

Desenvolvimento de processo de encapsulagem de rolhas de cortiça por sobreinjeção de polímeros

INEGI

Inês Isabel Aguiar Azevedo Esteves

Relatório de Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador no INEGI: Eng.º Ricardo Seara Cardoso

Orientador na FEUP: Prof^ª Doutora Ana Rosanete Reis



FEUP



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho de 2015

Aos meus pais, irmã e amigos.

Resumo

A inovação é cada vez mais uma aposta das empresas, não basta apenas atender às exigências dos clientes, como se torna necessário desenvolver novos produtos e processos para as que se pretendem colocar ou manter na linha da frente.

Todo o trabalho aqui desenvolvido está inserido num projeto realizado em colaboração entre o INEGI e a TSU (*Top Series Unit*). Neste projeto foi proposto o desenvolvimento do processo de sobreinjeção para a aplicação no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas. Esta alteração do processo produtivo pretendia a eliminação do material adesivo entre a cápsula e a rolha tornando a rolha de cortiça capsulada um produto mais limpo.

O trabalho desenvolvido serviu para a validação do processo de sobreinjeção, analisando geometrias, materiais e diferentes tipos de rolhas, tendo sempre como objetivo a industrialização do processo.

Para a aprovação do processo foram feitos vários ensaios, para tal tiveram de ser desenvolvidos diferentes moldes, feitas algumas adaptações da máquina e testes de cariz mecânico.

Para uma melhor caracterização da análise da união entre cortiça e polímero foi elaborada uma matriz de adesão entre os dois materiais.

Palavras-chave: desenvolvimento de produto, material adesivo, matriz de adesão, cortiça, materias poliméricos, sobreinjeção, cápsula.

Abstract

Innovation is increasingly part of the basis an enterprise. For the ones who want to stay or become on top of the line, fulfilling the clients requirements isn't enough, they must develop new products and processes.

All work here described was done between NEGI and TSU (*Top Series Unit*). In this project the development of a new overmolding process was proposed This modification to the current process intends to remove the glue that is part of the product in search of a more environment friendly product.

The work was developed with the intent of validating the overmolding process, analysing geometries, materials and diferent cork varieties, always having in account the industrialization of all the process.

To be able to certify this method many trials were made, for which diferent molds were made, as well as modifications to the injection machine and mechanical tests.

For better analysis of the bond between the cork and the polymer an adhesion matrix was made.

Keywords: process development, adhesive, adhesion matrix, cork, polymer, capsule, overmolding

Agradecimentos

A realização desta dissertação é o culminar de muito trabalho e não teria sido possível chegar até aqui sem o apoio, ajuda e amizade de muitas pessoas. Apesar de pouco, fica o agradecimento a todas pessoas que contribuíram para a conclusão desta etapa.

Agradeço á minha orientadora da FEUP, a Professora Doutora Ana Rosanete Reis, a fantástica oportunidade de integrar este projeto. O seu incentivo e ideias foram essenciais para a realização deste trabalho, mostrando-se disponível em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador do INEGI, o Engenheiro Ricardo Seara Cardoso, que desde o primeiro dia me acompanhou na realização do trabalho, prestando todo o apoio e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

Agradeço a todos os Professores que estiveram envolvidos na realização deste projeto. Uma nota especial aos Professores Doutores Francisco José de Castro Xavier de Carvalho, Joaquim Oliveira Fonseca e José Manuel Ferreira Duarte, pela boa disposição, ideias e disponibilidade que demonstraram sempre que se tornou necessário.

A todos os colaboradores do INEGI, em especial à unidade CETECOP, um muito obrigada, pelo carinho e boa disposição com que me receberam, fazendo com que me sentisse totalmente integrada. Uma nota especial ao Diogo Fula, ao qual agradeço a boa disposição e amizade que manifestou desde o primeiro dia.

Agradece-se ainda ao QREN o financiamento através do projeto TOPCORK nº 38449.

Aos meus pais, agradeço a oportunidade dada em frequentar este curso e a educação irrepreensível com que sempre me educaram, mostrando um apoio incondicional ao qual estarei eternamente grata.

Á minha irmã, que mais do que uma irmã é também uma amiga, que sempre me apoiou em todos os momentos e, por vezes mais do que eu, sempre se mostrou entusiasmada e feliz com o meu sucesso. Obrigada Teté!!

Agradeço ao meu namorado, por todo o carinho, apoio, paciência e boa disposição que sempre demonstrou não me deixando desanimar em nenhum dos momentos, por mais difícil que esta fase se tornasse. Obrigada Ricas!!

A todos os meus amigos e família, que sempre me apoiaram, acreditaram em mim e me viram crescer, especialmente neste período em que não se podiam demonstrar mais entusiasmados.

A todos, um muito obrigada!!

Índice de Conteúdos

1. Enquadramento	1
1.1 Projeto Top-Cork	1
1.2 Entidades envolvidas no projeto	1
1.2.1. O INEGI	1
1.3 Objetivos do projeto	2
1.4 Estrutura e organização do texto	2
2. Estado da arte	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 A Cortiça.....	3
2.2.1 Enquadramento histórico.....	4
2.2.2 Produção e aplicação de cortiça	4
2.3 Materiais poliméricos	9
2.3.1 Enquadramento histórico.....	9
2.3.2 Definição de polímero.....	10
2.4 Rolhas capsuladas – processo de fabrico atual	13
2.4.1 Processo de produção atual de rolhas de cortiça capsuladas.....	14
2.4.2 Ensaio de validação do processo atual	17
2.5 Processo de sobreinjeção.....	20
2.5.1 Descrição.....	20
2.5.2 O processo de sobreinjeção na produção de rolhas capsuladas	21
3. Implementação do processo de sobreinjeção no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas.....	25
3.1 Máquina injetora	25
3.2 Molde de injeção.....	26
3.3 Simulações realizadas para diferentes soluções de molde	32
3.4 Parâmetros do processo.....	38
3.5 Testes realizados.....	42
3.6 Apresentação de resultados dos testes de sobreinjeção	44
4. Ensaio de adesão	65
5. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	73
6. Referências e Bibliografia.....	77
Anexo A:.....	79
Anexo B:.....	91

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição de sobreiros a nível mundial [2].....	5
Figura 2 - Sobreiro após ter sofrido descortiçamento [5].....	6
Figura 3 – Imagem de uma rolha sem forma – cilindro de cortiça.....	15
Figura 4 - Imagem de uma rolha com chanfro e lavação	15
Figura 5- Representação de uma rolha capsulada pela utilização de cola.....	16
Figura 6 – Rolha de cortiça capsulada produzida pelo processo atual	17
Figura 7 - Desenho de simulação do ensaio de validação das rolhas capsuladas produzidas ..	17
Figura 8 - Imagem da fase inicial do ensaio	18
Figura 9 - Imagem dos mordentes com a rolha no interior	19
Figura 10 – Rolha de cortiça capsulada produzida pelo processo atual após ensaio mecânico	19
Figura 11 – Fluxograma do processo de produção atual de uma rolha de cortiça capsulada...	22
Figura 12 - Fluxograma do processo de produção de uma rolha de cortiça capsulada pela aplicação do processo de sobreinjeção	23
Figura 13 – Máquina injetora com acionamento pneumático utilizada na realização dos ensaios	25
Figura 14 - Geometria e dimensões das rolhas de cortiça sem falange.....	26
Figura 15 - Geometria e dimensões das rolhas de cortiça com falange	27
Figura 16 - Imagem 3D do esboço do primeiro meio molde.....	27
Figura 17 - Representação 3D de meio molde do primeiro molde produzido	28
Figura 18 - Cápsula polimérica com bolhas de ar aprisionadas	28
Figura 19 - Fotografia do molde final com todas as alterações.....	29
Figura 20 – Fotografia do molde final para injeção lateral no centro da cápsula polimérica ..	30
Figura 21 – Imagem do pormenor do meio molde para injeção lateral no centro da cápsula: à esquerda o canal de injeção, à direita a parte lateral do molde	30
Figura 22 - Fotografia do molde final para injeção lateral na parte superior da cápsula polimérica.....	31
Figura 23 - Imagem do pormenor do meio molde para injeção lateral no topo da cápsula: à esquerda o canal de injeção, à direita a nova tampa do molde.....	31
Figura 24 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no topo	33
Figura 25 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no topo.....	33
Figura 26 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no centro da lateral.....	34

Figura 27 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no centro da lateral.....	35
Figura 28 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no topo da lateral	36
Figura 29 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no topo da lateral	36
Figura 30 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para dois pontos de injeção no topo da lateral.....	37
Figura 31 - Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para dois pontos de injeção no topo da lateral	38
Figura 32 - Cápsula polimérica com défice de material	39
Figura 33 - Cápsulas poliméricas com excesso de material.....	39
Figura 34 – Rolha de cortiça com aplicação de pressão em excesso	40
Figura 35 - Desenhos técnicos das rolhas com rasgos: à esquerda rolhas com um rasgo, à direita rolhas com dois rasgos	43
Figura 36 - Rolha de cortiça com a <i>tag</i> colada para posterior sobreinjeção de material polimérico	46
Figura 37 – À esquerda imagem de uma cápsula polimérica sobreinjetada com material a formar o anel do rasgo; à direita a rolha de cortiça com um rasgo após a injeção de material polimérico	52
Figura 38 - Rolhas de cortiça sem falange analisadas: à esquerda a cápsula polimérica com resíduos de cortiça, à direita a rolha de cortiça com as porosidades.....	56
Figura 39 – Bolhas de ar no interior da cápsula polimérica.....	56
Figura 40 – Rolha de cortiça capsulada após o torneamento	57
Figura 41 – Rolha de cortiça capsulada sem falange com existência de rebarba na parte inferior.....	57
Figura 42 – Rolha de cortiça capsulada sobreinjetada lateralmente: à esquerda durante o torneamento, à direita no final do torneamento	59
Figura 43 – Rolha de cortiça capsulada com excesso de material no lado onde é feita a injeção de material.....	61
Figura 44 – Torciómetro utilizado para a realização dos ensaios de torção	65
Figura 45 – Mordentes que permitem a realização do aperto na máquina de torção.....	66
Figura 46 - Rolha de cortiça com disco de material e paralelepípedo de alumínio projetados	66
Figura 47 – Provetes preparados para o ensaio de torção	67
Figura 48 - Barra projetada para a realização da calibração do torciómetro	68
Figura 49 – Barra destinada à realização da calibração acoplada ao torciómetro	68
Figura 50 - Gabari concebido em esteriolitografia para a realização da colagem	69
Figura 51 – Provetes após a realização do ensaio de adesão	70

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Materiais poliméricos previstos para o processo de sobreinjeção e na matriz de adesão	13
Tabela 2 – Parâmetros otimizados utilizados nos testes.....	41
Tabela 3 – Ensaio realizado para rolhas com falange de 1,5 mm por injeção no topo da rolha	42
Tabela 4 - Ensaio realizado para rolhas sem falange por injeção no topo da rolha	42
Tabela 5 – Rolhas de cortiça produzidas para diferentes dimensões de falange.....	43
Tabela 6 - Ensaio realizado para rolhas com rasgos, por injeção no topo da rolha	43
Tabela 7 - Ensaio realizado para rolhas sem falange por injeção lateral no centro da cápsula	44
Tabela 8 - Ensaio realizado para rolhas sem falange por injeção lateral no topo da cápsula	44
Tabela 9 – Valores médios de torção e tração para rolhas com 1,5 mm de falange.....	47
Tabela 10 - Valores médios de torção e tração para rolhas sem falange.....	48
Tabela 11 – Valores médios de torção e tração para as rolhas de 1 mm de falange	49
Tabela 12 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,75 mm de falange	49
Tabela 13 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,5 mm de falange	50
Tabela 14 - Rolhas de cortiça produzidas para 0,5 mm de falange	50
Tabela 15 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,5 mm de falange	51
Tabela 16 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de diferentes rasgos	52
Tabela 17 – Rolhas de cortiça sem falange produzidas para diferentes lavações	53
Tabela 18 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange com e sem lavagem	53
Tabela 19 - Rolhas de cortiça sem falange produzidas para diferentes tratamentos	54
Tabela 20 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange com diferentes tratamentos	54
Tabela 21 - Rolhas de cortiça sem falange produzidas para tratamento S0	55
Tabela 22 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange para tratamento S0	55
Tabela 23 – Resumo de todas as taxas de aprovação para os ensaios realizados.....	58
Tabela 24 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange produzidas para o molde com injeção lateral.....	59
Tabela 25 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange produzidas para o molde com injeção lateral.....	60
Tabela 26 – Valores utilizados na curva de calibração do torcímetro.....	69
Tabela 27 – Distribuição das amostras realizadas para o ensaio de adesão	70
Tabela 28 – Valores médios para o binário registado no ensaio de adesão.....	71

1. Enquadramento

1.1 Projeto Top-Cork

O presente projeto enquadra-se no desenvolvimento industrial de um novo processo produtivo, tratando-se da aplicação do processo de sobreinjeção de materiais poliméricos ao processo de encapsulagem de rolhas de cortiça.

O projeto nasceu da necessidade de eliminação do material adesivo, vulgarmente designado por cola, existente entre a rolha de cortiça e a cápsula polimérica e que permite o fabrico das rolhas de cortiça capsuladas. A eliminação da cola permite atender a um problema já identificado no transporte e armazenamento das rolhas de cortiça capsuladas, que quando não é feito de forma correta leva à descolagem entre a cápsula e a rolha de cortiça e consequentemente ao descontentamento dos clientes.

Outro motivo que faz da eliminação da cola um ponto de interesse, prende-se com o facto de a rolha de cortiça capsulada se tratar de um produto alimentar, uma vez que a mesma é utilizada em bebidas, por este motivo a cola utilizada tem um cariz especial uma vez que a sua composição tem de ser permitida pelas normas que regem a indústria alimentar.

A sua eliminação permitiria não só diminuir o seu custo acrescido à produção das rolhas de cortiça capsuladas, como permitia também que as rolhas capsuladas se tornassem num produto mais limpo, pois os produtos sintéticos utilizados na sua produção seriam reduzidos, tornando o produto mais facilmente aceite pelos consumidores.

1.2 Entidades envolvidas no projeto

1.2.1. O INEGI

O INEGI, Instituto de Engenharia e Gestão Industrial, nasceu em 1986 através do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (DEMEGI) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e serve como ponto de ligação entre a Universidade e a Indústria.

Como Associação Privada sem Fins Lucrativos está orientado para as atividades de investigação, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia, sendo um

impulsionador do desenvolvimento da indústria portuguesa assim como do seu modelo competitivo.

A unidade CETECOP foi criada para dar resposta a projetos da área de conformação plástica. São cada vez mais os projetos de outras áreas a que a unidade atende, como é o caso deste trabalho, dando resposta aos parceiros da unidade.

1.3 Objetivos do projeto

O principal objetivo desta dissertação é entender de que forma o processo de sobreinjeção pode ser utilizado no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas, para que destas seja eliminada a cola utilizada na sua produção.

Com o intuito de alcançar esse mesmo objetivo foram definidos objetivos parciais, os quais permitem organizar todo o trabalho. São estes:

- Definição da geometria de rolha de cortiça mais indicada para a implementação do processo produtivo;
- Testar diferentes formas de injeção de material polimérico por forma a ser validada qual a mais indicada no contexto do processo;
- Testar a adesão dos materiais: poliméricos *versus* cortiça, para se entender a viabilidade do processo de sobreinjeção aplicado ao fabrico de rolhas de cortiça capsuladas;

1.4 Estrutura e organização do texto

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos que, de seguida, serão expostos sumariamente.

O **segundo capítulo** é dedicado à descrição de conceitos teóricos necessários a uma melhor compreensão deste projeto. É descrito o processo de produção atual de rolhas de cortiça capsuladas, os materiais utilizados, assim como o processo de sobreinjeção de polímeros.

O **terceiro capítulo** define todas as etapas constituintes da aplicação do processo de sobreinjeção no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas. Nesta secção são descritos os moldes elaborados, os parâmetros do processo, assim como toda a pesquisa e resultados dos melhores métodos que poderiam ser utilizados.

O **quarto capítulo** é dedicado à descrição de todas as fases para a realização da matriz de adesão entre a cortiça e os materiais poliméricos, assim como os resultados obtidos.

O **quinto capítulo** apresenta as conclusões do projeto, na primeira parte, e os possíveis desenvolvimentos futuros na segunda parte.

2. Estado da arte

2.1 Introdução

O fabrico de rolhas de cortiça capsuladas é um processo com alguma complexidade dada a quantidade de etapas integrantes do mesmo. Neste trabalho pretende-se perceber de que forma a aplicação do processo de sobreinjeção se pode tornar uma mais-valia na produção de rolhas de cortiça capsuladas.

A aplicação do processo permite que os dois materiais – cortiça e polímero - adiram de imediato um ao outro, sem a necessidade de utilizar nenhum material adesivo para essa finalidade. A retirada do material adesivo, além de reduzir o número de etapas constituintes do processo, torna a rolha de cortiça capsulada um produto mais limpo, o que acarreta inúmeras vantagens.

Neste capítulo serão descritos todos os conceitos teóricos inerentes a este trabalho. Será descrito o processo atual de produção de rolhas de cortiça capsuladas, assim como em que se baseia o processo de sobreinjeção. Será também feita uma revisão das principais características dos materiais utilizados para que estas sejam utilizadas da melhor forma possível no estudo atual.

2.2 A Cortiça

A cortiça é considerada um material nobre de características inigualáveis, daí ser cada vez mais utilizada no quotidiano sob as mais diversas formas.

No presente capítulo será explicado o que torna este material tão especial, quais as suas propriedades e principais características que lhe conferem um sem fim de aplicações.

2.2.1 Enquadramento histórico

A utilização da cortiça na sociedade tem já alguns séculos, existindo inúmeras referências históricas à utilização deste material. Contudo, o seu uso tornou-se parte da sociedade quando se generalizou a utilização de cortiça sob a forma de rolhas para selar garrafas.

Uma das primeiras alusões históricas a este material data do ano 3000 a.C., em países como a China e o Egipto em artigos destinados à atividade piscatória, seguindo-se posteriormente a Grécia com a utilização da cortiça para selar e transportar ânforas. Em Itália foi descoberta a aplicação deste material em bóias e telhados de casa, entre outros.

A utilização da cortiça em Portugal foi-se propagando à medida que as suas excelentes propriedades eram exploradas, sendo que durante o século XIII, Portugal foi o pioneiro na implementação de legislação para proteção dos montados e por consequência da utilização da cortiça.

Ainda em Portugal, existem diversas referências à utilização de cortiça. Na época dos Descobrimentos, a madeira do sobreiro era utilizada nas zonas mais expostas dos cascos das naus conferindo-lhes uma resistência muito superior à que era habitual.

No século XVIII a utilização de cortiça sob a forma de rolhas para selar garrafas contendo bebidas tomou forma quando o francês *Dom Pierre Pérignon*, responsável pela tesouraria da *Abadia de Hautvilles*, substituiu os tampões de madeira utilizados no seu famoso champanhe *Don Pérignon* por tampões de cortiça, uma vez que esta permite a conservação do dióxido de carbono presente no espumante no interior da garrafa.

