numa forma mais simples (bloco paralelepípedo ou cilindro) e o corte numa pré forma.

A ideia de se executar uma peça complexa sem recurso à maquinação é o objetivo primordial deste trabalho. Para isso foi construído um molde, com todos os mecanismos auxiliares necessários, à semelhança do que já se faz noutro tipo de indústrias, nomeadamente, do vidro e do plástico.

Esse mesmo molde foi submetido a uma série de ensaios para determinação dos parâmetros de enchimento e moldação, tendo-se chegado a uma formulação que garante características atrativas na peça final. A aglutinação do granulado de cortiça revelou-se bastante dependente de três parâmetros: a temperatura aplicada, a humidade do granulado e o grau de compactação aplicado.

A industrialização do processo revelou-se também plausível de execução, sendo apenas necessários alguns melhoramentos. A utilização deste tipo de processo revela-se, portanto, atrativa para grandes séries de peças, conseguindo-se elevada reprodutibilidade das mesmas com apenas um processo, sem necessidade de procedimentos adicionais de acabamento.

### *Palavras-Chave*

Cortiça, Aglomerado negro de cortiça, Aglomerados expandidos de cortiça, moldação de cortiça.



## *Abstract*

The diversification of cork products requires constant adaptation of the production processes used for processing this product.

This work has as main purpose the idealization and research of a new manufacturing process adapted to a very particular type of product, pure corkboards. These do not resort to any type of adhesive to assure their connection, only the resin contained in the cork itself are used for this purpose.

Analyzing the current manufacturing processes, it turns out that the design of complex geometries with pure cork agglomerate, is possible only by the machining. This process generates waste and a number of processes that precede it, especially prior to agglomeration into a simpler form (cobblestone block or cylinder) and cutting a preform.

The idea of running a complex piece without the use of machining is the prime objective of this work. A mold was built, with all the necessary auxiliary mechanisms, similar to what is already being done in other types of industries, in particular, glass and plastic.

The same mold was subjected to a series of tests to determine the filling and molding parameters, having reached a formulation that provides attractive features in the final part.

The assemblage of the cork granules proved to be quite dependent on three parameters: the applied temperature, the humidity of the cork and the compaction applied.

The industrialization of the process proves to be possible and will be only needed some improvement. The use of such process is seen attractive for large series of parts, achieving high reproducibility with only one process, without further finishing procedures.

### ***Keywords***

Cork, Expanded Cork, cork moldation.



## *Résumé*

La diversification de l'utilisation des produits en liège nécessite une adaptation constante des processus de production utilisés pour le traitement de ce produit.

Ce travail a pour but principal l'idéalisation et la recherche d'un nouveau procédé de fabrication adapté à un type très particulier de produit, tableaux de liège pures. Celles-ci ne recourent pas à tout type de liant pour assurer leur liaison, seule la résine contenue dans le bouchon lui-même sont utilisés à cette fin.

En analysant les procédés de fabrication actuels, il apparaît que la conception des géométries complexes avec agglomérat de liège pur, est possible seulement au moyen de l'usinage. Ce processus génère des déchets et a un certain nombre de processus qui la précèdent, en particulier avant d'agglomération en une forme simple (bloc pavée ou cylindre) et coupe une préforme.

L'idée de couler un morceau complexe sans l'utilisation de l'usinage est l'objectif premier de ce travail. Un moule, avec tous les mécanismes auxiliaires nécessaires, semblable à ce qui se fait déjà dans d'autres types d'industries, en particulier, le verre et le plastique pour elle a été construite.

Le même moule a été soumis à une série de tests pour déterminer les paramètres de remplissage et de moulage, après avoir atteint une formulation qui fournit des caractéristiques intéressantes dans la partie finale. L'assemblage des granulés de liège se sont révélées être très dépendant de trois paramètres: la température appliquée, l'humidité du granulé et le degré de compactage appliquée.

L'industrialisation du processus se révèle être mise en œuvre aussi plausible et sera seulement nécessaire une certaine amélioration. L'utilisation d'un tel processus est considéré, donc attractif pour les grandes séries de pièces, la réalisation de reproductibilité élevée de celui-ci avec un seul processus, sans procédures de finissage.

### ***Mots-clés***

Liège, expansé liège, cadre de liège.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	2
<b>2. ENQUADRAMENTO</b> .....	<b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. CORTIÇA.....	6
2.2.1. <i>Resenha Histórica</i> .....	7
2.2.2. <i>Produção</i> .....	9
2.2.3. <i>Estrutura</i> .....	12
2.2.4. <i>Composição Química</i> .....	14
2.2.5. <i>Propriedades</i> .....	15
2.2.6. <i>Aplicações</i> .....	21
2.3. MOLDES.....	31
2.3.1. <i>Resenha histórica</i> .....	31
2.3.2. <i>Tipos de moldes e indústrias</i> .....	32
2.3.2.1. <i>Moldes para a produção de peças de vidro</i> .....	33
2.3.2.2. <i>Moldes para conformação de materiais cerâmicos</i> .....	35
2.3.2.3. <i>Moldes para Injeção de plásticos</i> .....	37
<b>3. TRABALHO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>49</b>
3.1. PEÇA.....	49
3.1.1. <i>Funcionalidade e objetivo</i> .....	49
3.1.2. <i>Viabilidade de comercialização</i> .....	51
3.1.3. <i>Caracterização e tolerância dimensional</i> .....	52

3.2.	CARACTERIZAÇÃO DO GRANULADO DE CORTIÇA .....	54
3.2.1.	<i>Granulometria</i> .....	55
3.2.2.	<i>Massa volúmica</i> .....	59
3.2.3.	<i>Humidade</i> .....	60
3.3.	MOLDE.....	61
3.3.1.	<i>Condicionantes</i> .....	61
3.3.2.	<i>Estrutura e material</i> .....	62
3.3.3.	<i>Cavidade Superior</i> .....	64
3.3.5.	<i>Cavidade de Enchimento</i> .....	65
3.3.6.	<i>Mecanismo de Abertura / Fecho</i> .....	66
3.3.7.	<i>Guiamento</i> .....	67
3.3.8.	<i>Mecanismo de compactação</i> .....	67
3.3.10.	<i>Aquecimento</i> .....	74
3.3.11.	<i>Arrefecimento</i> .....	76
3.4.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	81
3.5.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	86
3.5.1.	<i>Primeira fase de ensaios</i> .....	86
3.5.2.	<i>Alterações realizadas no molde</i> .....	90
3.5.3.	<i>Segunda Fase de Ensaios</i> .....	91
3.5.4.	<i>Estabilidade Dimensional</i> .....	95
3.5.5.	<i>Resultado Final</i> .....	97
<b>4.</b>	<b>INDUSTRIALIZAÇÃO .....</b>	<b>101</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>6.</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO A. DESENHOS.....</b>	<b>119</b>
	<b>ANEXO B. PARÂMETROS DE ENSAIO .....</b>	<b>127</b>

## *Índice de Figuras*

Figura 1 - Prancha de Cortiça (Corticeira Amorim, 2014).....	6
Figura 2 - Sobreiro de grande porte (APCOR, 2010).....	6
Figura 3 - Utilização da cortiça em redes de pesca (Oliveira & Oliveira, 1991). ....	7
Figura 4 - Células de cortiça observadas por Robert Hook (University of California, 2014). .....	8
Figura 5 - Gravura representativa do processo artesanal de manufatura de rolhas de cortiça (Oliveira & Oliveira, 1991).....	9
Figura 6 - primeira etapa do descortiçamento – Abrir (APCOR, 2014).....	11
Figura 7 - Separação da cortiça do sobreiro (APCOR, 2014). ....	11
Figura 8 - Remoção dos fragmentos de cortiça junto à base do tronco (APCOR, 2014)...	12
Figura 9 - Corte transversal de uma prancha de cortiça, mostrando o bofe. ....	17
Figura 10 - Cortiça amadia com verde. ....	17
Figura 11 - Curva de compressão da cortiça (representação esquemática das 3 regiões) (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).....	20
Figura 12 - Fluxo de produção de rolhas de cortiça e produtos derivados (Corticeira Amorim, 2015). ....	23
Figura 13 - Brocagem de rolhas de cortiça natural (Naturlink, 2015).....	24
Figura 14 - Esquema de produção de granulados (Gil, 2010).....	26
Figura 15 - Esquema do fabrico de aglomerado expandido (Gil, 2010). ....	29
Figura 16 - Etapas do processo de moldação de vidro "soprado-soprado" (Manoel, 2010). .....	34
Figura 17 – Etapas do processo de moldação de vidro "prensado-soprado" (Manoel, 2010). .....	35
Figura 18 - Prensagem uniaxial de materiais cerâmicos (Alves, 2005). ....	37
Figura 19 - Cavidade de bloco único (Provenza, 1993). ....	41
Figura 20 - Cavidade composta (Provenza, 1993). ....	42
Figura 21 - Guias para moldes de injeção de plásticos (Ferazeméis, 2015).....	42

Figura 22 - Extratores cilíndricos (Harada, 2004).....	43
Figura 23 - Extrator de lâmina (Harada, 2004). ....	44
Figura 24 - Vantagem da utilização de um extrator tubular comparativamente a um extrator cilíndrico (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).....	44
Figura 25 - Extrator tubular (SOREP, 2015).....	45
Figura 26 - Extração por ar comprimido (Provenza, 1993). ....	45
Figura 27 - Sistema de extração de peças roscadas por pinhão e cremalheira (Harada, 2004). ....	46
Figura 28 - Circuito em "U" (Brito & Matos, 2004).....	47
Figura 29 - Circuito em "Z" (Brito & Matos, 2004). ....	47
Figura 30 - Vista, em corte, do candeeiro a executar em aglomerado expandido de cortiça. ....	50
Figura 31 - Casquilho GU10 (Lojaxenon, 2015). ....	52
Figura 32 - Projetor LED com conexão GU10 (o desenho não se encontra à escala). ....	53
Figura 33 - Peça a executar em aglomerado expandido de cortiça (o desenho não se encontra à escala). ....	54
Figura 34 - Relação linear em escala logarítmica. ....	57
Figura 35 - Balança e recipiente utilizados para a determinação da massa volúmica do granulado.....	60
Figura 36 - Medidor de humidade utilizado.....	61
Figura 37 - Desenho a três dimensões do molde.....	62
Figura 38 - Cavidade do molde. ....	64
Figura 39 - Mandril. ....	65
Figura 40 - Cavidade de enchimento.....	66
Figura 41 - Mecanismo de abertura do molde.....	66
Figura 42 - Componentes de guiamento e centragem do molde. ....	67
Figura 43 - Volume de enchimento do molde com o mandril recuado.....	69
Figura 44 - Detalhe do molde fechado e com mandril na posição de topo. ....	72
Figura 45 - Cavidade superior do molde. ....	72
Figura 46 - Vibrador de alimentação / compactação do granulado de cortiça. ....	74
Figura 47 - Controladores de temperatura utilizados. ....	76

Figura 48 - Dimensionamento das distâncias entre furações de águas em elementos moldantes (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).	81
Figura 49 - Aplicação de desmoldante no molde.	81
Figura 50- Mandril na posição de enchimento.	82
Figura 51 - Fecho do molde.	82
Figura 52 - Enchimento do molde.	83
Figura 53 - Compressão do granulado de cortiça no interior do molde.	83
Figura 54 - Conexões do sistema de arrefecimento.	84
Figura 55 - Abertura do molde.	85
Figura 56 - Desmoldagem total da peça.	85
Figura 57 - Peça obtida no primeiro ensaio.	87
Figura 58 - Peça obtida no segundo ensaio.	87
Figura 59 - Resultado obtido na terceira série de ensaios.	88
Figura 60 - Peças obtidas na quarta série de ensaios.	89
Figura 61 - Localização das resistências adicionadas à cavidade superior.	90
Figura 62 - Primeira peça obtida na segunda fase de ensaios.	91
Figura 63 - Peça obtida com o molde a uma temperatura constante.	92
Figura 64 - Elevado grau de compactação verificado no topo da peça.	93
Figura 65 - Peça obtida com a adição de 5% de água.	94
Figura 66 - Cronologia das peças obtidas.	94
Figura 67 - Dimensões gerais da peça.	96
Figura 69 - Montagem do conjunto Peça aglomerado expandido / Projetor LED / Casquilho GU10.	98
Figura 70 - Candeeiro suspenso.	98
Figura 71 - Resultado final obtido.	99



## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 - Emissões de CO <sub>2</sub> por fase de ciclo de vida (APCOR, 2011) (adaptado). .....	22
Tabela 2 - Tipos de aglomerados negros (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004). .....	28
Tabela 3 - Resultados do ensaio granulométrico efetuado. ....	56
Tabela 4 - Parâmetros da distribuição de Weibull, em termos de massa. ....	58
Tabela 5 - Valores de média, mediana e variância, em termos mássicos, do granulado de cortiça. ....	59
Tabela 6 - Propriedades e aplicações da liga de alumínio 5083 (KMS - Mat. Técnicos, Lda., 2015). ....	63
Tabela 7 - Dados considerados no dimensionamento da cavidade de enchimento. ....	68
Tabela 8 - Dados utilizados para o cálculo da potência de aquecimento do molde. ....	75
Tabela 9 - Dados utilizados para o cálculo do fluxo de calor cedido ao meio pelo molde. ....	79
Tabela 10 - Resultados da aplicação das equações 15, 16 e 17. ....	79
Tabela 11 - Valores dos parâmetros utilizados no ensaio. ....	95
Tabela 12 - Valores médios das dimensões determinadas por medição das peças extraídas, valores em mm. ....	96
Tabela 13 - Tempo necessário para cada operação. ....	104
Tabela 14 - Custos associados à matéria-prima. ....	105



## **Abreviaturas**

ANFEVI – *Asociación Nacional de Fabricantes de Envases de Vidro*

APCOR – *Associação Portuguesa de Cortiça*

CEFAMOL – *Associação Nacional da Indústria de Moldes*

CNC – *Controlo Numérico Computorizado*

ISEP – *Instituto Superior de Engenharia do Porto*

LED – *Light Emiting Diodes*

SAMEC – *Manufactura Espanhola de Cortiça, S.A.*



# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização

Atualmente a cortiça e os seus produtos derivados são bastante apreciados por todo o mundo, não apenas pelas suas propriedades únicas, mas também pelo seu fator ecológico e sustentabilidade ambiental.

A aglomeração de cortiça sem recurso a aglutinantes é um processo bastante antigo e industrializado já nos finais do século XIX. No entanto, o processo existente permite apenas a aglomeração em formas simples como cilindros ou blocos os quais são posteriormente cortados nas formas pretendidas. No caso de se desejarem formas ainda mais complexas, é necessário um processo adicional de maquinação ou esculpimento manual.

Este projeto nasceu do desejo de encontrar uma alternativa ao procedimento atual de moldação e posterior maquinação, com geração de desperdícios e com uma série de etapas que não trazem valor acrescentado ao produto.

## 1.2. Objetivos

Atendendo aos processos atualmente utilizados na indústria corticeira para a produção de aglomerados puros, os objetivos deste trabalho são:

- Verificar a possibilidade de enchimento de um molde, com este fechado, introduzindo o granulado por um pequeno orifício de injeção;
- Averiguar os parâmetros mais influentes neste processo de enchimento;
- Comprovar a possibilidade de aglutinação do granulado sem adição de qualquer tipo de adesivo;
- Determinar quais as variáveis intervenientes neste processo, encontrando valores de temperatura aplicada, compactação, tempo de moldagem e desmoldante aplicado.
- Verificar as tolerâncias geométricas associadas a este possível produto;
- Apurar a viabilidade de industrialização de um processo deste tipo, apontando as suas vantagens e dificuldades.
- Analisar os possíveis custos, tendo em conta a amortização do investimento inicial e o custo da matéria-prima.

### **1.3. Organização do relatório**

Este relatório encontra-se dividido em dois grandes pontos. O primeiro é dedicado ao enquadramento deste trabalho. No fundo, é realizada uma revisão bibliográfica com vista à determinação do estado da arte de dois sectores distintos: a indústria da cortiça e a indústria dos moldes. Abordam-se aspetos relacionados com as propriedades da cortiça, sua extração, processos de fabrico e áreas de aplicação. No que diz respeito à indústria dos moldes, são abordados alguns tipos de indústrias, algumas particularidades de cada indústria e alguns componentes dos moldes utilizados nas mesmas. É dada especial ênfase aos moldes de injeção de plástico pela sua complexidade. Esta revisão servirá de base para o segundo ponto.

O segundo ponto é dedicado ao desenvolvimento do trabalho experimental. Inicia-se esta fase com a apresentação da peça projetada para a moldação, de seguida é efetuada a caracterização do granulado de cortiça utilizado. É também detalhado o projeto do molde,

a sua constituição, condicionantes e mecanismos inerentes. Por último, são apresentados os resultados obtidos e o procedimento experimental adotado.

Os três últimos pontos deste relatório abordam a possibilidade de industrialização do processo, bem como as conclusões retiradas deste trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.



## 2. Enquadramento

### 2.1. Introdução

O desenvolvimento de novos processos de fabrico, ou a atualização dos atuais, exige o conhecimento prévio do estado da arte relacionado com o processo. Além disso, é necessário conhecer o objeto em estudo, enquadrá-lo ao nível industrial e conhecer as suas utilizações mais comuns.

Nos pontos que se seguem, são abordados os aspetos relacionados com o material em estudo – a cortiça. Focam-se as suas propriedades e os tipos de aplicações mais usuais, passando essencialmente pelos processos de fabrico utilizados atualmente.

Tratam-se também os aspetos relacionados com os moldes. Primeiramente o seu aparecimento e evolução, fazendo-se de seguida referência às indústrias que os utilizam. Pormenoriza-se também alguns mecanismos e processos associados aos moldes, nomeadamente para produção de vidro, cerâmicos e injeção de polímeros.

## 2.2. Cortiça

A cortiça é um material notável e que cada vez mais se revela sustentável, tanto ao nível económico como ambiental. No fundo, a cortiça é apenas a casca do sobreiro que, depois de extraída e submetida a vários processos industriais, se transforma em vários produtos de utilidade indiscutível.



Figura 1 - Prancha de Cortiça (Corticeira Amorim, 2014).

O sobreiro (*Quercus suber L.*) é uma espécie que se distingue dos carvalhos essencialmente pela casca volumosa de tecido suberoso – a cortiça (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004). Este está bem adaptado ao clima mediterrânico, com invernos amenos e períodos de seca estival, sendo que se caracteriza por ser uma árvore de grande longevidade (até 200 anos) e de porte médio.

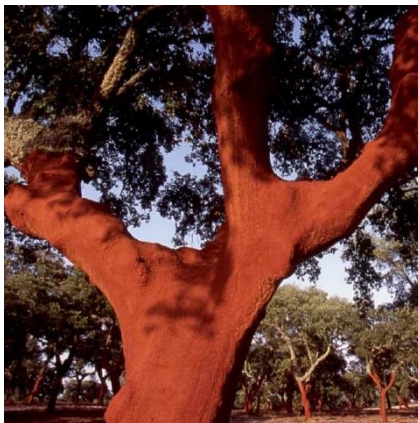


Figura 2 - Sobreiro de grande porte (APCOR, 2010).

Ao longo deste capítulo serão aprofundados os temas relacionados com a história da cortiça e do montado de sobreiro, com a produção e transformação da cortiça, com a estrutura

e composição química, propriedades mecânicas e produtos resultantes da transformação industrial da cortiça.

### 2.2.1. Resenha Histórica

Existem várias aplicações conhecidas da cortiça e seus derivados, no entanto, “o seu maior embaixador é a rolha natural” (APCOR, 2014). Assim, as excelentes propriedades de vedação deste material são mundialmente conhecidos e requisitados, principalmente por produtores de vinho desde da antiguidade.

No entanto, as mais antigas aplicações da cortiça (3000 A. C.) estavam relacionadas com o fabrico de artigos de pesca em países como a China, a Babilonia, o Egipto e a Pérsia. Existem também artefactos como sapatos, tampas para túneis, bóias e telhados de casas feitos em cortiça datados do século IV, em Itália. Ainda no século I, o conhecido naturalista romano Plínio faz uma nova e extensa referência ao sobreiro na sua célebre *História Natural*. Explica que na Grécia este era adorado como símbolo da liberdade e da honra, razão pela qual só os sacerdotes o podiam cortar (Oliveira & Oliveira, 1991).

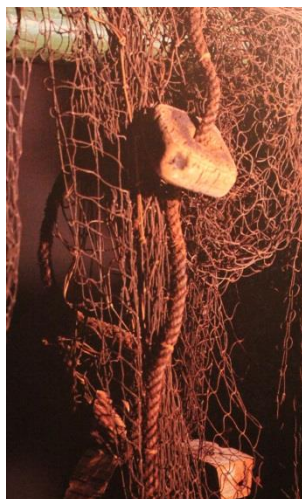
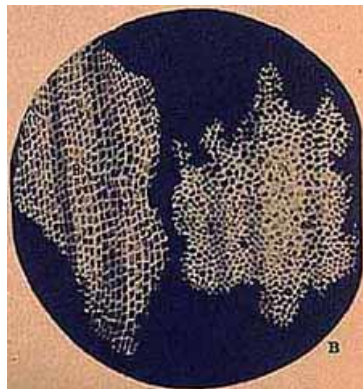


Figura 3 - Utilização da cortiça em redes de pesca (Oliveira & Oliveira, 1991).

No que diz respeito a Portugal, este foi o primeiro país a introduzir legislação de proteção ao sobreiro e ao montado de sobro, no século XIII. Já no tempo dos descobrimentos, esta proteção intensificou-se atendendo ao facto de a madeira do sobreiro ser utilizada pelos

construtores de naus e caravelas para fabrico dos componentes mais expostos às intempéries. Nesta época era já bem reconhecida a durabilidade e resistência da madeira do sobreiro.

Mais tarde, já no século XVIII, o físico Inglês Robert Hooke, obteve a primeira imagem das células da cortiça, obtidas através de um microscópio fabricado por ele mesmo. Estas imagens permitiram-no sustentar que os seres vivos eram constituídos por pequenas células. Simultaneamente, o monge francês Dom Pierre Pérignon iniciava o uso da cortiça na vedação do seu champanhe *Dom Pérignon*. Uma escolha que se prolongou no tempo e que ainda hoje se mantém (APCOR, 2014).



**Figura 4 - Células de cortiça observadas por Robert Hook (University of California, 2014).**

Apesar das reconhecidas aplicações, a exploração industrial da cortiça só se intensificou no final do século XVIII, quando a produção de rolhas de cortiça se tornou um objetivo atrativo. A partir desta altura, o desenvolvimento tecnológico no sector corticeiro foi sempre registando uma evolução significativa. Assistiu-se à invenção da primeira máquina para produção de rolhas de cortiça, ao desenvolvimento de máquinas de calibrar e contar, bem como ao aparecimento de produtos aglomerados, granulados diversos e rolhas técnicas e compostas. Mesmo durante a segunda guerra mundial, a cortiça foi amplamente aplicada em utensílios diversos e órgãos de máquinas.



**Figura 5 - Gravura representativa do processo artesanal de manufatura de rolhas de cortiça (Oliveira & Oliveira, 1991).**

Ainda atualmente, o sector corticeiro está em constante evolução e desenvolvimento. Basta notarem-se as crescentes notícias de novas aplicações, tanto ao nível decorativo como ao nível da engenharia. Note-se a aplicação da cortiça em vaivéns espaciais, tendo em consideração as suas excelentes propriedades térmicas e acústicas (Oliveira & Oliveira, 1991).

### **2.2.2. Produção**

A produção da cortiça, como qualquer outro processo de fabrico, envolve várias etapas. Neste caso concreto, quando se refere a produção, deve entender-se extração, visto que a cortiça é, no fundo, a matéria-prima para diversos produtos.

Antes de ser abordada a extração da cortiça do sobreiro e posterior transformação, torna-se importante fazer uma breve referência aos países produtores e suas cotas de produção. Atualmente o sobreiro ocupa uma área de 2,3 milhões de hectares, dos quais 54% estão em Portugal e Espanha e 37% no norte de África. A produção mundial de cortiça é de aproximadamente 374 mil toneladas, sendo que Portugal detém 51% da produção (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004). A área ocupada pelo sobreiro em território nacional representa cerca de 22% da área florestal do país, ficando apenas atrás do pinheiro bravo. As maiores concentrações verificam-se principalmente a sul do rio Tejo, nos distritos de Setúbal, Beja, Portalegre e Santarém (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

## Descortiçamento

O descortiçamento consiste na retirada da casca do sobreiro através de um procedimento muito próprio que impede a danificação da árvore. Note-se que, a primeira cortiça retirada do sobreiro não é adequada para o fabrico de rolhas, sendo denominada de cortiça virgem. Esta é retirada quando o sobreiro tem idades entre os 20 e os 35 anos (S.A.M.E.C., 1996), sendo um tipo de cortiça que apresenta sulcos e fendas consideráveis resultantes de fracturas que ocorrem devido às tensões tangenciais originadas pelo crescimento da árvore. Apesar disso, a cortiça virgem é aproveitada para a produção de granulados posteriormente utilizados na produção de aglomerados, nomeadamente os aglomerados expandidos.

Passados 9 anos do primeiro descortiçamento, o sobreiro é novamente alvo de extração da cortiça denominada nesta altura de cortiça secundária. Esta ainda não está apta para a produção de rolhas de cortiça (Gil, 2010).

É só no terceiro descortiçamento e nos seguintes, que se obtém a cortiça com as propriedades adequadas para a produção de rolhas de qualidade, uma vez que já apresenta uma estrutura regular com costa e barriga lisas. É a chamada cortiça amadia ou de reprodução. A partir desta altura, o sobreiro fornecerá, de nove em nove anos, cortiça com boa qualidade durante cerca de século e meio, produzindo, em média, 15 a 16 descortiçamentos durante toda a sua vida (S.A.M.E.C., 1996).

A técnica de descortiçamento é composta essencialmente por 5 etapas:

- **Abrir:** Golpeia-se a cortiça no sentido vertical, escolhendo a fenda mais profunda do enguiado (as ranhuras da casca). Ao mesmo tempo, torce-se o gume do machado para separar a prancha do entrecasco. É possível calcular o grau de dificuldade de cada extração pelo "toque" do machado. Ao aplicar-se o gume do machado sobre a prancha, e se a cortiça estiver a "dar bem", ouve-se um som oco característico do rasgamento. Quando está a "dar mal", o machado emite um som curto, firme e seco.



**Figura 6 - primeira etapa do descortiçamento – Abrir (APCOR, 2014).**

- **Separar:** Em seguida, separa-se a prancha com a introdução do gume do machado entre a barriga da prancha e o entrecasco. Depois, executa-se um movimento de torção do machado entre o tronco e a cortiça que se pretende separar.



**Figura 7 - Separação da cortiça do sobreiro (APCOR, 2014).**

- **Traçar:** Com um corte horizontal delimita-se o tamanho da prancha de cortiça a sair e aquela que fica na árvore. Durante a traçagem, são frequentes as sequelas deixadas no entrecasco e, por vezes, estas mutilações acabam por alterar a geometria do tronco.

- **Extrair:** A prancha é cuidadosamente retirada da árvore para não se partir. Quanto maiores forem as pranchas extraídas, maior será o seu valor comercial. É a destreza e a habilidade dos descortecedores que permite a obtenção das pranchas por inteiro. Retirada a primeira prancha, repetem-se estas operações para libertar todo o tronco.

- **Descalçar:** Após a extração das pranchas, mantém-se aderentes alguns fragmentos de cortiça junto à base do tronco. Para retirar os possíveis parasitas que existam nos calços do sobreiro, o descortecedor dá algumas pancadas com o olho do machado.



**Figura 8 - Remoção dos fragmentos de cortiça junto à base do tronco (APCOR, 2014).**

Finalmente, **marca-se** a árvore, usando o último algarismo do ano em que foi realizada a extração (APCOR, 2014).

Existe ainda outra forma de aproveitamento da cortiça, nomeadamente dos despojos da poda, de onde se obtém a falca – tecido misto de cortiça virgem, entrecasco e lenho. Este tipo de cortiça será importante para o trabalho em questão na medida em que, os granulados de falca são a matéria-prima por excelência dos aglomerados expandidos, devido ao seu teor superior de extrativos que funcionam como ligantes intergranulares naturais (Gil, 2010).