Em Portugal, o uso da cortiça em forma de rolha foi adotado no ano de 1770, com a exportação de Vinho do Porto. Foi nessa altura que surgiram as primeiras empresas voltadas para o fabrico de rolhas no norte do país - local onde ainda hoje se instala a maior parte das empresas do setor.

Já no século passado, no ano de 1907, foi fundada a *Confédération Européenne du Liège (C.E.Liège)* a qual apresentou uns anos mais tarde o Código Internacional de Práticas Rolheiras - documento que ainda nos dias de hoje é aplicado no fabrico de rolhas de cortiça.[1]

2.2.2 Produção e aplicação de cortiça

No presente capítulo será abordado a forma como a cortiça é tratada, desde o crescimento do sobreiro passando pelo descortiçamento e posteriores processos para a obtenção de rolhas.

O Sobreiro

Desde sempre o sobreiro (*Quercus suber* L.) foi considerado uma árvore de grande importância e que necessitava de ser conservada. Segundo referências históricas, na Grécia Antiga este era motivo de adoração e por isso apenas os sacerdotes tinham autorização para a sua exploração.

O sobreiro necessita de condições específicas para o seu crescimento e desenvolvimento, sendo possível observar uma maior concentração desta espécie nas regiões mediterrânicas e mediterrânicas de influência atlântica. Como tal, este concentra-se nas regiões da Península Ibérica, sul de França, Itália e norte de África - Figura 1.

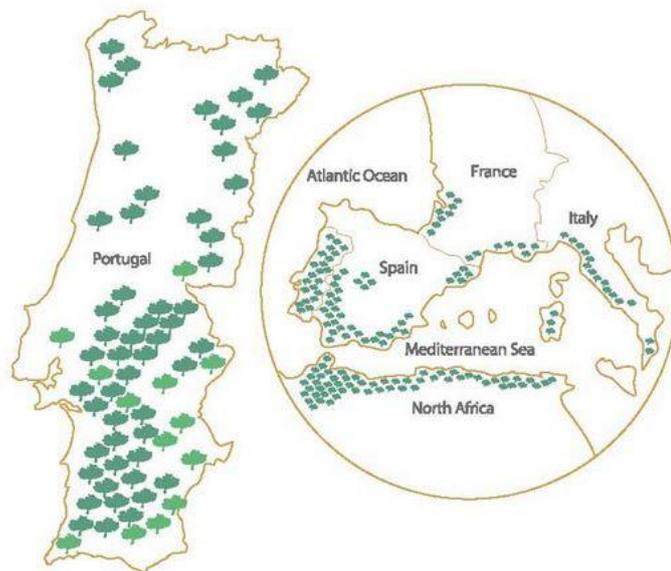


Figura 1 - Distribuição de sobreiros a nível mundial [2]

Como é possível observar na Figura 1, Portugal é por excelência o país com maior concentração de sobreiros, predominantemente no sul, pelas características do seu território. Com uma extensão de cerca de 730 mil hectares, o montado de sobreiro representa cerca de 21% de toda a florestação. Isto leva a que Portugal seja o produtor de mais de 50% da cortiça a nível mundial.

Por apenas se desenvolver em ambientes muito específicos, como foi já explicado, o montado de sobreiro é considerado património nacional, sendo expressamente proibido o seu abate, ao abrigo do Decreto-lei nº169/2001.

A cortiça constitui a casca do tronco do sobreiro, sendo possível que um sobreiro produza cortiça durante cerca de 150 a 200 anos, podendo no entanto atingir entre 250 e 350 anos, o que permite diversos descortiçamentos.

Aquilo que torna esta árvore tão única é a sua elevada capacidade de regeneração. Após cada descortiçamento o revestimento regenera-se formando novamente a casca do sobreiro – cortiça.[3, 4]

O Descortiçamento

Durante todo o tempo de crescimento do sobreiro, este sofre diversas operações de descortiçamento, que consiste em retirar a casca de cortiça do sobreiro - Figura 2. Esta é uma operação delicada e por esse motivo tem de ser realizada manualmente, uma vez que a utilização de máquinas poderia pôr em risco as pranchas de cortiça ou até mesmo o tronco do sobreiro.



Figura 2 - Sobreiro após ter sofrido descortiçamento [5]

Como se trata de uma árvore de crescimento lento, são necessários cerca de 25 anos até que seja possível extrair a primeira camada de cortiça. No entanto, e ao abrigo da lei (Decreto-lei 11/97), caso um sobreiro não tenha as dimensões mínimas estipuladas para o descortiçamento, este não deve ser realizado. Esta legislação é aplicada aos sobreiros ainda jovens e válida para o primeiro descortiçamento.

Após a primeira extração, os descortiçamentos fazem-se com intervalos mínimos de 9 anos. Este intervalo de tempo serve para que a árvore se regenere, isto é, se forme uma nova camada de felogénio, tecido responsável pela formação de cortiça, e que a cada descortiçamento é destruído.

Num mesmo montado, atendendo às diferentes idades dos sobreiros, são conseguidos, em cada descortiçamento, diferentes tipos de pranchas de cortiça. Estas pranchas são separadas de acordo com a sua qualidade e seguem para diferentes destinos de acordo com a sua utilização final. [3, 6]

A cortiça

A cortiça, como já foi referido, consiste no revestimento exterior do sobreiro. Dependendo da idade do sobreiro, podem ser retiradas pranchas de cortiça de diferentes qualidades que podem ou não ser usadas para a produção de rolhas.

A primeira camada de cortiça produzida denomina-se cortiça virgem, esta é retirada quando o sobreiro atinge idade e dimensões para que o primeiro descortiçamento possa ser realizado. Esta cortiça não é usada para o fabrico de rolhas naturais, pois apresenta ao longo de toda a sua espessura fendas resultantes de tensões tangenciais de crescimento da árvore que não permitem a sua utilização para este fim. É apenas usada para a trituração e produção de aglomerados de cortiça, aglomerados esses que podem ser utilizados para a produção de rolhas técnicas ou de cortiça aglomerada.

Após o primeiro descortiçamento, a camada de revestimento do sobreiro (felogénio) regenera-se, dando origem à segunda camada de cortiça, designada cortiça secundária. Regra geral esta cortiça também não é usada para a produção de rolhas naturais, dado que ainda apresenta fendas resultantes das tensões tangenciais de crescimento do sobreiro, sendo apenas utilizada para a produção de aglomerados de cortiça que podem ser aplicados na produção de rolhas técnicas (ou aglomeradas).

Tal como havia acontecido com o primeiro descortiçamento, após o segundo a camada de felogénio volta a regenerar-se dando origem à terceira camada de cortiça chamada cortiça amadia. Esta é a camada utilizada para a produção de rolhas naturais apresentando uma espessura uniforme com poucas fraturas. A partir desse momento, o sobreiro passa a produzir pranchas deste tipo de cortiça, uma vez que já não apresenta um acentuado crescimento do tronco.

Seja qual for a qualidade da cortiça, as pranchas retiradas dos sobreiros são separadas por categorias como atrás referido e empilhadas, ficando a repousar até que sejam utilizadas no fabrico de produtos de cortiça, nomeadamente rolhas.[3]

Propriedades da cortiça

A cortiça apresenta um conjunto de propriedades que mais nenhum material consegue igualar, apenas possíveis de explicar através da análise da sua composição química e estrutural.

A cortiça pertence à classe dos materiais celulares, sendo portanto composta por um aglomerado de células que contêm entre si elementos gasosos. Esta constituição tão especial leva a que o material apresente propriedades tais como:

- Baixa densidade;
- Impermeabilidade a líquidos e a gases;
- Compressibilidade;
- Elasticidade;

- Excelente capacidade de isolamento térmico e acústico;
- Combustão lenta;
- Elevada resistência ao atrito.

Na sua constituição química, a cortiça possui diferentes componentes em diferentes proporções, tais como: a suberina (cerca de 45%), lenhina (27%), polissacarídeos (12%), ceroides (6%) e taninos (6%). [7]

Cada um dos compostos referidos confere uma propriedade diferente ao material. A suberina - componente em maior quantidade - confere à cortiça um elevado fator de impermeabilidade tão importante neste material e que permite a sua ampla utilização, nomeadamente sob a forma de rolhas.

As restantes propriedades são conferidas pelos elementos gasosos. Estes concedem a baixa densidade e compressibilidade do material e, uma vez que ficam aprisionados no interior da matriz sólida, deve-se-lhes ainda a elevada elasticidade e também o bom isolamento térmico.

Os elementos gasosos entre as células podem criar um menor ou maior número de espaços, isto é de poros. Esta maior ou menor porosidade da cortiça leva à classificação da qualidade da mesma, uma vez que uma cortiça com elevada porosidade conduz a pranchas com um elevado número de defeitos nas rolhas naturais.[3]

Produtos da cortiça

Atualmente e com o estudo mais aprofundado das excelentes propriedades da cortiça, esta é aplicada nos mais variados produtos em diversas áreas do quotidiano. A cortiça é usada na indústria da construção para isolamentos e revestimentos, no fabrico de peças de vestuário e acessórios e também em diversos objetos de *design*. Contudo, o produto em que é utilizada há mais tempo e continua a ser utilizada é a rolha. Esta pode ser produzida a partir de cortiça natural ou cortiça aglomerada.

A classificação das rolhas está relacionada com a origem da cortiça através das quais estas são produzidas. As rolhas de cortiça natural são produzidas por brocagem direta das pranchas de cortiça amadia previamente selecionadas. De cada prancha podem ser produzidas rolhas de diferentes comprimentos de acordo com a espessura da própria prancha, sendo as espessuras mínimas e máximas variáveis entre 27 mm e 54 mm, respetivamente.

Após a operação de brocagem as rolhas passam por um processo de tratamento, retificação dimensional e lavagem, sendo nesta altura divididas em classes de qualidade. Estas classes têm em atenção a qualidade da superfície observada, isto é a quantidade de porosidades ou outros defeitos visíveis. Existem várias classes de rolhas de cortiça natural:

- Classe flor: trata-se da melhor classe de rolhas que pode ser produzida, com menos porosidades e defeitos observados;
- Classe extra: é segunda melhor classe, tem mais porosidades e defeitos do que a classe anterior;

As rolhas de cortiça aglomerada, ou rolhas técnicas, são produzidas pela aglomeração de granulado de cortiça virgem ou secundeira, pois estas ainda não possuem dimensões e características que permitam a produção de rolhas de boa qualidade.

Após a produção das rolhas todas passam por um rigoroso processo que visa o tratamento da superfície e o controlo dimensional das mesmas para que possam estar em conformidade com as exigências do mercado.[3]

2.3 Materiais poliméricos

Os materiais poliméricos, principalmente os polímeros de origem natural, são utilizados há diversos séculos devido às suas favoráveis propriedades, as quais permitem a sua ampla utilização e diferentes formas de processamento.

Neste capítulo será feita uma pequena descrição dos polímeros, da sua utilização no contexto histórico e das propriedades que mais se destacam, em especial daqueles que foram utilizados na realização do presente trabalho.

2.3.1 Enquadramento histórico

Diariamente, são utilizados na sociedade, polímeros de diversas formas. A sua aplicação é tão variada que a presença deste material passa despercebida. No entanto, o uso dos polímeros não é algo recente, especialmente os polímeros de origem natural (aqueles possíveis de encontrar na natureza) que são utilizados há milhares de anos.

A civilização Maia foi a primeira de que há referência a fazer uso dos materiais poliméricos, extraindo latex (também designada borracha natural) de algumas árvores, e posteriormente utilizando-a na produção de bolas usadas no desporto praticado pela civilização.

Alguns séculos mais tarde, em 1839, *Charles Goodyear* terá descoberto que a borracha ao ser misturada com enxofre permitia formar um composto, o qual designou por borracha vulcanizada, que por ação do calor pode ser moldado e transformado.

A partir daí, a borracha vulcanizada, pelas suas características de impermeabilidade e de resistência a variações bruscas de temperatura, começou a ser usada na produção de botas impermeáveis, capas para a chuva e pneus para carruagens. No entanto, a sua expansão deu-se aquando do desenvolvimento da indústria automóvel, em que a produção de pneus é realizada, ainda nos dias de hoje, através de borracha vulcanizada.

Ainda em 1839, o químico *Edward Simon*, fez a descoberta do monómero de estireno, isolando-o da longa cadeia de polímero de poliestireno. Contudo, apenas no ano de 1851, o químico *M. Berthelot*, deu a conhecer o processo produtivo deste monómero através da passagem de etileno e benzeno pelo interior de um tubo quente, processo conhecido como a desidrogenação do benzeno.

A maior revolução verificada no que diz respeito aos materiais poliméricos deu-se na Alemanha, durante a Segunda Guerra Mundial, pois foi notória a necessidade de melhorar os produtos, em especial a borracha sintética.[8] [9]

A partir deste momento foram criados novos materiais poliméricos, como é o caso dos adesivos e dos revestimentos poliméricos, assim como criadas novas formas de produção para os materiais já conhecidos.

2.3.2 Definição de polímero

Ao longo deste capítulo foi já referido por diversas vezes a palavra polímero ou material polimérico, no entanto ainda não foi definido de forma correta o termo.

O termo polímero, seja este de origem natural ou sintética, refere-se a uma macromolécula cuja estrutura química é formada por uma repetição de várias unidades mais simples designadas monómeros.

Os polímeros de origem natural são aqueles que são encontrados na natureza e que na sua constituição química contêm uma repetição de um mesmo monómero, formando uma cadeia. Como exemplos de materiais poliméricos tem-se a celulose e a borracha natural (latex).[8, 10]

São os polímeros naturais que estão na origem da produção dos polímeros sintéticos os quais são caracterizados pela repetição de vários monómeros, sendo cada monómero responsável por uma dada característica atribuída a esse mesmo polímero. Os exemplos mais vulgares de polímeros sintéticos são o polietileno, o polipropileno e o poliestireno, entre vários outros.

Existem diversos tipos de polímeros. As suas características dependem das suas propriedades, que dependem, por sua vez dos monómeros pelos quais são formados. Do grande universo de materiais poliméricos destacam-se:

- Plásticos, que serão os materiais utilizados neste estudo;
- Adesivos;
- Borrachas, que possuem características como elasticidade e flexibilidade;

Como referido, neste estudo o tipo de polímeros mais utilizado será o plástico, isto porque, além de ser o material mais utilizado no processo de sobreinjeção, é aquele que permite ser moldado até à forma desejada de uma maneira mais simples.

Os plásticos podem ainda ser divididos em duas subcategorias: os termoplásticos e os termoendurecíveis. Os termoplásticos são aqueles que denotam mais interesse para este trabalho, uma vez que permitem ser conformados, até à forma pretendida, repetidas vezes, através da aplicação de temperatura e pressão. Pelo contrário, os termoendurecíveis, apenas permitem ser conformados uma única vez, não podendo ser reutilizados. [8, 9]

Assim, os materiais termoplásticos são aqueles que mais se utilizam, uma vez que permitem um sem fim de aplicações, dependendo apenas das suas propriedades.

Para este estudo, a escolha dos termoplásticos, recaiu naqueles que podem ser utilizados na indústria alimentar, visto que o produto em que se pretende a introdução dos polímeros – rolha de cortiça capsulada - é um produto utilizado em bebidas, necessitando de um rigoroso controlo.

Os termoplásticos escolhidos foram utilizados em dois momentos diferentes do estudo: num primeiro momento de forma a perceber se o processo de sobreinjeção seria viável para ser implementado na produção de rolhas de cortiça capsuladas, e num segundo momento com o objetivo de perceber de que forma a cortiça e os termoplásticos aderiam um ao outro.

Existe um sem fim de materiais poliméricos que podem ser utilizados, contudo os cinco materiais aqui utilizados foram sugeridos pela empresa, sendo estes os de maior interesse neste momento. Assim, os materiais termoplásticos escolhidos foram:

- Poliestireno Cristal (PS Cristal);
- Poliestireno Antichoque (PS Antichoque);
- Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS);
- Polietileno (PE);
- Policarbonato (PC).

Poliestireno Cristal e Antichoque (PS Cristal e PS Antichoque)

O Poliestireno, abreviado PS, é um polímero de origem sintética, formado pela união de vários monómeros de estireno, utilizado em inúmeras aplicações do quotidiano, tais como tampas de caixas de CD's, canetas, embalagens de alimentos, entre outras.

O Poliestireno é um termoplástico muito usado nos processos de injeção de plástico devido à sua facilidade em ser moldado, apresentando uma elevada precisão dimensional e, uma muito boa resistência elétrica, assim como uma relativa rigidez e dureza.

Neste desenvolvimento, foram testados no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas dois tipos de Poliestireno: o Poliestireno Cristal e o Poliestireno Antichoque - abreviados PS Cristal e PS Antichoque, respetivamente.

O PS Cristal é um polímero transparente e por isso utilizado em difusores de luz, brinquedos, talheres, entre outras aplicações. Tem características mais frágeis do que o PS Antichoque, no entanto apresenta ainda a dureza e rigidez características do material de poliestireno.

O PS Antichoque tem na sua constituição monómeros de butadieno agregados aos monómeros de estireno, o que torna este material mais resistente ao choque do que o PS Cristal. Devido à presença dos monómeros de estireno não se apresenta tão cristalino quanto o PS Cristal, e é também utilizado em brinquedos, entre outras aplicações.

Apesar de depois de termoformado o PS Cristal se apresentar mais cristalino do que o PS Antichoque, os dois permitem fácil coloração através da adição de pigmentos, conduzindo à sua ampla aplicação.[9]

Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)

O polímero de Acrilonitrila Butadieno Estireno, abreviado ABS, é constituído pelos monómeros de acrilonitrila, butadieno e estireno, em diferentes quantidades, atribuindo cada um deles uma propriedade característica ao polímero.

O monómero de acrilonitrila, confere ao polímero a resistência térmica e química, o monómero de butadieno confere a este material a tenacidade e a capacidade de ser utilizado numa alargada gama de temperaturas e por fim o monómero de estireno, aquele que tem um menor custo, faz com que este polímero tenha um fácil processamento e maquinagem. A soma de todas as propriedades faz com que este material seja considerado um termoplástico de engenharia e por isso largamente utilizado em aplicações desta área.

Outras propriedades se destacam deste polímero, além daquelas que já foram referidas. Este polímero, devido aos monómeros de butadieno presentes na sua constituição, é caracterizado por uma elevada resistência ao impacto. Outra característica importante, é que permite a sua fácil coloração através da adição de pigmentos, o que torna fácil a sua utilização em diferentes aplicações.

Este é usado em componentes de partes interiores e grelhas de automóveis, capacetes de proteção, acessórios para tubagens, partes interiores de sistemas de refrigeração, entre muitas outras.

Polietileno (PE)

O Polietileno, abreviado PE, é um dos mais simples e utilizados polímeros de origem sintética. Este é formado pela união de vários monómeros de etileno e pelas suas características como a elevada resistência ao impacto a baixas temperaturas, boas propriedades elétricas e a sua fácil coloração através da adição de pigmentos, conferem a este material inúmeras utilizações.

O polietileno é utilizado em brinquedos, tubos, embalagens para alimentos, por ser um material permitido na indústria alimentar, entre várias outras aplicações.

Policarbonato (PC)

O Policarbonato, abreviado PC, é um dos mais comuns polímeros de engenharia, uma vez que na sua composição apresenta grupos de carbonato o que lhe confere características tão importantes como a capacidade em suportar uma vasta gama de temperaturas e a resistência ao impacto.

A forma como se apresenta transparente após ser termoformado, pode ser alterada facilmente através da adição de pigmentos, apresenta também boas características elétricas e uma boa rigidez.

As suas características permitem que seja amplamente utilizado na indústria automóvel e eletrónica em componentes de computadores, zonas de envidraçados, em substituição do vidro, componentes médicos, entre muitas outras aplicações dadas a este material.

Até ao momento foram descritas as características gerais de cada um dos materiais, no entanto para a utilização de cada um destes no processo de sobreinjeção torna-se necessário compreender as propriedades físicas de cada um.

Para que fosse possível resumir e consultar de uma forma mais expedita as propriedades mais importantes para este estudo de cada um dos materiais poliméricos descritos, foram construídas tabelas que resumem estas mesmas propriedades.

Tabela 1 – Materiais poliméricos previstos para o processo de sobreinjeção e na matriz de adesão

		Material				
		PS Cristal	PS AC	ABS	PC	PE (HD)
Propriedade Físicas						
Densidade	g/cm ³	1,05	1,05	1,04	1,20	0,96
Índice de Fluidez (200°C/5 kg)	g/10min	11,0	4,50	19 [cm ³ /10min (200°C/10 kg)]	12 (300°C/1,20kg)	22 (190°C/5kg)
Propriedades Mecânicas						
Tensão Limite de Elasticidade	MPa	43,0	28,0	45,00	59,1 – 65,2	29,00
Extensão	%	2,0	50,0	2,60	110 - 120	1,12 ³ – 1,29 ³
Módulo de Flexão	MPa	3500	1900	2300	2300,00	1050
Resistência à Flexão	MPa	80,0	44,0	65,00	90,00	30,9 – 43,4
Propriedades Térmicas						
Temperatura de fusão	°C	180-260	180-260	220-260	260 - 300	250
Temperatura transição vítrea	°C	90 - 100	85 - 99	100 - 110	142 - 158	131
Condições de Processamento						
Temperatura do molde	°C	40-60	40-60	30-60	70 - 100	30 – 50
Pressão de moldação	MPa	34,4 - 138	68,8 - 138	55 -172	69 - 138	82,5 - 103

Fica a nota de que para a elaboração da tabela anteriormente apresentada foram consultadas as fichas técnicas de cada um dos materiais em estudo, que podem ser consultadas no Anexo A, assim como o programa de engenharia de materiais *CES EduPack*.

2.4 Rolhas capsuladas – processo de fabrico atual

O presente capítulo visa a descrição de todas as etapas constituintes do processo atualmente em vigor, para que sejam perceptíveis as vantagens da alteração do fluxo de produção que se pretende realizar.

2.4.1 Processo de produção atual de rolhas de cortiça capsuladas

Atualmente existem duas etapas principais na produção das rolhas de cortiça capsuladas: a produção das rolhas de cortiça e a produção das cápsulas poliméricas. As duas partes da rolha capsulada são fabricadas em separado e, posteriormente, numa operação denominada capsulagem, são unidas através de um processo de colagem. [11]

A produção das rolhas de cortiça propriamente ditas é uma operação anterior ao processo aqui descrito. A explicação do método produtivo das rolhas foi já feita, no capítulo 2.2.2 - Produção e aplicação de cortiça - onde é realizada a descrição dos diferentes métodos de produção, dependendo do tipo de cortiça utilizada.

Depois da entrada das rolhas de cortiça na unidade fabril, estas sofrem uma primeira operação de tratamento de superfície. Nesta operação é aplicado um leve tratamento que tem a finalidade de retirar o TCA - aquilo que confere o “sabor de cortiça” à bebida - da superfície da rolha.

Todas as rolhas têm a necessidade de passar por esta operação. No entanto em bebidas com alto teor alcoólico o controlo das cápsulas não terá de ser tão rigoroso pois o TCA é eliminado pela própria bebida.

Após esta etapa, todas as rolhas passam pelo controlo eletrónico, o qual tem como objetivo separar as rolhas em classes. O controlo eletrónico é feito automaticamente por máquinas que captam uma imagem, a preto e branco de cada rolha, analisando a quantidade de pontos pretos e brancos referentes à qualidade da rolha. A rolha de cortiça terá uma classe tanto melhor quanto menor for o número de pontos pretos detetados durante a análise de cada imagem. Este controlo é apenas feito a rolhas de cortiça natural, pois, como será visto um pouco mais à frente, as rolhas de cortiça aglomerada são produzidas pela aglomeração de granulado de cortiça.

Depois da separação das rolhas de cortiça em classes, é altura de dar às mesmas as formas e dimensões necessárias, uma vez que até este momento são apenas cilindros de cortiça, sem rigor dimensional e geométrico, como mostra a Figura 3. Desta forma, as rolhas sofrem operações de acabamentos mecânicos, podendo ser realizados chanfros ou ser boleadas numa das extremidades, assim como alteradas as dimensões, entre várias outras operações que podem ser realizadas sobre esses cilindros de cortiça.



Figura 3 – Imagem de uma rolha sem forma – cilindro de cortiça

Tendo as rolhas as formas e as dimensões necessárias para serem introduzidas nos gargalos das garrafas, estas são lavadas e posteriormente secas. A lavagem consiste na junção de água oxigenada e neutralizadores de pH. Esta etapa serve apenas para retirar pó ou outros resíduos que podem ter resultado das operações mecânicas anteriores, assim como desinfetar a superfície exterior da cortiça, ficando as rolhas com o aspeto que se apresenta na Figura 4.



Figura 4 - Imagem de uma rolha com chanfro e lavação

Neste ponto, as rolhas de cortiça estão terminadas e prontas a serem utilizadas no processo de encapsulagem, ficando armazenadas até então.

As cápsulas são produzidas pelo comum processo de moldação por injeção de polímeros sobre o qual será feita uma pequena explicação no capítulo 2.5.1 do presente documento. Após o seu fabrico, estas passam por uma operação de escolha, para que as mesmas sejam selecionadas, evitando assim a possibilidade de utilização de cápsulas poliméricas com defeito.

Posteriormente ao processo de escolha, as cápsulas são gravadas. Trata-se de imprimir na superfície superior da cápsula um símbolo ou indicação da marca da bebida a que a cápsula se destina. De seguida as cápsulas são novamente escolhidas e armazenadas até que sejam utilizadas no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas.

Com os dois componentes (rolha de cortiça e cápsula polimérica) terminados, inicia-se o processo de capsulagem para a produção de rolhas de cortiça capsuladas.

A primeira etapa deste processo consiste em aplicar tratamentos de superfície nas rolhas de cortiça. Estes tratamentos visam a melhoria das funções da rolha capsulada, permitindo que possam entrar e sair mais facilmente do gargalo da garrafa quando assim se torna necessário.

Existem diversos tipos de tratamentos, no entanto neste trabalho foram utilizados apenas dois, sendo por isso necessária uma pequena descrição da composição de cada um. Os dois tratamentos testados denominam-se S0 e S4. O tratamento S0 é composto na sua maioria por parafina, enquanto o tratamento S4 é composto por parafina e silicone.

Com a conclusão da etapa anterior, procede-se à operação de capsulagem propriamente dita. Esta operação consiste em colar a rolha de cortiça à cápsula polimérica, obtendo-se assim as rolhas de cortiça capsuladas. A cola utilizada é uma cola especial, destinada à indústria alimentar. A Figura 5 pretende ilustrar uma rolha de cortiça capsulada por intermédio de cola.

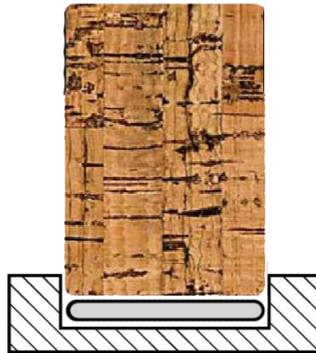


Figura 5- Representação de uma rolha capsulada pela utilização de cola

As rolhas que já se encontram capsuladas passam pelo controlo eletrónico no qual se verifica a perpendicularidade¹ entre a cápsula e a rolha e se a rolha ou a cápsula não foram colocadas na posição errada. Todas as rolhas que estão em conformidade são armazenadas até que sejam enviadas para os consumidores. [11]

A Figura 6 ilustra uma rolha de cortiça capsulada pelo processo atual de produção utilizando cola para unir a cortiça à cápsula.

¹ O termo utilizado refere-se ao que é utilizado durante a produção atual, não sendo o mais correto para a descrição do fenómeno observado.



Figura 6 – Rolha de cortiça capsulada produzida pelo processo atual

2.4.2 Ensaios de validação do processo atual

O processo de produção atual de rolhas de cortiça capsuladas passa por um rigoroso controlo ao longo das diversas etapas, como foi possível perceber na descrição anterior.

Contudo é necessário perceber se cada lote de rolhas de cortiça capsuladas produzido está em conformidade no que diz respeito à correta execução das suas funções. Para tal são realizados ensaios de cariz mecânico a algumas rolhas de cada lote, o que permite perceber se o lote é válido, sendo a colagem realizada de forma correta.

Depois de, aleatoriamente, se retirar de cada lote uma pequena amostra de rolhas já capsuladas, é realizado um ensaio de tração-torção. Este ensaio é realizado com recurso a uma máquina especificamente desenvolvida para o efeito e que tenta simular o movimento de extração da rolha do gargalo.

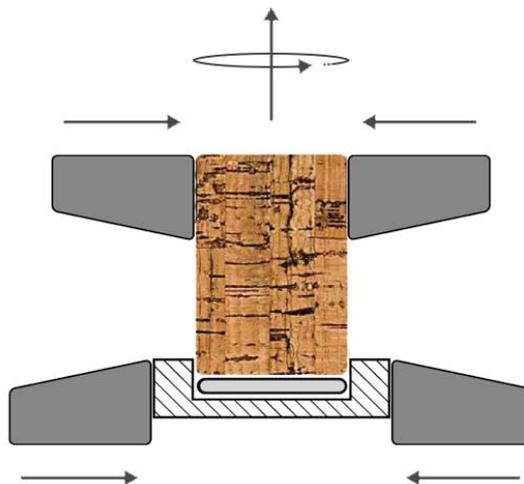


Figura 7 - Desenho de simulação do ensaio de validação das rolhas capsuladas produzidas

A premissa que permite testar a validade das rolhas fabricadas é a ocorrência de rotura, não pela zona de união da rolha de cortiça e da cápsula polimérica – local onde existe cola – mas sim na rolha de cortiça. Com a realização do ensaio, é também possível registar os valores máximos verificados no momento da rotura para a tração e torção.

O ensaio é realizado colocando na máquina uma rolha com a cápsula polimérica apoiada na base, como se pode observar na Figura 8. Depois de verificar todos os parâmetros, tais como a altura entre os mordentes superiores e inferiores, e a sua rotação (ângulo que os mordentes rodam entre si), o ensaio inicia-se.



Figura 8 - Imagem da fase inicial do ensaio

Os mordentes superiores descem até à altura escolhida e, tal como os mordentes inferiores, apertam a rolha em três locais, tal como pode ser observado na Figura 9. A localização dos mordentes simula os locais onde a força é exercida quando se retira uma rolha do interior da garrafa, sendo que o mordente inferior simula a mão de uma pessoa a retirar a rolha do gargalo e o mordente superior simula o gargalo.

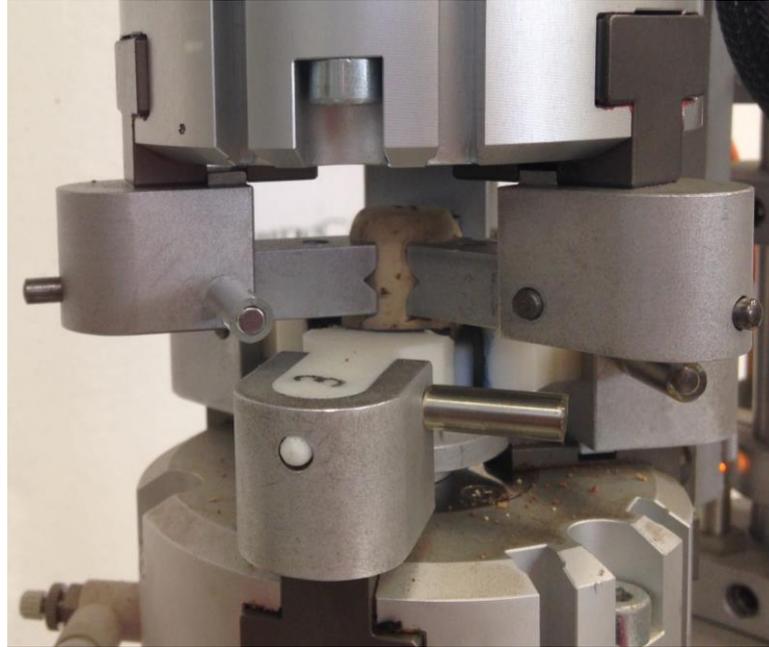


Figura 9 - Imagem dos mordentes com a rolha no interior

Após aperto, os mordentes rodam o ângulo definido e, se a rolha estiver corretamente fabricada, ocorre a já designada rotura pela cortiça. Na Figura 10 pode observar-se uma rolha de cortiça capsulada após a realização do ensaio no qual se verificou a rotura pela zona de cortiça.



Figura 10 – Rolha de cortiça capsulada produzida pelo processo atual após ensaio mecânico

Caso isto não aconteça e se verifique a descolagem das duas peças, é analisada a área de colagem existente na superfície entre a rolha de cortiça e a cápsula polimérica.

Caso a área colada seja igual ou superior a 60% da área total o lote em questão é dado como conforme e entregue ao cliente. Pelo contrário, caso a área colada seja apenas 40% ou um valor menor, o lote é considerado como não conforme e a colagem entre a rolha de cortiça e a cápsula polimérica é considerada deficiente.

É neste momento que se analisa o processo de capsulagem, por forma a entender qual a origem do problema assinalado anteriormente. Podem ser diversas as causas, sendo que as mais frequentes se prendem com os parâmetros de colagem que não estão totalmente regulados e a quantidade de cola disponibilizada que não é suficiente. Depois de ajustados, a produção das rolhas continua, sendo posteriormente analisadas as rolhas produzidas para avaliar novamente os lotes.

2.5 Processo de sobreinjeção

No presente capítulo pretende-se fazer uma descrição do processo de sobreinjeção e da forma como este pode ser implementado no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas.

2.5.1 Descrição

O processo de sobreinjeção de plástico é uma derivação do processo de injeção de plástico convencional. Este é um dos processos mais utilizados atualmente, uma vez que permite uma elevada cadência das peças produzidas, quase não necessitando de acabamentos finais.

Para o processo de injeção o material polimérico, ainda no estado sólido, é colocado num funil de alimentação acoplado a um fuso envolvido por resistências de aquecimento. O movimento de rotação do fuso faz com que o material polimérico seja transferido do funil de alimentação para a zona de resistências de aquecimento, onde o mesmo é aquecido até à sua temperatura de fusão.

Posteriormente, e através do movimento pressurizado de um cilindro, é introduzida uma certa quantidade do material polimérico, previamente aquecido, no interior de um molde com a forma da peça pretendida. O material polimérico é arrefecido no interior do molde para permitir que o número de defeitos seja tão reduzido quanto possível. [12]

O processo de sobreinjeção de plástico decorre de uma forma semelhante, a principal diferença é que no interior do molde, e antes de ser realizada a injeção do material, é colocada uma peça no molde sobre a qual é realizada a injeção.

É a introdução desta peça no molde que atribui ao processo a designação de sobreinjeção.

A peça referida anteriormente tem a designação de inserto, o qual pode ser fabricado por um qualquer processo e em qualquer material, dependendo das características e funções pretendidas. A única especificação atribuída ao inserto é que tenha uma temperatura de fusão superior à do material que será sobreinjetado, para que não se deforme durante o processo, o que provocaria posteriores problemas nas peças terminadas.[13]

Para a implementação do processo de sobreinjeção no caso em estudo, o inserto será uma rolha de cortiça, ao passo que o material injetado será um polímero, mais concretamente um termoplástico, dado que este é um dos materiais mais usados nos processos de injeção. As suas características foram já explicadas na secção anterior.

Os principais componentes produzidos pelo processo de sobreinjeção são componentes interiores de automóveis, instrumentos médicos, puxadores de portas, entre vários outros para os quais o fabrico o processo começa a ser implementado.[13]

Tal como no processo de injeção habitual, existem parâmetros que exigem um maior controlo, sendo eles a temperatura de fusão do material e a temperatura do molde assim como o tempo e a pressão de injeção. O efeito de cada um dos parâmetros referidos será explicado posteriormente, aquando da descrição do processo que se pretende implementar.

2.5.2 O processo de sobreinjeção na produção de rolhas capsuladas

Atualmente as rolhas capsuladas são produzidas como foi já explicado na secção 2.4. É notória uma necessidade de inúmeras etapas, mas principalmente observa-se a necessidade da fabricação em separado das duas partes da rolha de cortiça capsulada – rolha de cortiça e cápsula polimérica – para posterior colagem.

O processo de sobreinjeção tem como principal vantagem permitir a eliminação desta etapa de colagem, uma vez que permite que a produção da cápsula seja efetuada diretamente sobre a rolha de cortiça, levando a que as duas partes adiram automaticamente uma à outra, eliminando assim a cola de todo o processo, o que se traduz numa redução do número de etapas.

A diminuição de etapas permite uma redução de tempo de ciclo, conduzindo a um aumento da produção de rolhas, o que tem como consequência o aumento da viabilidade económica de todo o processo.

Para uma melhor compreensão de todas as etapas inerentes aos dois processos em estudo, o atual e o que inclui o processo de sobreinjeção, foram elaborados os seguintes fluxogramas. No primeiro é ilustrado o processo atual de produção de rolhas de cortiça capsuladas, ao passo que no segundo se observa as alterações decorridas da introdução do processo de sobreinjeção na produção de rolhas de cortiça capsuladas.