### **2.2.3. Estrutura**

Para que se possa caracterizar convenientemente um material, é necessário analisar a sua estrutura, sendo que esta está intimamente relacionada com as propriedades do material. Assim sendo, a composição química não é, por si só, suficiente para definir a estrutura e, desta forma, prever e explicar as propriedades macroscópicas de um dado material.

Desta forma, revela-se importante explorar a estrutura da cortiça nas várias escalas: atômica/molecular (nm), mesoscópica ( $\mu\text{m}$ ) ou macroscópica (mm).

Uma das primeiras observações da cortiça ao nível microscópico foi realizada por Robert Hooke (1635-1703) – figura 4. Através desta observação, Hooke conseguiu identificar a unidade base da estrutura das plantas e dos tecidos biológicos, a célula. Esta palavra deriva do latim *cella* que significa pequeno compartimento (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Através desta observação, Hooke detectou a anisotropia da estrutura da cortiça, bem como a orientação das células, as quais são mais alongadas na direção perpendicular ao crescimento.

Sendo um material celular, a fração de volume de sólido da cortiça é de cerca de 15%, sendo as células fechadas e cheias de ar. A essência da cortiça é definida pelas suas células que estão agrupadas numa estrutura alveolar característica. Num centímetro cúbico da cortiça contam-se cerca de 40 milhões de células dispostas em fiadas perpendiculares ao tronco de sobreiro (APCOR, 2015).

Cada célula tem a forma de um minúsculo prisma, pentagonal ou hexagonal, cuja altura não ultrapassa os 40 a 50 micrómetros. Maiores ou menores, todas estas células são preenchidas por uma mistura de gases semelhante ao ar. Uma prancha de cortiça contém cerca de 60% de elementos gasosos, o que explica a sua extraordinária leveza. É este agregado de pequenas almofadas que concedem à cortiça uma compressibilidade fora do vulgar. Em simultâneo, graças à impermeabilidade que a suberina dá às paredes da célula da cortiça, esta é hermética. O gás nela contido não pode sair, sendo o fundamento da elasticidade do tecido e também da sua má condutibilidade térmica (APCOR, 2015).

Sendo certo que a mistura de gases contidos no interior das células de cortiça é semelhante ao ar, revela-se também importante fazer uma breve referência à constituição das paredes celulares.

A estrutura da parede celular da cortiça não é exatamente conhecida, existindo modelos que têm por base o que é conhecido sobre a parede celular das madeiras. Considera-se que a parede celular é constituída pelas paredes primária, secundária e terciária, individualizadas e com diferentes constituições químicas. A parede primária corresponde à primeira camada formada e desenvolve-se ainda durante a fase de crescimento da célula. A parede secundária, que se deposita sobre a primária, é a camada mais espessa, sendo possível distinguir nela subcamadas. A parede terciária deposita-se sobre a secundária e reveste interiormente as células (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Dos vários modelos que têm vindo a ser apresentados sobre as paredes celulares da cortiça, alguns deles admitem ainda a existência de canais muito finos, designados de canalículos, que atravessam a parede celular. Alguns autores consideram que esses canais se encontram cheios com um material muito denso, como é o caso de Sitte em 1962. No entanto, Honegger publica em 1968, um trabalho em que afirma que os canalículos não se encontram preenchidos por qualquer material (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Constata-se que, apesar dos vários estudos, a estrutura da parede celular da cortiça não é um assunto consensual no que toca à localização dos diversos componentes químicos na parede celular e à existência de canalículos.

#### **2.2.4. Composição Química**

A composição química da cortiça difere de outros materiais lenhocelulósicos, nomeadamente da madeira, pela sua anatomia, já abordada no ponto anterior, e também pela sua constituição química. A diferença mais importante está relacionada com o facto de o componente principal das paredes celulares ser a suberina, a qual não existe nas células de madeira. Este componente confere à cortiça as suas propriedades mecânicas e a impermeabilidade (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Analisando mais pormenorizadamente, a constituição química das paredes celulares da cortiça pode ser dividida em dois tipos de componentes: os componentes estruturais e não-estruturais. Os primeiros, são macromoléculas, de natureza polimérica, insolúveis, que conferem às células a sua forma e grande parte das suas propriedades. Os componentes não-estruturais podem ser classificados em extrativos e componentes inorgânicos. Os extrativos são compostos de pequena massa molecular, solúveis, que podem ser removidos das células sem afetar as suas propriedades mecânicas, por solventes adequados. Estes extrativos podem ser classificados em dois grupos: as ceras e os taninos. Os componentes inorgânicos são geralmente cinzas (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

A composição química da cortiça tem sido determinada por vários autores, podendo reter-se:

- Suberina (45%) - principal componente das paredes das células, responsável pela elasticidade da cortiça;
- Lenhina (27%) - composto isolante;
- Polissacáridos (12%) - componentes das paredes das células que ajudam a definir a textura da cortiça;
- Taninos (6%) - compostos polifenólicos responsáveis pela cor;

- Ceróides (5%) - compostos hidrofóbicos que asseguram a impermeabilidade da cortiça (Corticeira Amorim, 2015).

Tendo em conta que este trabalho se centra na produção de aglomerado expandido de cortiça, torna-se importante abordar mais detalhadamente o constituinte químico responsável pela aglomeração da cortiça sem recurso a aglutinantes externos – a suberina (Lopes, 2011).

A suberina, como referido anteriormente, é o principal componente das paredes celulares da cortiça. Desta forma, não é possível removê-la sem destruir de forma irreversível a estrutura celular e a organização das paredes (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004). A suberina é considerada como sendo um polímero formado por uma parte constituída por poliésteres alifáticos, e por uma outra parte constituída por grupos aromáticos semelhantes aos encontrados na lenhina (Cordeiro, 1998). A suberina, pela sua constituição química, poderá ser usada como monómero na síntese de poliésteres, poliéteres e poliuretanos. Além disso, poderá ser usada como substituto de ceras nos diversos processos industriais (Cordeiro, 1998).

Pode-se assim constatar que, sendo a suberina um polímero, a aglomeração dos grânulos de cortiça através da aplicação de calor, deve-se em grande parte à sua presença, aliada à exsudação das resinas restantes na cortiça, através da aplicação de vapor de água sobreaquecido.

### **2.2.5. Propriedades**

A cortiça detém um conjunto de propriedades muito apreciadas desde o início da sua utilização. Nos dias de hoje, essas propriedades características, continuam a ser exploradas e cada vez mais divulgadas através do marketing associado à venda dos produtos resultantes da transformação da cortiça.

No entanto, as propriedades da cortiça têm vários fatores associados, os quais se relacionam com a sua formação e tratamento ao longo do seu processo produtivo. Pelo facto de a cortiça, tal como já referido, ser um material constituído por células de origem vegetal, a generalidade das suas propriedades mecânicas podem ser explicadas pela sua estrutura celular (Gonçalves, 2009). A suberina, como constituinte principal das células de cortiça, contribui também em grande parte para as suas propriedades, nomeadamente a

impermeabilidade, baixa condutividade térmica e acústica, elevada resiliência e capacidade de absorção e dissipação de energia.

Podem-se assim destacar as seguintes propriedades:

- Baixa densidade;
- Elevada deformabilidade e baixa resistência à deformação;
- Baixo coeficiente de Poisson;
- Grande capacidade de absorção de energia (impacto);
- Grande capacidade de dissipação de energia (vibrações);
- Elevado coeficiente de atrito;
- Baixa condutividade térmica;
- Boa inércia química;
- Baixa absorção de água e outros líquidos;
- Boa resistência ao fogo.

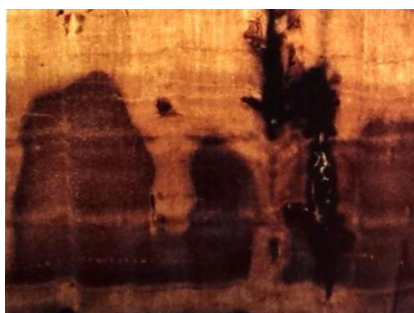
Apesar da consensualidade quanto às suas propriedades ao nível qualitativo, quando é necessária uma referência quantitativa, os valores podem estar sujeitos a alguma variabilidade. Esta poderá estar associada à anisotropia da cortiça e ao facto de esta ser um material celular. De facto, a própria dimensão das células de cortiça varia sazonalmente, consoante a altura do ano em que se formaram as células. Além disso, os defeitos característicos da cortiça, como o *bofe*, o *verde* e a alteração da porosidade da sua estrutura, dificultam a caracterização da cortiça (Gonçalves, 2009).

O *bofe* é a designação corrente para a porosidade muito elevada, resultado da existência de canais com diâmetros grandes. Este corresponde a uma fratura do tecido suberoso, originada por uma disfunção do felogénio de que resulta uma menor resistência local das células às tensões tangenciais de crescimento. Este defeito associa-se principalmente às cortiças de crescimento rápido, sendo que, a cortiça de bofe é utilizada apenas para a produção de aglomerados (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).



**Figura 9 - Corte transversal de uma prancha de cortiça, mostrando o bofe.**

No que toca ao *verde*, este é um dos defeitos da cortiça que maior implicação tem na sua utilização ao nível industrial, visto que é o termo aplicado à cortiça que contém áreas com elevado teor de humidade (400-500%) rodeadas por áreas com teor de humidade normal (6-8%). Tendo origem desconhecida, o verde pode ser eliminado por secagem da cortiça, no entanto, este procedimento provoca uma contração de cerca de 30% do seu volume inicial, valor esse que é muito superior ao que ocorre na cortiça normal circundante. Estes factos fazem com que a cortiça com verde não seja utilizada no fabrico de rolhas, visto que estas não desempenhariam devidamente o seu objetivo de vedação.



**Figura 10 - Cortiça amadia com verde.**

Desta forma, pode-se afirmar que, sendo a cortiça um material natural, anisotrópico e de estrutura celular, está dependente de vários fatores, presentes no seu crescimento e transformação, que vão influenciar grandemente as suas propriedades mecânicas.

### A Densidade

Como referido no início deste ponto, a cortiça tem uma baixa massa volúmica, sendo esta uma das propriedades reconhecidas e de relevo em aplicações de engenharia.

Nomeadamente, o uso da cortiça como isolamento térmico em vaivéns espaciais, deve-se em parte à sua baixa densidade.

A densidade do tecido suberoso ronda valores entre os 0,12 e 0,24 resultante do volume das paredes das suas células estar normalmente compreendido entre 10 e 15% do seu volume total, e portanto, cerca de 90% do volume da cortiça é ar ou uma mistura gasosa. Estes factos levam a que a massa volúmica da cortiça seja bastante reduzida (Silva, 2010). Existem na literatura algumas referências quanto à relação entre a qualidade da cortiça e a variação da densidade. Apesar disso, o consenso não é total. Embora alguns autores considerem que a existência de porosidades no tecido suberoso diminua a densidade da cortiça, o mesmo poderá ser prejudicial à sua qualidade no que toca à sua utilização para o fabrico de produtos como a rolha. A porosidade excessiva está desta forma associada a um decréscimo na qualidade da cortiça (Silva, 2010).

### Impermeabilidade

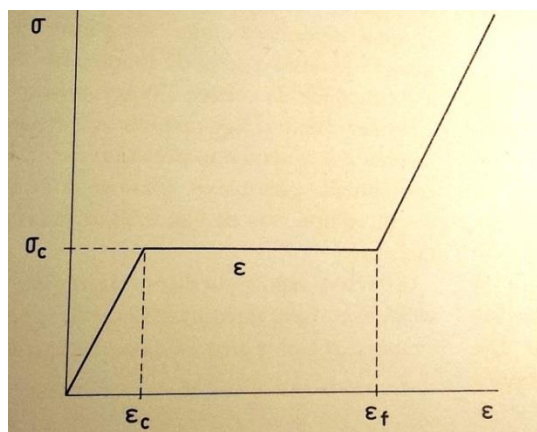
É a presença, na parede celular, de camadas alternadas de suberina e cerina (sobretudo a primeira) que, como substâncias de baixa polaridade e portanto hidrófobas, tornam a cortiça um material muito pouco permeável a líquidos e gases. A difusão de líquidos e de gases através das paredes celulares são extremamente lentas. De facto uma das propriedades da cortiça mais mencionadas é a sua estabilidade química e impermeabilidade. Contudo, não se pode dizer que a cortiça seja um material impermeável, na realidade as suas células possuem uma baixa permeabilidade que lhe é conferida pelos altos teores de suberina existentes nas suas paredes (aproximadamente 40%) (Silva, 2010). No entanto, durante o tratamento industrial da cortiça ocorre absorção de água pelas suas células resultando em alterações de massa, volume e dimensões lineares. Esta absorção de água pela cortiça ocorre em duas etapas distintas: num período inicial dá-se uma alteração de dimensões que parece cessar quando as paredes celulares ficam saturadas, seguidamente a água penetra no interior da célula, aparentemente através de mecanismos de evaporação-condensação, resultando num aumento da massa da cortiça (Silva, 2010).

## Deformabilidade e resistência à compressão

A deformabilidade da cortiça é, juntamente com a impermeabilidade, de grande importância no uso da cortiça como vedante. No entanto, também no uso da cortiça como revestimento em pisos, a sua resistência à compressão e deformabilidade são propriedades bastante importantes.

O comportamento em compressão da cortiça depende da temperatura, mas depende, também, da velocidade com que é efetuada a compressão. Dado que a cortiça é viscoelástica, quanto mais rápida é a compressão, maior é a tensão correspondente para uma dada deformação (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

A curva de compressão da cortiça, apresentada na figura 11, evidencia 3 regiões distintas. A região inicial, correspondente à zona elástica, a qual se deve principalmente à resistência à flexão das paredes celulares. A zona seguinte, quase horizontal, também chamada de “patamar” da curva, caracteriza-se pelo esmagamento progressivo das células. Este patamar não é perfeitamente horizontal, a tensão aumenta ligeiramente durante a propagação da onda de colapso na cortiça devido à heterogeneidade da estrutura, formando uma "barreira" que é necessário vencer. No caso da cortiça aglomerada este aumento de tensão é ainda mais evidente, que se deve, provavelmente ao facto desta estrutura, constituída por grânulos individuais aglomerados com aditivo, ser diferente da estrutura que caracteriza a cortiça natural (Gonçalves, 2009). Por fim, a curva de comportamento sobre um aumento acentuado de tensão, que corresponde ao momento em que há o colapso total das células, e as paredes celulares entram em contacto umas com as outras. Este facto ocorre para valores de deformação de 70%.



**Figura 11 - Curva de compressão da cortiça (representação esquemática das 3 regiões) (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).**

Quando é atingida a tensão de colapso das células, as suas paredes encurvam deformando permanentemente. Existe assim uma pequena catástrofe, onde a forma das células colapsadas é acentuadamente diferente da sua forma inicial, com as paredes dobradas e onduladas. Esta deformação é irreversível, podendo haver alguma recuperação relacionada com viscoelasticidade da cortiça. No entanto, a célula não volta à sua forma inicial (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Quando a cortiça é deformada sob ação de uma carga constante, ou seja, sob condições de fluência, a deformação é rápida no início mas vai diminuindo de forma progressiva até valores muito baixos. Esta propriedade está diretamente relacionada com a componente viscosa da deformação e este comportamento é de grande importância na aplicação da cortiça a pavimentos (Carvalho, 2008).

O uso da cortiça como isolante acústico e antivibratório resulta em parte do tipo de comportamento da cortiça quando sujeita a deformação. Durante a operação de compressão de um material despende-se energia, o seu valor (por unidade de volume) corresponde à área sob a curva de deformação. Na cortiça, a energia despendida até ao final do patamar de cedência é da ordem de  $1,5 \times 10^{-6} \text{ J/m}^3$ . Este valor relativamente elevado indica que o material é um bom amortecedor de choques (Carvalho, 2008).

### Condutividade Térmica

Sendo a cortiça um material imensamente utilizado como isolante térmico, revela-se importante uma referência à sua condutividade térmica. Tendo em conta que a cortiça é um

material celular, preenchido maioritariamente por ar no seu interior, é fácil perceber o seu poder isolante. O ar apresenta uma condutividade térmica bastante baixa, na ordem dos 0,025 W/mK, e é este que ocupa grande parte do volume das células de cortiça. Isto aleado ao facto de a condutividade térmica do material das paredes celulares ser de aproximadamente 0,2 W/mK, leva a que a cortiça tenha uma condutividade térmica média de 0,045 W/mK. Analisando em maior pormenor, o ar aprisionado no interior das células leva a que a transferência de calor seja apenas efetuada por condução pelas paredes da célula e pelo ar interior (Silva, 2010).

#### Resistência ao fogo e ao desgaste

Comparativamente a outros materiais utilizados na pavimentação, a cortiça, devido à sua estrutura alveolar, possui uma resistência ao desgaste por atrito bastante elevada. Apresenta valores de perdas de peso por desgaste de ladrilhos de cortiça aglomerada da ordem dos 0,09 g que, em relação aos da madeira de carvalho (0,2 g) e do mármore de Carrara (0,93 g), tornam a cortiça um ótimo material para pavimentação ou mesmo para utilização na indústria de calçado.

Dada a sua natureza química, nomeadamente no que diz respeito à presença de taninos, o tecido suberoso pode considerar-se imputrescível e inalterável sob a ação da humidade. Sob o ponto de vista da combustibilidade, a cortiça é um bom retardante do fogo visto arder dificilmente e possuir uma combustão lenta (Silva, 2010).

#### **2.2.6. Aplicações**

Atualmente, as aplicações da cortiça são imensas e em constante novidade. Além das suas propriedades que a tornam um material tão nobre, o seu aspeto visual e toque suave, tornam a cortiça num material cada vez mais apetecível e requisitado em áreas tão diversas como o design, a indústria automóvel, aeronáutica, espacial, indústria de bebidas, eletrodomésticos, entre muitos outros.

Outros dos aspetos muito importantes no uso da cortiça prende-se com o seu fator ecológico. Este é um produto natural, o qual faz retenção de dióxido de carbono durante o

seu crescimento, e onde muitos dos seus processos de fabrico são realizados com energia proveniente dos desperdícios da transformação.

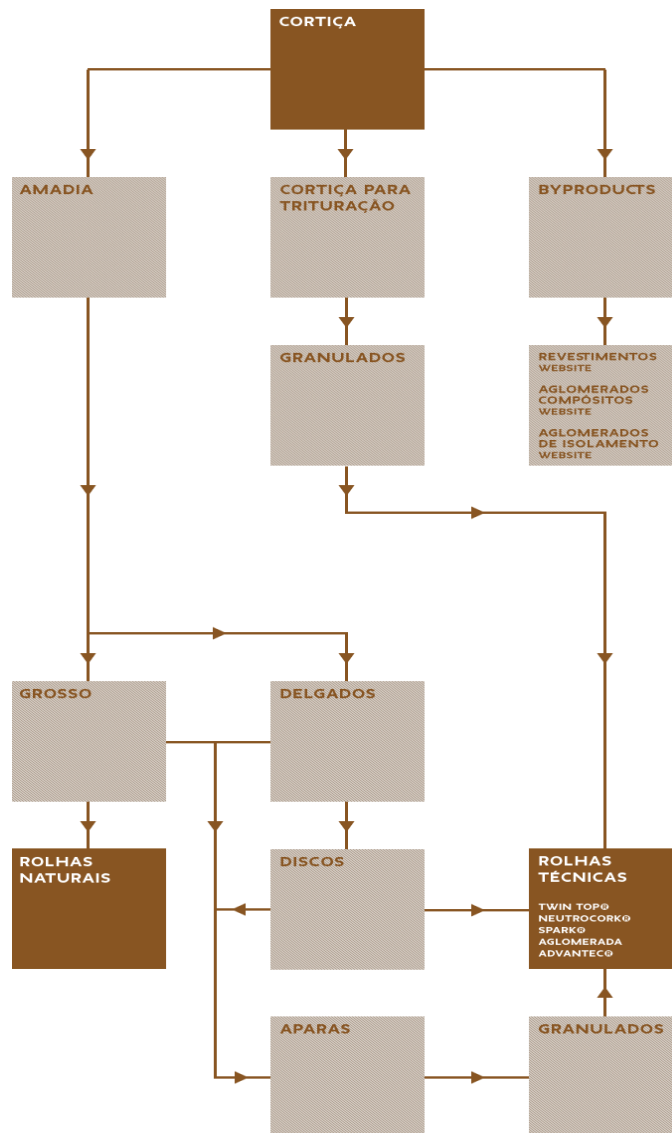
Segundo a Associação Portuguesa da Cortiça (APCOR), os vedantes de cortiça apresentam uma série de vantagens ambientais face aos seus concorrentes de plástico e alumínio. Verificou-se assim, através de estudos efetuados por esta associação, que a emissão de gases de efeito de estufa na produção de um vedante em plástico é 10 vezes superior ao da produção de um vedante em cortiça. No que se refere ao alumínio, este valor é 23 vezes superior (APCOR, 2011).

**Tabela 1 - Emissões de CO<sub>2</sub> por fase de ciclo de vida (APCOR, 2011) (adaptado).**

	<b>Cortiça</b>	<b>Plástico</b>	<b>Alumínio</b>
<b>Produção</b>	- 3280,5	12618,3	36701,0
<b>Transporte</b>	920,9	323,1	439,4
<b>Engarrafamento</b>	3272,3	3272,3	0,0
<b>Fim de Vida</b>	524,0	1497,5	20,3
<b>Emissões Totais de CO<sub>2</sub> (g/1000 Vedantes)</b>	<b>1436,7</b>	<b>14716,2</b>	<b>37160,7</b>

Da análise dos valores da tabela 1, sobressai de imediato o valor negativo atribuído à produção de cortiça, apontando para o facto de a cortiça ser um retentor de gases de efeito de estufa durante o seu crescimento. Pode-se, desta forma, dizer que a cortiça tem como grande trunfo ambiental a sua origem florestal, além dos vários aproveitamentos energéticos efetuados ao longo da sua transformação. Outra das características ambientais da cortiça relaciona-se com a sua reutilização ao longo dos processos e no final do seu ciclo de vida. Melhor dizendo, os desperdícios da produção de rolhas são triturados para que se produzam produtos aglomerados, sendo que, mesmo estes podem ser novamente triturados e incorporados em produtos de cortiça, nomeadamente decorativos. O fluxograma da figura 12 representa isso mesmo – as várias utilizações dadas à cortiça na sua indústria e a sua relação ao longo do processo. Pela sua análise verifica-se também outra característica importante desta indústria: nenhuma da matéria-prima é desperdiçada ou rejeitada ao longo do processo de transformação. A cortiça que não pode ser utilizada

para a produção de rolhas, é encaminhada para a produção de aglomerados destinados a produtos decorativos e revestimentos. Daí a existência de uma enorme sustentabilidade nesta indústria.



**Figura 12 - Fluxo de produção de rolhas de cortiça e produtos derivados (Corticeira Amorim, 2015).**

Neste ponto, fazem-se referências às várias utilizações atuais da cortiça nas suas várias vertentes: a cortiça natural, os aglomerados brancos e os aglomerados negros. São também abordados aspetos relacionados com os processos de transformação e fabrico.

## Cortiça Natural (A indústria rolheira)

A rolha é o produto mais famoso da indústria corticeira. Nesse sentido, tem sido feito um enorme esforço na área da investigação e desenvolvimento, para que a rolha de cortiça seja cada vez mais um produto de qualidade, global e com aplicação nos diversos tipos de bebidas e garrafas.

As rolhas de cortiça apresentam-se em sete categorias: rolhas naturais, rolhas naturais multipeça, rolhas naturais colmatadas, rolhas de champanhe, rolhas técnicas, rolhas aglomeradas e rolhas capsuladas (APCOR, 2015).

A sua produção segue uma série de processos que começam pela extração da cortiça do sobreiro, já abordada no ponto 2.2.2. Não sendo objetivo deste trabalho o aprofundamento do sector rolheiro, faz-se apenas referência aos tipos de produtos (já mencionados) e à sequência dos processos associados à sua produção.

Nesse sentido, após a extração da cortiça, esta é colocada em estaleiro onde repousa por um mínimo de seis meses, empilhada de maneira a ser possível a circulação de água e ar por entre as pranchas. Após um processo de escolha manual das pranchas de cortiça, as que se destinam à produção de rolhas naturais são então submetidas a um processo de cozedura, cortadas em tiras e perfuradas por uma broca, obtendo-se as rolhas cilíndricas. Cada cilindro é uma rolha inteira e cada profissional qualificado consegue perfurar mais de vinte mil rolhas por dia (Corticeira Amorim, 2015).



**Figura 13 - Brocagem de rolhas de cortiça natural (Naturlink, 2015).**

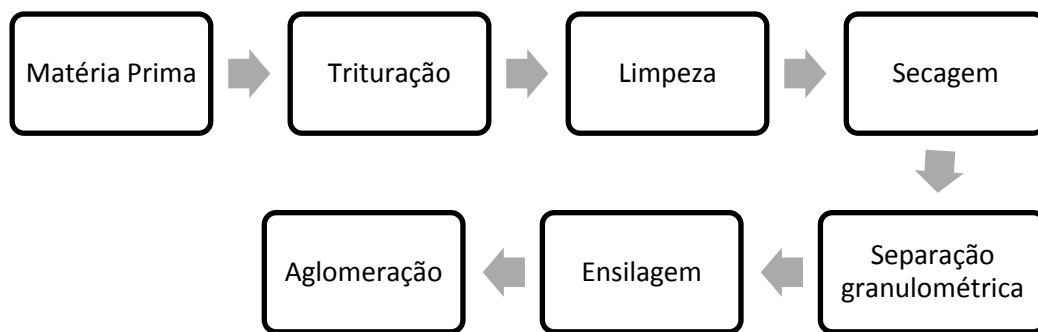
Depois da obtenção da rolha, esta é submetida a processos de acabamento dimensional, através da lixagem do corpo e dos topos. Após estes processos, submete-se a rolha a uma lavagem e secagem até à humidade pretendida, sendo depois embalada nas quantidades pretendidas.

Como se denota na análise do organigrama da figura 12, os desperdícios resultantes do fabrico das rolhas naturais são, também eles, utilizados para o fabrico de rolhas, as chamadas rolhas aglomeradas ou rolhas técnicas. No fundo, os desperdícios são triturados e aglomerados em processos de extrusão ou moldação, formando-se também rolhas de formato cilíndrico. Para que essa aglomeração seja possível são adicionados aglutinantes de poliuretano, apropriados para o contacto com produtos alimentares. Após a aglomeração, os processos seguintes são em tudo semelhantes às rolhas exclusivamente naturais, com o acabamento dimensional, a escolha visual, quando esta se justifica, a lavagem e embalagem (Corticeira Amorim, 2015).

### Aglomerados Brancos

Em termos económicos os aglomerados são o segundo produto mais importante da indústria corticeira. Como referido no ponto anterior, os desperdícios resultantes do fabrico de rolhas naturais são triturados, juntamente com as cortiças virgem, secundeira e amadia de má qualidade, para o fabrico de aglomerados de cortiça. Estes pretendem conseguir um produto semelhante à cortiça natural mas permitindo a obtenção de formas geométricas mais complexas. As suas propriedades dependem da qualidade e granulometria do granulado de cortiça, do tipo e teor de adesivo e do processo e condições de fabrico (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

O processo de trituração consiste na obtenção de grânulos de cortiça através da ação de vários tipos de moinhos, consoante o produto final desejado. É também efetuada, geralmente, uma secagem recorrendo à circulação forçada de ar quente no interior de secadores rotativos.



**Figura 14 - Esquema de produção de granulados (Gil, 2010).**

Após a secagem, é efetuada a separação granulométrica dos granulados através de crivos, consoante a aplicação pretendida. É também comum a sua separação por massas volúmicas, utilizando mesas densimétricas.

A partir destes granulados, tem-se a produção dos aglomerados compostos de cortiça, os quais resultam de um processo de aglutinação dos grânulos com uma granulometria e massa volúmica específicas. Através da ação conjunta da pressão, temperatura e um agente aglutinante, obtém-se o produto desejado para uma dada aplicação (Gil, 2010).