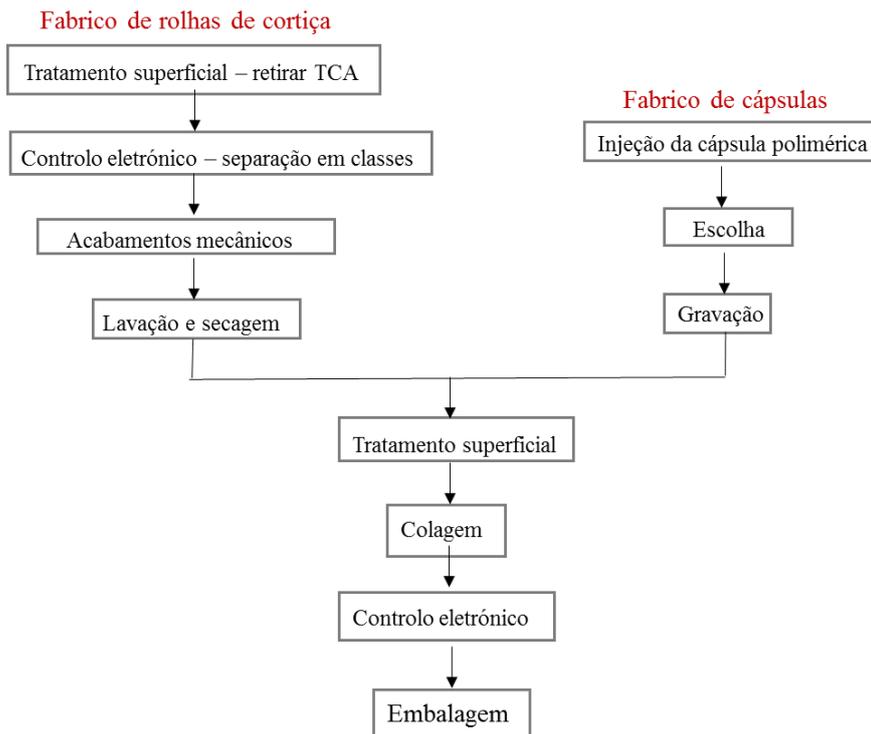


Figura 11 – Fluxograma do processo de produção atual de uma rolha de cortiça capsulada

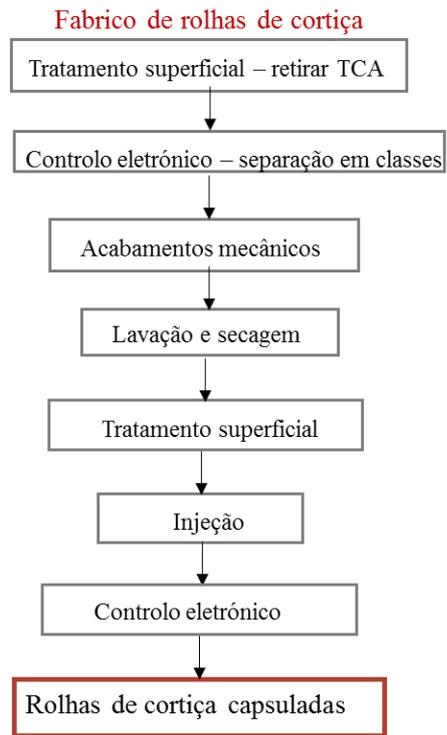


Figura 12 - Fluxograma do processo de produção de uma rolha de cortiça capsulada pela aplicação do processo de sobreinjeção

3. Implementação do processo de sobreinjeção no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas

Um dos principais objetivos desta dissertação é entender de que forma o processo de sobreinjeção pode ser implementado no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas. Deste modo, foram realizados testes que permitem explorar de uma forma prática esta possibilidade.

3.1 Máquina injetora

Através da explicação dada no capítulo 2.5, sobre o processo de sobreinjeção, entendeu-se necessária a existência de uma máquina injetora para a realização dos testes.

A máquina injetora utilizada encontra-se no INEGI e, tal como pode ser observado na Figura 13, é uma máquina de pequenas dimensões, com acionamento por comando pneumático.



Figura 13 – Máquina injetora com acionamento pneumático utilizada na realização dos ensaios

Para se entender a forma de funcionamento da máquina injetora foram realizados alguns testes, com um molde antigo. Estes testes permitiram, além de entender o funcionamento da máquina, compreender quais os parâmetros do processo que era possível ou não controlar.

Desta forma foi possível perceber como seria realizado o controle das variáveis pressão e temperatura de injeção. Contudo, o tempo de injeção era a única variável dependente da máquina que não permitia ser controlada. Depois de alguns ajustes, foi introduzido na máquina injetora um temporizador que executa de forma totalmente correta esta função.

3.2 Molde de injeção

Outro pressuposto de todo o processo é a existência de um molde onde possa ser colocado o inserto – rolha de cortiça – e posteriormente injetado o material polimérico.

O molde - concebido em alumínio - teve em conta duas especificações principais, as pequenas dimensões da máquina e as dimensões das rolhas que seriam testadas para o processo.

As rolhas que mais se utilizam no processo de capsulagem atual são as rolhas de 19,5 mm de diâmetro, podendo ser de cortiça natural ou aglomerada. Desta forma, decidiu-se que a cavidade do molde produzido tivesse também estas dimensões.

As rolhas de cortiça utilizadas atualmente no processo de capsulagem são rolhas sem qualquer tipo de falange, tal como as representadas na Figura 14.

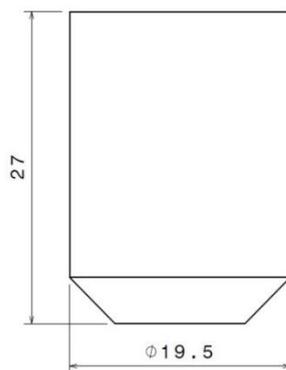


Figura 14 - Geometria e dimensões das rolhas de cortiça sem falange

No entanto, após algum estudo e realização de testes entre cortiça e polímeros, entendeu-se que para a aplicação do processo de sobreinjeção, as rolhas deveriam ter no topo uma falange que de alguma forma facilitasse a adesão entre os materiais. Desta forma, a geometria e dimensões das rolhas de cortiça com falange são as representadas na Figura 15.

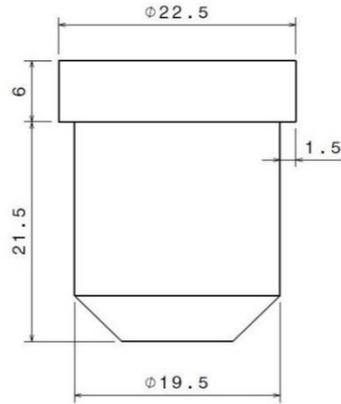


Figura 15 - Geometria e dimensões das rolhas de cortiça com falange

Tendo em atenção todas as especificações acima descritas, foi elaborado um esboço do primeiro molde de injeção, representado na Figura 16. Concluiu-se no entanto, após alguma análise do mesmo, que a sua maquinagem se tornaria uma tarefa complicada, levando à realização de alterações no desenho.

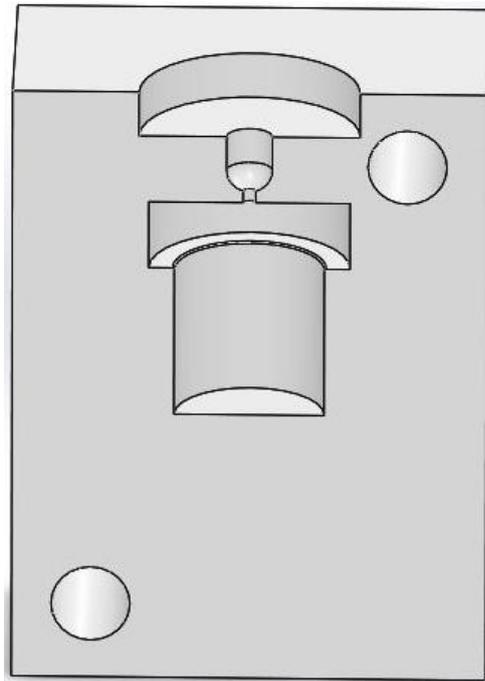


Figura 16 - Imagem 3D do esboço do primeiro meio molde

Assim, e mantendo as pequenas dimensões que o molde inicial já possuía, o desenho do molde final e que posteriormente seguiu para fabrico é o apresentado na Figura 17.

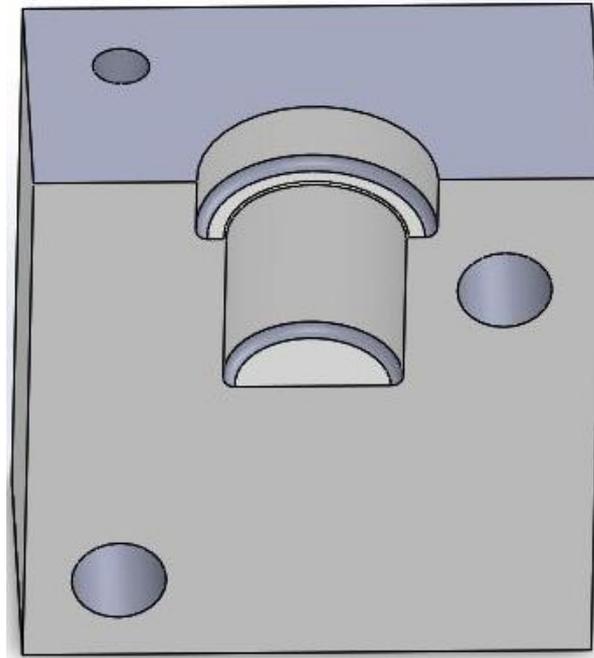


Figura 17 - Representação 3D de meio molde do primeiro molde produzido

Na Figura 17 é possível observar o espaço destinado à cápsula polimérica. Esta cápsula foi projetada com uma espessura de 1,5 mm a toda a volta do topo da rolha de cortiça, para que o material preenchesse de forma uniforme toda a superfície da cortiça. É também de notar que a cápsula polimérica perdeu as ranhuras características destas rolhas, por uma questão de simplificação do molde desenhado, pois trata-se de uma questão funcional que não interfere com a adesão dos materiais, que constitui o principal objetivo de estudo.

Na realização dos primeiros testes de sobreinjeção com o molde fabricado, foi possível verificar que existia ar que não era expulso do interior da cavidade do molde, ficando aprisionado dentro da cápsula polimérica, como pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 - Cápsula polimérica com bolhas de ar aprisionadas

Isto levou à necessidade de fazer uma posterior alteração ao molde, abrindo pequenos rasgos com uma secção de 0,8 x 0,8 mm para solucionar este problema.

O molde final e que permitiu fazer a grande maioria dos testes pretendidos é o que se observa na Figura 19.

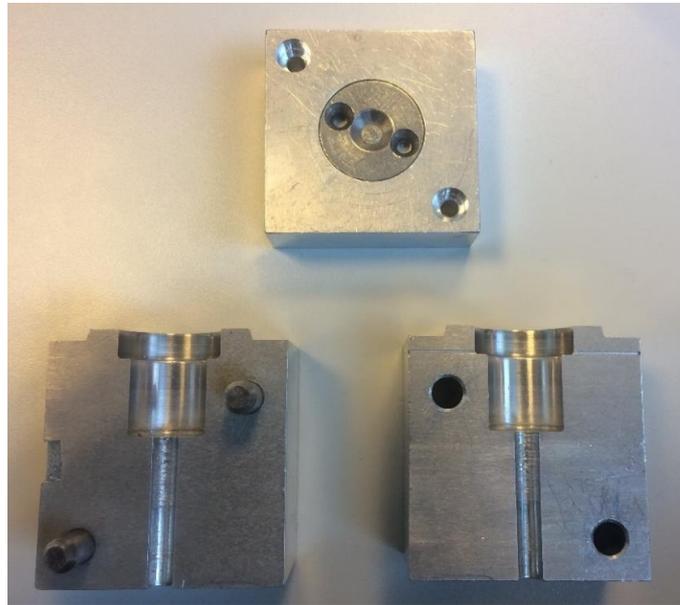


Figura 19 - Fotografia do molde final com todas as alterações

Ao longo da realização dos ensaios, foi notória uma necessidade de testar novas formas de injeção do material polimérico, além da injeção pelo topo como foi utilizada no primeiro molde. Desta forma foram realizadas alterações no molde já existente por forma a atender a este novo requisito.

O motivo encontrado para testar novas formas de injeção decorre da necessidade de que o ponto de injeção não se encontre na superfície superior da cápsula, uma vez que isto conduz a que esta fique mais inestética e seja mais dificilmente aceite pelos clientes. Assim as soluções apresentadas foram de encontro a esta premissa, ficando agora o ponto de injeção na zona lateral da cápsula polimérica.

O que atualmente é feito no fabrico das cápsulas poliméricas é a injeção pela parte lateral da cápsula, ficando a marca da injeção menos visível.

Foi esta injeção lateral das cápsulas poliméricas que se tentou adaptar para o processo de sobreinjeção, contudo há que ter em atenção que no interior do molde já existe a rolha de cortiça e que este material sofre deformação quando sobre ele é injetado material polimérico.

A primeira forma de injeção testada consistiu numa injeção lateral, assim foi desenhada e concebida uma nova tampa superior para o molde totalmente tapada, apenas com os furos destinados ao aperto dos parafusos. O canal de injeção foi aberto na lateral das duas metades do molde, que termina na zona central da lateral da cápsula polimérica. Na Figura 20 e na Figura 21 é possível observar o novo molde, com as alterações realizadas.

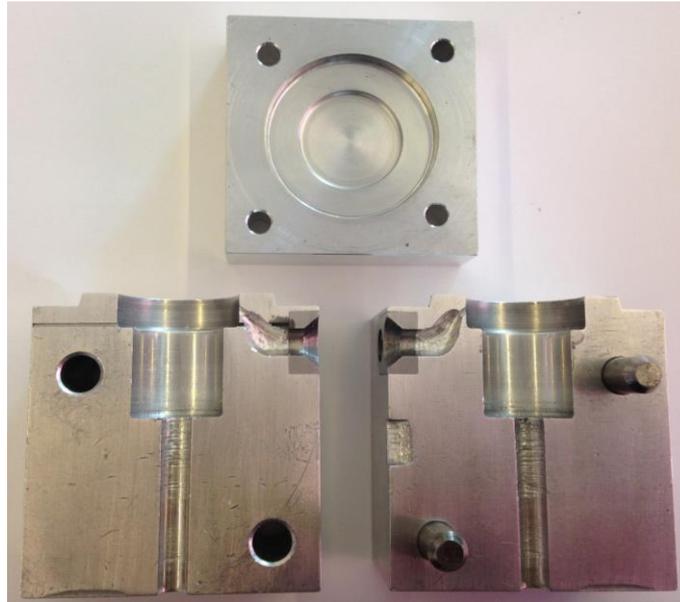


Figura 20 – Fotografia do molde final para injeção lateral no centro da cápsula polimérica



Figura 21 – Imagem do pormenor do meio molde para injeção lateral no centro da cápsula: à esquerda o canal de injeção, à direita a parte lateral do molde

Com as alterações realizadas ao novo molde foi possível efetuar mais testes, o que permitiu perceber o comportamento da rolha de cortiça quando a injeção é feita lateralmente e quais as suas vantagens e inconvenientes.

Depois da análise às rolhas de cortiça sobreinjetadas com este novo molde, foi possível concluir que a rolha não ficava totalmente perpendicular, pois a cortiça sofria uma ligeira deformação pela ação da pressão do polímero no momento da injeção, não retomando a posição inicial.

Por este motivo foi desenhado um novo molde para que a injeção de material polimérico pudesse ser feita de forma perpendicular ao eixo da rolha de cortiça e acima desta – no espaço existente entre a rolha e a parte superior do molde.

Tal como no molde realizado anteriormente, apenas foi desenhada a tampa superior do molde, desta vez dividida em duas metades para que fosse possível o acesso ao canal de injeção para permitir a sua limpeza. Na Figura 22 e na Figura 23, é possível observar as alterações realizadas no molde de injeção, o qual permitiu a realização de mais testes para avaliar o comportamento da rolha de cortiça nesta forma de injeção.

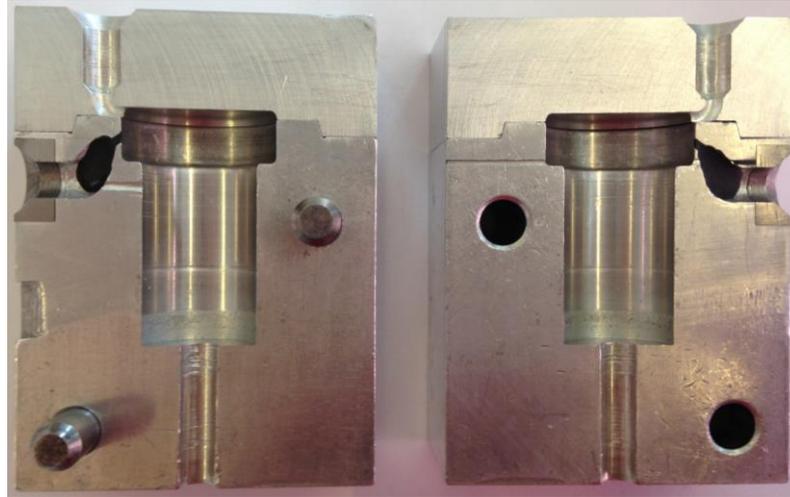


Figura 22 - Fotografia do molde final para injeção lateral na parte superior da cápsula polimérica

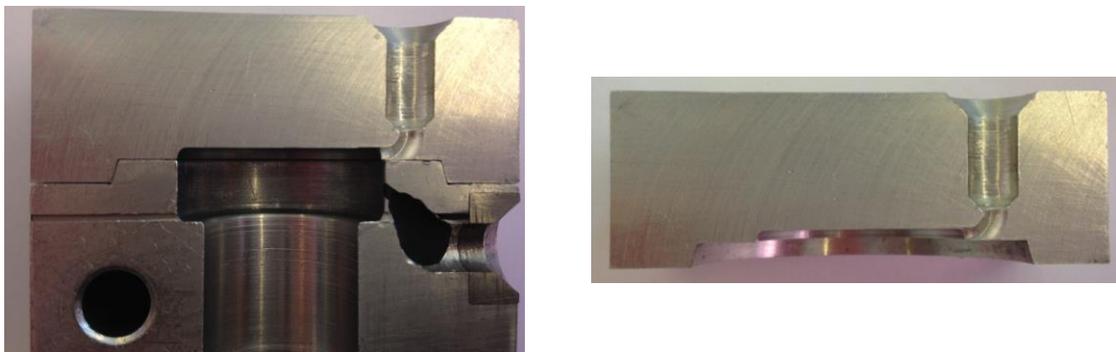


Figura 23 - Imagem do pormenor do meio molde para injeção lateral no topo da cápsula: à esquerda o canal de injeção, à direita a nova tampa do molde

Todos os desenhos de definição dos moldes desenhados e testados durante o estudo do processo de sobreinjeção podem ser consultados no Anexo B.

3.3 Simulações realizadas para diferentes soluções de molde

Ao longo da realização do trabalho, como já havia sido explicado, foi observado que a injeção pelo topo da rolha de cortiça, apesar de ser a mais indicada no que respeita às deformações sofridas pela cortiça durante a injeção, não é a mais indicada numa perspetiva prática de implementação do processo.

Por forma a tentar perceber aquilo que iria acontecer aquando da injeção do material polimérico sobre a cortiça, foram realizadas simulações com o auxílio do programa de simulação *MoldFlow*. Estas simulações, apesar de apenas terem permitido a simulação da injeção da cápsula polimérica, pois o programa não possibilita a utilização de mais do que um material, permitiram inferir aquilo que poderá acontecer com a rolha de cortiça.

Fica aqui a referência da explicação das cores utilizadas em todas as imagens mostradas posteriormente. Nas imagens representativas do modo como é realizado o enchimento do material polimérico, aquando da realização da injeção, tem-se que a cor azul é o primeiro local onde o material polimérico preenche a cavidade e a cor vermelha indica o último local onde a cavidade é preenchida.

Para as imagens que representam a pressão de enchimento, por forma a perceber de que forma é feita a distribuição da pressão no momento da injeção, tem-se que a cor azul representa o local da cápsula onde a pressão é menor, enquanto o local com maior pressão é representado pela cor vermelha.

Nas duas situações, as cores verde e amarela representam estágios intermédios de forma de enchimento e de valor de pressão.

A primeira simulação realizada pretendeu simular o primeiro molde concebido e no qual a injeção era realizada no topo da cápsula polimérica. Esta serviu de comparação para as restantes simulações reproduzidas.

A Figura 24 representa a forma de enchimento da cápsula polimérica durante o processo de injeção de material, na qual se observa, tal como seria esperado, que o material preenche em primeiro lugar a zona superior, posteriormente toda a zona lateral e só no final é preenchida a parte inferior da cápsula.

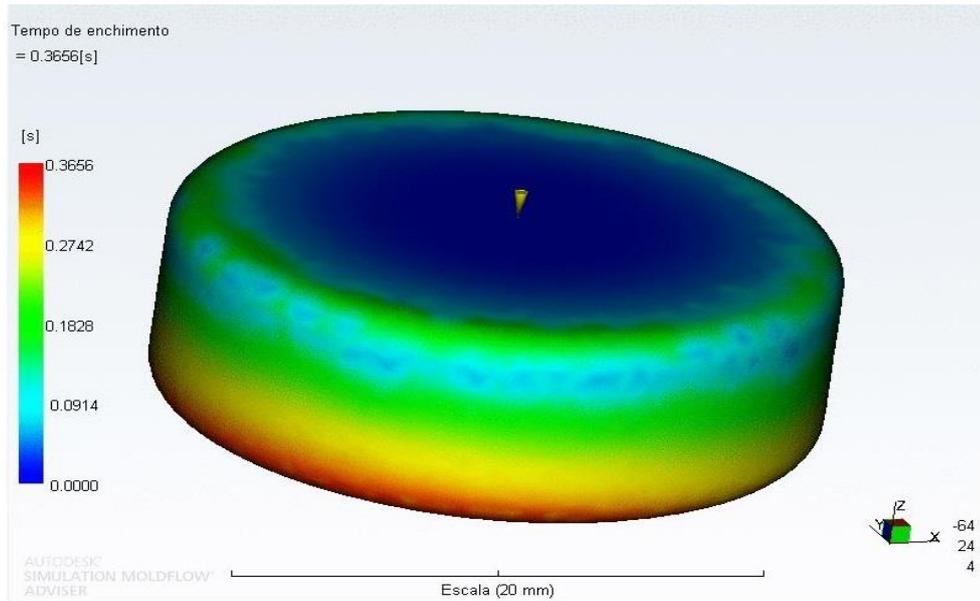


Figura 24 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no topo

A Figura 25 representa a pressão de enchimento verificada na cápsula polimérica para a injeção através do topo.

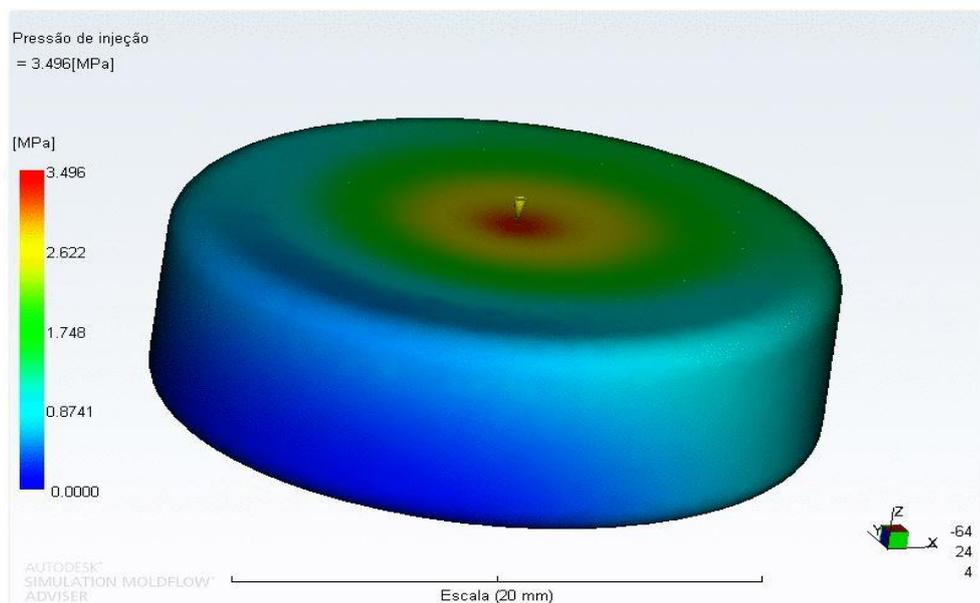


Figura 25 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no topo

Mais uma vez, como seria expectável, a maior pressão verifica-se no topo da cápsula polimérica, no local onde se dá a injeção de material. A área onde se verifica uma maior pressão é pequena quando comparada com a área onde o material pode ser injetado, fazendo desta forma de injeção aquela que provoca menores deformações na cápsula.

A segunda simulação realizada foi de encontro à tentativa de aplicação do processo de produção de cápsulas poliméricas utilizado atualmente ao processo de sobreinjeção de polímeros sobre cortiça.

Desta forma foi testado um ponto de injeção no centro da superfície lateral da cápsula polimérica - Figura 26.

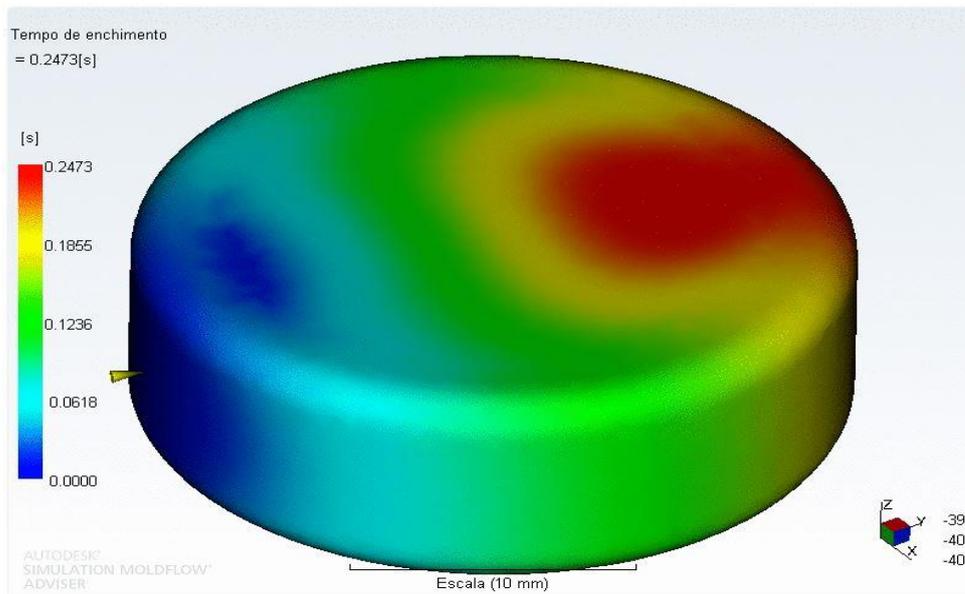


Figura 26 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no centro da lateral

Tal como pode ser observado na Figura 26, o material começa a preencher a cavidade do lado onde é feita a injeção do material polimérico até ao lado oposto. Contudo, não de uma forma totalmente uniforme, uma vez que o topo assinalado a cor vermelha é a última zona da cápsula a ser preenchida.

Este preenchimento não totalmente uniforme da cápsula originou defeitos na cápsula polimérica tais como a falta de material polimérico.

Por forma a tentar perceber se a falta de material seria o único defeito que seria encontrado foi realizada a simulação da pressão de injeção na cápsula polimérica - Figura 27.

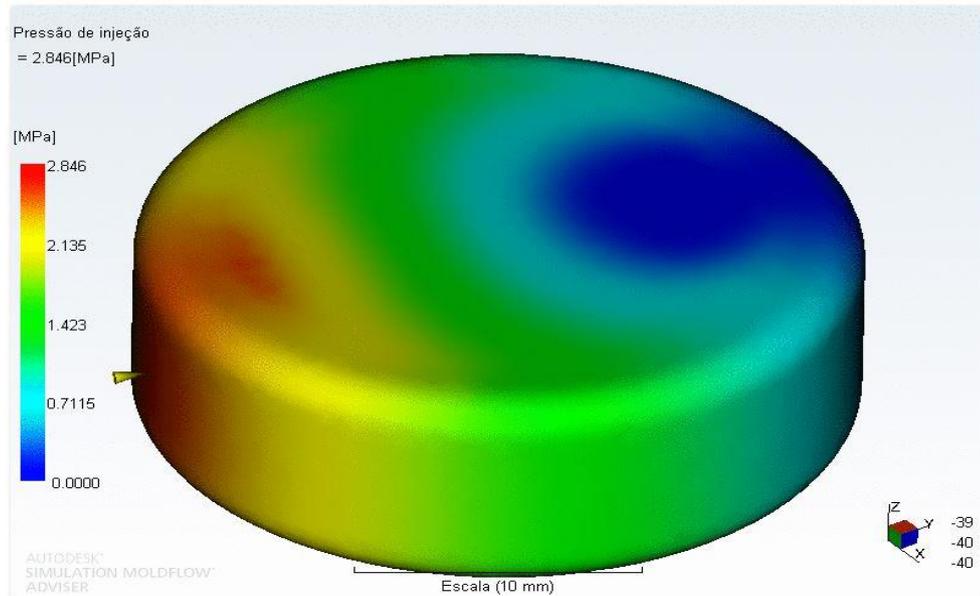


Figura 27 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no centro da lateral

Apesar de, comparativamente com a simulação da injeção no topo da cápsula, a pressão diminuir de 3,496 MPa para o valor de 2,846 MPa, nota-se que a área de incidência da maior pressão é superior, quando comparada com injeção realizada pelo topo da cápsula.

Na prática aquilo que acontece é que ao ser injetado material polimérico sobre a rolha de cortiça já colocada no interior do molde, esta, pela sua elevada compressão a que é sujeita sofre deformação, não regressando à sua forma inicial, não ficando a rolha de cortiça perpendicular à cápsula.

Por esta não ser ainda a melhor solução encontrada mesmo após as alterações realizadas ao molde, foi realizada uma nova simulação desta vez para se perceber se o ponto de injeção lateral ao ser colocado no topo superior da cápsula traria alguma diminuição da deformação sofrida pela rolha de cortiça - Figura 28.

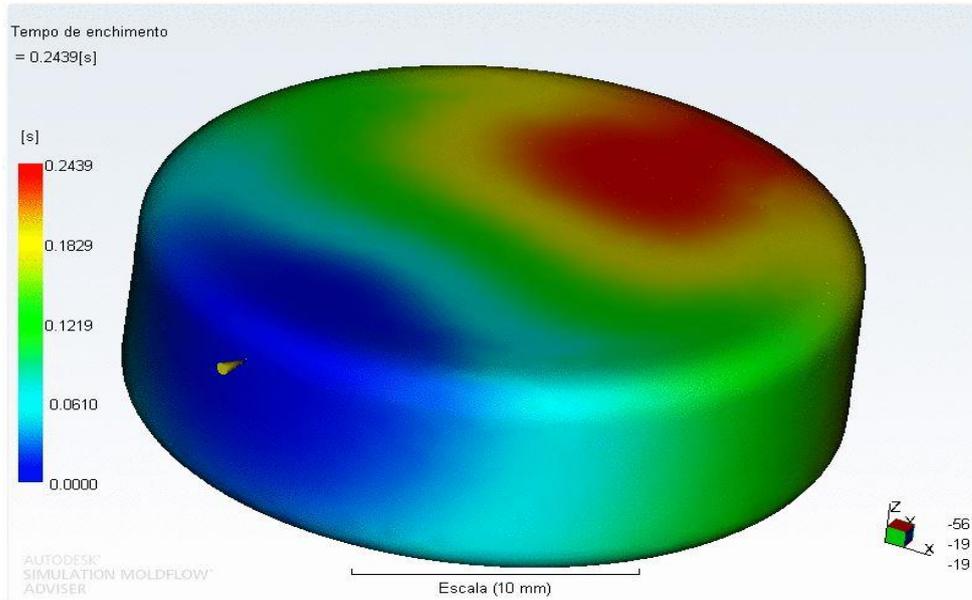


Figura 28 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para a injeção no topo da lateral

Relativamente à simulação anterior, em que o ponto de injeção se situava no centro da lateral da cápsula polimérica, não existe uma diferença considerável para a nova situação, visto que o material se distribui da mesma forma no interior da zona destinada à cápsula polimérica.

Tal como em todas as simulações anteriores, foi avaliada a pressão de injeção para a nova localização do ponto de injeção - Figura 29.

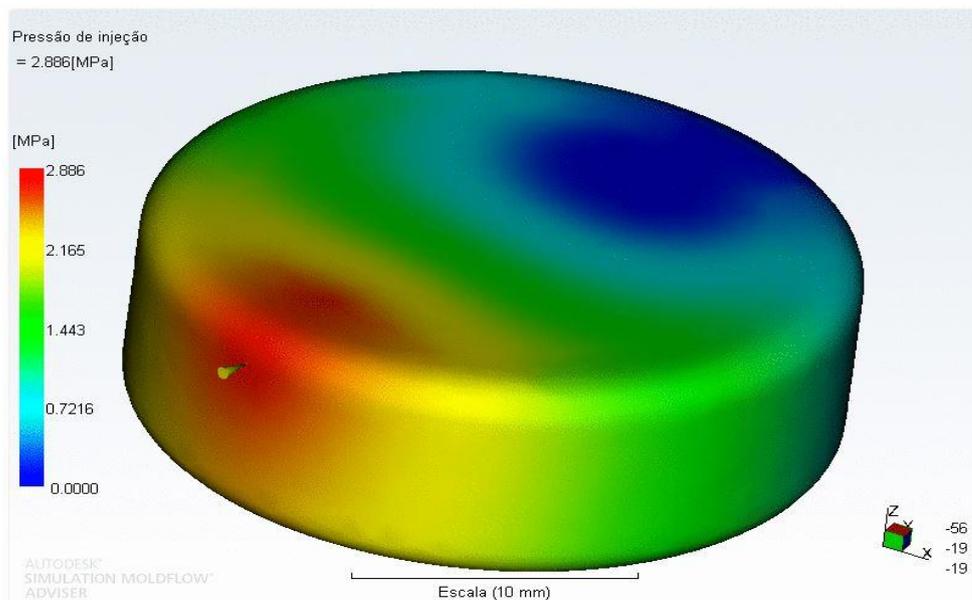


Figura 29 – Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para a injeção no topo da lateral

Em relação à simulação realizada anteriormente, na qual o ponto de injeção se situava um pouco mais abaixo do que nesta nova simulação, é verificado que a pressão de injeção tem valores muito próximos nos dois casos. Verifica-se no entanto uma zona mais reduzida de maior pressão, o que na prática não mostrou provocar nenhuma diferença, uma vez que as rolhas produzidas continuavam sem perpendicularidade.

Por último, foi realizada a simulação na qual foram colocados dois pontos de injeção em extremidades opostas da cápsula. Esta solução tinha como objetivo que os dois pontos criassem uma espécie de par ação – reação, para que a pressão de injeção se igualasse e não existisse deformação da rolha de cortiça.

Importa referir que esta solução de injeção de material não foi testada na prática, isto porque o molde pensado teria de conter um sistema de aquecimento para que o material polimérico não solidificasse nos canais de alimentação. Com as condições atuais de testes, nomeadamente com a máquina utilizada, não é possível realizar o aquecimento do molde o que invalida esta solução de injeção.

Para o caso dos dois pontos de injeção foi então realizada a simulação do enchimento da cápsula polimérica apresentada na figura abaixo.

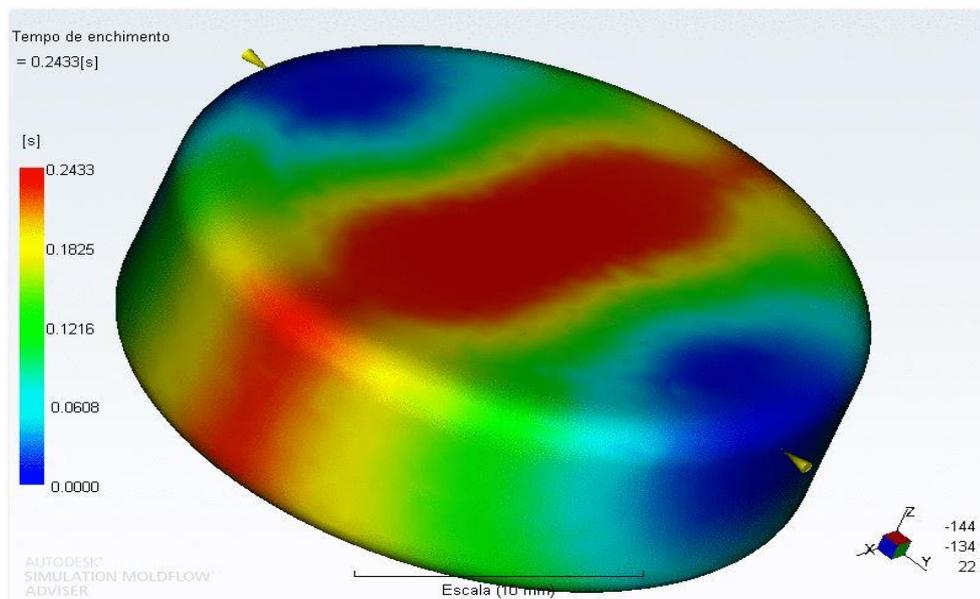


Figura 30 – Imagem da simulação numérica do enchimento da cápsula polimérica para dois pontos de injeção no topo da lateral

Na Figura 30 é possível observar que com a existência dos dois pontos de injeção localizados em extremidades opostas da cápsula polimérica, a distribuição do material se faz de uma forma uniforme em toda a superfície da cápsula. Contudo, a zona central da cápsula, assinalada a cor vermelha, é a última a ser preenchida, podendo incorrer em eventuais problemas de falta de material nesta zona. A Figura 31 representa a simulação da pressão de injeção para esta solução.