O fabrico de aglomerados compostos pode ser feito por prensagem ou extrusão. Ambos os processos iniciam com a mistura do granulado com o adesivo. No caso da prensagem, a mistura é vazada de forma uniforme para um molde cilíndrico ou paralelepípedo, sendo de seguida fechados e prensados. Esta operação, provoca a redução do volume da mistura e facilita o contacto entre os grânulos de cortiça e a distribuição do adesivo. Os moldes prensados passam depois para uma estufa onde são aquecidos para facilitar a polimerização do adesivo (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Depois de serem desmoldados, os blocos (ou cilindros) são submetidos a um processo de laminagem, por forma a serem obtidas folhas ou rolos com as espessuras desejadas. Pode ainda ser efetuada uma lixagem para conferir a espessura final e o acabamento desejado (Gil, 2010).

No caso de a produção de aglomerados ser efetuada por extrusão, como é o caso das rolhas de cortiça aglomerada, a moldação é efetuada num tubo. Ou seja, a mistura do granulado com o adesivo e os aditivos é introduzida continuamente num tubo, onde é comprimida por um pistão. Neste tubo existe uma zona de aquecimento, a qual promove a polimerização do

polímero, e uma zona de arrefecimento, formando-se continuamente um bastão de aglomerado. Após uma estabilização, os bastões são cortados, retificados e seguem o processo normal de fabrico de rolhas de cortiça (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Como veio sendo referido ao longo deste ponto, existem várias aplicações para os aglomerados compostos de cortiça. Podem destacar-se os aglomerados para revestimento de pavimentos que têm uma massa volúmica entre 450 e 600 kg/m<sup>3</sup> e os aglomerados flexíveis (*soft*), onde se incluem as rolhas de aglomerado e revestimentos de paredes com massas volúmicas entre 200 e 350 kg/m<sup>3</sup>.

Existem ainda outros produtos compósitos de cortiça com aglutinante e outros compostos. Como é o caso da cortiça com borracha – *rubbercork*. Este tipo de produto é aplicado essencialmente em juntas de dilatação e pavimentos com grande intensidade de tráfego. O seu processo produtivo consiste na mistura dos grânulos de cortiça com borracha, também ela granulada ou em pó, com agentes de vulcanização, aceleradores de polimerização e corantes. Esta mistura é homogeneizada comprimida e aquecida em misturadores cilíndricos rotativos, sendo depois passada para uma calandra até formar uma massa homogenia. Esta pasta é cortada e colocada em moldes, onde é prensada e curada, tal como acontece com os aglomerados brancos. Após a desmoldagem, os blocos são seccionados nas dimensões desejadas (Gil, 2010).

#### Aglomerados Puros de Cortiça (Aglomerados Negros)

Os aglomerados puros de cortiça, ou vulgarmente conhecidos por aglomerados negros (devido à sua cor), têm como matéria-prima a falca. Esta é proveniente das operações de poda e limpeza dos sobreiros, sendo também incorporada cortiça virgem (APCOR, 2010). O aquecimento dos grânulos resultantes da trituração da matéria-prima anterior, provoca a exsudação da resina contida na cortiça, levando à sua aglomeração, processos que serão detalhados neste ponto.

A descoberta deste tipo de aglomeração da cortiça foi um acaso de um produtor de coletes salva vidas norte-americano, John Smith, no ano de 1891 (Sofalca, 2015). Estes eram cheios de granulados de cortiça e, numa noite, após exposição accidental a uma fogueira verificou que os grânulos se tinham agregado, formando uma massa de cor castanho-escuro (Gil L. , 2000). Depois da sua descoberta, o processo foi aperfeiçoado e patenteado no ano de 1892.

A utilização deste tipo de aglomerados de cortiça está relacionado com a sua densidade, ou seja, existem aglomerados expandidos do tipo vibrático, térmico e acústico. Estes diferem entre si, conforme demonstram os dados da tabela 2, pela granulometria do granulado e pela massa volúmica.

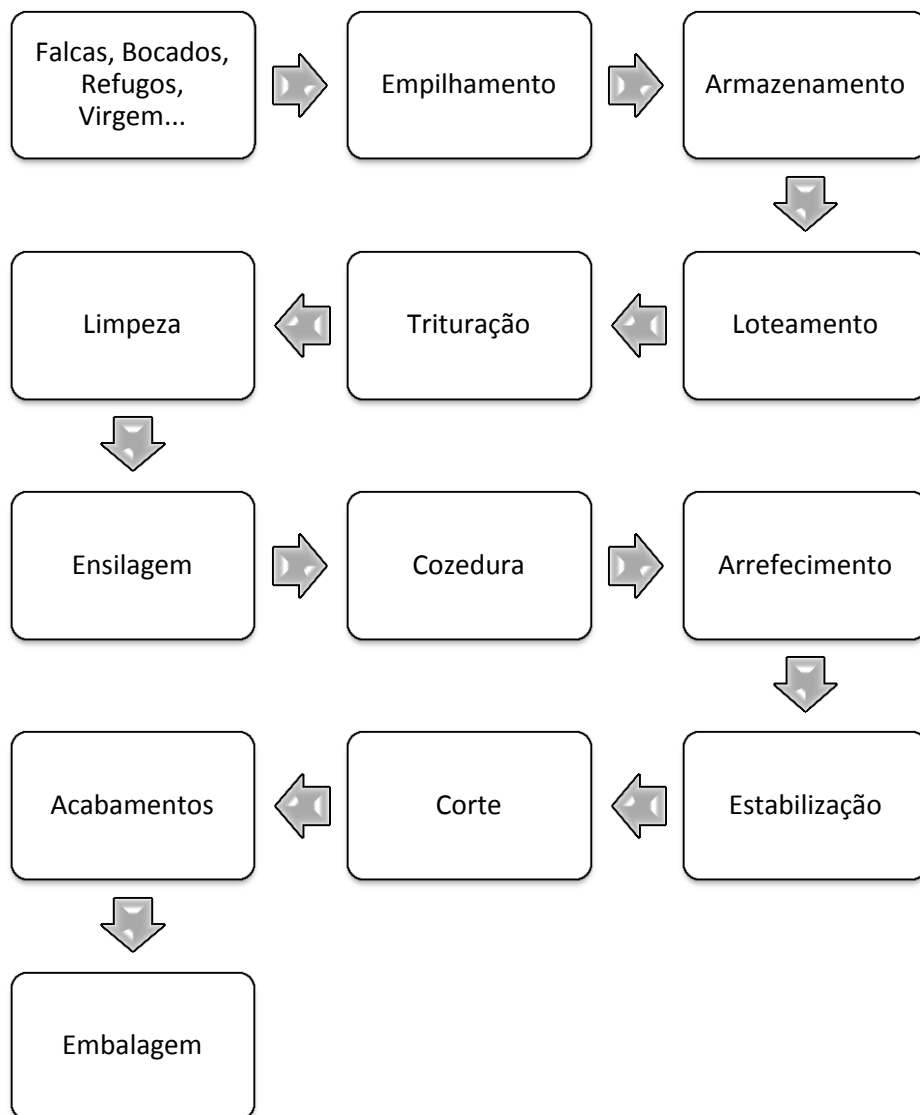
**Tabela 2 - Tipos de aglomerados negros (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).**

<b>Tipo</b>	<b>Granulometria do Granulado [mm]</b>	<b>Massa Volúmica [kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>Acústico</b>	5 – 10	80 – 100
<b>Térmico</b>	5 – 32	100 – 150
<b>Vibrático</b>	5 – 32	175 – 320

A diferença de massas volúmicas entre os tipos de aglomerado negro é conseguida com a variação do grau de compactação.

Assim, a maioria destes aglomerados é utilizado para isolamentos, através da sua aplicação sob a forma de placas ou tubos. Apesar disso, e devido ao seu aspeto visual e toque agradável, têm cada vez mais sido usados como fator decorativo em fachadas, mobiliário ou revestimentos interiores.

Apresenta-se na figura 15 o organigrama referente à sequência de processos utilizados para a produção de aglomerados expandidos.



**Figura 15 - Esquema do fabrico de aglomerado expandido (Gil, 2010).**

Tendo em conta que, um dos objetivos deste trabalho é a modificação ou extinção de algumas das etapas do processo referenciado na figura 15, torna-se importante detalhar cada uma das etapas.

O empilhamento, armazenamento e loteamento constituem um procedimento inicial que visa a possibilidade de um rastreamento do produto, sendo algo comum, não só na produção de aglomerados expandidos, mas em toda a indústria dedicada à transformação da cortiça.

Após se verificarem as qualidades da matéria-prima armazenada, procede-se à trituração da cortiça. Este processo é efetuado em contínuo por um conjunto de equipamentos, nomeadamente moinhos de dentes, moinhos de martelos e moinhos de facas (Gil, 2010).

Este procedimento irá conferir a forma granular à cortiça para que possa ser utilizada na fase de aglomeração.

Seguidamente, o produto triturado é passado por uma série de crivos vibratórios que procedem à separação granulométrica. No fabrico do aglomerado expandido, a granulometria varia entre 3 e 22mm, consoante se pretenda um aglomerado acústico ou térmico (Gil, 2010). Após esta separação é efetuada uma outra que visa classificar o granulado por densidades. Este procedimento é efetuado por uma série de mesas densimétricas, consoante a granulometria a classificar. A separação do granulado por densidades revela-se importante para um controlo adequado da massa volúmica final dos aglomerados negros, bem como para uma melhor valorização do produto triturado. Esta valorização consiste no reprocessamento dos granulados com densidades acima do pretendido, transformando-os em granulados “finos” (granulometrias abaixo de 2mm), com um valor comercial mais elevado.

No final desta série de separações é efetuada uma secagem do granulado para teores de humidade ideais (Gil, 2010), efetuando-se de seguida a ensilagem.

A cozedura é o passo seguinte para a produção de aglomerados expandidos. Esta é efetuada normalmente num molde paralelepípedo, onde os grânulos são compactados por ação mecânica e submetidos à ação de vapor de água sobreaquecido, a temperaturas da ordem de 350°C, durante aproximadamente 20 minutos (Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Depois de se desmoldar o bloco resultante, este é arrefecido através da introdução de água quente por agulhas perfuradas. Este arrefecimento lento permite uma maior integridade do produto. Além da utilização de água quente, é efetuado um arrefecimento posterior ao ar livre durante alguns dias, para que se extinga a possibilidade de combustão do bloco de aglomerado expandido (Amorim Isolamentos, S. A., 2014).

A estabilização é o passo que se segue. Esta tem como objetivo regularizar a humidade relativa do bloco, bem como estabilizar o mesmo ao nível dimensional. A importância deste passo é mais visível quando analisamos o passo seguinte, o corte.

Na fase de corte, o bloco é cortado em placas com espessura próxima da pretendida. Se o bloco não estiver bem estabilizado poderão ocorrer alterações dimensionais significativas, podendo mesmo inviabilizar a fase do acabamento. Esta fase consiste na lixagem e uniformização dimensional das placas resultantes, preparando-as para embalagem (Gil, 2010).

## **2.3. Moldes**

A aplicação de moldes ao nível industrial é importantíssima. Para isso basta referirem-se alguns exemplos para que se reconheça a sua importância incontestável. Desde os moldes simples para a produção de peças em fibra de vidro, até aos elaborados moldes para a injeção de plásticos, passando pelos moldes para produção de peças em vidro, moldes para conformação de peças cerâmicas, moldes para fundição injetada, moldes simples para a aglomeração de cortiça.

Os moldes permitem assim a simplificação dos processos de fabrico, com a possibilidade de se economizar tempo, mão-de-obra e material, ainda com a vantagem de permitir a uniformização das peças. Estes fatores contribuem para um sentido de perfeição e “erro zero” nos processos. Com a utilização de um molde e com o controlo das variáveis inerentes ao processo, consegue-se garantir que todas as peças de uma determinada série são iguais e cumprem o objetivo para o qual foram desenvolvidas.

Desta forma, torna-se importante aprofundar estes mecanismos, desde a sua história, passando pelos tipos de moldes, as suas aplicações, os seus constituintes e a sua indústria.

### **2.3.1. Resenha histórica**

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Moldes (Cefamol), a atividade portuguesa nos moldes para injeção de plásticos teve início em 1943, na Marinha Grande, numa pequena empresa de moldes para vidro, por iniciativa de Aníbal H. Abrantes.

No entanto, a produção de moldes metálicos está associada à fundação da primeira fábrica de vidro na Marinha Grande, por decreto do Marquês de Pombal no ano de 1769 (Ferreira, 2001). Para implementação dessa fábrica, ter-se-á tido em conta fatores como a proximidade ao mar, o qual “fornece” a areia fundamental para o fabrico de vidro, e a existência próxima do pinhal de Leiria, com vista à alimentação dos fornos.

Apesar da localização geográfica de referência, a instalação da Fábrica de Vidro do Coina, na Marinha Grande, conheceu alguns obstáculos. Talvez o maior deles tenha sido a falta de mão-de-obra qualificada, problema encontrado por Guilherme Stephens, um inglês encarregue pelo Rei D. José de edificar a fábrica. Perante estes factos, foram recrutados operários especializados na transformação de vidro vindos de Itália, Inglaterra, Irlanda e

Bélgica. Estes tiveram a importante tarefa de transmitir o conhecimento especializado aos operários portugueses, contribuindo dessa forma para o desenvolvimento acentuado daquela região (Ferreira, 2001).

No entanto, os moldes utilizados para o fabrico do vidro eram importados de vários países europeus, como a Alemanha e a Áustria. Só em 1923, com a contratação do técnico Aires Roque para a Fábrica Escola Irmãos Stephens, é que a produção de moldes nasceu na Marinha Grande. Foram então produzidos os primeiros moldes em ferro fundido, criando-se novamente mão-de-obra especializada. Apesar de as técnicas utilizadas no fabrico destes primeiros moldes, serem bastante diferentes das utilizadas nos moldes de injeção de plásticos, este foi um despoletar de tecnologia que levaria à produção de moldes para várias indústrias, incluindo o plástico (Ferreira, 2001).

Esta ligação entre os moldes para a indústria vidreira e a indústria dos plásticos, está relacionada com o facto de a primeira empresa de plásticos ter contactado Aníbal Abrantes para produzir alguns moldes para baquelite. Este era irmão de Aires Roque, com o qual tinha uma oficina de moldes para vidro prensado, no entanto, a vontade de Aires Roque era contrária à do irmão, pelo que este vende a sua posição na empresa, dedicando-se exclusivamente aos moldes para vidro, enquanto, Aníbal Abrantes se dedica aos moldes para plásticos (Associação Nacional da Indústria de Moldes, 2015).

Neste seguimento, começaram a estabelecer-se outras empresas produtoras de moldes para plásticos, nas cidades da Marinha Grande e Oliveira de Azeméis, outro centro tradicional da indústria de vidro. A indústria desenvolveu-se com a importação de tecnologia estrangeira e, em 1955, iniciou-se a exportação com a venda dos primeiros moldes à Grã-Bretanha. Em 1980, a indústria já exportava para mais de 50 países e só na área da Marinha Grande existiam 54 empresas em laboração, empregando cerca de 2000 pessoas (Associação Nacional da Indústria de Moldes, 2015).

### **2.3.2. Tipos de moldes e indústrias**

São várias as indústrias que utilizam moldes nos seus processos de fabrico. Consoante o processo, existem particularidades inerentes ao molde utilizado que irão ser diferentes. Faz-se neste ponto referência a algumas indústrias que utilizam moldes nos seus processos, aproveitando para referenciar os vários tipos existentes.

### **2.3.2.1. Moldes para a produção de peças de vidro**

Como referido na resenha histórica deste capítulo, a indústria vidreira teve um papel importante no desenvolvimento dos moldes em Portugal.

De um modo geral, os moldes destinados à produção de peças de vidro podem ser classificados em:

- Moldes para embalagens: produção de garrafas e frascos (processos “soprado-soprado” e “prensado-soprado”);
- Moldes para vidros ornamentais obtidos por processos semiautomáticos;
- Moldes para vidro de iluminação;
- Moldes para a produção de vidro prensado em prensas automáticas e semiautomáticas (Centimfe, 2003).

Os moldes podem assim ser de três tipos: monobloco, de abrir em duas metades ou de abrir em três partes.

Pensando bem, a moldação é a fase mais importante do fabrico do vidro, sendo aqui que o mesmo adquire a forma da embalagem final pretendida. Para isso, uma porção de vidro denominada de gota, é formada pela ação de tesouras e encaminhada através de calhas para as diversas secções das máquinas de moldagem de vidro. É aqui que o vidro fundido é transformado no produto final, onde, de acordo com o tipo de produto, existem vários processos de dar forma ao vidro (já mencionados neste ponto). Estes vão condicionar a qualidade da distribuição do vidro e o peso na embalagem final (ANFEVI, 2009).

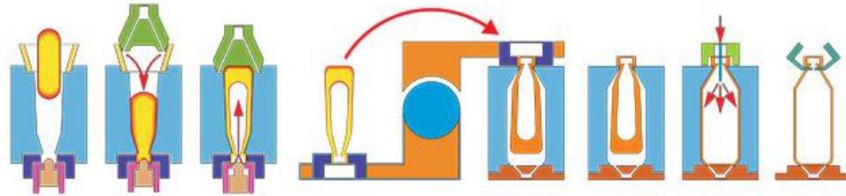
#### Processo “soprado-soprado”

A principal variação dos processos de fabrico do vidro reside na forma como o esboço é formado. No processo “soprado-soprado”, o vidro é soprado no molde de principiar e no molde de acabar. Sendo o sopro efetuado por ar comprimido (Eustice, 2008).

Quando a gota é cortada pelas tesouras, é encaminhada para o contramolde, ou molde de principiar. Aí é assente por ação pneumática, sendo-lhe conferida a forma do molde de

princípios, formando-se o *párisson*, que não é mais do que uma primeira forma dada à gota. Em seguida, o *párisson* é invertido e transferido para o molde final onde, mais uma vez, por ação de um sopro pneumático, recebe a sua forma final (Manoel, 2010).

A figura 16 ilustra as diversas etapas associadas a este processo de moldagem do vidro.



**Figura 16 - Etapas do processo de moldação de vidro "soprado-soprado" (Manoel, 2010).**

Este tipo de processo encerra alguns inconvenientes, dos quais se podem destacar: a maior quantidade de vidro necessária para a conceção de uma peça, aumentando assim os custos de matéria-prima; o maior tempo de refrigeração necessário devido à maior quantidade de matéria-prima; Os mesmos fatores anteriores levam a que a velocidade do processo seja baixa, tendo como consequência a baixa produtividade; por último, e estando relacionado com as condições anteriores, as peças finais são mais pesadas (Centimfe, 2003).

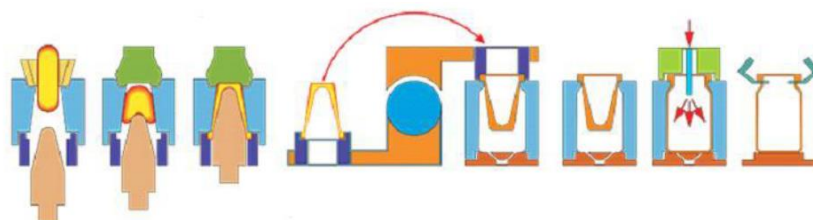
Além dos inconvenientes apresentados, existem outras características do produto final que se relacionam diretamente com este processo. Uma delas reside no facto de existirem heterogeneidades na espessura do vidro, com ondulações visíveis a olho nu na superfície da garrafa. Este fenómeno pode ser explicado pelo tempo em que o *párisson* fica suspenso enquanto passa para o molde final. A ação da gravidade provoca assim o estiramento da massa de vidro. O projeto deste tipo de embalagens pode prever esta situação, contrariando-a ligeiramente, no entanto continua a ser uma das grandes limitações deste tipo de processo (Manoel, 2010).

### Processo “prensado-soprado”

Neste processo, o *párisson* é formado pela ação de um punção metálico. Este prensa o vidro no mole de princípio (Eustice, 2008). Para além de formar o esboço, o punção é responsável também por retirar alguma energia térmica. A finalização da embalagem é em

tudo idêntica ao processo anterior. O vidro é empurrado contra o molde por ação pneumática conferindo-lhe a sua forma final (Manoel, 2010).

Na figura 17 representam-se as etapas deste processo.



**Figura 17 – Etapas do processo de moldação de vidro "prensado-soprado" (Manoel, 2010).**

Este sistema apresenta algumas vantagens relativamente ao processo “soprado-soprado”. Podem destacar-se a menor necessidade de matéria-prima e o maior rigor na espessura do vidro (Centimfe, 2003).

No que toca a desvantagens, destacam-se: a maior dificuldade de afinação da máquina; o maior desgaste dos punções devido ao facto de estarem sujeitos a elevadas temperaturas; a fragilidade das garrafas, nomeadamente na zona do gargalo, devido à menor quantidade de vidro. Nesse sentido, existem requisitos necessários à implantação deste sistema: boas condições de alimentação do vidro; boa inspeção dos recipientes fabricados; moldes de qualidade; boa formação ao nível do controlo de defeitos (Centimfe, 2003).

#### **2.3.2.2. Moldes para conformação de materiais cerâmicos**

Apesar de, no ponto anterior, se ter feito referência a um tipo de material cerâmico em particular – o vidro, é também importante a referência a outros cerâmicos, nomeadamente aqueles que se obtêm com recurso a um molde ou matriz.

Deste modo, a conformação de materiais cerâmicos pode ser efetuada por prensagem, conformação plástica ou conformação líquida (Pallone, 2012).

Quando o processo utilizado se baseia na prensagem, esta pode ser:

- Unidirecional e bidirecional;
- Isostática;

- Isostática a quente;
- “Spark plasma sintering” (Pallone, 2012).

No caso de se optar pela conformação plástica, pode-se realçar: extrusão, torneamento e moldagem por injeção.

No que toca à conformação líquida, tem-se a colagem de barbotina em molde de gesso e a colagem de fita.

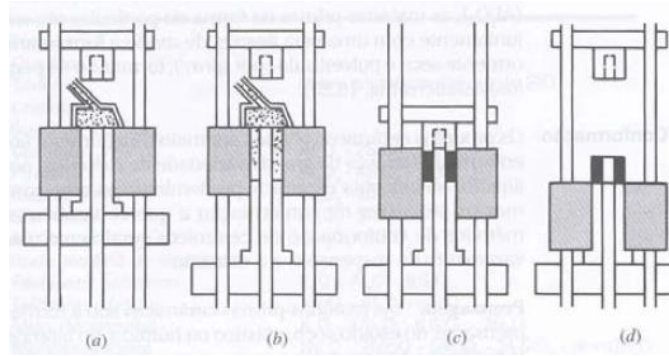
Neste ponto, focar-se-á essencialmente os processos baseados na prensagem, com referência às particularidades relacionadas com o molde e peças obtidas.

Desta forma, e antes de se efetuar o processo de prensagem propriamente dito, é efetuada uma seleção das matérias-primas, procedendo-se à sua moagem e posterior mistura com aditivos (ligantes, lubrificantes, desfloculantes e ajudantes de sinterização). A mistura obtida é depois vazada para um molde no qual se procede à prensagem (Alves, 2005).

A utilização dos processos de sinterização em materiais cerâmicos deve-se principalmente ao seu elevado ponto de fusão, o qual torna pouco viável o seu aquecimento até ao ponto de fusão e vazamento em molde.

Assim, quando se opta pela utilização da prensagem uniaxial, é possível obter peças relativamente simples e com cadências elevadas. No entanto, pode acontecer não existir uniformidade de propriedades ao longo da peça, sendo também necessária atenção relativamente às contrações após desmoldagem (Alves, 2005).

Conforme se pode verificar na figura 18, a prensagem uniaxial baseia-se em 4 fases. Uma primeira fase que corresponde à preparação / abertura do molde. A esta segue-se o seu enchimento, fazendo-se notar que a quantidade de mistura é influenciada pela abertura do molde. Depois do enchimento é efetuada a compactação por punção até ao nível de compressão pretendido, procedendo-se depois à extração da peça.



**Figura 18 - Prensagem uniaxial de materiais cerâmicos (Alves, 2005).**

Uma variante do processo anterior é a prensagem uniaxial a quente. Esta tem, no fundo, os mesmos passos da prensagem uniaxial, existindo um aquecimento do molde aquando da compactação. Desta forma, obtêm-se melhores propriedades mecânicas e uma maior densidade das peças obtidas (Alves, 2005).

Quanto à prensagem isostática, esta consiste na aplicação de pressão homogeneamente em todos os lados da peça, tendo como objetivo promover uma maior compactação das partículas, aumentando a densidade de forma homogénia. Consegue-se, desta forma, uma redução dos problemas de não-uniformidade da mistura no molde, bem como uma minimização das tensões na peça (Pallone, 2012).

Para isso, o cerâmico é colocado num molde flexível (geralmente borracha) dentro de uma câmara com um fluido hidráulico ao qual é aplicado uma pressão isostática. Pelas propriedades obtidas, este processo é bastante aplicado em ferramentas de corte, cadinhos e velas de ignição (Alves, 2005).

### **2.3.2.3. Moldes para Injeção de plásticos**

Os plásticos tornaram-se um dos materiais mais comuns em engenharia nas últimas décadas. O seu baixo peso, facilidade de processamento e resistência à corrosão tornam-no num material bastante apetecível para as indústrias automóvel, aeroespacial e de embalagens. O facto de poderem ser aplicados vários processos de fabrico a estes materiais, possibilitam a sua produção sobre diversas formas, desde folhas ou blocos, a peças com excelentes acabamentos, eliminando etapas nos processos de fabrico. Isto permite uma produção de baixo custo, em grande parte devido à utilização de moldes para

este tipo de materiais. No entanto, a utilização dos plásticos a altas temperaturas não é viável, no sentido em que a sua estabilidade é fraca, apesar de alguns tipos de plástico suportarem temperaturas superiores a 200°C sem perderem propriedades (Mazumdar, 2002).

O processamento de plásticos é feito, maioritariamente em moldes, os quais podem ser de diversos tipos e complexidades, dependendo do produto final, mas também do polímero que se está a processar.

Nos últimos 25 anos, as aplicações deste tipo de produtos passaram de objetos simples, como brinquedos, para objetos complexos ligados à indústria automóvel ou aeronáutica. Atualmente, encontram-se moldes com áreas projetadas de 1 m<sup>2</sup> e peças com um peso de 20 kg, obrigando à existência de moldes cada vez mais sofisticados. Também o projeto se revela em evolução, com programas computacionais que permitem dimensionar tanto o molde quanto os seus componentes (Harada, 2004).

Deste modo, e para melhor compreensão dos processos, torna-se importante a distinção entre termoendurecíveis e termoplásticos.

Os termoendurecíveis são produtos sintéticos usados para moldagens industriais que, com o aquecimento sofrem uma transformação de condensação, formando moléculas complexas. São também conhecidos como resinas que, durante a transformação adquirem características análogas às dos termoplásticos em ponto de fusão. À medida que a condensação prossegue, as características plásticas desaparecem e as resinas endurecem, ficando permanentemente moldadas sem poderem sofrer nenhuma outra alteração de forma com posteriores aquecimentos. Desta forma, os termoendurecíveis apenas podem ser reaproveitados por trituração e incorporação como material adicional (Provenza, 1993).

Os termoplásticos, ao contrário dos termoendurecíveis, podem ser reutilizados através do reaquecimento. Existe uma grande variedade de materiais termoplásticos, cada um com um comportamento diferente durante a elaboração. Assim, quando é projetado um molde é necessário obter do fornecedor todas as informações relativas ao comportamento de transformação do material escolhido. Geralmente, o material polimérico é fornecido sob a forma granular, devendo o mesmo estar bem seco pelo facto de o vapor de água prejudicar os resultados do produto final. Além disso, o comportamento térmico deve ser uniforme e quimicamente estável de maneira a possibilitar uma fusão homogénia. Outro aspeto importante prende-se com a contração do plástico, devendo ser pequena e uniforme. Este é

também um aspeto importante aquando do projeto e conceção de um molde (Provenza, 1993).

Os polímeros são, na sua grande maioria, moldados a quente, pelo que são de seguida enumerados os métodos mais comuns para moldagem de plásticos.

No caso dos **termoendurecíveis**, é comum a utilização dos seguintes métodos:

Moldagem de compressão – O material levemente aquecido ou frio é moldado num molde quente com uma grande pressão específica. Este é o mais antigo método de processamento;

Moldagem de transferência – O material frio ou levemente aquecido é pressionado do recipiente do molde quente para a cavidade do molde. Este processo permite melhores tolerâncias do que o anterior;

Extrusão – o material amolecido pelo calor é forçado com elevada pressão através do orifício de conformação do perfil;

Fundição – o material fundido é endurecido à temperatura ambiente ou maior, sem aplicação de pressão, sendo este processo usado para a produção de peças ou blocos conformados;

Prensagem – utilizado em matérias de consistência pastosa ou material laminado pressionado contra as paredes do molde por uma bolsa cheia de vapor ou ar comprimido. (Sors, Bardócz, & Radnóti, 2002).