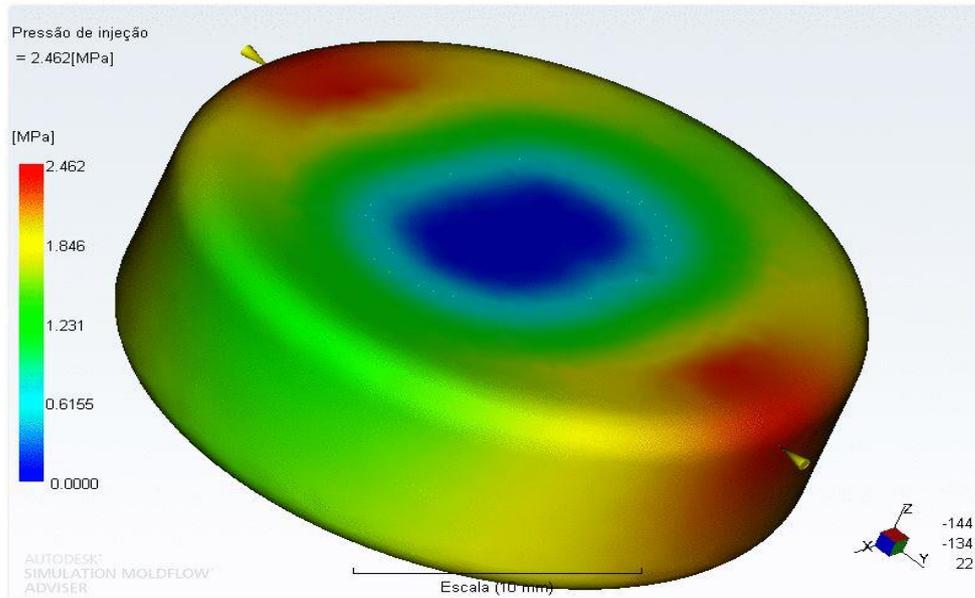


Figura 31 - Imagem da simulação numérica da pressão de injeção verificada na cápsula polimérica para dois pontos de injeção no topo da lateral

Na Figura 31, é possível observar que existem dois pontos onde se verifica a incidência de maior pressão, no entanto com uma área muito semelhante à verificada apenas para um ponto de injeção no topo da lateral, não se verificando uma diminuição acentuada da pressão como seria esperado. Na solução anterior a pressão de injeção era de 2,886 MPa, descendo para 2,462 MPa, uma diferença pouco significativa para o processo em causa e para as expectativas para esta solução.

Aquilo que se espera que aconteça com a aplicação prática desta solução de injeção, é que a rolha de cortiça colocada no interior do molde se deforme de ambos os lados, ficando a mesma com uma forma mais oval do que aquilo que seria esperado.

3.4 Parâmetros do processo

Como já havia sido referido na secção 2.5, quando foi feita a descrição do processo de sobreinjeção, foram referidos parâmetros deste processo que exigiam um controlo mais rigoroso do que outros.

Os parâmetros de controlo de processo referidos são o controlo da temperatura do material, o tempo e a pressão de injeção.

A questão de controlo do tempo foi ultrapassada, como foi já explicado, com a introdução do temporizador na máquina. Contudo foi necessário entender qual seria o tempo apropriado para a realização de cada uma das injeções. Este tempo iria permitir preencher totalmente, com material polimérico, a cavidade destinada à cápsula, sem que houvesse qualquer interferência na rolha de cortiça.

Nos primeiros testes realizados optou-se por avaliar os extremos de valor de tempo para restringir a gama de valores. Desta forma nos primeiros testes realizados foi utilizado um tempo de injeção de 5 segundos, tempo esse que se mostrou reduzido pois a cápsula tinha déficit de material, não ficando a cavidade destinada à mesma totalmente preenchida - Figura 32.



Figura 32 - Cápsula polimérica com déficit de material

Posteriormente o tempo de injeção foi aumentado para 7 segundos, tempo esse que se mostrou bastante elevado pois a cápsula polimérica tinha material em excesso - Figura 33.



Figura 33 - Cápsulas poliméricas com excesso de material

Após algumas tentativas, constatou-se que o tempo de injeção que permitiria preencher totalmente a cavidade da cápsula polimérica era de 6 segundos.

A temperatura de fusão depende das características do próprio material. Assim houve necessidade de ajustar a temperatura a cada um dos materiais que se pretendia injetar.

Os principais materiais pedidos para a realização das cápsulas foram o PS Cristal, o PS Antichoque e o ABS. A temperatura foi ajustada tendo em atenção o intervalo de valores considerados para cada material e que podem ser observados na Tabela 1 da secção 2.3.

Com as atuais condições de trabalho, nomeadamente com a atual máquina de injeção, não foi possível utilizar o ABS nos testes. Uma possível explicação para esta dificuldade poderá estar na sua composição – este contém mais butadieno (elemento que confere as características de borracha ao material) o que torna difícil o seu processamento.

Com alguns testes foi possível obter um valor ótimo de temperatura para o processo - este ronda os 200°C, quer para o PS Cristal, quer para o PS Antichoque.

O único parâmetro que foi testado durante os ensaios e não foi ainda referido foi a pressão de injeção. Esta tem influência na velocidade com que o cilindro se movimenta e por consequência na pressão que é exercida sobre a rolha de cortiça.

Para entender a influência da pressão foram também realizados testes de amplitude máxima dos seus valores, iniciando-se os mesmos com um valor elevado e diminuindo o mesmo até que ainda se garantisse o movimento do cilindro.

Deste modo, testou-se um valor de pressão da rede de 5 bar, que demonstrou ser excessiva ocorrendo rotura da rolha de cortiça, tal como evidenciado na Figura 34.

Como tal, o valor da pressão foi sendo reduzido até ao mínimo que garantisse o movimento do cilindro e a não ocorrência de rotura na cortiça. Este valor ótimo de pressão corresponde a 1,1 bar, tendo sido este o valor usado em todos os testes realizados.



Figura 34 – Rolha de cortiça com aplicação de pressão em excesso

O outro parâmetro do processo que seria necessário ajustar seria a temperatura do molde, no entanto este parâmetro não foi muito explorado pois como todo o trabalho se desenrolou de forma manual, tornou-se difícil garantir que a temperatura do molde se manteria constante durante todo o tempo. É certo que este parâmetro iria alterar os restantes parâmetros já explicados e explorados, uma vez que ao manter o molde aquecido o material teria uma maior facilidade em fluir, não havendo um choque térmico entre o material à sua temperatura de fusão e o canal de injeção.

Por forma a resumir o que foi explicado nos parágrafos anteriores, foi elaborada a Tabela 2, em que estão presentes os valores ótimos para cada um dos parâmetros sendo estes iguais para os dois materiais assinalados. Importa contudo referir que estes são valores médios, tendo sido necessárias ligeiras variações quando os ensaios foram realizados.

Tabela 2 – Parâmetros otimizados utilizados nos testes

		Material
		PS Cristal e PS Antichoque
Tempo de injeção	s	6
Temperatura	°C	199
Pressão	bar	1,1

Mesmo com os parâmetros de tempo indicados na Tabela 2, ao longo da realização dos testes foi notório que o tempo de injeção era influenciado pelo estado em que o material, mais ou menos fluído, se encontra no interior da máquina de injeção.

Com isto foi colocado inicialmente material que preenchesse na totalidade a cavidade destinada à colocação de material, aquilo que se observou foi que o material não se encontrava todo no mesmo estado, uma vez que o material da parte superior estava no estado sólido, ao passo que aquele que se encontrava na zona coincidente com a resistência de aquecimento se encontrava já no estado de fusão.

Esta solução permitia que as injeções realizadas tivessem um tempo com aproximadamente metade do valor daquele que foi referido na Tabela 2, uma vez que seriam apenas necessários 3,8 s, para que fosse realizada a injeção do material polimérico no interior do molde.

No entanto, o facto de o material se encontrar sólido na parte superior levava a que muitas vezes o cilindro ficasse imobilizado pelo material, não exercendo pressão suficiente para que o mesmo entrasse na cavidade do molde.

Por forma a tentar solucionar este problema, foi diminuída a quantidade de material colocada no interior da cavidade da máquina injetora. Com esta solução foi colocado material apenas na zona envolvida pela resistência de aquecimento, garantindo que o material se encontrava todo no estado de fusão, não se verificando o problema do cilindro ficar imobilizado pelo material sólido.

Esta solução, no entanto, leva a que o tempo de injeção seja mais elevado do que o referido anteriormente, sendo este o tempo assinalado na Tabela 2 e com o qual foram realizados a maior parte dos testes aqui descritos.

3.5 Testes realizados

A aplicação do processo de sobreinjeção ao fabrico de rolhas de cortiça capsuladas pretende ser tão abrangente quanto possível. Os testes realizados foram de encontro a esta premissa, tendo sido avaliadas rolhas de diferentes tipos de cortiça - natural e aglomerada - diferentes geometrias de rolhas e também diferentes tratamentos aplicados na superfície das mesmas.

O principal objetivo centra-se em encontrar a geometria de rolha mais indicada para a aplicação do processo de sobreinjeção. Desta forma foram realizados inúmeros ensaios, os quais podem ser consultados nas tabelas seguintes. A Tabela 3 e a Tabela 4 referem-se aos testes realizados para o primeiro molde e com a injeção na parte superior da rolha, sendo que na primeira tabela se encontram discriminados os ensaios para as rolhas com falange, ao passo que na segunda tabela são observados os ensaios realizados para rolhas sem falange.

Tabela 3 – Ensaios realizados para rolhas com falange de 1,5 mm por injeção no topo da rolha

		Sem tag		Com tag	
		Com tratamento S4	Sem tratamento	Com tratamento S4	Sem tratamento
Rolhas de cortiça natural - classe flor	PS AC	10	10	10	10
	PS Cristal	10	10	10	10
Rolhas de cortiça aglomeradas	PS AC	10	10	10	10
	PS Cristal	10	10	10	10

Tabela 4 - Ensaios realizados para rolhas sem falange por injeção no topo da rolha

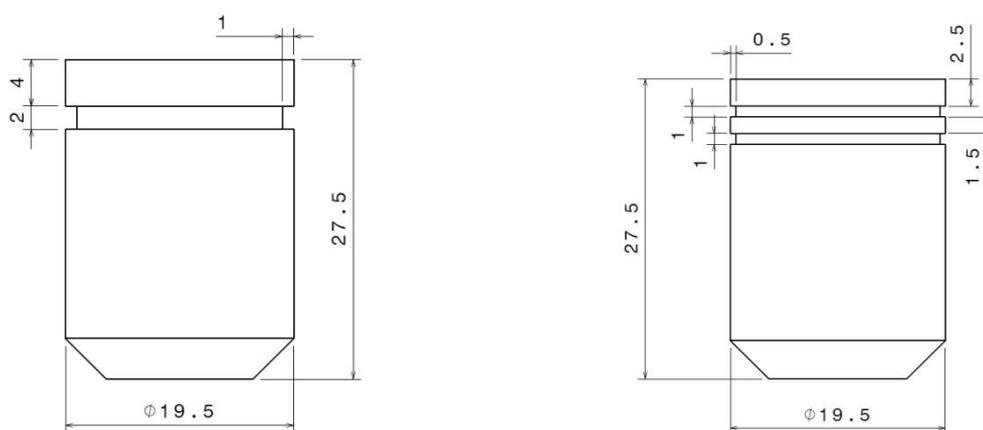
		Com tratamento S4	
		PS AC	PS Cristal
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	10	10
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R0	10	10

Para entender se a dimensão de falange pode ser reduzida, permitindo assim que a quantidade de cortiça retirada aquando do fabrico da rolha possa ser diminuída levando a uma redução de custo de todo o processo foram produzidas rolhas com diferentes dimensões de falange - 1mm, 0,75 mm e 0,5mm (Tabela 5).

Tabela 5 – Rolhas de cortiça produzidas para diferentes dimensões de falange

Dimensão Falange	Rolhas de cortiça natural - classe extra		Rolha de cortiça aglomerada	
	Sem tratamento e sem lavação	Com lavação e tratamento S4	Sem tratamento e sem lavação	Com lavação e tratamento S4
1 mm	6	5	6	5
0,75 mm	6	5	6	5
0,5 mm	6	5	6	5

Além das duas geometrias de rolhas apresentadas anteriormente na Figura 14 e na Figura 15 – rolhas sem e com falange – foram testadas rolhas com uma geometria um pouco diferente. Trata-se de rolhas com falange, mas que contêm rasgos na parte superior da rolha em toda a sua secção. Os desenhos técnicos da mesma são apresentados na Figura 35, podendo ser observado no lado esquerdo rolhas com um rasgo e do lado direito rolhas com dois rasgos. Na Tabela 6 podem ser observados os ensaios realizados para rolhas com um e ou dois rasgos, respetivamente.

**Figura 35 - Desenhos técnicos das rolhas com rasgos: à esquerda rolhas com um rasgo, à direita rolhas com dois rasgos****Tabela 6 - Ensaios realizados para rolhas com rasgos, por injeção no topo da rolha**

	Com tratamento S4
Rolhas de cortiça aglomerada - 1 rasgo	5
Rolhas de cortiça aglomerada - 2 rasgos	5

A Tabela 7 mostra os ensaios realizados para rolhas sem falange para o molde com injeção lateral, a qual é feita na parte central da lateral da zona destinada à cápsula polimérica.

Tabela 7 - Ensaios realizados para rolhas sem falange por injeção lateral no centro da cápsula

		Tratamento S0
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	10
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	10

A Tabela 8 mostra os ensaios realizados para rolhas sem falange para o molde com injeção lateral no topo da cápsula polimérica.

Tabela 8 - Ensaios realizados para rolhas sem falange por injeção lateral no topo da cápsula

		Tratamento S0
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	5
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	5

Todas as rolhas produzidas para teste por este processo foram testadas pelo mesmo ensaio que se realiza nas rolhas produzidas pelo processo atual e que foi já descrito no capítulo 2, sendo os seus resultados apresentados posteriormente.

3.6 Apresentação de resultados dos testes de sobreinjeção

Nesta secção serão descritos os resultados dos testes referidos anteriormente para o processo de sobreinjeção - cujo objetivo era entender qual a geometria de rolha mais indicada, assim como o funcionamento de cada etapa.

As rolhas de cortiça realizadas foram todas testadas através do ensaio que se utiliza no processo atual de produção - que é utilizado para testar a validade dos lotes fabricados. Este ensaio de validação do processo foi já descrito no capítulo 2.4.2, sendo agora realizado da mesma forma.

Da realização do ensaio é possível obter dois valores máximos: um para a torção, outro para a tração - valores registados no momento de rotura - assim como avaliar o local onde ocorre a rotura, se na rolha de cortiça se no local de adesão dos dois materiais.

Por forma a agrupar os dados recolhidos foram elaboradas diversas tabelas para registar os valores médios para a torção e tração, assim como o valor da taxa de aprovação das rolhas produzidas. Importa referir que a taxa de aprovação se baseia no número de rolhas de

cortiça capsuladas em que a rotura ocorreu na zona de cortiça - parâmetro já válido na avaliação do processo atual.

Testes iniciais

Os primeiros testes realizados serviram para se entender a validade do processo de sobreinjeção, tendo sido testadas duas geometrias de rolhas de cortiça. Assim, as rolhas que foram testadas em primeiro lugar apresentam no seu topo superior uma falange de 1,5 mm ou a total ausência de falange - Figura 14 e Figura 15.

Para as geometrias apresentadas na Figura 15, foram utilizadas rolhas de cortiça natural e aglomerada, para que se pudesse perceber a influência do tipo de cortiça no processo.

Numa fase inicial todas as rolhas testadas tinham sido alvo de lavação (resultante do processo de fabrico), mas algumas destas não tinham sido submetida a qualquer tratamento superficial, ao passo que outras tinham na superfície tratamento S4 - um dos mais utilizados atualmente e que utiliza silicone e parafina. Foram também testados dois tipos de materiais: o PS Cristal e o PS Antichoque - para que se pudesse observar a influência das suas propriedades no processo - Tabela 3.

Na fase inicial de testes, foram introduzidas etiquetas RFID, também denominadas *tags*, no processo. A utilização das etiquetas RFID no processo de sobreinjeção permitiu perceber se a sua colocação iria influenciar a adesão entre a cortiça e os materiais poliméricos, uma vez que a sua colocação diminui em 43% a área de contacto entre os materiais. Esta necessidade decorreu de outro projeto a decorrer em simultâneo, permitindo assim a complementaridade entre os dois trabalhos, com posterior validação do funcionamento da *tag*.

As etiquetas RFID foram coladas na parte superior das rolhas de cortiça com 1,5 mm de falange, antes da realização da injeção de material polimérico, tal como indica a Figura 36. Metade das rolhas produzidas com 1,5 mm de falange possuía *tags*, ao passo que a outra metade não, por forma a ser possível entender se a colocação das mesmas influenciava a adesão entre os materiais.



Figura 36 - Rolha de cortiça com a *tag* colada para posterior sobreinjeção de material polimérico

Foram produzidas rolhas capsuladas utilizando rolhas sem falange, mostradas na Figura 14, de cortiça natural e aglomerada as quais também são utilizadas no processo atual, com tratamento de superfície S4, uma parte em PS Cristal e outra em PS AC. A única diferença entre as rolhas seria no que diz respeito à lavagem, as rolhas de cortiça natural tinham sido sujeitas a lavagem R6 enquanto as rolhas de cortiça aglomerada tinham sido sujeitas a lavagem R0 - Tabela 4.

Para as rolhas com uma falange de 1,5 mm descritas na Tabela 3, os valores de torção e tração médios máximos obtidos, assim como a sua taxa de aprovação, encontram-se resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores médios de torção e tração para rolhas com 1,5 mm de falange

		Sem tag				Com tag			
		Com tratamento S4		Sem tratamento		Com tratamento S4		Sem tratamento	
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe flor	PS AC	9,72	23,83	8,20	22,92	8,23	21,41	8,72	24,43
	PS Cristal	7,65	21,66	7,65	23,89	8,98	24,62	6,64	22,43
Rolhas de cortiça aglomeradas	PS AC	8,95	21,31	8,54	21,76	8,03	22,52	9,06	21,94
	PS Cristal	7,94	23,15	7,90	22,47	7,75	22,53	7,95	22,81
Taxa de aprovação		100%							

Da Tabela 9 é possível observar que todas as rolhas de cortiça capsuladas com 1,5 mm de falange foram aprovadas no ensaio realizado, o que significa que em todas elas a rotura ocorreu na rolha de cortiça e não na zona de adesão entre os materiais.

É de notar ainda que as oitenta rolhas de cortiça capsuladas contendo no seu interior *tags*, foram todas aprovadas no ensaio de teste. Pela elevada taxa de aprovação foi possível inferir que o uso de *tags* é possível no processo, não tendo as mesmas continuado a ser utilizadas devido ao seu elevado custo.

É também de notar que os valores para a torção e tração tendem a aproximar-se independentemente do material utilizado. Isto deve-se a que os dois materiais aqui avaliados são dois poliestirenos com características semelhantes, tal como já foi mostrado no capítulo 5.