Quanto aos **termoplásticos**, é usual utilizarem-se métodos como:

Moldagem por injeção – o material amolecido pelo calor é injetado através de pressão elevada numa cavidade de molde arrefecida;

Intrusão – o material é injetado num molde ligeiramente aberto, sendo depois fechado. Este processo permite maior pressão interna do que na moldagem por injeção, sendo produzidas peças com paredes mais finas;

Extrusão – o material amolecido pelo calor é forçado com elevada pressão através do orifício de conformação do perfil;

Estiramento a quente – o material pré-aquecido e amolecido é conformado a quente ou a frio no início, e subsequentemente o molde é arrefecido a baixa pressão;

Sopro – o material amolecido a quente é moldado com baixa pressão num molde arrefecido. Este é um processo utilizado para a produção de peças ocas e garrafas, tal como no vidro;

Moldagem a vácuo – o polímero é fornecido sob a forma de placas, as quais são amolecidas por aquecimento, sendo aplicado vácuo ou ar comprimido entre a placa e o molde, levando à sua moldação. Utilizado para a produção de peças grandes e finas;

Laminação – o material frio ou levemente aquecido é laminado em painel ou tiras através da ação de cilindros que se deslocam em sentidos opostos;

Banho ou recobrimento – o molde oco pré-aquecido é mergulhado num plástico fundido ou dissolvido, o material que adere é solidificado a temperatura adequada. É um processo utilizado na produção de objetos com paredes delgadas;

Borrifamento – o material fundido é projetado sobre o objeto a ser recoberto pela aplicação de ar quente a alta pressão, constituindo uma camada contínua. (Sors, Bardócz, & Radnóti, 2002).

A maioria dos processos apresentados assenta na utilização de um molde. Nesse sentido, e em consonância com o trabalho em desenvolvimento, é importante a análise dos componentes utilizados nos moldes para plásticos, bem como do tipo de maquinaria utilizada. Aprofundam-se de seguida os moldes dedicados à injeção de plásticos, processo mais evoluído tecnologicamente.

### Moldes de injeção

Um molde de injeção pode ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais que permitem que um espaço em que a peça vai ser materializada, definido pela cavidade e pela bucha, seja preenchida com o plástico fundido em condições controladas, pelos outros sistemas que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas (Centimfe, 2003).

No fundo, existem uma série de componentes que garantem a funcionalidade de um molde. A sua estrutura assegura a solidez estrutural; o guiamento mantém o perfeito alinhamento da cavidade com a bucha; a alimentação permite o percurso do fundido, desde o bico da injetora até à impressão; o controlo da temperatura que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que o arrefecimento se faça

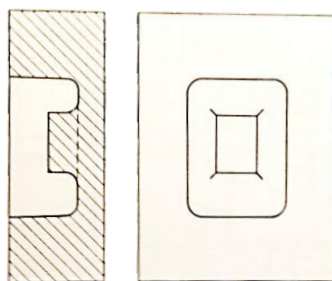
de forma rápida e eficiente; a extração que faz com que as moldações sejam retiradas do molde (Centimfe, 2003).

O funcionamento sincronizado de todos os constituintes de um molde, conduz à definição de ciclo de injeção. Este é o intervalo de tempo entre o instante em que o molde se fecha durante um ciclo e o período correspondente em que se encerra no ciclo seguinte. O ciclo total é a soma do tempo do ciclo da máquina mais o tempo que o operador demora para abrir a porta, retirar a peça e fechar a porta. Por sua vez, o ciclo da máquina é a soma do tempo para injeção, do tempo de arrefecimento da peça injetada e do tempo de abertura e fecho do molde. O tempo de arrefecimento é o mais longo e depende da espessura da peça injetada, da temperatura do molde e das características do termoplástico (Harada, 2004).

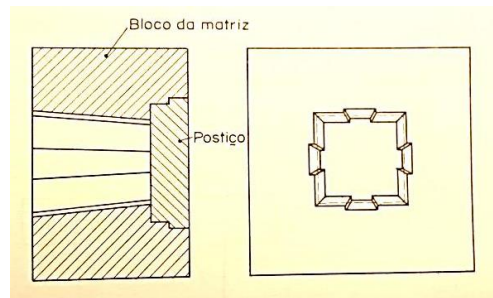
Visto que o custo da peça está diretamente relacionado com o tempo de injeção, deseja-se normalmente encurtar ao máximo este tempo. Para isso, e visto que a maior fatia do tempo num ciclo de injeção pertence ao arrefecimento, usa-se a água a baixa temperatura para arrefecer os moldes. No entanto, deve haver especial cuidado nesta matéria pois, uma temperatura de molde muito baixa, pode originar peças tencionadas, quebradiças e sem brilho (Harada, 2004).

No que toca aos componentes de um molde de injeção, destacam-se:

- Matrizes ou placas: são as partes fundamentais de um molde e distinguem-se em cavidades e machos. Os machos são as placas que incorporam as protuberâncias, sendo normalmente inteiriços devido à maior facilidade de maquinação (Provenza, 1993).



**Figura 19 - Cavidade de bloco único (Provenza, 1993).**



**Figura 20 - Cavidade composta (Provenza, 1993).**

- Colunas de guia e conicidade de posicionamento: fazem parte do sistema de centragem de um molde, o qual permite, por um lado montar o molde na máquina, e por outro lado ajustar as duas (ou mais) partes do molde, assegurando a reprodutibilidade das peças (Pontes, 2003).

Um mau centramento do molde provoca desvios no processo de injeção, entre ciclos sucessivos de moldação, levando a variações das espessuras das peças moldadas, não garantindo a precisão dimensional requerida (Mendes & Matos, 2003).

De modo a garantir o posicionamento, além do guiamento feito pelas colunas da máquina de injeção, salientam-se os próprios sistemas de guiamento do molde: o guiamento principal e o guiamento da unidade de extração (Mendes & Matos, 2003).

Existem portanto vários tipos de guias (figura 21), normalmente montadas em grupos de quatro principais, em que uma delas tem um posicionamento ou diâmetro diferente de modo a evitar erros de montagem do molde. Estes elementos são normalmente fabricados em aço-liga, cementados e temperados e depois retificados (Provenza, 1993). É conveniente referir também a necessidade de tolerâncias apertadas neste tipo de componentes, pois só assim se garante um guiamento eficiente.



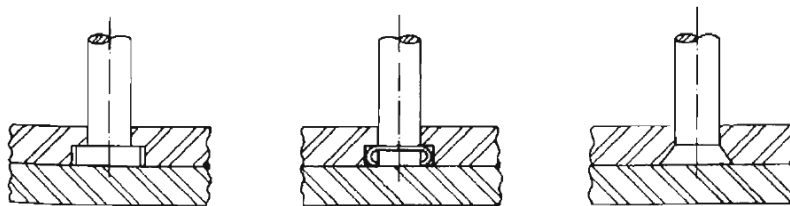
**Figura 21 - Guias para moldes de injeção de plásticos (Ferazeméis, 2015).**

- Extratores:

A extração das peças do molde não é problemática pois, em geral, os plásticos não aderem às superfícies do molde. No entanto, é conveniente fazer as paredes do molde com um leve ângulo de saída. É normalmente utilizado um ângulo de saída de 0,5 a 1°, podendo ser reduzido quando se utilizam dispositivos de extração. Na maioria dos casos, a placa por onde o material é injetado é a fêmea, e o produto é extraído do lado macho. Porém, se a contração do material plástico injetado provocar forte agarramento nos machos ou rachaduras do produto, a extração será feita pelo lado fêmea (Provenza, 1993).

Os extratores são componentes que permitem exercer uma força localizada, sendo muito úteis para a desmoldação de pequenas saliências, nervuras ou encaixes da peça. Enumeram-se de seguida os vários tipos de extratores.

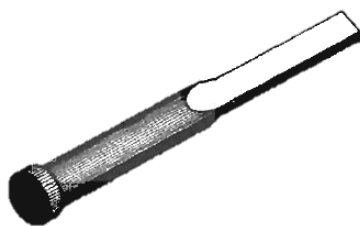
Os extratores cilíndricos são mais utilizados para extrair peças em plástico. Estes componentes são normalmente fixos por uma extremidade à placa de extração enquanto a outra se encontra em balanço e em contacto com a peça. Quando se utilizam estes extratores, as moldações apresentam marcas circulares na superfície devido ao ajuste entre o extrator e o furo e/ou devido à pressão de contacto durante a extração. Existem formas de contornar este problema, nomeadamente a criação de uma câmara suplementar em plástico que pode ser removida, não deixando assim qualquer marca da extração (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).



**Figura 22 - Extratores cilíndricos (Harada, 2004).**

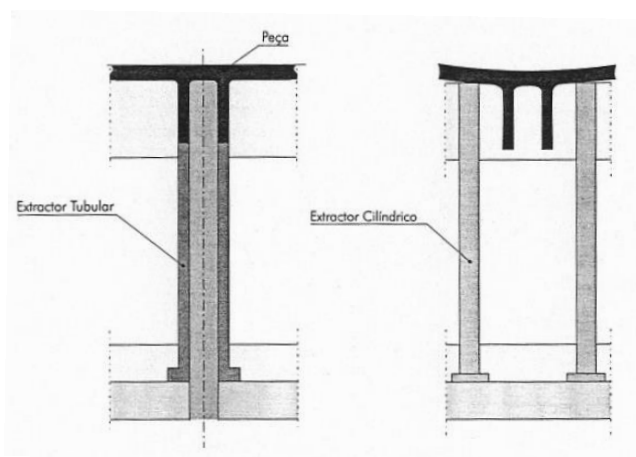
Os extratores de lâmina, que apresentam uma secção retangular na extremidade em contacto com a peça, são frequentemente utilizados para extrair peças com contornos ou nervuras estreitas (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

As lâminas podem ser utilizadas quando o uso de pinos redondos for impraticável, ou seja, quando o seu diâmetro for muito pequeno, visto que as lâminas aumentam a área de contacto, facilitando a extração da peça (Harada, 2004).



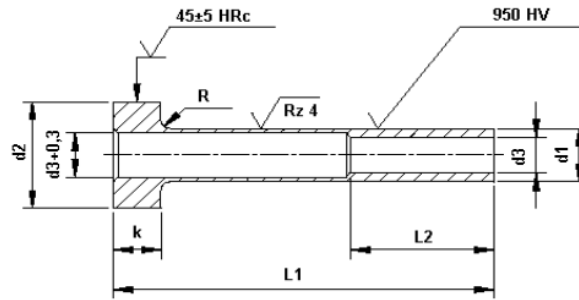
**Figura 23 - Extrator de lâmina (Harada, 2004).**

Os extratores tubulares são utilizados para retirar secções tubulares de uma peça, sem necessidade de a reforçar. A sua utilização tem duas vantagens principais: permite o escape do ar facilitando o enchimento; ao exercer uma pressão uniformemente distribuída ao longo de toda a base, permite uma extração mais suave e com menor risco de deformação, conforme ilustrado na figura 24 (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).



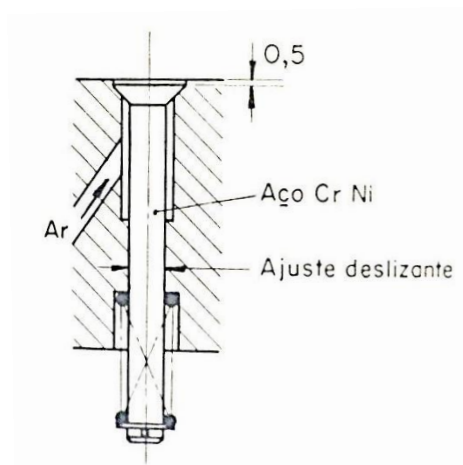
**Figura 24 - Vantagem da utilização de um extrator tubular comparativamente a um extrator cilíndrico (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).**

A figura 25 representa um extrator tubular normalizado. Verifica-se a atenção dada à rugosidade superficial e dureza do extrator.



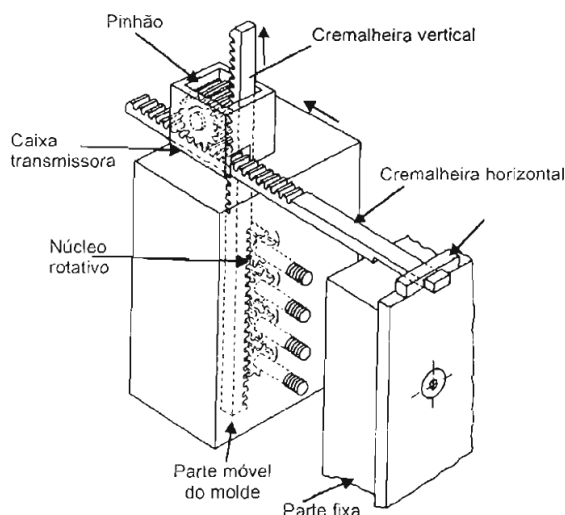
**Figura 25 - Extrator tubular (SOREP, 2015).**

Existe ainda o sistema de extração por ar comprimido. Este consiste na introdução de ar comprimido entre a face do molde e o produto moldado. É um método eficiente para a desmoldagem de determinados tipos de peças como caixas ou recipientes. O ar é introduzido no ponto mais afastado da linha de contacto, de tal forma que separa definitivamente a moldagem da parede do molde, antes que possa haver escape do ar. O retorno é geralmente feito através de uma mola de compressão (Harada, 2004).



**Figura 26 - Extração por ar comprimido (Provenza, 1993).**

Quando existe a necessidade de se extraírem peças roscadas, é utilizado um sistemas baseado na rotação dos núcleos roscados, que podem ser operados por: cremalheira e pinhão; engrenagens helicoidais; parafuso sem fim e engrenagens (Harada, 2004). A figura 27 ilustra um método de acionamento do núcleo rotativo por cremalheira e pinhão. Este tipo de sistema pode ser complementado com a utilização de ar comprimido.



**Figura 27 - Sistema de extração de peças roscadas por pinhão e cremalheira (Harada, 2004).**

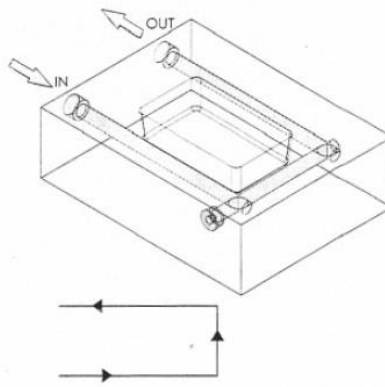
- Controlo de temperatura:

O princípio fundamental da moldação por injeção, consiste em forçar um material previamente aquecido a entrar, sobre pressão, num molde, onde é arrefecido até uma temperatura que permita que ganhe rigidez suficiente para que possa ser extraído mantendo a forma da impressão (Brito & Matos, 2004).

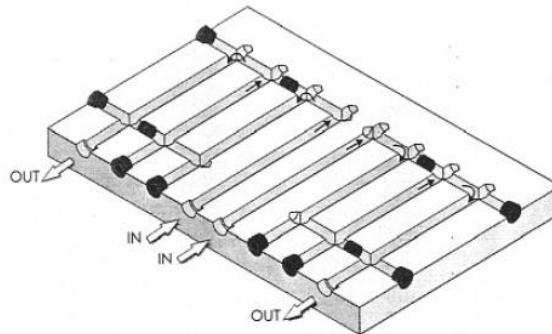
Como forma de acelerar o ciclo de moldagem, é efetuado um arrefecimento do molde a cada ciclo de injeção. Se for tido em conta que o tempo de arrefecimento constitui cerca de 50% da duração total do ciclo de injeção, isto mostra bem a importância que o sistema de controlo de temperatura tem no correto funcionamento do molde (Brito & Matos, 2004).

O controlo de temperatura em molde de injeção é normalmente efetuado com recurso à circulação de um fluido através dos constituintes do molde em contacto com a peça (bucha e cavidade). Usualmente é utilizada a água que circula por uma série de furações que visam a transferência de calor entre a peça e o molde, e o molde e o fluido. Essas furações são comumente designadas de “furações de águas”.

Existem vários tipos de furações de águas, usadas consoante a otimização de espaço o molde, eficiência e exequibilidade de execução. Podem destacar-se: circuitos em “U” (figura 28), Circuitos em “Z” (figura 29), circuitos retangulares, circuitos circulares, circuitos em espiral, circuitos com canal helicoidal, circuitos com pino térmico, entre outros (Brito & Matos, 2004).



**Figura 28 - Circuito em "U" (Brito & Matos, 2004).**



**Figura 29 - Circuito em "Z" (Brito & Matos, 2004).**

A seleção do tipo de circuito a utilizar está diretamente relacionado com o formato da peça a moldar, pretendendo-se que o arrefecimento da mesma seja o mais uniforme possível. Como regra geral, tem-se que o comprimento da furação deve ser tal que não permita o aquecimento do fluido de refrigeração em mais de 5°C. Para isso recorre-se a circuitos independentes que permitem uma melhor uniformização da temperatura.

O dimensionamento deste tipo de sistemas é abordado no ponto 3.3.11.



# 3. Trabalho Experimental

## 3.1. Peça

O trabalho experimental realizado assenta na produção de uma peça funcional em aglomerado puro de cortiça. Desta forma, as suas características e particularidades são importantes para o desenvolvimento deste projeto. Nos pontos seguintes, é detalhada a peça projetada, com referência à sua viabilidade de comercialização e dimensões necessárias para que a sua funcionalidade seja atingida.

### 3.1.1. Funcionalidade e objetivo

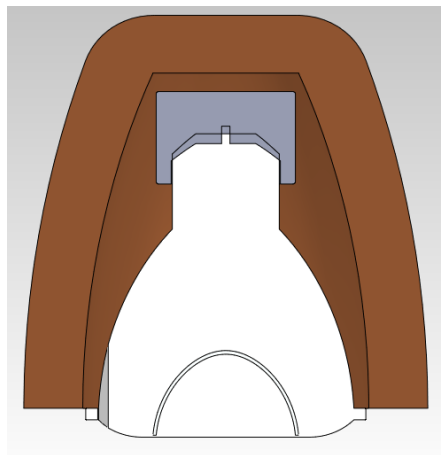
O objetivo deste trabalho centra-se no estudo de viabilidade de moldação de cortiça expandida em molde fechado com formas complexas. Assim sendo, a peça a elaborar necessita de cumprir uma série de requisitos para que possa ser fabricada segundo um processo de moldação.

Primeiramente, é importante que a sua forma seja minimamente complexa e que permita a compactação e enchimento uniformes. O facto de ser exigida uma forma complexa, do tipo

concha, prende-se com o facto de, o processo de moldação em autoclave para o fabrico de blocos, cilindros e placas de aglomerado expandido, já ser utilizado ao nível industrial. Assim, quando é necessária a elaboração de uma forma mais complexa, é necessário recorrer a vários processos de fabrico para obtenção da peça. No caso de ser viável a utilização de moldes elaborados, podem eliminar-se etapas no processo de fabrico, abrindo novas possibilidades para este tipo de produtos, nomeadamente na decoração e no isolamento térmico e acústico.

Além disso, deve admitir uma desmoldagem adequada bem como um aquecimento o mais uniforme possível.

Tendo em conta os requisitos referidos, optou-se por uma peça decorativa do tipo “casca”, a qual será usada como candeeiro para lâmpadas com casquilho GU10 – figura 30. No fundo, a elaboração desta peça permite estudar, além da viabilidade de produção em molde fechado, as tolerâncias dimensionais deste tipo de produto de cortiça, bem como as suas propriedades físicas e mecânicas.



**Figura 30 - Vista, em corte, do candeeiro a executar em aglomerado expandido de cortiça.**

### **3.1.2. Viabilidade de comercialização**

Analisando a tendência atual para os produtos ecológicos, entendeu-se que seria possível conciliar a elaboração deste trabalho com a possibilidade de comercialização deste tipo de peça.

Desta forma, a escolha da peça a executar foi também influenciada pela possibilidade de a mesma poder vir a ser comercializada no futuro. Como será expectável, a sua comercialização não será objeto de análise neste relatório, no entanto, torna-se importante analisar as potencialidades do produto.

Primeiramente, o fator ecológico é decisivo para este produto, visto que, a não adição de qualquer tipo de aglutinante, a possibilidade de o consumo energético do processo industrial ser gerado pelos desperdícios da cortiça, o facto de a cortiça ser um produto natural e retentor de dióxido de carbono no seu crescimento e de o montado de sobre ser habitat de diversas espécies, constitui um apelo importante em qualquer compra que é efetuada pelo consumidor.

Além disso, a associação de um produto 100% natural a uma lâmpada de baixo consumo como as de díodos emissores de luz (LED), contribui em muito para a sua viabilidade de comercialização.

Se a estes fatores se adicionarem o toque suave da cortiça, o seu aspeto rústico, a sua durabilidade e resistência ao fogo, poderá vir a ser um produto a ter em conta para comercialização.

Outro aspeto importante está relacionado com o preço de venda. Visto que a peça projetada poderá ter uma massa aproximada de 20 gramas, o seu custo (em matéria prima) poderá situar-se entre os 3 e 5 cêntimos. Atendendo a que os restantes custos estão relacionados com o consumo energético e amortização do investimento, pode-se afirmar que o seu preço será bastante competitivo.

Apesar de todas as vantagens referidas ao longo deste ponto, existem algumas desvantagens a assinalar. Primeiramente, o estudo é efetuado num molde para uma única peça por ciclo, o que não é viável ao nível industrial. O acabamento superficial pode revelar-se algo rugoso e aquém daquilo a que o consumidor de produtos de cortiça está acostumado. A variação dimensional da cortiça com a temperatura poderá inviabilizar a sua aplicação em algumas situações. Para além disso, desconhece-se o comportamento

mecânico da cortiça expandida quando aplicado este processo. Isto inviabiliza o projeto detalhado da peça, visto que não se possuem as propriedades mecânicas relevantes.

### **3.1.3. Caracterização e tolerância dimensional**

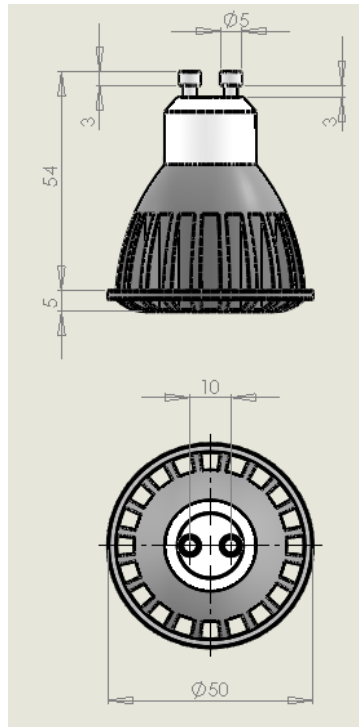
Como referido anteriormente, a peça escolhida tem a forma de uma “casca” a qual é usada como adorno num candeeiro para projetor do tipo LED. Para isso, e após uma pesquisa sobre os tipos de projetores – dimensões e tipo de conexão, definiram-se as dimensões necessárias para a peça em aglomerado expandido. É importante referir que as dimensões escolhidas visam abranger o maior número de modelos do mercado.

O casquilho GU10 (figura 31) permite uma conexão rápida do projetor, possibilitando simultaneamente a sua fixação. No fundo, este casquilho consiste em duas ranhuras com uma distância entre centros de 10 mm, onde através da rotação da lâmpada (aproximadamente 90°) é possível a sua conexão e fixação de forma simples e segura.



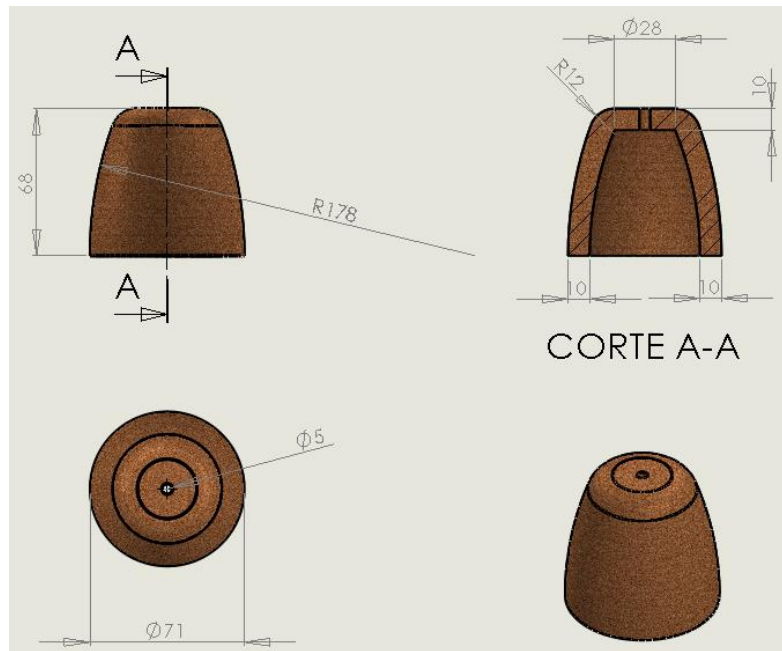
**Figura 31 - Casquilho GU10 (Lojaxenon, 2015).**

Por seu lado, as lâmpadas utilizadas neste tipo de casquilho, possuem dois pernos com cabeça achatada, distanciados 10 mm. As suas dimensões típicas são representadas na figura 32.



**Figura 32 - Projetor LED com conexão GU10 (o desenho não se encontra à escala).**

Analisando a questão da tolerância dimensional, verifica-se que existem folgas associadas à montagem e ventilação da lâmpada. Quanto à montagem, é necessário a introdução da cablagem de alimentação, a qual se efetua por um orifício no topo do candeeiro, sendo que, essa mesma cablagem suporta a lâmpada e o candeeiro de aglomerado de cortiça expandido. Ou seja, visto que o peso do candeeiro é praticamente desprezável – aproximadamente 30g – não são necessários cuidados especiais no suporte do candeeiro. Apresenta-se na figura 33 o desenho cotado da peça a executar em aglomerado expandido de cortiça.



**Figura 33 - Peça a executar em aglomerado expandido de cortiça (o desenho não se encontra à escala).**

Além do estudo da viabilidade de produção deste tipo de peças em molde de formas complexas, a forma escolhida permite também a análise dimensional e de tolerânciamento, conforme a compactação usada, a temperatura de cosedura, a temperatura de extração, a humidade e a massa volúmica do granulado. No fundo, sendo a cortiça um produto natural, está suscetível a variações dimensionais influenciadas por diversos fatores já mencionados. A sua quantificação torna-se importante neste estudo, onde a forma da peça escolhida poderá permitir esta análise numa perspectiva tridimensional.

### **3.2. Caracterização do granulado de cortiça**

O granulado de cortiça utilizado neste trabalho foi adquirido já calibrado ao nível da sua granulometria, bem como da sua massa volúmica. Apesar disso, foram realizados ensaios com vista à determinação das propriedades do granulado mais usualmente utilizadas na indústria, para controlo da qualidade dos produtos.

Neste ponto serão abordados os métodos utilizados para a determinação das propriedades do granulado em estudo, sendo as mais relevantes:

- a granulometria, essencial para a homogeneidade da peça e para o correto enchimento do molde através da vibração;

- a massa volúmica, a qual está diretamente relacionada com a qualidade do granulado, ou seja, quanto menor a massa volúmica, melhor é a qualidade do granulado. Além disso, o peso final da peça é também diretamente influenciado por esta propriedade;

- a humidade relativa, que poderá ter influência direta sobre a qualidade da peça, o tempo de aquecimento e as propriedades finais obtidas.

Tendo em conta que estas três propriedades são as mais relevantes na definição de um granulado, tanto na sua produção como na sua transação entre empresas, é primordial a determinação destas características.

### **3.2.1. Granulometria**

A determinação da granulometria do granulado utilizado foi confirmada com base na norma ISO 2030. Esta norma destina-se a fixar o processo para determinação da granulometria dos granulados de cortiça não submetidos a prensagem. Muito resumidamente, o processo recomendado pela norma consiste na peneiração mecânica de uma toma de ensaio em condições determinadas, com pesagem de cada fração retida.