Quanto à existência ou não de tratamento de superfície, os valores para rolhas capsuladas com tratamento S4 são – na maioria dos casos – inferiores aos valores das rolhas que não possuem tratamento. Contudo a diferença não é muito notória, pois tal como já foi referido, todas as rolhas foram aprovadas.

Para as rolhas sem falange produzidas pelo processo de sobreinjeção (Tabela 4) foi também elaborada uma tabela para os valores médios de torção e tração registados no ensaio de teste, assim como calculada a taxa de aprovação - Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de torção e tração para rolhas sem falange

		Com tratamento S4			
		PS AC		PS Cristal	
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	8,6	21,94	9,60	25,26
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R0	7,37	23,83	8,08	22,98
Taxa de aprovação		40%		55%	
Taxa de aprovação total		57,50%			

Da Tabela 10, há que salientar a taxa de aprovação pouco superior a 50%, o que se deve à rotura pela zona de adesão dos materiais, e não na rolha de cortiça, em dezassete das quarenta rolhas capsuladas fabricadas. O primeiro motivo encontrado para a baixa taxa de aprovação assinalada foi o tipo de tratamento utilizado – S4 - o qual possui silicone e parafina e que pela ausência de falange nas rolhas utilizadas pode não permitir que o material adira de forma correta, uma vez que a existência de falange permite que o material polimérico tenha uma maior e mais eficiente área de adesão.

A taxa de aprovação, principalmente a verificada nas rolhas de cortiça com 1,5 mm de falange, foi animadora, o que permitiu concluir que a implementação do processo de sobreinjeção é possível. No entanto há que ter em atenção a viabilidade económica do mesmo, considerando a quantidade de cortiça a desperdiçar para a produção de uma rolha com falange.

Assim, foram realizados testes com diferentes falanges - inferiores a 1,5 mm - para que fosse possível perceber qual a menor falange que permite a realização do processo e ao mesmo tempo o menor desperdício de cortiça na produção da rolha.

Produção de rolhas de cortiça com diferentes falanges

Tal como para as rolhas com 1,5 mm de falange, para as rolhas com diferentes falanges foram produzidas rolhas de cortiça natural e aglomerada, tendo sido testados diferentes tratamentos na superfície das mesmas. Algumas dessas rolhas não possuíam lavação nem tratamento de superfície, enquanto outras possuíam na sua superfície lavação e tratamento S4 - Tabela 6.

Importa aqui referir que a partir deste momento, em todas as rolhas capsuladas produzidas apenas foi utilizado como material de injeção o PS Antichoque, pois tal como já havia sido verificado nas rolhas com 1,5 mm de falange, não existe uma diferença acentuada entre os dois materiais em causa.

A utilização de um só material foi apenas por uma questão prática da realização dos ensaios, levando a que não fossem necessárias paragens para efetuar a troca de materiais da máquina injetora (Figura 13).

A primeira dimensão de falange utilizada no processo de sobreinjeção foi a dimensão de 1 mm, tendo sido produzidas um total de vinte e duas rolhas de cortiça capsuladas com estas dimensões. Os resultados da realização do ensaio para as rolhas capsuladas com 1 mm de falange estão assinalados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios de torção e tração para as rolhas de 1 mm de falange

	Com tratamento S4		Sem tratamento nem lavação	
	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	8,12	22,50	6,25	19,48
Rolhas de cortiça aglomeradas	7,86	22,78	7,43	20,38
Taxa de aprovação	100%			

Tal como foi observado para as rolhas de cortiça capsuladas com 1,5 mm de falange, para a falange de 1 mm não se verifica qualquer diferença entre a existência ou não de tratamento de superfície, tendo sido verificada uma taxa de aprovação de 100%.

Tendo em conta esta taxa de aprovação e para verificar se seria possível uma dimensão de falange inferior, foram testadas as vinte e duas rolhas com uma falange de 0,75 mm (Tabela 5). Os resultados destes novos testes estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,75 mm de falange

	Com tratamento S4		Sem tratamento nem lavação	
	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	7,22	26,16	8,28	21,82
Rolhas de cortiça aglomeradas	6,58	21,02	9,18	19,95
Taxa de aprovação	100%			

Na Tabela 12 é possível verificar que todas as rolhas de cortiça capsuladas produzidas foram aprovadas no ensaio de teste realizado, não havendo uma distinção entre a existência ou não de tratamento de superfície ou tipo de rolha.

Para verificar se ainda é possível a implementação do processo de sobreinjeção a rolhas com uma menor falange e que permitem que o volume de cortiça retirado da rolha seja menor, foram produzidas as rolhas de cortiça com uma falange de 0,5 mm (Tabela 5). Os resultados das mesmas após o ensaio de teste estão mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,5 mm de falange

	Com tratamento S4		Sem tratamento nem lavação	
	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	7,10	22,70	10,68	22,03
Rolhas de cortiça aglomeradas	7,12	22,18	10,55	21,50
Taxa de aprovação	90%		100%	
Taxa de aprovação total	94%			

Na Tabela 13 é possível observar que nem todas as rolhas foram aprovadas no ensaio de teste realizado. Das vinte e duas rolhas produzidas, numa das rolhas de cortiça natural a rotura ocorreu pela zona de adesão entre os materiais e não, como seria esperado, pela rolha de cortiça.

A única rolha que não foi aprovada tinha na sua superfície tratamento S4, o qual, como foi já referido, é constituído por parafina e silicone. Estes dois produtos, apesar de indicados para que a rolha entre e saia mais facilmente do gargalo da garrafa, podem influenciar a adesão entre o polímero e a cortiça. No entanto a amostra analisada é muito reduzida, existindo apenas cinco rolhas de cortiça natural com este tipo de tratamento.

A pouca repetibilidade do processo e que é refletida nos resultados, assim como a pequena amostra produzida, conduzem a que se torne difícil a decisão de total inviabilização desta dimensão de falange.

Desta forma foram produzidas mais rolhas de cortiça capsuladas com este tipo de falange, mas desta vez tendo sido testado o tratamento de superfície S0, o qual por apenas conter parafina poderia permitir uma melhor adesão entre os dois materiais.

Para aumentar o tamanho da amostra para as rolhas de cortiça com falange de 0,5 mm foram produzidas um total de quarenta rolhas de cortiça capsuladas através do processo de sobreinjeção, distribuídas como mostrado na Tabela 13.

Tabela 14 - Rolhas de cortiça produzidas para 0,5 mm de falange

Dimensão Falange	Rolhas de cortiça natural - classe extra	Rolha de cortiça aglomerada
	Com lavação e tratamento S0	Com lavação e tratamento S0
0,5 mm	20	20

Após todas as rolhas terem sido submetidas ao ensaio de validação, obtiveram-se os resultados assinalados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de 0,5 mm de falange

	Com tratamento S0		
	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Taxa de aprovação
Rolhas de cortiça natural - classe extra	9,18	24,29	95%
Rolhas de cortiça aglomeradas	9,78	26,27	100%
Taxa de aprovação total	98%		

Da Tabela 15 é possível observar que nem todas as rolhas foram aprovadas no ensaio de teste realizado. Das quarenta rolhas produzidas, numa das rolhas capsuladas integrando rolha de cortiça natural a rotura ocorreu pela zona de adesão entre os materiais e não pela rolha de cortiça.

Desta forma não é possível concluir com toda a certeza que as rolhas de cortiça com falange de 0,5 mm sejam as mais indicadas para a aplicação do processo de sobreinjeção, uma vez que não foi possível garantir repetibilidade em nenhum dos testes realizados.

Diferentes geometrias de rolhas com rasgos

Com as rolhas de cortiça com diferentes rasgos, mostradas na Figura 35, foi possível testar duas novas geometrias. Estas rolhas de cortiça possuem rasgos que têm como finalidade que o desperdício de cortiça seja menor quando a rolha é produzida, desempenhando os rasgos a mesma função da falange, o que facilita o processo de sobreinjeção.

Foram produzidas por sobreinjeção rolhas capsuladas integrando rolhas de cortiça com rasgos e PS Antichoque, num total de dez rolhas de cortiça aglomerada, tendo na sua superfície tratamento S4. As rolhas produzidas estão discriminadas na Tabela 6.

Após a realização do ensaio de teste, foram registados os valores médios máximos de torção e tração, assim como calculada a taxa de aprovação, estando os valores apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios de torção e tração para as rolhas de diferentes rasgos

	Com tratamento S4		
	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Taxa de aprovação
Rolhas de cortiça aglomerada - 1 rasgo	6,53	19,50	60%
Rolhas de cortiça aglomerada - 2 rasgos	6,60	18,08	100%
Taxa de aprovação total			80%

Da Tabela 16 é possível observar a taxa de aprovação cujo valor global é de 80%, isto porque duas das rolhas produzidas não passaram no ensaio de teste realizado. As duas rolhas reprovadas faziam parte do grupo de rolhas de cortiça com apenas um rasgo e, apesar da amostra analisada ser muito pequena, considera-se que estas reprovações se devem à fragilidade que se verifica na superfície exterior da rolha consequente da realização dos rasgos.

Aquilo que se esperava e que foi verificado após análise às rolhas testadas foi a entrada de material para os rasgos feitos nas rolhas, tal como pode ser visto na Figura 37 à esquerda.

Contudo a injeção de material para o interior dos rasgos fragilizava esta zona, fazendo com que a rotura se propagasse a partir da mesma – Figura 37 à direita.



Figura 37 – À esquerda imagem de uma cápsula polimérica sobreinjetada com material a formar o anel do rasgo; à direita a rolha de cortiça com um rasgo após a injeção de material polimérico

Rolhas de cortiça sem falange

Apesar da taxa de aprovação não ter sido pouco superior a 50% para as rolhas de cortiça sem falange realizadas para os primeiros testes, entendeu-se que deveria ser uma solução um pouco mais explorada uma vez que a produção de rolhas sem falange permite que o material desperdiçado seja quase nulo sendo então produzidas mais rolhas de cortiça capsuladas a partir desta geometria de rolhas.

Desta vez, entre as diversas rolhas produzidas (cortiça natural e aglomerada), alteraram-se os diferentes tratamentos e lavações na superfície de cortiça, por forma a tentar perceber a causa das reprovações verificadas nos testes realizados anteriormente.

Mais uma vez, e como já foi referido, o material utilizado durante as injeções foi o PS Antichoque, não existindo motivo para mudança. As rolhas capsuladas integrando rolhas sem falange para os diferentes tratamentos foram produzidas separadamente, para que fosse possível aumentar a amostra de cada tipo de rolha ou tratamento testado, assim como verificar um pouco a repetibilidade dos resultados obtidos. Desta forma são mostradas diferentes tabelas referentes aos resultados obtidos.

Na Tabela 17 estão indicadas as rolhas capsuladas produzidas a partir de rolhas sem falange sem qualquer tipo de tratamento, com e sem lavação.

Tabela 17 – Rolhas de cortiça sem falange produzidas para diferentes lavações

		Sem lavação	Com lavação
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Sem tratamento	5	5
Rolhas de cortiça aglomeradas		5	--

Na Tabela 18 são mostrados os valores médios máximos de torção e tração obtidos dos ensaios de teste, assim como a taxa de aprovação, para as rolhas assinaladas na Tabela 17.

Tabela 18 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange com e sem lavação

		Sem lavação		Com lavação	
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Sem tratamento	6,52	24,14	7,80	26,12
Rolhas de cortiça aglomeradas		7,82	24,98	--	
Taxa de aprovação		100%			

Da Tabela 18 é possível observar que todas as rolhas sem falange e sem tratamento de superfície, com ou sem lavagem, foram aprovadas no ensaio de teste a que foram submetidas apesar da pequena amostra realizada.

Contudo, a grande maioria das rolhas produzidas atualmente possuem tratamentos de superfície, o que levou a que fossem realizados novos ensaios para comparar os diferentes tratamentos utilizados. Desta forma, estão assinaladas na Tabela 19 as rolhas capsuladas integrando rolhas de cortiça sem falange produzidas para os diferentes tratamentos aplicados na sua superfície.

Tabela 19 - Rolhas de cortiça sem falange produzidas para diferentes tratamentos

		Sem tratamento	Tratamento S0	Tratamento S4
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavagem R6	5	5	5
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavagem R5	5	5	5

As rolhas apresentadas na Tabela 19 foram submetidas ao ensaio de teste, tal como todas as outras rolhas anteriormente produzidas, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange com diferentes tratamentos

		Sem tratamento		Tratamento S0		Tratamento S4	
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Torção (daN)	Tração (daN.cm)
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavagem R6	7,95	26,65	8,18	27,90	6,18	17,62
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavagem R5	8,18	26,73	8,22	25,74	5,52	13,42
Taxa de aprovação		80%		100%		10%	
Taxa de aprovação total		63%					

Aquilo que mais se evidencia na Tabela 20 é a baixa taxa de aprovação para as rolhas sem falange com tratamento de superfície S4. Este tratamento, como já havia sido referido, aplica parafina e silicone, influenciando a superfície de adesão entre materiais, tornando-a mais suscetível à separação dos mesmos. Para este tipo de tratamento torna-se necessária a existência de falange, a qual permite que o rebaixo criado permita a penetração do material polimérico, dando origem a uma mais eficaz fixação.

Para as rolhas sem falange e sem qualquer tipo de tratamento é de notar uma percentagem de aprovação de 80%, inferior à verificada nos ensaios realizados anteriormente

e que mostravam uma total aprovação para rolhas sem tratamento de superfície mas com lavação.

Esta taxa de aprovação foi devida à utilização de duas rolhas – uma de cortiça natural e outra de cortiça aglomerada que conduziram a reprovação. O motivo, tal como já foi referido na explicação anterior, centra-se na ausência de falange, dado que esta cria uma saliência onde o material polimérico fica aprisionado.

Ao contrário dos restantes tipos de tratamento, o tratamento S0, teve uma total aprovação, sendo por esse motivo repetidos mais testes com o objetivo de aumentar a amostra para este tipo de tratamento. Assim foram produzidas 10 rolhas de cada tipo – natural e aglomerada - como assinalado na Tabela 21, sendo as mesmas analisadas e os seus valores registados na Tabela 22.

Tabela 21 - Rolhas de cortiça sem falange produzidas para tratamento S0

		Tratamento S0
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	10
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	10

Tabela 22 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange para tratamento S0

		Tratamento S0		
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Taxa de aprovação
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	10,79	23,25	100%
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	11,03	26,50	80%
Taxa de aprovação total				90%

Da Tabela 22, ao contrário do verificado anteriormente, a percentagem de aprovação é de apenas 80% para as rolhas de cortiça aglomerada com tratamento de superfície S0.

Esta percentagem deveu-se à rotura de duas rolhas de cortiça aglomerada pela zona de adesão dos materiais, e não pela zona de cortiça. Para que se tentasse perceber por que motivo estas duas rolhas não foram bem-sucedidas no teste, foi feita alguma análise às mesmas.

Aquilo que em primeiro lugar foi realizado e que é mostrado na Figura 38 foi a análise microscópica da superfície de adesão entre os dois materiais. Na rolha de cortiça são observadas as porosidades (apesar de não tão evidentes por se tratar de rolhas de cortiça aglomerada) características deste material, na cápsula polimérica, além de resíduos de cortiça que tinham aderido ao polímero, não é possível observar mais nada. Esta observação não permitiu inferir nenhuma conclusão, uma vez que aquilo que se observa são as porosidades do material que uma vez tão características não são tidas como causa das reprovações.

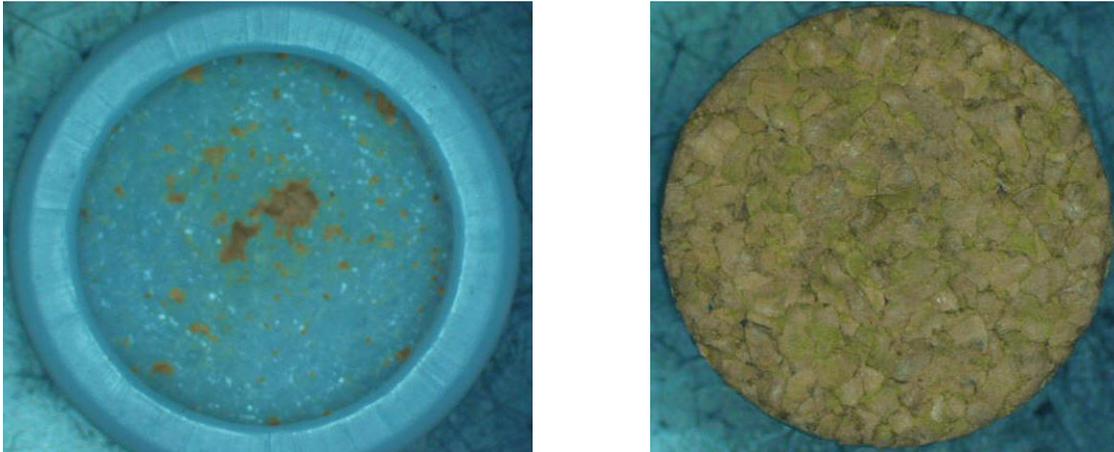


Figura 38 - Rolhas de cortiça sem falange analisadas: à esquerda a cápsula polimérica com resíduos de cortiça, à direita a rolha de cortiça com as porosidades

Aquilo que foi feito foi o torneamento de uma cápsula polimérica em que tinha sido verificada aprovação no ensaio de teste, com o objetivo de retirar o material polimérico até à superfície de cortiça para se perceber se existiria algum defeito de injeção que estivesse na origem das reprovações.

Para a cápsula de uma rolha que tinha sido aprovada no teste, quase no limite de material entre a cápsula e a cortiça, observaram-se bolhas de ar, tal como pode ser observado na Figura 39.



Figura 39 – Bolhas de ar no interior da cápsula polimérica

Quando foi atingida a superfície de cortiça, aquilo que foi observado e que é notório na Figura 40, é que a rolha de cortiça se mantém com a secção circular, tal como no início da

injeção. Isto acontece porque o molde utilizado foi o primeiro molde concebido e no qual é utilizada a injeção na zona central da cápsula polimérica.



Figura 40 – Rolha de cortiça capsulada após o torneamento

Após alguma análise da cápsula polimérica, notou-se que na superfície inferior da mesma existia alguma rebarba de material, decorrente da aplicação prática do processo tal como visto na Figura 41. Após observar todas as outras cápsulas, foi visto que as duas rolhas de cortiça capsuladas que não passaram no teste não possuíam essa mesma rebarba, ao contrário daquelas que passaram. Esta pode ser considerada a causa para as reprovações, apesar de ser tratado como um erro do processo, a rebarba de material cria uma maior superfície de adesão e dada a não existência de falange, permite que a rolha não descole do material polimérico.



Figura 41 – Rolha de cortiça capsulada sem falange com existência de rebarba na parte inferior

Por este motivo as rolhas de cortiça sem falange não são as mais indicadas para serem utilizadas neste processo, dado que em nenhum dos testes se garantiu que um dado tipo de rolha com um dado tipo de tratamento mantivesse uma taxa de aprovação coerente.