Nos ensaios efetuados foi utilizada uma amostra de 50g do granulado em estudo, tendo-se utilizado os peneiros de 3,15 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm e 0,2 mm. Depois de colocada a amostra no topo dos peneiros, procedeu-se ao seu fecho com uma tampa. Posteriormente, colocou-se a coluna de peneiros sobre um vibrador no qual permaneceram durante 10 minutos. No final deste tempo, procedeu-se à abertura do conjunto e à pesagem da massa retida em cada peneiro numa balança de precisão igual a 0,05 g.

Segundo a norma portuguesa, a terminologia utilizada é a seguinte:

-  $M_g$  – é a massa do provete de granulado de cortiça, expresso em grama e arredondado às décimas;

-  $M_c$  – é a massa de um dado peneiro  $i$  com o granulado nele retido, expresso em grama e arredondado às décimas;

-  $M_i$  – é a massa de um dado peneiro  $i$ , expresso em grama e arredondado às décimas;

-  $M_f$  – é a massa do fundo, expresso em grama e arredondado às décimas;

-  $M_p$  – é a massa do fundo com o granulado nele retido, expresso em grama e arredondado às décimas.

Assim, a percentagem, em massa, de granulado retido em cada peneiro é dada pela equação 1

$$\frac{M_c - M_i}{M_g} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

A percentagem em massa de pó é dada pela expressão 2:

$$\frac{M_p - M_f}{M_g} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3. Verifica-se o intervalo de valores declarado pelo fornecedor do granulado (0,5 / 2 mm), com especial ênfase para o peneiro de 1 mm.

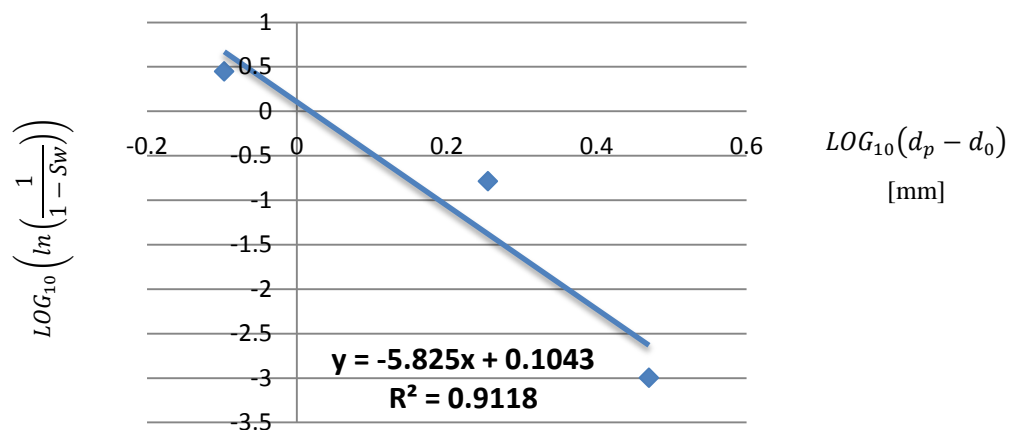
**Tabela 3 - Resultados do ensaio granulométrico efetuado.**

<b>Peneiro [mm]</b>	<b>Massa retida [g]</b>	<b>Percentagem em massa</b>	<b>Percentagem acumulada</b>
<b>3,15</b>	0,1	0,1	0,1
<b>2,0</b>	7,5	14,9	15,0
<b>1,0</b>	39,5	78,8	93,8
<b>0,5</b>	3,0	6,0	99,8
<b>0,2</b>	0,1	0,2	100
<b>Fundo</b>	0,0	0,0	
<b>Total</b>	50,20	100	

Com os valores obtidos no ensaio especificado neste ponto, é possível efetuar uma aproximação dos dados experimentais obtidos pela distribuição de Weibull. Assim, começou-se por estabelecer os parâmetros da distribuição para os dados experimentais em

termos mássicos. Para isso, representou-se numa escala logarítmica (figura 34) a relação entre  $\ln\left(\frac{1}{1-S_w}\right)$  e  $(d_p - d_0)$ , sendo:

- $S_w$  – frequência acumulada em termos mássicos (tabela 3);
- $d_p$  – diâmetro do grânulo de cortiça [mm];
- $d_0$  – diâmetro do grânulo de cortiça de tamanho mínimo [mm] (Silva J. , 2005).



**Figura 34 - Relação linear em escala logarítmica.**

Com a relação linear representada na figura 34, foi possível a aproximação dos resultados experimentais por uma reta usando o método dos mínimos quadrados. Atribui-se a  $d_0$  o valor de 0,5 mm, ao qual corresponde o valor do coeficiente de correlação linear mais próximo de 1 ( $R^2 = 0,9118$ ).

Com os dados determinados pela correlação linear,  $Y = AX + B$ , calcularam-se os valores da constante de escala ( $\theta_w$ ) – Equação 3, e do parâmetro  $b$  da distribuição de Weibull – Equação 4 (Silva J. , 2005).

$$\theta_w = d_0 + e^{\left(\frac{B}{A}\right)} \quad \text{Equação 3}$$

$$b = A \quad \text{Equação 4}$$

Os parâmetros da distribuição de Weibull determinados pela análise em curso são representados na tabela 4.

**Tabela 4 - Parâmetros da distribuição de Weibull, em termos de massa.**

$R^2$	A	B	$\theta_w$ [mm]	$b$	$d_0$ [mm]
0,9118	- 5,825	0,1043	1,4822	- 5,825	0,5

A função de distribuição ( $S_w$ ) para o granulado de cortiça pode ser definida pela equação 5 (Silva J. , 2005).

$$S_w = 1 - e^{-\left(\frac{d_p - d_0}{\theta_w - d_0}\right)^b} \quad \text{Equação 5}$$

Substituindo na equação 5 os valores representados na tabela 4, obtém-se a seguinte função de distribuição:

$$S_w = 1 - e^{-\left(\frac{d_p - 0,5}{0,9822}\right)^{-5,825}}$$

Após determinação dos parâmetros da distribuição, procedeu-se à determinação da média, mediana e variância do diâmetro de partículas em termos mássicos, com recurso às equações 6, 7 e 8, respetivamente (Silva J. , 2005).

$$\bar{X} = d_0 + (\theta_w - d_0)\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

$\bar{X}$  – valor médio da granulometria [mm];

$\Gamma$  – função Gama.

$$d_{med.} = d_0 + (\theta_w - d_0)(\ln 2)^{\frac{1}{b}} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo,  $d_{med.}$  a mediana da granulometria em mm.

$$\sigma^2 = (\theta_w - d_0)^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{b} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{b} \right) \right] \quad \text{Equação 8}$$

Onde  $\sigma^2$  é o valor da variância da granulometria em  $\text{mm}^2$ .

A tabela 5 apresenta os resultados correspondentes à média, mediana e variância, em termos mássicos, calculados a partir das equações anteriores.

**Tabela 5 - Valores de média, mediana e variância, em termos mássicos, do granulado de cortiça.**

Média [mm]	1,8
Mediana [mm]	1,5
Variância [ $\text{mm}^2$ ]	0,1

### 3.2.2. Massa volúmica

A massa volúmica do granulado é determinada segundo a norma ISO 2031. Esta norma visa uniformizar a forma como é determinada a massa volúmica dos granulados de cortiça para fins comerciais. O método de determinação consiste num procedimento simples e rápido, bastando para isso um recipiente, normalmente cilíndrico, com um volume de  $1 \text{ dm}^3$ . Além do recipiente é necessária uma balança com uma sensibilidade mínima de 1 grama.

Primeiramente o recipiente é colocado em cima da balança a utilizar, sendo efetuada a sua tara (figura 35). Seguidamente, o recipiente é cheio com o granulado que se pretende analisar. Posteriormente, recorre-se a uma espátula para garantir a remoção do excesso contido no cimo do recipiente, sendo o mesmo colocado na balança para que possa ser apurado o valor da massa contida no seu interior. O valor obtido é igual ao valor da massa volúmica do granulado, pelo facto de o recipiente em uso ter um volume de  $1 \text{ dm}^3$ , obtém-se portanto o valor em  $\text{g dm}^{-3}$ .



**Figura 35 - Balança e recipiente utilizados para a determinação da massa volúmica do granulado.**

Através deste ensaio, foi possível determinar que a massa volúmica do granulado utilizado neste trabalho foi de  $60 \text{ kg/m}^3$ .

### **3.2.3. Humidade**

A humidade da cortiça é determinada com o auxílio de um medidor de humidade para cortiça. Este tipo de instrumento permite, com alguma facilidade e rapidez, saber qual a percentagem em massa de água contida numa determinada amostra de granulado.

Para isso, foi utilizado um medidor da marca *KPM – Aqua Boy*, conforme figura 36. O mesmo permite a determinação de humidade de 0 a 10%. O procedimento a adotar foi bastante simples, bastando uma pequena amostra do granulado a analisar. Esta é colocada num recipiente pertencente ao instrumento de medição. O recipiente é posteriormente fechado com alguma pressão. Após o fecho, o recipiente é acoplado ao medidor no qual é apresentado o valor da humidade.



**Figura 36 - Medidor de humidade utilizado.**

Para o trabalho em estudo, foram efetuadas três medições distintas, de amostras retiradas de um saco com aproximadamente 500g de granulado. Os valores obtidos foram iguais nas três amostras, situando-se nos 6 % de humidade. Embora não existissem especificações para este parâmetro, o seu conhecimento é importante como forma de controlo de uma possível variável do processo.

### **3.3. Molde**

#### **3.3.1. Condicionantes**

O molde projetado para este trabalho tinha como principal objetivo a aglomeração de granulado de cortiça, proveniente de falcas, sem recurso a aglutinantes. Deste modo, teve-se por base o processo de fabricação de aglomerados puros de cortiça (negros), ou seja, o recurso a pressão e temperatura (injeção de vapor de água a 350°C).

Apesar de, no processo original, ser utilizado o vapor de água como forma de transporte de energia para a cortiça, o qual permite uma melhor distribuição de temperatura e consequente exsudação das resinas contidas no aglomerado, neste trabalho optou-se, por questões de simplicidade de trabalho, pela utilização de resistências elétricas de aquecimento no molde.

Outro aspeto importante prende-se com a alimentação do molde. Visto que, a intenção é a de ser produzida uma peça com formas complexas, o molde terá de ter um sistema de

alimentação que permita um enchimento da cavidade com a mesma fechada. Para isso recorreu-se à vibração. Além disso, a granulometria necessária é também adaptada a este tipo de enchimento – 0,5 a 2mm.

No que toca aos movimentos que permitem a compactação e extração da peça, têm de ser de tal forma que permitam uma massa volúmica da peça final de  $160 \text{ kg/m}^3$ , à semelhança daquela que é obtida pelos processos atuais. Os movimentos são todos efetuados manualmente através de fusos.

Visto que existe um aquecimento do molde, é também necessário a existência de canais de refrigeração. Estes permitirão o teste de várias temperaturas de extração, além de regularem a temperatura dos vários componentes do molde.

### 3.3.2. Estrutura e material

O molde projetado é constituído essencialmente por 3 partes (figura 37). Uma cavidade com o formato final da peça (a vermelho na figura 37), um mandril com a forma da parte interior da peça (a azul na figura 37) e uma outra cavidade que permite o enchimento do molde até se obter a massa final desejada (a verde na figura 37).

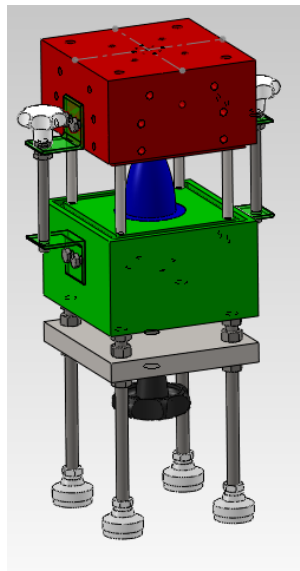


Figura 37 - Desenho a três dimensões do molde.

As três partes referidas no ponto anterior têm como material escolhido o alumínio, neste caso específico uma liga de alumínio AL5083. A sua escolha deve-se a vários motivos, destacando-se:

- baixa densidade (comparativamente ao aço) – permite assim um molde leve para manuseamento e transporte;
- boa maquinabilidade (comparativamente ao aço);
- condutibilidade térmica elevada – permite uma melhor distribuição da temperatura por todo o molde, existindo desta forma um aquecimento uniforme em toda a peça;
- boa resistência à corrosão – facilita o uso de água na refrigeração da cavidade do molde;
- possibilita bom acabamento superficial;
- resistência mecânica.

A tabela 6 contém um resumo de propriedades, bem como de aplicações comuns para esta liga de alumínio.

**Tabela 6 - Propriedades e aplicações da liga de alumínio 5083 (KMS - Mat. Técnicos, Lda., 2015).**

<b>Propriedade</b>	
Peso específico	2730 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade	71000 MPa
Coef. de dilatação térmica linear (20-100°C)	24,2 × 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
Condutibilidade térmica	120 W/mK
Intervalo de fusão	580 – 640°C
Carga de rotura [Rm]	293 MPa
Limite elástico Rp 0,2	153 MPa
Alongamento	20 %
Dureza Brinell	68-75

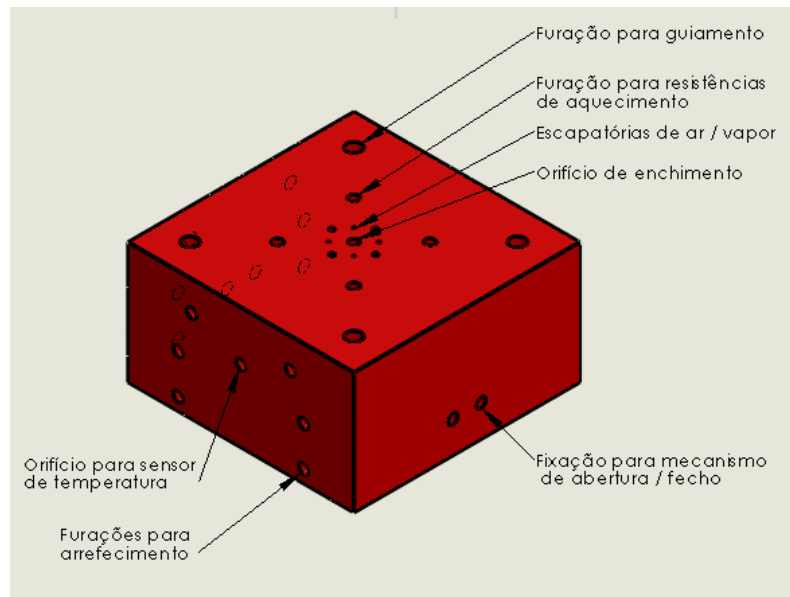
#### **Aplicações**

Construções soldadas para veículos e construção naval; matrizes e utensílios; moldes de vácuo, moldes para calçado; equipamentos mecânicos

### 3.3.3. Cavidade Superior

Como já foi referido, o molde é constituído por uma cavidade com o formato final exterior da peça em estudo. Não foram tidos em conta coeficientes de expansão da cortiça, sendo este um dos objetivos deste estudo.

Por conseguinte, a cavidade (figura 38), é composta por um mecanismo de abertura e fecho do molde, um mecanismo de arrefecimento, um mecanismo de aquecimento (adicionado após serem efetuadas as primeiras experiências), furações para escapatórias de ar / vapor, furações para guiamientos e para sensor de temperatura, e por último, uma furação para enchimento do molde.

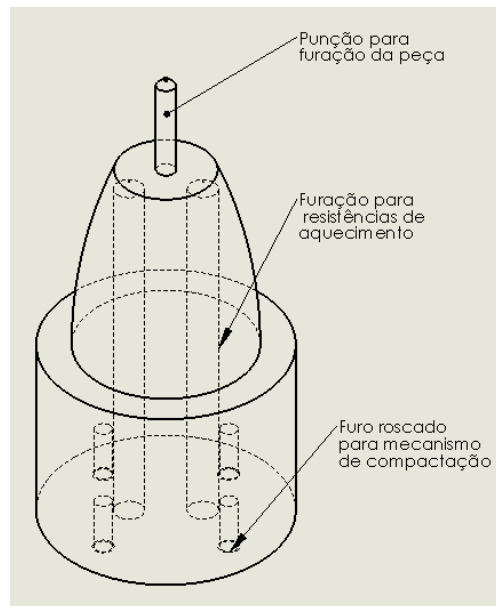


**Figura 38 - Cavidade do molde.**

### 3.3.4. Mandril

O mandril tem como função fornecer calor à peça, proporcionar compressão através do seu movimento linear, furar a peça quando o molde é fechado e conferir a forma interior da peça. Tal como na cavidade, as suas dimensões são tais que, correspondem às cotas finais da peça em aglomerado de cortiça. Por último, já numa fase avançada dos testes, foi efetuada uma furação para que fosse possível a avaliação da temperatura do mandril.

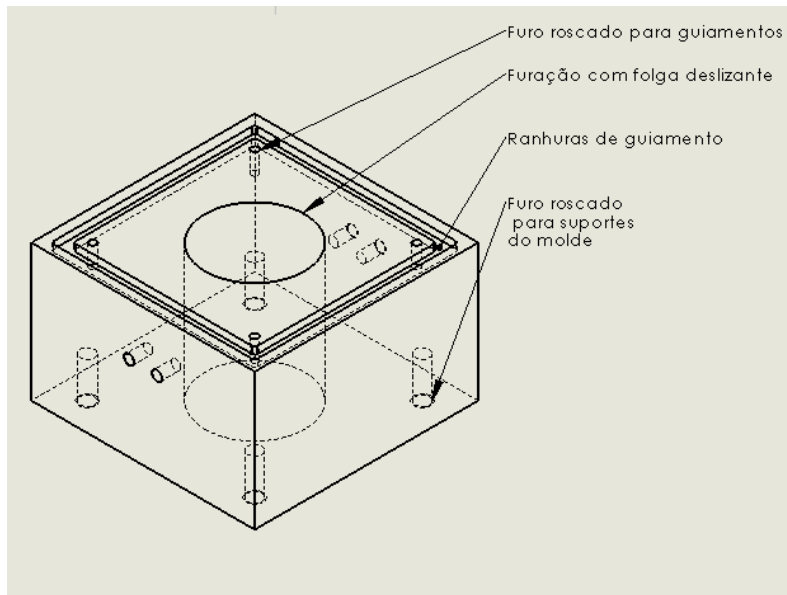
A figura 39 representa uma perspectiva isométrica do mandril, incluindo legenda dos componentes.



**Figura 39 - Mandril.**

### **3.3.5. Cavidade de Enchimento**

Este componente do molde permite obter o excedente de granulado de cortiça necessário para que seja possível a sua compressão até à massa volúmica desejada. Como constituintes tem-se: um furo central que possibilita o deslizamento do mandril no seu interior, furos roscados para fixação dos guiamentos, ranhuras para guiamento do molde aquando do seu fecho e furações roscadas para fixação dos suportes da máquina.

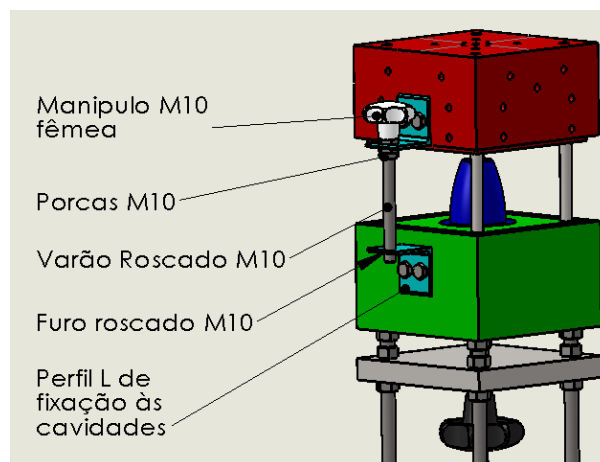


**Figura 40 - Cavidade de enchimento.**

### 3.3.6. Mecanismo de Abertura / Fecho

A abertura e fecho do molde é assegurada recorrendo a dois varões roscados M10, acoplados a dois manípulos. O seu movimento de rotação possibilita uma deslocação linear vertical da cavidade superior do molde sobre os quatro guiamentos.

Este mecanismo simples não foi alvo de dimensionamento específico, pelo que existia o objetivo de ser o mais simples e económico possível. Daí ter-se recorrido a componentes normalizados e de baixo custo. A figura 41 representa o pormenor de um dos mecanismos e respetiva legenda.



**Figura 41 - Mecanismo de abertura do molde.**

### 3.3.7. Guiamento

O guiamento do molde é assegurado por quatro veios de diâmetro 10mm, os quais têm como principal função garantir a centragem correta dos componentes do molde, nomeadamente da cavidade superior e inferior. A sua utilização é essencial durante os movimentos provocados pelo mecanismo de abertura / fecho do molde.

Além do guiamento vertical garantido pelos veios referidos no parágrafo anterior, existe ainda um guiamento assegurado pelas ranhuras da cavidade inferior. Deste modo, quando o molde é fechado, a saliência da cavidade superior introduz-se nas ranhuras da cavidade inferior. Este pormenor de construção garante um alinhamento perfeito entre cavidades, garantindo assim as espessuras das peças a produzir, bem como um correto centramento do mandril em relação à cavidade superior, visto que o mesmo é guiado pelo furo contido na cavidade inferior. A figura 42 ilustra os sistemas de guiamento utilizados no molde.

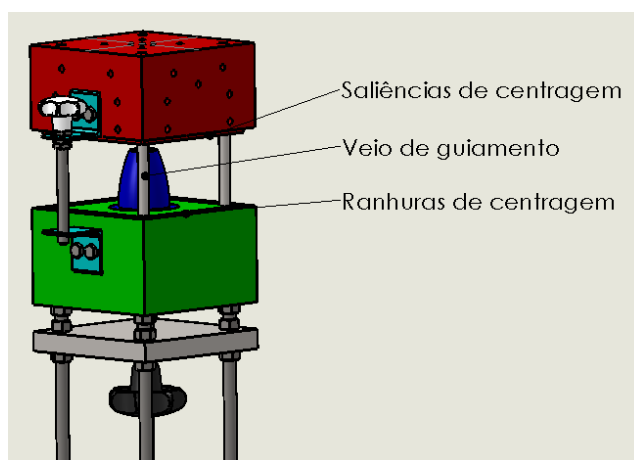


Figura 42 - Componentes de guiamento e centragem do molde.

### 3.3.8. Mecanismo de compactação

A compactação, ou prensagem, da cortiça é uma das etapas do processo de produção de aglomerados de granulado de cortiça, tanto dos negros como brancos. Como referido no primeiro capítulo deste trabalho, o grau de compactação da cortiça está diretamente

relacionado com a massa volúmica final da peça e conseqüentemente com as suas propriedades mecânicas finais.

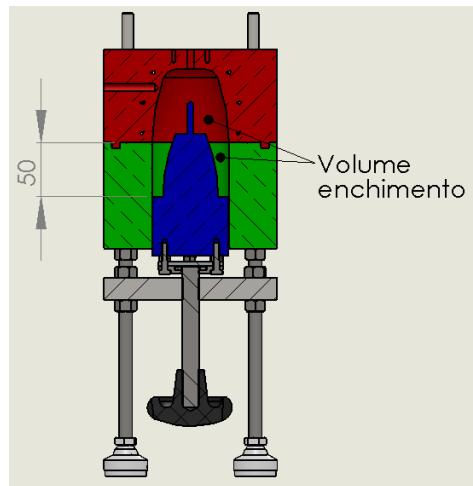
Foi assim definido, tendo em conta o facto de o objetivo deste trabalho ser a produção de peças em aglomerado puro de cortiça, que a massa volúmica final da peça deveria ser de aproximadamente  $160 \text{ kg/m}^3$ , tendo o molde que permitir a compactação do granulado até ao referido valor. Além disso, o facto de poder existir necessidade de alguma resistência mecânica na parte superior da peça (devido à necessidade de suspensão do candeeiro), leva a que o grau de compactação no topo da peça seja superior.

Desta forma, numa primeira abordagem, foi necessário determinar o volume final da peça, recorrendo ao programa de desenho utilizado para a sua conceção. De seguida, foi necessário apurar a massa volúmica do granulado a utilizar. Com a massa volúmica final e a massa volúmica do granulado foi possível verificar qual o volume de material necessário para que fosse atingível a densidade final da peça. Esta primeira abordagem foi essencial para definir a dimensão da cavidade inferior. A tabela 7 resume esta primeira fase.

**Tabela 7 - Dados considerados no dimensionamento da cavidade de enchimento.**

<b>Volume final da peça</b>	0,119686 $\text{dm}^3$
<b>Massa volúmica final</b>	160 $\text{g/dm}^3$
<b>Massa volúmica granulado</b>	60 $\text{g/dm}^3$
<b>Volume de enchimento</b>	0,310048 $\text{dm}^3$

Com a condicionante do volume de enchimento da tabela 7, juntamente com a restrição de maior compactação na zona superior da peça, calculou-se o volume da cavidade de enchimento do molde. No fundo, subtraindo ao volume de enchimento o volume final da peça, obtém-se o volume necessário na cavidade inferior. Com o volume anterior e com o diâmetro do mandril de compressão, chegou-se a uma compactação desejada com um curso de 50mm, conforme a figura 43.



**Figura 43 - Volume de enchimento do molde com o mandril recuado.**

Além da determinação do volume de enchimento, revela-se importante o conhecimento da força de compressão necessária para que o mandril se desloque os 50mm. Desta forma, foi tido como valor de referência 15 kgf/cm<sup>2</sup>. Segundo as boas práticas da indústria corticeira, com este valor de pressão aplicado ao granulado de cortiça é possível obter aglomerados com massas volúmicas na ordem dos 400 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, mais do que suficiente tendo em conta os requisitos do molde.

Assim, multiplicando a área projetada do mandril pelo valor da tensão de compressão, obtém-se a força necessária para a compactação do granulado em questão, conforme a equação 9.

$$F_{Comp.} = \frac{\pi D^2}{4} \times \sigma_{comp.} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

$F_{Comp.}$  – Força de compressão necessária para deslocação do mandril [kgf];

$\frac{\pi D^2}{4}$  – Área projectada do mandril [cm<sup>2</sup>];

$\sigma_{comp.}$  – Tensão de compressão [kgf/cm<sup>2</sup>].

E obtendo-se o seguinte resultado:

$$F_{Comp.} = \frac{\pi \times 7,1^2}{4} \times 15 = 594 \text{ kgf}.$$

Como a movimentação do mandril seria assegurada pela utilização de um varão de rosca métrica, foi necessário confirmar se o mesmo seria suficiente para garantir a desmultiplicação necessária para que o seu acionamento manual fosse possível.

Desta forma, teve-se em consideração o tipo de manípulo utilizado para a rotação manual do fuso, bem como o passo do varão roscado, neste caso M16 x 2 mm. Sendo utilizada a equação 10 (Fischer, Gomeringer, & et al, 2009) para determinação da força a aplicar no manípulo por forma a obtermos a movimentação e compactação necessárias.

$$F_1 \times 2\pi \times l = F_2 \times P \qquad \text{Equação 10}$$

Onde:

$F_1$  – Força a aplicar ao manípulo (valor a determinar) [kgf];

$l$  – raio do manípulo utilizado [m];

$F_2$  – Força a aplicar pelo varão roscado [kgf];

$P$  – Passo da rosca utilizada [m].

Obteve-se uma força a aplicar ao manípulo de 41 kgf, ou seja, perfeitamente aplicável manualmente. Além disso, e de maneira a garantir um correto dimensionamento do mecanismo, foi ainda necessário garantir uma espessura mínima na chapa onde existia o furo roscado M16. Recorreu-se novamente ao *Manual de Tecnologia Metal Mecânica*, para determinar a profundidade mínima de aparafusamento em roscas. Neste caso, para uma rosca do tipo M16 a profundidade mínima é determinada multiplicando o diâmetro da rosca por 1,2. Obtendo-se portanto uma espessura mínima de chapa de 19mm, tendo-se utilizado a medida comercial acima, 20mm.

Deve notar-se que para os cálculos anteriores não foi tida em conta a força de atrito relacionada com o deslizamento do mandril dentro da cavidade inferior, visto que existe

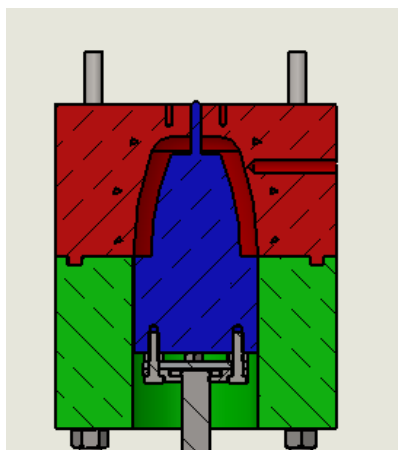
um ajuste deslizante entre as duas superfícies, revelando-se desprezáveis as forças de atrito resultantes deste deslizamento em comparação com a restante força envolvida.

### **3.3.9. Alimentação do Molde**

O sistema de alimentação do molde teria de garantir o enchimento das cavidades após o seu fecho e assegurar um enchimento sem recurso a fluidos de transporte. Ou seja, ao contrário da injeção de cortiça com outros polímeros, onde o polímero, além da função de ligante e componente estrutural da peça, tem também como função a condução da cortiça através dos canais de alimentação e pelas cavidades do molde.

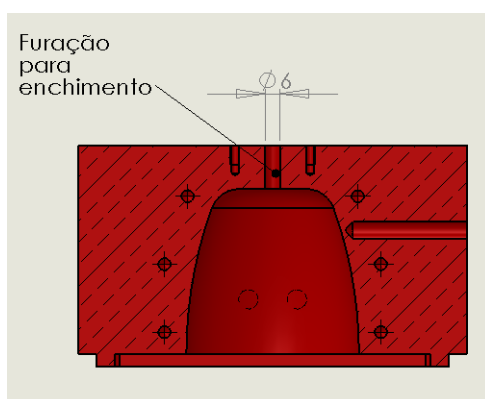
Como a intenção deste trabalho era apenas a utilização de cortiça, foi necessário recorrer a outro tipo de alimentação. A mesma foi inspirada nos alimentadores vibratórios utilizados na indústria rolheira, mas também nos plásticos e noutros produtos granulares. Ou seja, através da aplicação de vibração no molde seria possível introduzir o granulado de cortiça no interior do mesmo através de um pequeno orifício, garantindo simultaneamente o preenchimento completo das cavidades.

Primeiramente, durante o desenho da cavidade superior do molde e do mandril de aperto foi tido em conta o formato da peça final, com ênfase para o orifício no topo, o qual será utilizado para passar o cabo de alimentação para o candeeiro. Esse furo revelou-se o ponto ideal para a alimentação, pelo facto de eliminar a necessidade de canais de alimentação que teriam de ser aparados à posteriori. Conforme se pode constatar na figura 44, o movimento do mandril conjugado com o seu punção superior, elimina o canal de alimentação e efetua, em simultâneo, a furação no topo da peça.



**Figura 44 - Detalhe do molde fechado e com mandril na posição de topo.**

Outro aspeto tido em consideração foi a dimensão do orifício. Primeiramente, a peça final teria de ter um orifício de diâmetro tal que possibilitasse a passagem do cabo de alimentação. Por outro lado, a dimensão do orifício no molde teria de ser suficiente para que os granulados passassem sem dificuldade. Como o valor máximo da granulometria utilizada é de 2 mm, o furo da peça, diâmetro 6 mm, é suficiente para que os granulados passem sem dificuldade.



**Figura 45 - Cavidade superior do molde.**

A vibração do molde foi conseguida com recurso a um vibrador elétrico controlado através de um conversor de frequência no qual se poderia controlar a intensidade de vibração. A força centrífuga gerada pelo mesmo teria de ser suficiente para garantir uma vibração mínima por todo o molde, sendo a sua intensidade controlada com recurso a um conversor de frequência.

Como na literatura dedicada à indústria corticeira não foi encontrada qualquer referência à intensidade de vibração necessária para movimentar granulado de cortiça, determinou-se uma força centrífuga mínima exigida ao vibrador para que este fosse capaz de alimentar o molde.

Para isso recorreu-se à fórmula expressa na equação 11, onde é possível determinar a força centrífuga ( $F_c$ ) tendo em consideração a massa total envolvida ( $m$ ) em kg, a aceleração ( $a$ ) em  $m/s^2$  e a amplitude de vibração ( $S$ ) em mm (BRECON, 2015).

$$F_c = \frac{m \times a \times S}{1000} \quad \text{Equação 11}$$

Considerando que a massa total do molde é de aproximadamente 25 kg e que a aceleração, tendo em conta um motor de acionamento de 3000 rotações por minuto, é de  $30 m/s^2$  (BRECON, 2015), sendo o deslocamento pretendido de 0,6 mm, tem-se que a força centrífuga necessária deveria ser no mínimo de 450 N.

Outro aspeto importante está relacionado com a forma como o granulado é depositado para ser sujeito à vibração. Como a alimentação se dá na parte superior do molde, basta garantir um fluxo de granulado não muito intenso e com um compasso de espera suficiente para que a vibração consiga introduzir todo o granulado no interior do molde.

Quanto ao posicionamento do sistema de vibração (figura 46), o mesmo teria de ser posicionado de forma a garantir uma vibração uniforme por todo o molde, além de ter de estar associado a uma parte fixa do mesmo. Por conseguinte, optou-se pela fixação do vibrador na cavidade inferior, a qual é responsável pelo volume de enchimento. Nesta posição o vibrador permite também uma melhor compactação do granulado no interior do molde.



Figura 46 - Vibrador de alimentação / compactação do granulado de cortiça.

### 3.3.10. Aquecimento

Inicialmente, todo o processo foi pensado tendo em conta a utilização de vapor de água sobreaquecido como meio de transmissão de calor ao granulado de cortiça, tal como é utilizado nos granulados expandidos ao nível industrial. No entanto, devido a constrangimentos relacionados com uma linha de vapor disponível que satisfizesse as exigências, e de modo a verificar a hipótese de se dispensar o uso de vapor de água, optou-se pela utilização de resistências elétricas para aquecimento do molde.

Este aquecimento seria centrado no mandril, propagando-se para a cortiça através do mesmo, sendo depois injetado vapor de água saturado que, em contacto com o mandril a uma temperatura entre os 300 e 350°C, iria promover a exsudação das resinas da cortiça.

Desta forma, a potência e quantidade de resistências a utilizar foi dimensionada tendo em conta: a massa de alumínio a aquecer; a massa de cortiça; a temperatura inicial e final; o tempo de aquecimento e o calor específico da cortiça e do alumínio (equação 12) (Fischer, Gomeringer, & et al, 2009). Sendo o rendimento de uma resistência elétrica próximo de 100%, a equação 12 não contempla nenhum coeficiente que inclua o rendimento da resistência elétrica.

$$P = \frac{m_{cortiça} \times c_{p_{cortiça}} \times \Delta T + m_{aluminio} \times c_{p_{aluminio}} \times \Delta T}{t} \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

$P$  – Potência das resistências de aquecimento [W];

$m$  – massa de alumínio utilizada no mandril e massa de cortiça [kg];

$c_p$  – calor específico do alumínio / cortiça [J/(kg.°C)];

$\Delta T$  – Diferença entre a temperatura pretendida e a temperatura final [°C];

$t$  – tempo em segundos.

Os dados utilizados para o cálculo da potência de aquecimento necessária são resumidos na tabela 8.

**Tabela 8 - Dados utilizados para o cálculo da potência de aquecimento do molde.**

			<b>Fonte:</b>
<b>Massa de alumínio</b>	0,5	Kg	---
<b>Massa de granulado de cortiça</b>	0,019	kg	---
<b>Calor específico do alumínio</b>	940	J/(kg.°C)	(Fischer, Gomeringer, & et al, 2009)
<b>Calor específico da cortiça</b>	2000	J/(kg.°C)	(Fortes, Rosa, & Pereira, 2004)
<b>Temperatura pretendida</b>	350	°C	---
<b>Temperatura inicial</b>	20	°C	---
<b>Tempo de aquecimento</b>	300	Segundos	---

A potência determinada foi de aproximadamente 600 W, tendo-se instalado duas resistências de cartucho no interior do mandril, cada uma com 350 W, diâmetro 8 mm e comprimento 100 mm.

O controlo da temperatura é efetuado com recurso a um termopar e dois controladores do tipo “PID”. Posteriormente, de maneira a evitar queimaduras durante a utilização do molde, bem como diminuir as perdas de calor, foram instalados isolamentos em lã de vidro.



**Figura 47 - Controladores de temperatura utilizados.**

Já na fase experimental, chegou-se a conclusão que este tipo de aquecimento não seria o mais indicado, tendo sido feitas algumas alterações no sistema. O detalhe dessas alterações será abordado adiante neste trabalho.

### **3.3.11. Arrefecimento**

Com vista a que fosse possível existir um controlo da temperatura de extração da peça, bem como um arrefecimento mais rápido do molde, levando a que o tempo de ciclo de cada peça fosse o mais curto, é necessário a aplicação de um sistema de arrefecimento.

À semelhança de outros tipos de moldes para outras indústrias, o arrefecimento do molde é feito recorrendo a canais onde circula um fluido, neste caso água, para o qual é transferido o calor contido no molde.

O Manual do Projetista de Moldes de Plástico inclui uma secção dedicada ao dimensionamento dos canais de refrigeração, esta metodologia foi adotada neste trabalho, como forma de simplificação do processo.

Importa antes de mais referir que o arrefecimento é efetuado em circuito fechado, sendo portanto necessário um arrefecedor externo para o fluido em circulação. Assim sendo, foi utilizado o arrefecedor do laboratório de materiais compósitos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Desde logo, a cavidade superior do molde foi dimensionada tendo em conta o espaço necessário para alojamento dos canais de refrigeração.

A abordagem ao arrefecimento começou pelo balanço térmico do molde. Neste balanço, o somatório do calor transferido teria de ser igual a zero, conforme a equação 13.

$$\sum_i \dot{Q}_i = \dot{Q}_{TM} + \dot{Q}_{PI} + \dot{Q}_{Amb.} = 0 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$\dot{Q}_{TM}$  – Fluxo de calor transferido pelo meio arrefecedor;

$\dot{Q}_{PI}$  – Fluxo de calor cedido ao alumínio à temperatura de utilização;

$\dot{Q}_{Amb.}$  – Fluxo de calor cedido ao ambiente através das perdas por condução, convecção e radiação (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

Na equação anterior a incógnita a retirar é a do calor a transferir através do meio arrefecedor [ $\dot{Q}_{TM}$ ], sendo que, as outras incógnitas são calculáveis com recurso aos dados de projecto e às equações apresentadas abaixo.

$$\dot{Q}_{PI} = \frac{m \times (h_{int.} - h_{ext.})}{t} \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

$m$  – massa de alumínio [kg];

$h_{int.}$  – entalpia do alumínio à temperatura de trabalho [J/kg];

$h_{ext.}$  – entalpia do alumínio à temperatura de extração [J/kg];

$t$  – Tempo [seg.] (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

A equação 14 não foi utilizada neste dimensionamento pelo facto de a mesma representar uma forma de cálculo para a determinação do calor cedido pelo mandril de alumínio ao molde, no caso de este ser introduzido em contacto com o mesmo já a uma temperatura elevada. Como aquilo que acontece é que o calor é fornecido através de resistências de aquecimento, considerou-se que o fluxo de calor cedido ao molde seria igual ao das resistências elétricas de aquecimento.

$$\dot{Q}_{Amb.} = \dot{Q}_{cond.} + \dot{Q}_{conv.} + \dot{Q}_{rad.} \quad \text{Equação 15}$$

Na equação anterior, considerou-se o calor cedido pelo molde através da condução muito próximo de zero, pelo facto de o mesmo ser um todo e encontrar-se suspenso por quatro pés de área relativamente reduzida. Assim sendo, considerou-se apenas as perdas por convecção e radiação.

$$\dot{Q}_{conv.} = A_{exp.} \times \alpha \times (T_{amb.} - T_{mol.}) \quad \text{Equação 16}$$

Sendo:

$A_{exp.}$  – Área exposta do molde [ $m^2$ ];

$\alpha$  – coeficiente de transferência de calor para convecção livre do ar ( $\approx 15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

$T_{amb.}$  – Temperatura ambiente [ $^\circ\text{C}$ ];

$T_{mol.}$  – Temperatura do molde [ $^\circ\text{C}$ ] (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

$$\dot{Q}_{rad.} = A_{exp.} \times \varepsilon \times C_{rad.} \times \left( \left( \frac{\theta_{amb.}}{100} \right)^4 - \left( \frac{\theta_{mol.}}{100} \right)^4 \right) \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$A_{exp.}$  – Área exposta do molde [ $m^2$ ];

$\varepsilon$  – fator de emissão (0,25);

$C_{rad.}$  – Coeficiente de radiação do corpo negro ( $5,77 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ );

$\theta$  – temperatura absoluta ( $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,15$ ) (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

Considerando as equações 15, 16 e 17, foram utilizados os dados da tabela 9 para determinação do fluxo de calor cedido ao meio ambiente.

**Tabela 9 - Dados utilizados para o cálculo do fluxo de calor cedido ao meio molde.**

$A_{exp.}$	0,1613	m <sup>2</sup>
$T_{amb.}$	20	°C
$T_{mol.}$	150	°C

**Tabela 10 - Resultados da aplicação das equações 15, 16 e 17.**

$\dot{Q}_{conv.}$	-314	W
$\dot{Q}_{rad.}$	-57	W
$\dot{Q}_{Amb.}$	-371	W

Tendo em conta os resultados da tabela 10 e a equação 13, foi possível determinar o fluxo de calor transferido pelo meio arrefecedor.

$$\dot{Q}_{TM} = 700 - 371 = 329 \text{ W}$$

Com o valor calculado anteriormente e considerando um aumento de temperatura do fluido não superior a 2°C, é possível determinar o caudal de fluido necessário para garantir a diminuição de temperatura necessária. Para isso recorre-se à equação 18.

$$\dot{m} = \frac{|\dot{Q}_{TM}|}{C \cdot \Delta T} \quad \text{Equação 18}$$

Em que:

$\dot{m}$  – caudal de fluido [kg/s];

$C$  – Calor específico do fluido (água – 4186 J/kg °C);

$\Delta T$  – Variação de temperatura do fluido [°C].

Considerando os dados, o caudal de fluido arrefecedor deveria ser no mínimo de 0,04 kg/s. O que, corresponde a um caudal de 2,35 L/min. de fluido. Com este valor, e recorrendo a

uma tabela que relaciona os caudais com o diâmetro das linhas de água, chega-se a um diâmetro de 6 mm.

Outra condicionante dos sistemas de arrefecimento prende-se com o comprimento mínimo dos canais de refrigeração. Deve-se portanto verificar se o comprimento é suficiente para garantir a transferência de calor, através da expressão (equação 19):

$$L = \frac{2|\dot{Q}_{TM}|e}{k \pi d \Delta T} \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

$L$  – comprimento mínimo [m];

$e$  – distância dos canais à superfície moldante [m];

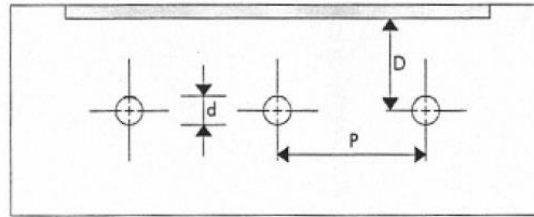
$k$  – condutividade térmica do material [J/m.s.°C];

$d$  – diâmetro dos canais [m];

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre a cavidade e o líquido arrefecedor [°C] (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).

Da aplicação da equação 19 resulta um comprimento mínimo dos canais de refrigeração de aproximadamente 50 mm. A cavidade superior apresenta um comprimento total dos canais de aproximadamente 85 mm, o que se revela mais que suficiente para garantir o fluxo de calor em questão.

Por último, o posicionamento dos canais de refrigeração deve obedecer à relação sugerida na figura 48, para que a temperatura nas superfícies moldantes seja mais uniforme (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).



$d$  = diâmetro dos canais de refrigeração  
 $P$  = passo entre canais - 2,5 a 3,5  $d$   
 $D$  = profundidade dos canais - 0,8 a 1,5  $P$

**Figura 48 - Dimensionamento das distâncias entre furações de águas em elementos moldantes (Pontes, Brito, Matos, Araújo, & Mendes, 2004).**

### 3.4. Procedimento Experimental

Este ponto tem como objetivo expor o procedimento geral utilizado para a manipulação e fabrico das peças em estudo através do processo em análise.

1. Primeiramente, com o molde aberto, ou seja, a cavidade superior no seu posicionamento mais elevado, é empregue um desmoldante. Este é aplicado na cavidade superior e no mandril recorrendo a *spray* ou pincel, consoante o tipo de desmoldante utilizado (figura 49).



**Figura 49 - Aplicação de desmoldante no molde.**

2. De seguida, o mandril é deslocado para a posição de enchimento, através da rotação do fuso do sistema de compressão. A amplitude de abertura do mandril influencia diretamente a quantidade de granulado utilizado e o grau de compactação (figura 50).



**Figura 50- Mandril na posição de enchimento.**

3. Após posicionamento do mandril a cavidade superior é deslocada em direção à cavidade inferior através do movimento de rotação dos fusos acoplados à mesma. Depois de estar em posição é conferido um ligeiro aperto para garantir um fechamento do molde correto e sem desvios.



**Figura 51 - Fecho do molde.**

4. Depois do molde estar corretamente encerrado, é ligado o sistema de vibração e inicia-se o enchimento da cavidade. Este procedimento é feito através da deposição de pequenas porções de granulado na parte superior do molde até o mesmo se encontrar cheio. Importa referir que, antes de se iniciar a deposição do granulado, este é previamente pesado. Ou seja, como é conhecido o volume da câmara de enchimento e a massa volúmica do

granulado, é possível determinar a massa de granulado a introduzir. Esta metodologia facilita a tarefa de confirmar se o enchimento do molde está completo.



**Figura 52 - Enchimento do molde.**

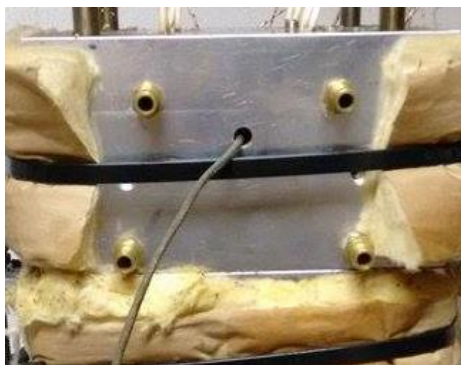
5. De seguida, o granulado contido dentro do molde é comprimido pelo mandril enquanto a vibração continua ativa. Deste modo garante-se uma distribuição mais uniforme do granulado por toda a cavidade. O acionamento é feito através do manípulo instalado na parte inferior do molde (figura 53). Quando o mandril chega à sua posição final, é possível ver, no topo do molde, o punção saliente. Isto indica que a compressão do granulado foi completa.



**Figura 53 - Compressão do granulado de cortiça no interior do molde.**

6. Procede-se posteriormente ao aquecimento do molde com recurso às resistências elétricas instaladas. A sua temperatura é definida e acompanhada através dos controladores apresentados na figura 47.

7. Quando a temperatura definida é atingida, poderá existir um tempo de estágio a essa temperatura, ou então é efetuado um arrefecimento do molde recorrendo aos canais de refrigeração. Este procedimento consiste na ligação de mangueiras de circulação de água, que é bombeada em circuito fechado. Pode ser definida uma temperatura máxima para o fluido de arrefecimento, sendo também possível acompanhar a temperatura do molde através do termopar instalado. O acoplamento das mangueiras é garantido através de um sistema de união rápida (figura 54).



**Figura 54 - Conexões do sistema de arrefecimento.**

8. Por último o molde é aberto por deslocamento da cavidade superior (figura 55). A peça é depois retirada com o auxílio de uma espátula e por movimentação do mandril no sentido descendente (figura 56). No final a peça é sujeita a medições e inspeção visual.



**Figura 55 - Abertura do molde.**



**Figura 56 - Desmoldagem total da peça.**

### **3.5. Resultados Experimentais**

Neste ponto é abordado o desenrolar das experiências efetuadas com o molde, sendo introduzidos novos melhoramentos ao longo do processo experimental, incluindo pequenas alterações no molde. A abordagem aos resultados segue a cronologia dos acontecimentos e o procedimento experimental referido no ponto 3.4. não foi alterado ao longo das experiências realizadas.

Embora existisse uma noção de como se poderia obter o produto final, nomeadamente a temperatura a aplicar e o tempo de aplicação da mesma, existia uma incógnita no que diz respeito ao comportamento perante um molde de formas mais complexas. Por conseguinte, as variáveis em estudo são muitas e os primeiros trabalhos basearam-se na “tentativa e erro” até começarem a ser alcançados alguns resultados.

Os detalhes dos ensaios realizados podem ser consultados no anexo B.

#### **3.5.1. Primeira fase de ensaios**

O primeiro ensaio realizado no laboratório de materiais compósitos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP, consistiu no simples enchimento do molde com recurso à vibração e sem aplicação de temperatura. Este primeiro ensaio teve como objetivo verificar se o enchimento do molde era completo e a distribuição do granulado uniforme.

Seguidamente foi efetuado novo ensaio, este já com todo o procedimento experimental. Foi utilizado um desmoldante à base de silicone com aplicação por aspersão. Verificou-se que a primeira peça ficou fixa ao mandril e que foi muito difícil a sua desmoldagem. Por sua vez, o granulado foi utilizado sem adição de água e a temperatura do mandril foi de 325°C, enquanto a temperatura do restante molde era de 75°C. O aperto dado ao mandril foi de 25mm.

Após este primeiro ensaio completo, e tendo em conta a dificuldade na desmoldagem da peça, foi efetuado um novo ensaio onde se reforçou a quantidade de desmoldante no mandril. O tempo de aquecimento foi de 19 minutos e não foi efetuado um arrefecimento do molde antes da sua abertura. O resultado obtido está patente na figura 57. Nesta pode-se verificar duas tonalidades distintas na peça, uma zona onde a cor da superfície é negra e

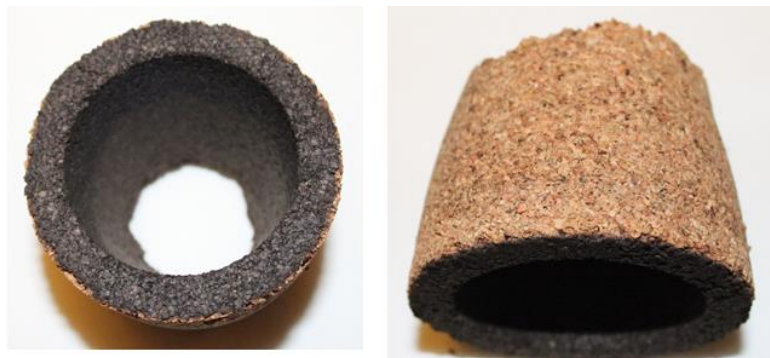
que corresponde ao contacto com o mandril (temperatura mais elevada) e uma outra zona onde a cor se assemelha mais à cortiça natural e portanto, uma zona de menor temperatura.



**Figura 57 - Peça obtida no primeiro ensaio.**

Outro aspeto importante deste ensaio está relacionado com a desintegração da parte exterior da peça, ou seja, a quantidade de desmoldante insuficiente, aliada a uma temperatura inferior da cavidade superior em relação ao mandril, contribuem para que a desmoldagem seja difícil e exista uma falta de consistência na superfície exterior da peça. Os parâmetros deste ensaio são detalhados no anexo B1.

Como forma de confirmar os parâmetros abordados anteriormente, foi efetuado um novo ensaio de onde resultou a peça representada na figura 58. Apesar de a superfície exterior da peça se ter apresentado com um bom acabamento quando o molde foi aberto, a sua desmoldagem revelou-se difícil e levando a que a força aplicada na retirada da peça leva-se à desintegração do seu topo.



**Figura 58 - Peça obtida no segundo ensaio.**

Olhando aos resultados obtidos, onde a falta de consistência e a dificuldade em desmoldar a peça se revelaram os principais entraves, realizou-se um novo ensaio onde se pretendeu aproximar um pouco mais o processo em estudo ao já conhecido processo industrial que lhe serviu de inspiração. Ou seja, visto que o processo original utiliza vapor de água sobreaquecido, o qual reforça a exsudação das resinas contidas na cortiça, o mesmo será também usado no processo em estudo. No entanto, como logisticamente não foi possível obter uma linha de vapor, optou-se por adicionar água ao granulado antes deste ser introduzido no interior do molde (anexo B2). Mantiveram-se portanto as restantes variáveis à exceção da temperatura da cavidade exterior, a qual foi elevada até aos 110°C. Foi também aplicado um tempo de estágio à temperatura final e um arrefecimento até uma temperatura de extração de 50°C. O resultado está patente na figura 59.



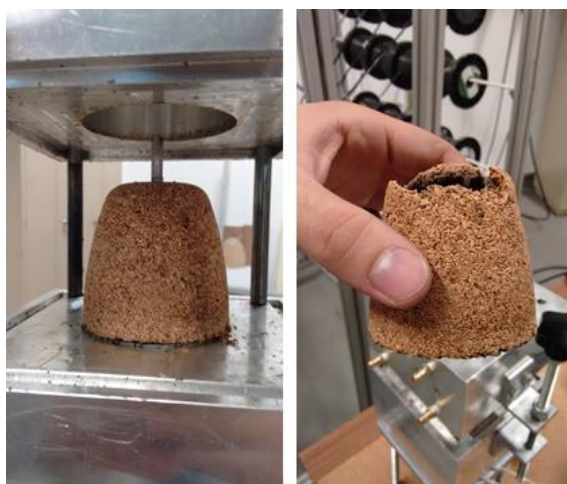
**Figura 59 - Resultado obtido na terceira série de ensaios.**

Antes de mais importa realçar a dificuldade sentida na alimentação do molde. O facto de o granulado de cortiça se encontrar húmido dificultou bastante a sua introdução devido à resistência oferecida à vibração. Depois de efetuada a prensagem do granulado foi possível constatar a saída de alguma água pela folga existente entre a cavidade inferior e o mandril. Além disso, e como seria de esperar, com o aumento da temperatura foi audível um ruído característico da água em ebulição, sendo visível a saída de vapor de água pelas furações do molde preparadas para o efeito.

O resultado obtido (figura 59) revela uma peça mais flexível e com uma desmoldagem mais facilitada, no entanto verifica-se uma fragilidade constante na parte inferior da peça, visível na foto da esquerda apresentada na figura 59. Nesta fase é também visível a estratificação dos grânulos de cortiça ao longo da peça. No fundo, devido à aplicação da

vibração, existe uma tendência para que as granulometrias menores se juntem no fundo do molde. Por outro lado, nota-se também uma expansão diminuta dos grãos de cortiça mesmo quando se adiciona a água. Essa menor expansão, comparativamente ao processo tradicional, juntamente com um grau de compactação menor da zona inferior da peça, comparativamente à zona superior, levam a que a mesma fique fragilizada.

Prosseguiu-se então a novos ensaios alterando o teor de água aplicado, a temperatura do molde, a temperatura de extração e o tempo de estágio. Apesar das várias tentativas, os problemas relacionados com a desmoldagem da peça e a sua fragilidade continuavam presentes, existindo várias peças que se desintegraram no processo de desmoldagem, principalmente ao serem retiradas do mandril (figura 60).



**Figura 60 - Peças obtidas na quarta série de ensaios.**

Esta série de ensaios, da qual resultaram bastantes peças desintegradas semelhantes à figura 60, levaram a que algumas alterações fossem ponderadas. Primeiramente, existia uma relação que tinha de ser analisada e prendia-se com o facto de peça ser facilmente desmoldada da cavidade superior, contrariamente ao que acontecia no mandril. Como, a temperatura atingida pelo mandril era mais de três vezes superior àquela que era registada na cavidade superior, poderia levar a que o desmoldante utilizado apresentasse eficácias diferentes. Outro ponto analisado foi a questão do ângulo de saída da peça, o qual é muito mais favorável na cavidade superior. Além disso, o punção utilizado para furar a peça constitui um fator de aderência extra ao mandril. Ainda analisando a desmoldagem, verificou-se que o acabamento superficial do mandril não era o melhor.

Outro aspecto visível nestas primeiras séries de ensaios está relacionado com a uniformização da temperatura ao longo do molde. Sendo a cortiça um excelente isolante térmico, a temperatura aplicada ao mandril era transferida com dificuldade ao granulado mais afastado do centro. O uso do vapor permite esta uniformização, algo que não foi possível comprovar experimentalmente neste molde. Este aspecto levava a que, visualmente, existissem diferenças consideráveis. No entanto, as diferenças não eram apenas visuais, pois mecanicamente era visível que as características de uma superfície em relação à outra eram muito diferentes, tanto na sua resistência ao toque como na suavidade. O simples gesto de fricção provocado por uma unha na superfície menos escura provocava a desintegração de alguns grãos.

### **3.5.2. Alterações realizadas no molde**

Atendendo aos aspetos referidos no parágrafo anterior, foram efetuadas algumas alterações no molde. A primeira alteração, e mais importante, visava a uniformização da temperatura. Para isso foram instaladas quatro resistências de aquecimento na cavidade superior. Estas, ao contrário das usadas no mandril, não foram dimensionadas. No fundo, devido à ausência de espaço suficiente para incorporação de resistências mais potentes na cavidade superior, foram instaladas resistências com as dimensões possíveis (figura 61). Existindo portanto o inconveniente de o aquecimento ser mais demorado.



**Figura 61 - Localização das resistências adicionadas à cavidade superior.**

A outra alteração efetuada nesta fase continua a estar relacionada com a uniformização da temperatura. Como forma de garantir igual temperatura no mandril e na cavidade, e tendo em conta a diferença de potência instalada na cavidade e no mandril, foram instalados dois

termopares. Um deles na cavidade superior, o qual já estava em utilização, e um outro no mandril, através de uma furação adicional. Esta alteração, aliada à utilização de dois controladores de temperatura independentes, permite garantir uma temperatura uniforme em todo o molde.

Outra operação efetuada nesta fase foi o polimento do mandril. Como a desmoldagem da peça se revelou um problema nos ensaios iniciais, a rugosidade da superfície do mandril poderia ter influência direta nestes factos, pelo que a mesma foi melhorada através de um polimento manual.

### **3.5.3. Segunda Fase de Ensaios**

Com as alterações efetuadas, procedeu-se à realização de mais ensaios com vista à obtenção de uma peça de qualidade.

Numa primeira fase, tentou-se aproximar a temperatura da cavidade à do mandril, optou-se pelos 250°C em ambas as partes. O desmoldante utilizado foi óleo parafínico e o aperto de 30 mm. O restante procedimento experimental manteve-se inalterado e não foi aplicada refrigeração no molde antes da desmoldagem. A peça obtida, visível na figura 62, apresentava uma cor castanho-escuro e era particularmente mais dura e seca do que as anteriores, o que levou a que o procedimento de desmoldagem desse origem à sua quebra. A diferença entre o interior e o exterior da peça já não se revelou tao acentuado. No entanto, a peça, além de extremamente seca, continuava a apresentar fragilidade na sua parte inferior.



**Figura 62 - Primeira peça obtida na segunda fase de ensaios.**

Com os defeitos apontados nestes primeiro ensaio da segunda fase de testes, foi decidido efetuar uma nova experiência, desta vez com a temperatura do mandril ligeiramente superior à da cavidade. Os resultados obtidos não foram novamente os melhores, persistindo os mesmos problemas de fragilidade na parte inferior da peça.

Optou-se novamente pela uniformização da temperatura, mas desta vez baixando o valor para os 200°C. O desmoldante utilizado continuou a ser o óleo parafínico e o aperto dado pelo mandril foi de 40 mm. Deste modo, pretendia-se que a peça tivesse alguma flexibilidade e maior resistência ao esforço efetuado ao desmoldar. Simultaneamente, era esperado que o efeito do desmoldante fosse maior devido ao facto de a temperatura aplicada ser menor.

O resultado obtido é expresso pela figura 63. O seu resultado revela que a utilização de uma menor temperatura permite obter uma melhor desmoldagem, um aspeto mais uniforme e uma peça mais flexível. Apesar disso, as diferenças ao nível da compactação entre as zonas superior e inferior da peça continuam a prejudicar o seu desempenho.



**Figura 63 - Peça obtida com o molde a uma temperatura constante.**

Como forma de contrariar os factos apresentados no parágrafo anterior, decidiu-se aumentar o aperto dado à peça para os 50 mm. Mantiveram-se as temperaturas do mandril e da cavidade, bem como a temperatura de extração. Obtiveram-se peças com o mesmo problema relativo a fragilidade inferior, embora de forma menos acentuada. Em contrapartida, o topo da peça revelava-se bastante sólido e resistente devido à compactação gerada (figura 64), na proporção de 5:1. Este facto confere alguma segurança no que toca à possível fixação da peça, no entanto, a fragilidade inferior carecia de uma resolução.



**Figura 64 - Elevado grau de compactação verificado no topo da peça.**

Nesta fase, e tentando de alguma forma resolver o problema da fragilidade da parte inferior da peça, recorreu-se à adição de água ao granulado antes de este ser colocado no molde. No fundo, atendendo ao que é mencionado por *Fortes, Rosa e Pereira (2004)*, “O aquecimento,..., em vapor de água origina uma maior expansão e uma menor redução de massa do que iguais aquecimentos ao ar”. Por conseguinte, na impossibilidade de se utilizar vapor de água, adicionou-se 5% de água ao granulado como forma de este possibilitar uma melhor exsudação das resinas contidas na cortiça, ao mesmo tempo que, na fase de aquecimento, iria expandir e provocar uma maior compressão da cortiça contra o molde.

Os resultados obtidos foram bastante melhores e são apresentados na figura 66. Esta peça apresenta melhores propriedades na sua zona inferior, além de uma maior flexibilidade e de uma maior facilidade de desmoldar. Considerou-se portanto a formulação ideal para produção deste tipo de peças.



**Figura 65 - Peça obtida com a adição de 5% de água.**

Apesar disso, o problema da diferença de compactação não fica resolvido com a adição de água. Esta apenas garante uma melhor consistência. Para que o problema seja resolvido, são necessárias alterações no molde, as quais obrigavam à sua redefinição, conforme será abordado no ponto dedicado aos trabalhos futuros.

Como forma de possibilitar uma melhor compreensão das melhorias conseguidas ao longo do trabalho experimental, é apresentada a figura 66, onde se proporciona uma visão cronológica das peças obtidas, com ênfase para a peça final, já com montagem do projetor LED.



**Figura 66 - Cronologia das peças obtidas.**

### 3.5.4. Estabilidade Dimensional

Um dos objetivos deste trabalho está relacionado com a estabilidade dimensional da peça, mais propriamente a diferença de dimensões entre o molde e a peça final, logo após a desmoldagem e passadas algumas horas.

Para isso, foram efetuadas repetições de ensaios com a formulação considerada ideal, com o objetivo de serem efetuadas medições que permitissem determinar qual o valor da contração das peças após desmoldagem.

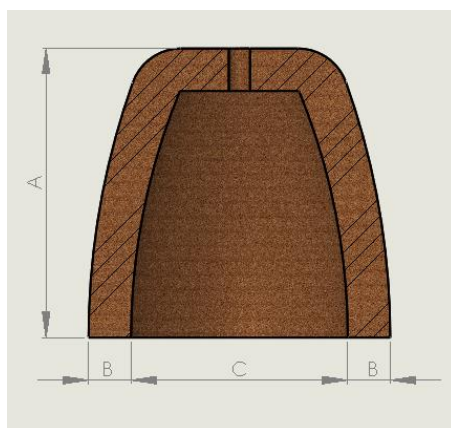
Antes de mais, importa referir que a temperatura de desmoldagem foi de 200°C, sendo efetuadas medições logo após este procedimento. De seguida, foram efetuadas medições passadas 24 horas da desmoldagem, à temperatura ambiente (aproximadamente 20°C).

A tabela 11 contém os valores dos parâmetros utilizados na fabricação da peça. Os mesmos podem também ser consultados no anexo B10.

**Tabela 11 - Valores dos parâmetros utilizados no ensaio.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Temperatura do mandril	<b>200</b>	°C
Temperatura do molde	<b>200</b>	°C
Tempo de permanência no molde	<b>30</b>	min.
Compactação	<b>50</b>	mm
Volume de granulado inicial	<b>0,31</b>	dm <sup>3</sup>
Desmoldante	<b>Óleo parafínico</b>	
Humidade relativa do granulado	<b>6</b>	%
Água adicionada (% massa/massa)	<b>5</b>	%

As medições foram efetuadas com recurso a um paquímetro, tendo o cuidado de minimizar a pressão sobre a peça. O resultado médio das medições é apresentado na tabela 12, e são relacionados com a figura 67.



**Figura 67 - Dimensões gerais da peça.**

**Tabela 12 - Valores médios das dimensões determinadas por medição das peças extraídas, valores em mm.**

<b>Dimensões</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Peça (desenho) ( $\alpha$ )	68	10	51
Medição minutos após desmoldagem ( $\beta$ )	69	10,5	51
Medição 24 h após desmoldagem ( $\gamma$ )	67,5	10	51
Contração ( $\beta / \gamma$ )	2%	5%	0%
Contração ( $\gamma / \alpha$ )	1%	0%	0%

A análise dos dados contidos na tabela 12, permitem constatar que, apesar de no momento da desmoldagem as peças apresentarem medidas ligeiramente superiores às do molde, depois de uma estabilização à temperatura ambiente durante 24h, as suas dimensões diminuem e aproximam-se das pretendidas.

Importa referir que a contração referida na tabela é referente à comparação entre os valores obtidos minutos após a desmoldagem e os valores obtidos 24h após a desmoldagem. Os valores de contração obtidos não são conclusivos devido à sua discrepância. A mesma poderá ser justificada pelo comportamento da cortiça perante forças de compressão. Como

no molde em análise o grau de compactação não é igual por toda a peça, poderá originar diferenças no que toca à contração da peça após desmoldagem.

Verifica-se que no sentido em que é exercida a força de compressão, a variação dimensional é maior. No entanto, a literatura sugere que, a cortiça, após ser sujeita a esforços de compressão, tem tendência a recuperar as suas dimensões iniciais, ou seja, após ser retirada a força, a cortiça expande. O mesmo é evidenciado na prática aquando da aglomeração de blocos ou cilindros de aglomerado de cortiça. Estes, após desmoldagem, apresentam um ligeiro aumento dimensional, exigindo a sua retificação por mecanismos de corte.

Estes fenómenos não foram evidenciados na peça em estudo, acontecendo o contrário, existe uma ligeira contração da peça. Este é um fenómeno que poderá exigir algum estudo futuro.

Por último, é necessário evidenciar que a cortiça é um produto natural com um comportamento dimensional que não é em nada semelhante aos materiais isotrópicos. A humidade e temperatura ambiente têm grande influência sobre a sua estabilidade dimensional, pelo que as tolerâncias dimensionais de um produto de cortiça têm de atender a estas características.

### **3.5.5. Resultado Final**

A importância de obter uma peça funcional e adequada ao serviço para o qual foi projetada era um objetivo essencial neste trabalho.

Desta forma, e com o intuito de comprovar a funcionalidade da peça, efetuou-se uma montagem do conjunto composto pelo projetor LED, pelo casquilho GU10 (que permite a sua fixação) e pela peça produzida (Figura 68).



**Figura 68 - Montagem do conjunto Peça aglomerado expandido / Projeter LED / Casquilho GU10.**

Primeiramente verifica-se pela observação da montagem que as dimensões da peça se revelam adequadas e que permitem um bom ajuste do projetor. A folga obtida na zona inferior da peça é de aproximadamente um milímetro, conforme se tinha projetado. Esta possibilita uma maior facilidade de montagem e desmontagem do projetor LED. Por outro lado, a maior compactação obtida no topo da peça confere a rigidez e segurança necessárias para que o candeeiro seja suspenso sem qualquer restrição (figura 69).



**Figura 69 - Candeeiro suspenso.**

Após a montagem e suspensão do candeeiro, o mesmo foi ligado de maneira a ser possível verificar o resultado final (figura 70).



**Figura 70 - Resultado final obtido.**

Do ponto de vista da qualidade do produto, foram ainda repetidos vários acoplamentos do projetor LED com o objetivo de verificar a integridade da peça e a sua resistência a vários ciclos de troca de projetor.

Apesar da menor fragilidade da zona inferior da peça, as várias trocas de projetor efetuadas não provocaram danos e garantiram uma resistência considerável a este tipo de operação.



## 4. Industrialização

A possibilidade de industrialização deste tipo de processo foi também alvo de estudo neste trabalho. No fundo, este trabalho visava encontrar uma alternativa aos processos convencionais de obtenção de peças complexas em cortiça. Estes processos convencionais baseiam-se sobretudo no trabalho manual ou, no caso de séries maiores, na maquinação CNC de blocos de cortiça previamente cortados, dando origem a desperdícios e maior número de etapas para obtenção do produto final.

O molde utilizado neste trabalho tinha apenas capacidade para produzir uma única peça por cada ciclo, revelando-se portanto um instrumento laboratorial sobre o qual se podem testar novas formulações de granulometrias, humidade relativa, compactação, temperatura aplicada ou desmoldante utilizado.

Apesar disso, no caso de se pretender uma aplicação industrial com este tipo de processo, existem alguns aspetos a reter e que permitiriam uma maior viabilidade de industrialização. Em primeiro lugar, é importante serem analisados os tempos de ciclo do processo. Para isso focam-se atenções na formulação que permitiu a obtenção de melhores resultados. Nos pontos seguintes serão analisadas as várias etapas do processo e as alterações / melhoramentos necessários para a sua industrialização.

### Sistemas de abertura, fecho e compactação

Os sistemas de abertura, fecho e compactação foram projetados neste trabalho para um acionamento manual e sem qualquer importância dada ao fator tempo de abertura, fecho ou compactação. A utilização de fusos para transmissão do movimento revelou-se uma solução eficaz, simples e económica mas que adiciona algum tempo de ciclo.

Para uma utilização industrial seria necessário o uso de sistemas de acionamento pneumático ou óleo-hidráulico. Estes permitem a movimentação de cargas maiores e com maior rapidez, admitindo, portanto, moldes maiores e com maior número de peças por ciclo.

Logicamente que a inclusão deste tipo de sistemas aumentaria a complexidade do molde, levando também a que o seu custo de produção fosse maior. Em contrapartida seria possível a obtenção de um tempo de ciclo mais curto e maior número de peças por ciclo. Consequentemente a amortização do investimento seria mais rápida e os custos de produção menores.

### Sistema de Extração

O molde utilizado neste trabalho não possuía mecanismos de extração, pelo que as peças eram retiradas com o auxílio de uma espátula. Numa perspectiva industrial, não é viável a extração manual das peças, tornando-se necessário a incorporação de mecanismos que substituam o trabalho do operador.

Outro aspeto importante, que se aplica à industrialização, mas também a trabalhos futuros no molde já testado, é o revestimento das superfícies em contacto com a peça. Visto que a desmoldagem se revelou um ponto a ter em atenção, a utilização de um revestimento com, como por exemplo o Politetrafluoretileno (PTFE), seria uma garantia de qualidade de acabamento ao nível industrial. Além disso, um sistema autónomo de aplicação de desmoldante permitiria uma operação mais rápida e uniforme, certamente com melhores resultados.

### Dimensão do molde

Outro aspeto a considerar seria a dimensão do molde. Por forma a poder ser obtido um processo lucrativo é importante a análise da quantidade de peças moldadas por cada ciclo. Se o molde possibilitar o enchimento e moldação simultânea de várias peças, teríamos um tempo de ciclo mais rentabilizado. Neste caso em concreto, a peça a fabricar, pelas reduzidas dimensões, permite facilmente a inclusão de várias peças no mesmo molde, sem que este se torne excessivamente grande ou complexo. Desta forma seria possível uma rentabilização do tempo de ciclo.

### Aquecimento

No que diz respeito ao aquecimento do molde, existem várias opções possíveis ao nível industrial. O nível de complexidade é relativo e têm de ter sempre em conta as infraestruturas existentes.

No caso mais simples, o sistema de aquecimento seria composto por resistências elétricas que forneceriam calor ao molde, tal como acontece no caso em estudo. Ter-se-ia apenas em atenção o seu aumento de potência necessário para que a elevação da temperatura se restringisse a um determinado espaço de tempo.

Por outro lado, no caso de existir algum tipo de gerador de vapor ou termofluído, já instalado na unidade fabril, poderia ser utilizada essa fonte de calor existente. Para isso seria necessário efetuar furações específicas no molde para que o fluido circulasse no seu interior, à semelhança do sistema de arrefecimento.

### Alimentação

Dependendo do nível de automação pretendido, o sistema de alimentação teria de ser ligeiramente modificado. Apesar de se continuar a necessitar de um sistema de vibração, a deposição do granulado no cimo do molde teria de ser assegurada por um conjunto de moegas que assegurariam a alimentação constante e controlada do molde. Se possível, a quantidade de material inserido no molde deveria ser controlada através de células de carga instaladas nessas mesmas moegas.

### Tempo de ciclo

Todos os aspetos referidos ao longo deste ponto visam, na sua essência, uma diminuição do tempo de ciclo de cada peça, para que o processo seja rentável e economicamente atrativo.

Antes de mais é necessária uma abordagem ao tempo de ciclo atual com o molde experimental. Os tempos são resumidos na tabela 13 e têm em conta o procedimento experimental já abordado.

**Tabela 13 - Tempo necessário para cada operação.**

<b>Operação</b>	<b>Tempo de ciclo [minutos]</b>
Aplicação de desmoldante	2
Fecho da cavidade e posicionamento do mandril	2
Enchimento do molde	5
Aperto do granulado por deslocação do mandril	2
Aquecimento do molde	35
Abertura do molde	1
Desmoldagem da peça	3
<b>Total:</b>	<b>50</b>

Analisando a tabela 13, pode-se constatar que as melhorias já apresentadas neste ponto permitem uma diminuição significativa do tempo de ciclo. Nomeadamente nos tempos de abertura, fecho, compactação e aplicação de desmoldante. No entanto, verifica-se que o tempo de aquecimento é responsável pela maior parte do tempo de ciclo despendido. Este é portanto o ponto a melhorar com maior ênfase, e que já foi abordado neste ponto. O correto dimensionamento das resistências de aquecimento permite ultrapassar este inconveniente. Além disso, como é evidente, numa produção em série, o molde poderá ser novamente enchido a uma temperatura mais elevada, reduzindo desde logo o tempo de aquecimento.

Em suma, os pequenos melhoramentos sugeridos permitem certamente uma diminuição do tempo de ciclo para menos de metade. Nesse caso, o número de peças por hora poderia chegar ao triplo das que se conseguem atualmente. Aliando a possibilidade de existir um molde multipeça, facilmente se chegariam às centenas de peças por hora num processo totalmente automatizado.

### Custo

Um aspeto importante em qualquer processo industrial é o seu custo e o valor acrescentado que gera sobre um determinado produto.

No estudo atual, revela-se difícil a quantificação do custo por peça. Primeiramente porque o custo associado ao molde não é muito preciso. Embora sejam conhecidos os custos do material incorporado, a mão-de-obra não foi quantificada, bem como os custos associados à maquinação das cavidades. Além disso, a amortização do investimento teria de ser tida em conta no caso de ser necessária uma análise de preço por peça.

No entanto, na impossibilidade de extrapolação de um custo associado a um molde futuro para aplicação industrial, é possível a determinação de um custo de matéria-prima por peça produzida. A tabela 14, contém os dados necessários a esta análise.

**Tabela 14 - Custos associados à matéria-prima.**

<b>Volume de granulado contido em cada peça</b>	0,32 dm <sup>3</sup>
<b>Massa volúmica</b>	60 kg m <sup>-3</sup>
<b>Massa de cada peça [aprox.]</b>	20 g
<b>Preço do granulado</b>	1,75 €/kg
<b>Custo peça (matéria-prima)</b>	0,035 €

Através da análise da tabela 14, verifica-se que o custo da matéria-prima por cada peça produzida é de 3,5 cêntimos. Este custo acaba por ser real na medida em que o processo não gera desperdício. Todo o material inserido na cavidade é incorporado no produto final, não havendo retiradas de rebarbas ou jitos.

Analisando o molde atual, o seu custo ronda os 800 €, com todos os acessórios, não incluindo a mão-de-obra. Este valor para uma série de 10.000 peças, representaria um custo de amortização por peça de 8 cêntimos. Verifica-se portanto que fatia dedicada à liquidação do investimento inicial é maior do que o custo da matéria-prima incorporada. A realização de grandes séries ajuda naturalmente à diluição deste valor.

Os custos energéticos carecem também de uma análise. Neste caso, é possível efetuar uma estimativa tendo por base a potência instalada para aquecimento e o tempo de aquecimento atual. Por conseguinte, a potência utilizada atualmente é de 750 W, durante 35 minutos, o que equivale a 438 Wh. Considerando um preço de 0,18€/kWh, obtém-se um custo energético por peça de 0,08€.

Pode-se concluir nesta análise de custos que o valor da matéria-prima incorporada na peça é bastante inferior aos custos associados ao investimento e à energia. Atendendo apenas aos montados referidos, a peça fabricada teria um custo de 0,20€.

Revela-se complexo, nesta fase, referir um preço de venda por cada peça produzida. Existem vários fatores que poderiam por em causa o preço de venda. No entanto, do ponto de vista do processo de fabrico, existem uma série de produtos que facilmente poderiam passar a ser produzidos desta forma.

## 5. Conclusão

Este trabalho revela-se, possivelmente, o início de muitos outros. Existiam várias questões que careciam de resposta para que um processo novo fosse considerado viável.

Antes de mais, importa referir o quão enriquecedor se revelou este projeto. Primeiramente pela multidisciplinidade que exigiu, desde o dimensionamento das resistências de aquecimento, dos canais de refrigeração, dos mecanismos de movimentação e de todo o projeto do molde. Depois, o facto de ser algo, de certa forma pioneiro e ambicioso, com dificuldades que necessitavam de ser ultrapassadas com recurso, muitas das vezes, à experimentação.

Apesar disso, o resultado final foi muito próximo do desejado e permite já inspiração para trabalhos futuros e desenvolvimentos industriais.

No que toca ao enchimento, é importante realçar a importância da granulometria e da humidade do granulado. A velocidade de enchimento do molde é diretamente influenciada por estas duas variáveis, juntamente com a força centrífuga gerada pelo vibrador.

Pode também concluir-se que o enchimento do molde define em grande parte as propriedades finais da peça. Um enchimento eficiente promove uma compactação eficaz e com resultados melhores. As diferenças de compactação na peça podem facilmente estar relacionadas com o enchimento da cavidade, ao mesmo tempo que são influenciadas pelo

volume de enchimento que é possibilitado pela deslocação do mandril. Uma das grandes conclusões deste trabalho é precisamente a necessidade de se conseguir garantir uma compactação uniforme por toda a peça. Apesar de ter sido intencional a maior compactação da zona superior da peça, verificou-se que a zona inferior carecia de maior compactação. Estes factos são aplicados a peças futuras com outro tipo de geometrias.

O próprio design da peça tem de ser apropriado a este tipo de processo e a este tipo de material. Ao contrário da peça em estudo, a existência de arestas vivas resulta numa diminuição da consistência e num fator de fragilidade, conforme se verificou na zona inferior da peça.

Outro aspeto conclusivo importante está relacionado com a temperatura do molde. Revelou-se essencial uma temperatura uniforme por toda a superfície como forma de garantir uma aglomeração perfeita da cortiça. Para isso, a utilização do alumínio como material constituinte do molde em muito contribuiu para que a distribuição da temperatura se mantivesse uniforme. Além da temperatura uniforme, a temperatura máxima atingida também se revelou uma variável importante, na medida em que definia a consistência final da peça e a sua facilidade de desmoldagem.

Verificou-se também que o uso de desmoldantes poderia ser minimizado com o melhoramento das superfícies em contacto com a peça. O uso de extratores também seria interessante neste tipo de processo, pelo que constituem mecanismos auxiliares à desmoldagem das peças. No molde utilizado, estes mecanismos não estavam incluídos, pelo que o tempo e facilidade de desmoldagem acabaram comprometidos.

Quanto à variável humidade, constatou-se que a sua influência no processo era elevada, na medida em que, a sua ausência promovia peças mais duras e frágeis. Por outro lado, o seu excesso promovia uma aglomeração menos eficaz, requerendo mais tempo de aquecimento. É necessário, portanto, a existência de um ponto de equilíbrio.

A não utilização de vapor de água para aquecimento trouxe vantagens e desvantagens ao processo. Apesar de ter dificultado a primeira fase de ensaios, a solução encontrada como alternativa assegurou um processo mais simples e limpo. O simples aquecimento do molde com recurso a resistências elétricas elimina a retenção de resíduos e condensados resultantes da injeção de vapor. A sua inexistência promove um melhor acabamento, e limpeza, das zonas inferiores.

No que diz respeito à variação dimensional, verificou-se que os resultados obtidos foram inconclusivos relativamente a valores a adotar no dimensionamento. No entanto, pode-se

concluir que a variação dimensional é maior no sentido em que a força é aplicada. Por outro lado, os resultados obtidos têm em conta a extração da peça logo após a conclusão do aquecimento, ou seja, a uma temperatura elevada. Este fator promove a expansão da cortiça, que após arrefecimento, contrai. Apesar disso, pode-se concluir que a adoção do valor nominal final para efeitos de dimensionamento do molde é perfeitamente aceitável. Neste caso em particular, as dimensões utilizadas no molde não previam qualquer contração ou expansão após moldação, sendo o resultado final bastante satisfatório e com tolerâncias dimensionais adequadas à função para a qual a peça foi projetada.

Além dos aspetos já referidos, e que se relacionam mais diretamente com a qualidade da peça final, importa salientar a viabilidade deste processo ao nível industrial. A automação revelou-se possível através do uso de técnicas e equipamentos já conhecidos. Assim, verificando-se a viabilidade de automação do processo, cresce a sua rentabilidade e sustentabilidade. No fundo, o tempo por peça atual de 50 minutos, pode ser reduzido para menos de metade. Juntando a isso um molde multipeça pode ser implementado um processo rentável e com perspectivas de evolução.

Este trabalho permitiu também a aquisição de conhecimentos que podem ser aplicados à execução de outras peças. O processo pode assim ser extrapolado para diferentes formatos e produtos finais.

A exequibilidade de execução de peças de cortiça, sem recurso a aglutinantes e sem recurso a mecanismos de desbaste, revelou-se possível. Com resultados convincentes e promissores, embora prematuros. A necessidade de trabalhos futuros de aperfeiçoamento e investigação das propriedades finais obtidas revela-se essencial, sem esquecer a quantificação dos custos inerentes ao processo industrial.



## 6. Trabalhos Futuros

No desenrolar de todo este trabalho foi cada vez mais evidente a necessidade de um desenvolvimento numa fase posterior. Desta forma, existem pontos que necessitam de uma abordagem mais profunda.

Primeiramente seria necessário resolver a questão da compactação, a qual constituiu um dos grandes entraves ao trabalho realizado. Para isso, existem algumas alterações a efetuar no molde com vista a que a compactação atinga o valor pretendido.

Assim sendo, o mandril teria de ser alterado de tal forma que permitisse dois momentos de compactação. Uma primeira compactação associada à parte superior da peça e uma segunda compactação associada à parte inferior. No fundo, é necessária a divisão do mandril em duas peças distintas as quais permitem movimentações independentes. Estas alterações possibilitariam uma melhor definição da compactação da peça, em busca da uniformização.

Associado à alteração do mandril, seriam também exigidas alterações à cavidade de enchimento e ao mecanismo de compactação. No caso da cavidade de enchimento, o seu volume teria de ser aumentado para fazer frente à maior compactação exigida na parte inferior da peça. No que toca ao mecanismo de compactação, seria necessário possibilitar a movimentação independente das duas peças que compõe o futuro mandril.

Outro ponto de abordagem futuro passa irremediavelmente pela clarificação das propriedades mecânicas obtidas através deste processo. Ou seja, olhando à prematuridade deste método, revela-se essencial a determinação e quantificação das propriedades mecânicas como a resistência à compressão e módulo de elasticidade. A importância da existência destes, e outros, valores está relacionada com o facto de poder vir a ser necessário o dimensionamento de novas peças, para outro tipo de aplicações. Por conseguinte, para uma correta projeção do molde e seus mecanismos, é primordial a existência deste tipo de dados.

Além dos valores possíveis de obter através de ensaios mecânicos, outros dados são importantes para a caracterização deste tipo de peças, obtidas por este processo. A resistência deste tipo de aglomerados ao desgaste, à humidade, à temperatura e a outros agentes é bastante importante. Por outro lado, as suas propriedades de isolamento térmico e acústico, teriam também de ser alvo de estudo. A estas poderiam juntar-se ensaios de fadiga relacionados com a utilização atual ou futura.

Outro aspeto que exige um aprofundamento futuro é a variação dimensional da peça. Como os resultados obtidos nas medições foram inconclusivos, é importante verificar as diferenças dimensionais resultantes de diversos fatores como a humidade e temperatura de extração.

A possibilidade de incorporação de dispositivos de fixação nas peças poderia também ser alvo de estudo. No fundo, em vez de, num determinado tipo de peças, serem anexados mecanismos que irão permitir a sua fixação ou manuseamento após a moldação, os mesmos poderiam ser incorporados durante a moldação. Para isso, seria importante saber até que ponto é que as resinas exsudadas durante o processo seriam suficientemente fortes para conseguir garantir a perfeita união de todas as peças.

Outro trabalho a ser efetuado no futuro é a comparação entre processos, tanto ao nível das propriedades como dos custos produtivos. Visto que, o processo atual visa a diminuição de etapas produtivas, torna-se essencial verificar se as propriedades finais se revelam melhores ou piores do que as obtidas por processos de maquinaria.

Os custos teriam também de ser analisados / comparados com os procedimentos atuais de produção. Embora o processo em estudo permita uma diminuição das etapas produtivas e dos desperdícios gerados, exige um investimento dedicado a uma só peça, não sendo tão versátil quanto o processo tradicional.

Em suma, como qualquer projeto embrionário, existem ainda bastantes variáveis e ensinamento a descobrir e reter. Para isso serão necessários meios, mas também o tempo de maturação necessário a uma evolução sustentada do processo.



## Referências Documentais

- Alves, J. (2005). *Prosessamento de Materiais Cerâmicos*. Obtido em 5 de Agosto de 2015, de <http://paginas.fe.up.pt/~falves/4producao.pdf>
- Amorim Isolamentos, S. A. (27 de Dezembro de 2014). Obtido de <http://www.amorimisolamentos.com/o-processo/processo-productivo/>
- ANFEVI. (2009). *Envases de Vidrio*. Madrid: Centro del Envases de Vidrio.
- APCOR. (2010). *Manual Materiais de Construção e Decoração*. Sta. M.<sup>a</sup> Lamas.
- APCOR. (2011). *Manual técnico sobre rolhas de cortiça*. Santa Maria de Lamas: Associação Portuguesa da Cortiça.
- APCOR. (26 de Dezembro de 2014). *História da Cortiça*. Obtido de <http://www.apcor.pt/artigo/historia-cortica.htm>
- APCOR. (23 de 02 de 2015). *Propriedades da Cortiça*. Obtido de <http://www.apcor.pt/artigo/propriedades-cortica.htm>
- APCOR. (03 de 03 de 2015). *Rolhas de cortiça*. Obtido de <http://www.apcor.pt/artigo/rolhas-cortica.htm>
- Associação Nacional da Indústria de Moldes. (16 de 04 de 2015). *A indústria portuguesa de moldes*. Obtido de [http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/Cefamol\\_IndustriaMoldes/Historia](http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/Cefamol_IndustriaMoldes/Historia)
- BRECON. (02 de 02 de 2015). *Calculation of Centrifugal Forces*. Obtido de <http://brecon-vibration.us/about-us/know-how-center/external-vibrators-basic-principles-and-application-of-the-vibration-technology/4-compaction-of-concrete-at-prefab-companies/calculation-of-the-centrifugal-forces/>
- Brito, A., & Matos, A. (2004). Sistema de Controlo de Temperatura. In *Manual do Projectista de Moldes*. Braga: Centimfe.
- Carvalho, P. (2008). *Análise do comportamento mecânico e identificação do tipo de falha em estruturas sandwich com núcleos de cortiça*. Lisboa: IST.
- Centimfe. (2003). *Manual do Projectista para moldes de injeção de plástico*. Marinha Grande: Centimfe.
- Cordeiro, N. (1998). *Fraccionamento da cortiça e caracterização dos seus componentes. Estudo de possibilidades de valorização da suberina*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Corticeira Amorim. (27 de Dezembro de 2014). Obtido de <http://www.amorim.com/a-cortica/o-que-e/>
- Corticeira Amorim. (08 de 03 de 2015). *Natural Cork - Production Process*. Obtido de <http://www.amorimcork.com/pt/natural-cork/raw-material-and-production-process/>
- Corticeira Amorim. (15 de 03 de 2015). *Natural Cork - Raw material and production process*. Obtido de <http://www.amorimcork.com/natural-cork/raw-material-and-production-process/>

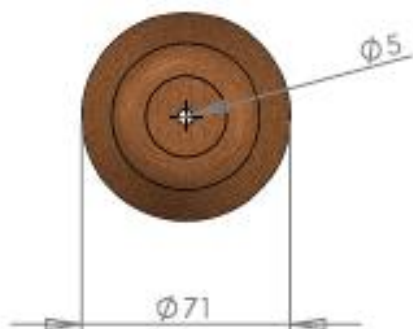
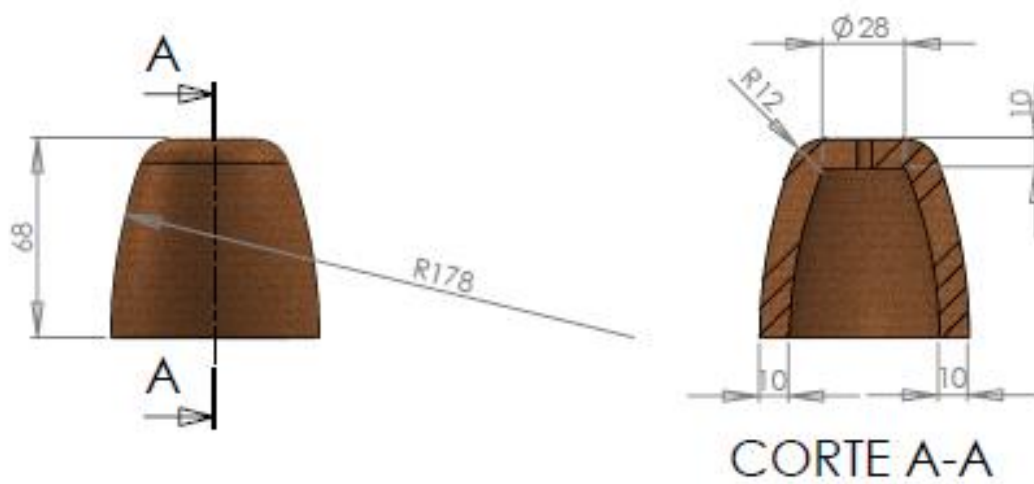
- Corticeira Amorim. (23 de 02 de 2015). *Tudo sobre a cortiça - Composição química*. Obtido de <http://www.amorim.com/a-cortica/mitos-e-curiosidades/Tudo-sobre-Cortica/107/>
- Eustice, D. (Setembro de 2008). *The Future of Glass Forming Technology for the Manufacture of Lightweight Containers*. Oxon, UK: Wrap.
- Ferazeméis. (28 de 04 de 2015). Obtido de [http://www.ferazemeis.ptpage\\_id=22](http://www.ferazemeis.ptpage_id=22)
- Ferreira, I. (2001). *Caracterização da indústria dos moldes na Marinha Grande, na óptica da qualidade*. Porto: Escola de Gestão do Porto.
- Fischer, U., Gomeringer, R., & et al. (2009). *Manual de Tecnologia Metal Mecânica*. São Paulo: Blucher.
- Fortes, M., Rosa, M., & Pereira, H. (2004). *A Cortiça* (2ª ed.). Lisboa: IST Press.
- Gil, L. (2000). *História da Cortiça*. Lisboa.
- Gil, L. (2010). *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*. Sta. M.ª Lamas: APCOR.
- Gonçalves, D. (2009). *Segurança passiva de capacetes rodoviários utilizando novos materiais*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Harada, J. (2004). *Moldes para injeção de termoplásticos - projectos e principios básicos*. São Paulo: Artliber.
- KMS - Mat. Técnicos, Lda. (2015). *Catálogo - Alumínio*. Obtido de <http://kms.com.pt/images/KMS%20-%20Brochura%20-%20Web.pdf>
- Lojaxenon. (08 de 04 de 2015). Obtido de <http://www.lojaxenon.com/loja/acessorios/998-suporte-de-lampada-gu10.html>
- Lopes, G. A. (2011). *Avaliação do ciclo de vida de dois materiais utilizados na construção civil: o poliestireno expandido e o aglomerado de cortiça expandida*. Porto: FEUP.
- Manoel, J. (2010). *Análise de processos de fabrico na BA Vidro*. Porto: FEUP.
- Mazumdar, S. (2002). *Composites manufacturing : materials, product, and process engineering*. Florida: CRC Press LLC.
- Mendes, S. d., & Matos, A. (2003). Zonas moldantes, guiamentos e travamento . In *Manual do projectista para moldes de injeção de plástico* (pp. 27-35). Braga: Centimfe.
- Naturlink. (15 de 03 de 2015). Obtido de <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Agricultura-e-Floresta/content/Cortica-do-montado-a-rolha?viewall=true&print=true>
- Oliveira, M., & Oliveira, L. (1991). *A Cortiça*. Mozelos: Amorim.
- Pallone, E. (2012). *Processamento de Materias Cerâmicos*. Obtido em 5 de Agosto de 2015, de <https://cetdosmateriais.files.wordpress.com/2012/08/2-ceramica.ppt>
- Pontes, A. (2003). Tipificação dos moldes. In *Manual do projectista para moldes de injeção de plástico* (pp. 41-50). Braga: Centimfe.
- Pontes, A., Brito, A., Matos, A., Araújo, B., & Mendes, S. (2004). Sistemas de extracção. In *Manual do projectista para moldes de injeção de plástico*. Braga: Centimfe.
- Provenza, F. (1993). *Moldes para plásticos*. São Paulo: F. Provenza.
- S.A.M.E.C. (Agosto de 1996). El Corcho. Sevilha.
- Silva, J. (2005). *Pré-Impregnados de matriz termoplástica: fabrico e transformação por compressão a quente e enrolamento filamentar*. Porto: FEUP.

- Silva, M. (2010). Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais. In *A cortiça - suas características e propriedades*. UTAD.
- Sofalca. (17 de 03 de 2015). *Sofalca - Produção*. Obtido de <http://sofalca.pt/producao.html>
- SOREP. (06 de 05 de 2015). *SOREP - Produtos - Acessórios para moldes*. Obtido de <http://www.sorep.co.pt/website/files/f61.1.pdf>
- Sors, L., Bardócz, L., & Radnóti, I. (2002). *Plásticos - Moldes e matrizes*. Budapeste: Hemus.
- University of California. (27 de Dezembro de 2014). Obtido de <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hooke.html>



## *Anexo A. Desenhos*



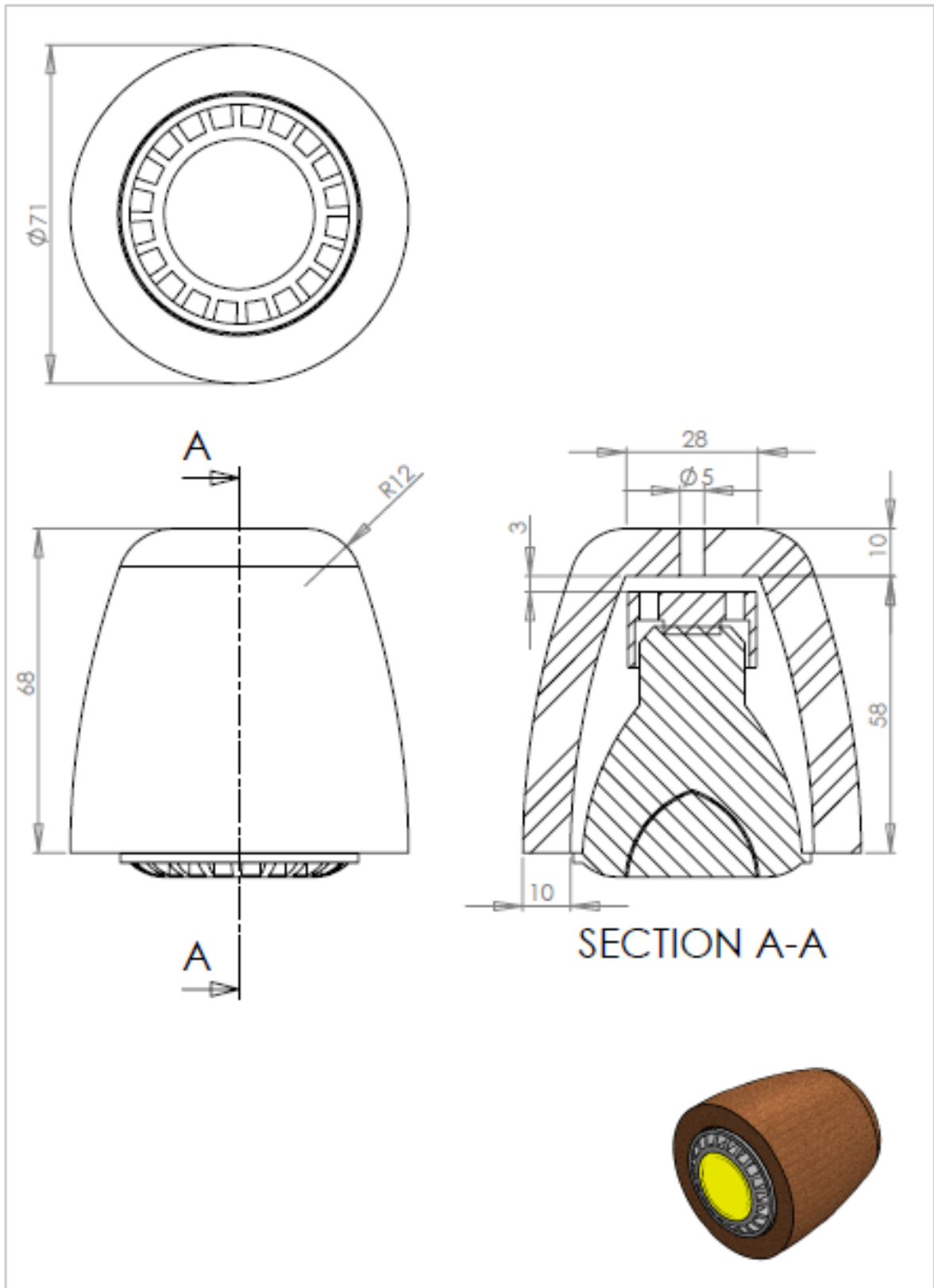


Candeeiro em aglomerado puro de cortiça

A4

Fábio Martins MEM 1130244

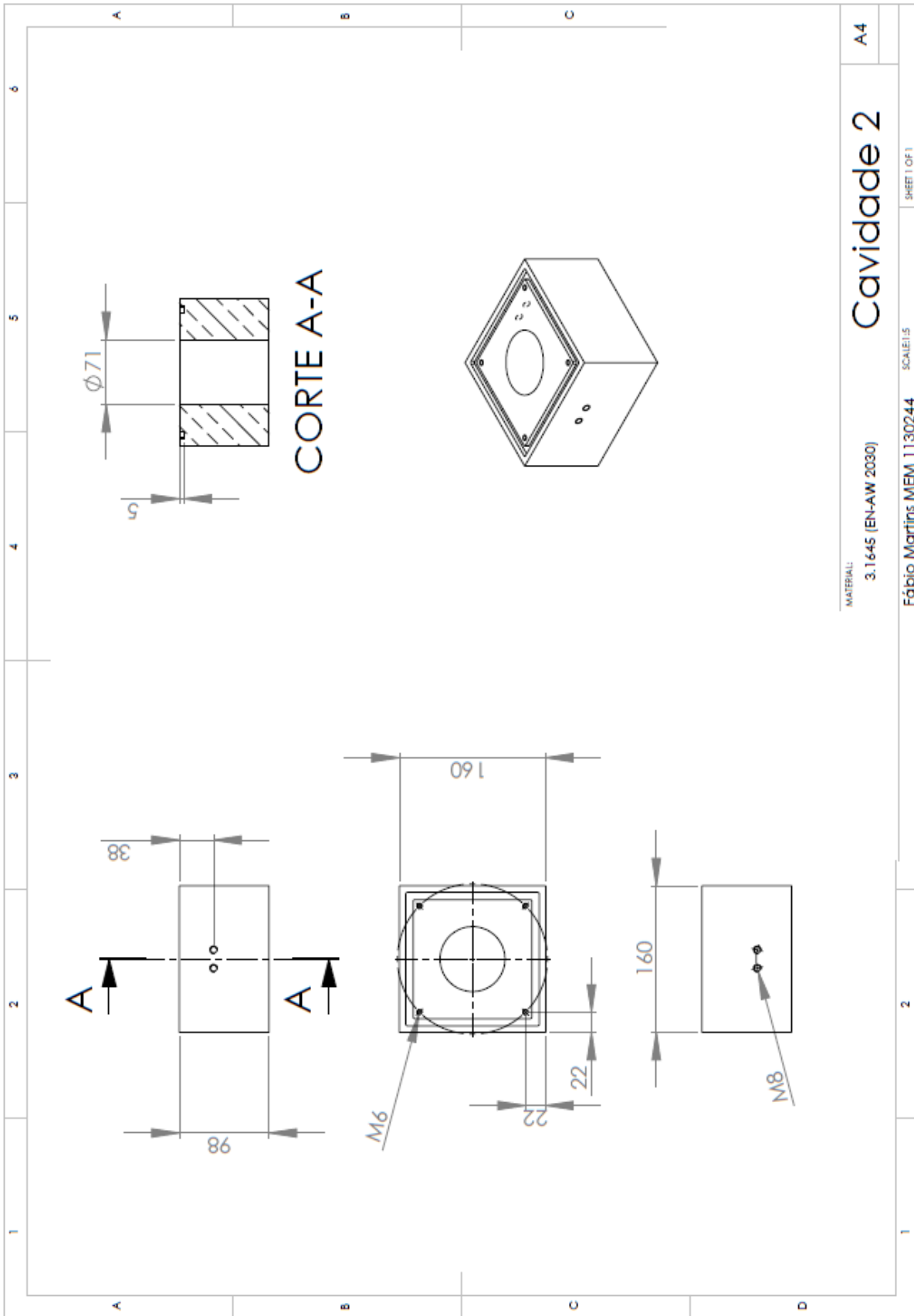
Scale 1:1

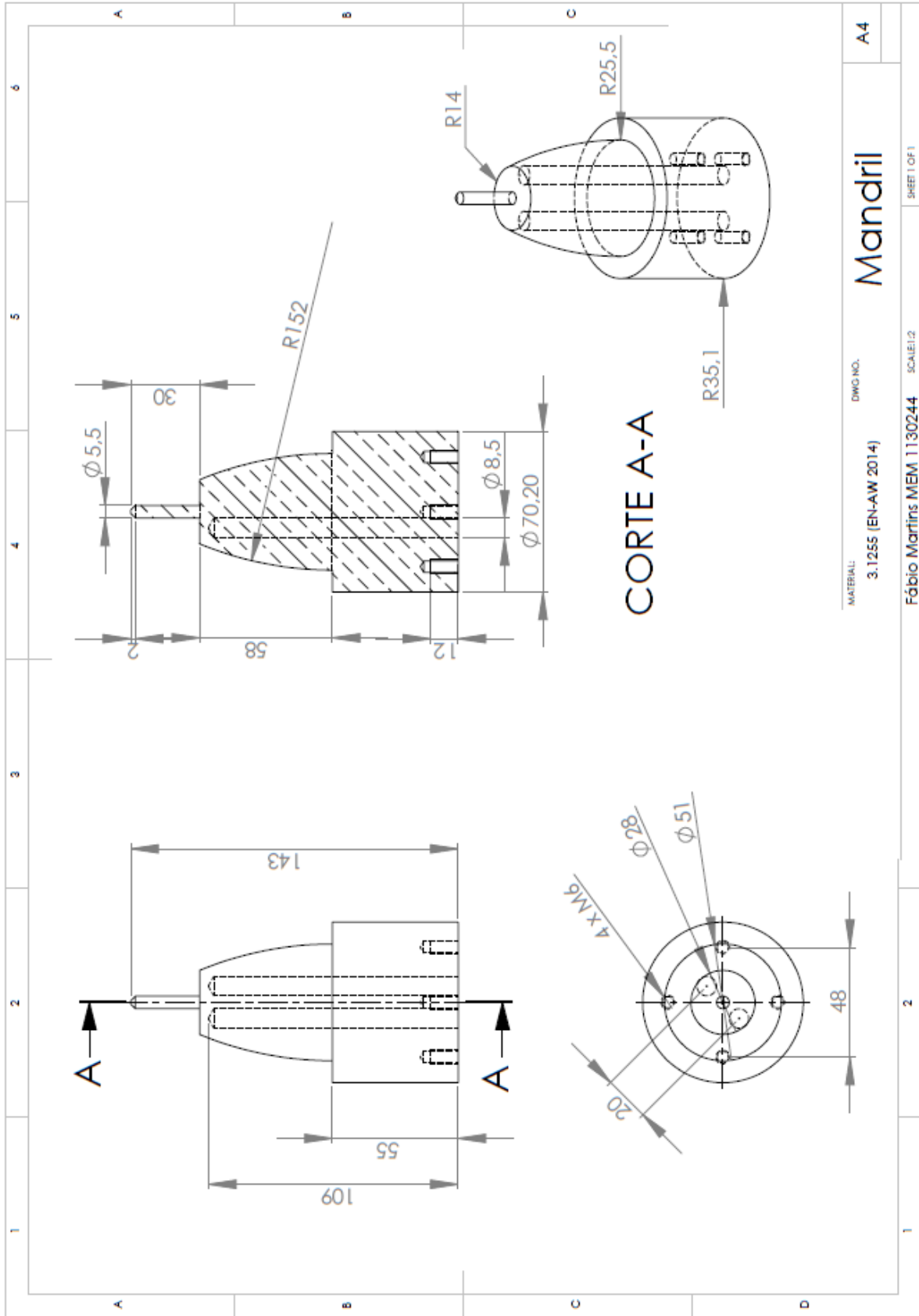


Montagem - Candeeiro em Aglomerado expandido de Cortiça

A4

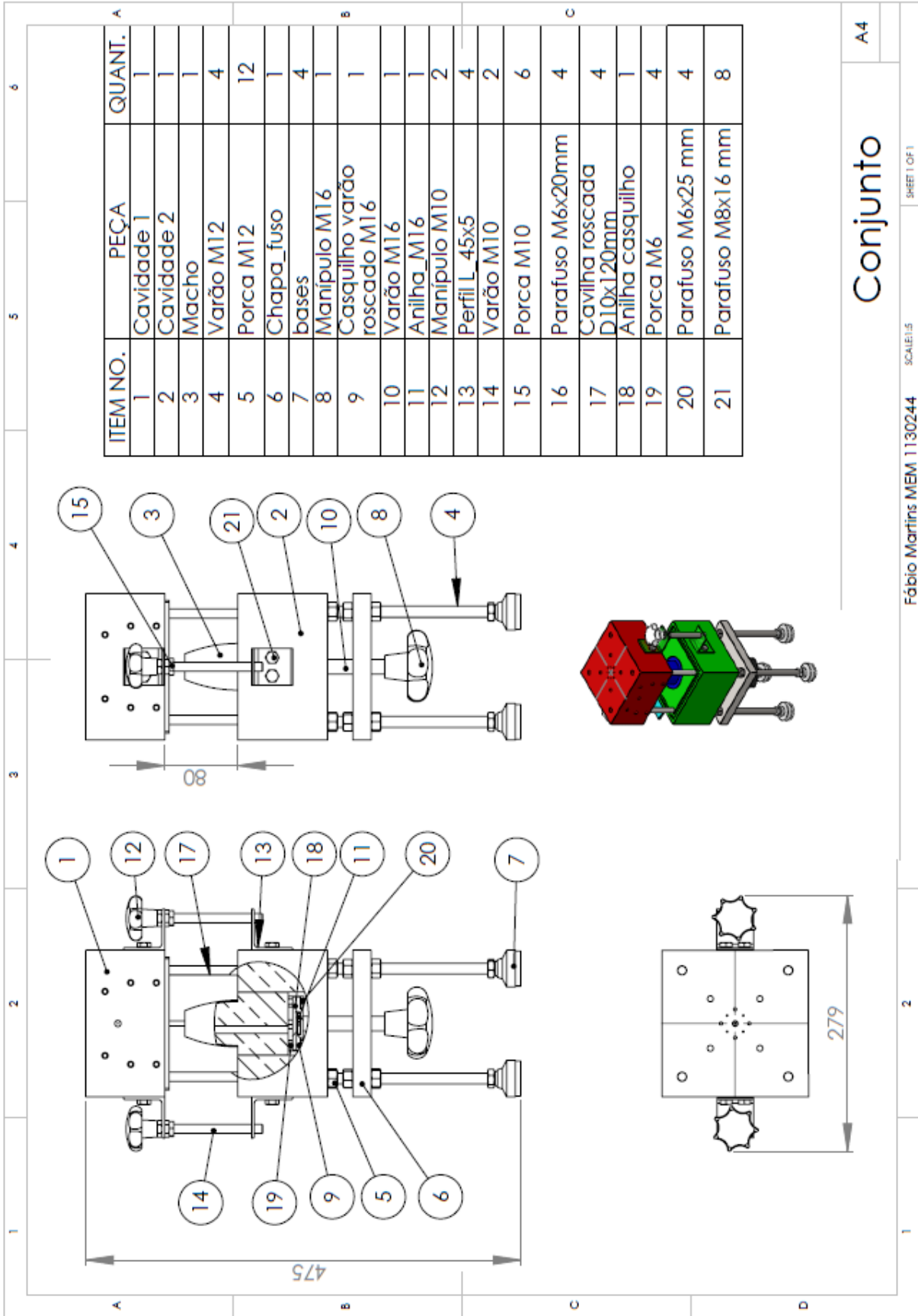






**CORTE A-A**

MATERIAL:	DWG NO.:	A4
3.1255 (EN-AW 2014)		<b>Mandrill</b>
Fábio Martins MEM 1130244	SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1



# Conjunto

SHEET 1 OF 1

SCALE: 1:5

Fábio Martins MEM 1130244

2

A4

## Anexo B. Parâmetros de Ensaio

### Anexo B1

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	25 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	75 °C
Tempo aquecimento	19 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	75 °C
Observações	Não conforme

### Anexo B2

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	25 mm
Percentagem de água adicionada	100 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	110 °C
Tempo aquecimento	20 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	50 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B3**

Nº ensaios	2
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	100 °C
Tempo aquecimento	20 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	100 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B4**

Nº ensaios	2
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	110 °C
Tempo aquecimento	20 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	90 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B5**

Nº ensaios	2
Volume de enchimento (aperto)	32 mm
Percentagem de água adicionada	200 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	110 °C
Tempo aquecimento	35 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	50 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B6**

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	110 °C
Tempo aquecimento	30 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	40 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B7**

Nº ensaios	2
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	---
Temperatura cavidade	200 °C
Tempo aquecimento	25 min.
Desmoldante	Silicone
Temperatura extração	200 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B8**

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	240 °C
Temperatura cavidade	200 °C
Tempo aquecimento	35 min.
Desmoldante	Óleo parafínico
Temperatura extração	200 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B9**

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	30 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	240 °C
Temperatura cavidade	230 °C
Tempo aquecimento	35 min.
Desmoldante	Óleo parafínico
Temperatura extração	240 °C
Observações	Não conforme

### **Anexo B10**

Nº ensaios	1
Volume de enchimento (aperto)	40 mm
Percentagem de água adicionada	0 %
Temperatura mandril	200 °C
Temperatura cavidade	200 °C
Tempo aquecimento	38 min.
Desmoldante	Óleo parafínico
Temperatura extração	200 °C
Observações	Não conforme

## Anexo B11

Nº ensaios	10
Volume de enchimento (aperto)	50 mm
Percentagem de água adicionada	5 %
Temperatura mandril	200 °C
Temperatura cavidade	200 °C
Tempo aquecimento	35 min.
Desmoldante	Óleo parafínico
Temperatura extração	200 °C
Observações	Conforme