Por forma a resumir todos os valores para as taxas de aprovação atrás referidas, foi elaborada a tabela seguinte, a qual indica todos os valores obtidos para cada um dos testes realizados.

Tabela 23 – Resumo de todas as taxas de aprovação para os ensaios realizados

Geometria	Taxa de aprovação					
	Rolha de cortiça natural			Rolha de cortiça aglomerada		
	Sem tratamento	Tratamento S4	Tratamento S0	Sem tratamento	Tratamento S4	Tratamento S0
Falange de 1,5 mm	100%	100%	-	100%	100%	-
Falange de 1 mm	100%	100%	-	100%	100%	-
Falange de 0,75 mm	100%	100%	-	100%	100%	-
Falange de 0,5 mm	100%	90%	95%	100%	90%	100%
Um rasgo	-	-	-	-	60%	-
Dois rasgos	-	-	-	-	100%	-
Sem falange	96%	50%	100%	96%	63%	93%

Testes realizados para diferentes formas de injeção

Tal como já havia sido referido no capítulo 3, foram desenhados e concebidos dois moldes diferentes do molde inicial que permitiram testar o comportamento da rolha de cortiça no momento em que sobre esta é injetado material polimérico sem ser pelo topo da rolha.

Para o primeiro molde para injeção lateral elaborado, aquele em que a injeção é feita no centro da lateral da cápsula foram produzidas rolhas capsuladas sem falange de cortiça natural e aglomerada. Estas continham na superfície lavação e tratamento S0 e todas foram injetadas com PS Antichoque - Tabela 7.

As vinte rolhas produzidas foram testadas e tal como foi feito em todas as outras rolhas, os valores médios de torção e tração obtidos estão assinalados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange produzidas para o molde com injeção lateral

		Tratamento S0		
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Taxa de aprovação
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	10,23	23,42	100%
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	9,78	23,69	90%
Taxa de aprovação total				95%

Como pode ser observado na Tabela 24, as rolhas de cortiça capsuladas produzidas a partir do molde com ponto de injeção no centro da lateral tiveram uma boa taxa de aprovação, tendo havido apenas uma que rompeu pela zona de adesão dos materiais.

No entanto estas foram também analisadas, para que se percebesse qual o comportamento da cortiça perante a injeção lateral. Foi então torneada uma rolha, para que se pudesse compreender aquilo que acontecia na superfície superior da cortiça.

Aquilo que se observa na Figura 42 é a falta de perpendicularidade

entre a cortiça e o material polimérico. Na figura à esquerda nota-se que durante o torneamento o polímero é desaparece primeiro de um dos lados da rolha e só depois do outro lado e na figura da direita, após o torneamento, verifica-se que a secção da rolha não é totalmente circular, e existe mais material polimérico no lado em que é feita a injeção do que no oposto.

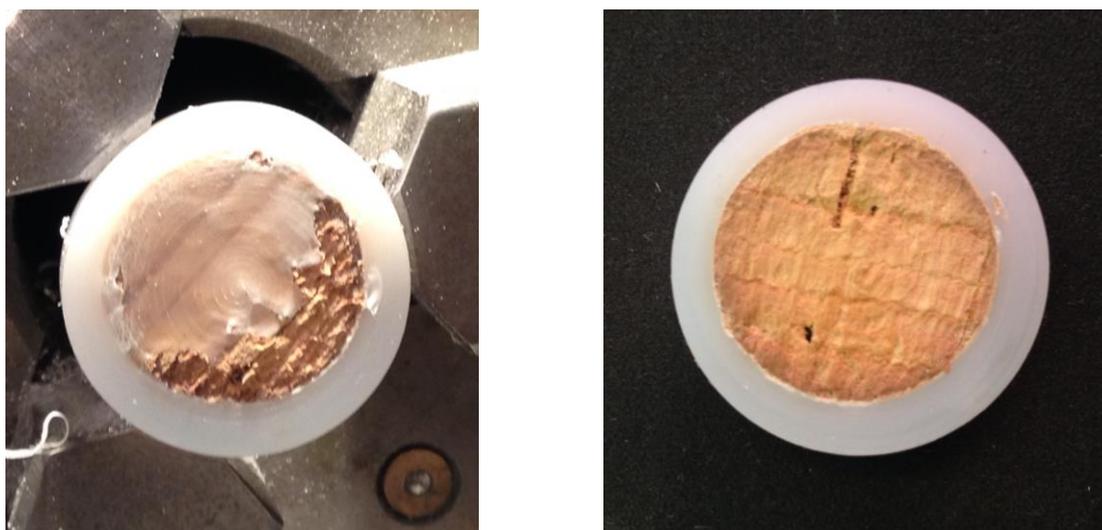


Figura 42 – Rolha de cortiça capsulada sobreinjetada lateralmente: à esquerda durante o torneamento, à direita no final do torneamento

Dado que a perpendicularidade entre a rolha de cortiça e a cápsula polimérica é um parâmetro importante no controlo de produção, este molde não foi mais utilizado, pois nas condições atuais de produção não é possível fazer alterações que visem a melhoria desta solução de injeção.

Para o segundo molde concebido, aquele em que a injeção é feita na zona superior da lateral da cápsula polimérica, foram produzidas através do processo de sobreinjeção dez rolhas, entre cortiça natural e aglomerada, contendo tratamento de superfície S0 – Tabela 8

Erro! A origem da referência não foi encontrada..

As dez rolhas assinaladas na Tabela 8, foram produzidas em PS Cristal, uma vez que era aquele que se encontrava na máquina de injeção e que como já foi visto não existia motivo para ser substituído. Após a realização do ensaio de teste obtiveram-se os resultados assinalados na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores médios de torção e tração para as rolhas sem falange produzidas para o molde com injeção lateral

		Tratamento S0		
		Torção (daN)	Tração (daN.cm)	Taxa de aprovação
Rolhas de cortiça natural - classe extra	Com lavação R6	9,34	27,50	100%
Rolhas de cortiça aglomeradas	Com lavação R5	9,40	26,10	40%
Taxa de aprovação total				70%

Com a observação da Tabela 25, é possível concluir que nem todas as rolhas de cortiça capsuladas foram aprovadas no ensaio de teste, existindo três utilizando rolhas de cortiça aglomerada nas quais não se observou a rotura pela zona de cortiça.

No entanto, a utilização dos moldes com injeção lateral tinha como finalidade observar o comportamento da cortiça, sendo isso avaliado pela perpendicularidade observada numa rolha de cortiça capsulada. Tal como no molde desenvolvido anteriormente, o parâmetro de perpendicularidade não é cumprido, ficando as rolhas um pouco fletidas - Figura 43.



Figura 43 – Rolha de cortiça capsulada com excesso de material no lado onde é feita a injeção de material

Desta forma nenhum dos moldes para injeção lateral concebidos e testados garante que todas as rolhas capsuladas sejam fabricadas respeitando todos os parâmetros de análise do processo, havendo a necessidade de testar outras formas de injeção laterais, nomeadamente com dois canais de injeção em simultâneo.

Preparação para a produção

Esta secção será dedicada a esquematizar de que forma todo o processo estudado pode ser industrializado e que etapas têm de ser cumpridas para que isso se torne necessário.

É notório que todo o trabalho até aqui desenvolvido possui algumas limitações, nomeadamente questões relacionadas com a máquina de injeção utilizada que não permitia um correto controlo de todos os parâmetros do processo, o que pode ter conduzido a erros no processo de sobreinjeção.

Apesar das limitações de equipamento, foi possível confirmar a viabilidade da implementação do processo de sobreinjeção no fabrico de rolhas capsuladas, podendo ser feita uma síntese das etapas e parâmetros de controlo do processo.

A primeira etapa para a implementação do processo a nível industrial será o desenho e conceção do molde de sobreinjeção. Este molde terá de ter características especiais para alojar no seu interior as rolhas de cortiça sobre as quais o material polimérico será injetado.

Até ao momento, a melhor solução de injeção encontrada é aquela que é realizada pelo topo da cápsula polimérica, apesar de não ser a mais indicada por razões estéticas. As duas formas de injeção lateral testadas e já descritas não permitem que a rolha capsulada fique perpendicular, sendo este considerado um defeito no processo de fabrico.

No entanto e tornando-se necessário que o ponto de injeção fique tão escondido quanto possível, admite-se que a solução mais indicada é a realização da injeção de material com dois pontos de injeção, um em cada extremo da cápsula polimérica. Esta será a forma de injeção mais indicada, contudo ainda carece de ser testada, o que por questões de limitação de equipamento não se tornou possível.

O molde concebido deverá alojar tantas rolhas quanto as suas dimensões o permitam, para que o processo se torne tão económico e eficiente quanto possível. Atualmente, os moldes de injeção, de maiores dimensões, destinados ao fabrico de cápsulas poliméricas produzem em simultâneo vinte e quatro cápsulas, tentando-se adotar as mesmas dimensões para a produção de rolhas capsuladas.

Este molde terá de conter no seu interior canais de refrigeração, o que conduz a que o material arrefeça de uma forma mais rápida e uniforme e reduz o número de defeitos que advêm do incorreto arrefecimento do material.

A temperatura do molde de injeção depende do material polimérico utilizado para a produção das rolhas capsuladas. Mesmo assim a temperatura de aquecimento do molde é muito inferior à temperatura do material utilizado, para permitir que o mesmo arrefeça. Neste trabalho foram testados os seguintes termoplásticos: PS Cristal, PS Antichoque, PE, não se tendo conseguido testar o ABS e o PC. Para cada um dos materiais podem ser consultados na Tabela 1, os valores admitidos para a temperatura do molde.

No molde concebido terão de ser introduzidas as rolhas de cortiça sobre as quais o material polimérico será injetado. Esta introdução pode ser manual (realizada por um operador) ou então com recurso a um equipamento auxiliar, para que o processo seja tão automatizado quanto possível.

Aquilo que foi pensado para a concretização desta etapa foi o desenho e conceção de um gabari que retire as rolhas de uma máquina vibratória (utilizada para colocar na posição correta as rolhas de cortiça) e as coloque no interior do molde. Para o molde de maiores dimensões, é possível a colocação de vinte e quatro rolhas de cortiça, tendo o gabari de alojar o mesmo número de rolhas.

Torna-se agora necessário a definição dos valores dos parâmetros do processo, tais como a temperatura, a pressão, o tempo de arrefecimento da peça no interior do molde, o tempo de abertura do molde e o tempo total de ciclo, cuja soma é equivalente ao tempo total de injeção.

A temperatura de injeção depende de cada material que será utilizado, existindo para cada material uma gama de temperaturas definida pelo próprio fabricante. Ao longo deste trabalho foram utilizados valores de 206 °C para o PS Cristal e o PS Antichoque e de 210 °C para o PE. No entanto o valor da temperatura depende de outros valores como a temperatura de aquecimento do molde, que não foi possível testar, sendo por isso necessário um novo ajuste numa futura implementação do processo.

A pressão de injeção é uma variável que exige um rigoroso controlo, uma vez que a introdução das rolhas de cortiça no molde leva a que, pelas características de compressibilidade desta, um valor excessivo de pressão deforme a rolha o que é desfavorável para o processo. A afinação da pressão de injeção do processo terá de ter em conta que esta deverá ser o mínimo possível pois um valor excessivo conduz a que as rolhas tenham excesso

de material polimérico ou até mesmo que a rolha de cortiça parta, não sendo favorável para o processo.

Os testes realizados para o fabrico de rolhas capsuladas foi de cerca de 6 s, no entanto como o valor da pressão de injeção do material polimérico também era baixo, o tempo tinha de ser aumentado para que o material preenchesse de forma uniforme toda a cavidade destinada à cápsula polimérica. Pensa-se que o valor do tempo de injeção possa ser diminuído, conduzindo a um valor de tempo de ciclo inferior.

O tempo de arrefecimento da rolha capsulada no interior do molde é o tempo necessário para que o material solidifique para que possa ser retirada do interior do molde a rolha capsulada corretamente fabricada. Nos testes realizados este tempo foi cerca de 60 s. Este tempo correspondia ao tempo necessário para retirar o molde da máquina, que fosse colocado novo material polimérico e que os parafusos de aperto do molde fossem retirados.

O valor de tempo de arrefecimento pode ser menor do que o assinalado, uma vez que em condições ideais o molde terá canais de refrigeração que permitem um arrefecimento mais rápido das rolhas de cortiça capsuladas produzidas pelo processo de sobreinjeção e o aperto do molde é feito automaticamente.

O tempo de abertura do molde terá de ser o tempo necessário para que o molde seja aberto e do seu interior sejam retiradas as rolhas capsuladas produzidas, assim como o gito de injeção e no interior da cavidade do molde se volte a colocar novas rolhas de cortiça para a realização de um novo ciclo de injeção. Para facilitar o corte do gito, o molde de injeção deverá ser equipamento com extratores, para que a rolha saia mais facilmente.

O tempo de ciclo é apenas o somatório do tempo de injeção, do tempo de arrefecimento e do tempo de abertura do molde. Para este não é possível definir um valor concreto, no entanto espera-se que não seja muito superior ao tempo de ciclo para a produção atual de cápsulas poliméricas e do processo de capsulagem. Mesmo que o tempo de ciclo para o processo de sobreinjeção seja um pouco superior ao tempo atual, traz como vantagem que no seu final já são obtidas rolhas capsuladas, não sendo necessário nenhuma etapa posterior para a produção do produto final.

4. Ensaios de adesão

O desenvolvimento e implementação do processo de sobreinjeção no fabrico de rolhas de cortiça capsuladas, tem como principal objetivo a eliminação do material adesivo – cola – que une a rolha de cortiça e a cápsula polimérica no processo atual. No entanto não é conhecido o comportamento dos dois materiais na ausência de material adesivo e de que forma a adesão dos dois materiais poderá ou não ser um obstáculo na aplicação deste processo produtivo.

Para a avaliação da adesão entre a rolha de cortiça e os materiais poliméricos foram realizados testes de adesão, que permitiram a criação de uma matriz de adesão para os materiais em estudo.

Os testes de adesão realizados baseiam-se numa comparação do valor de binário máximo registado para a torção em provetes constituídos por rolhas de cortiça e os diferentes materiais poliméricos utilizados para o estudo do processo.

Para a realização dos testes de adesão recorreu-se a um torciómetro - Figura 44- disponível no LET – Laboratório de Ensaios Tecnológicos do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec), o qual foi desenvolvido para analisar, à torção, a força exercida em rolhas de cortiça destinadas a selar garrafas de champanhe e a partir do qual foram desenvolvidos inúmeros equipamentos semelhantes com a mesma finalidade.

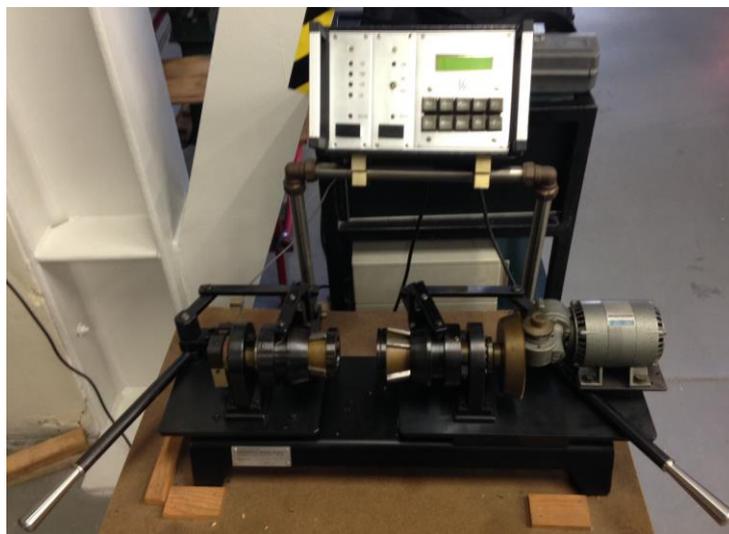


Figura 44 – Torciómetro utilizado para a realização dos ensaios de torção

O torciómetro funciona através do movimento do motor (Figura 44 à direita), acoplado à base móvel, rodando com uma velocidade constante. No outro oposto do equipamento – na base fixa - existe uma célula de carga que permite fazer a leitura do binário máximo imposto à rolha de cortiça durante o teste.

Para a realização do teste de torção, a rolha de cortiça referida seria apertada entre as duas bases através dos mordentes existentes em cada uma delas - Figura 45 – sendo depois imposto o movimento de rotação do motor e registado o valor máximo do binário para que a rolha atingisse a rotura.



Figura 45 – Mordentes que permitem a realização do aperto na máquina de torção

Quando foi feita uma primeira visita ao equipamento notou-se que as rolhas de cortiça com cápsula polimérica produzidas através do processo de sobreinjeção não tinham dimensão suficiente para que a rolha de cortiça ficasse presa nos mordentes da parte fixa e que na base móvel ficasse preso o material polimérico.

Assim tiveram de ser projetados provetes que permitissem fazer a ligação entre os dois conjuntos de mordentes. O provete projetado - Figura 46- é constituído por um paralelepípedo de alumínio e uma rolha de cortiça com um disco de material.



Figura 46 - Rolha de cortiça com disco de material e paralelepípedo de alumínio projetados

O paralelepípedo de alumínio tem de dimensões um comprimento de 25 mm e uma secção de 18,8x18,8 mm, ao passo que a rolha de cortiça não sofreu qualquer tipo de maquinação, sendo apenas injetado na superfície superior da rolha o material polimérico. As duas partes foram unidas através de cola rápida de cianoacrilato, tornando a adesão entre as duas partes mais resistente do que a adesão entre a cortiça e o polímero – Figura 47.



Figura 47 – Provetes preparados para o ensaio de torção

Esta ligação permitia fazer a ponte entre os mordentes das duas bases e uma vez que a união que a cola de cianoacrilato provocou entre o material polimérico e o paralelepípedo se verificou mais forte do que a adesão entre o material polimérico e a rolha de cortiça, não se introduziu nenhum erro na leitura do binário.

Contudo, a distância entre os mordentes que não permitia o correto aperto das rolhas capsuladas, não foi o único obstáculo, uma vez que existiam também alguns problemas que impediam a correta utilização do torciómetro. Nomeadamente, a caixa controladora que havia sido colocada posteriormente à produção do equipamento não desempenhava a sua correta função. Esta caixa, que se encontrava ligada ao motor e à célula de carga, deveria fazer a leitura imediata dos valores do binário e do ângulo máximos registados em cada ensaio, no entanto esta não estava funcional.

A primeira solução encontrada, e visto o equipamento no seu conjunto estar funcional apesar de há muito não ser utilizado, foi tentar perceber qual seria a origem do problema, que se identificou não estar calibrada. Realizou-se então uma primeira tentativa para a realização da calibração do equipamento, que se mostrou inexequível.

Após análise à célula de carga, verificou-se que a ponte de extensómetros se encontrava equilibrada, isto é, que a célula contém o mesmo valor de voltagem em todos os ramos. No entanto verificou-se que a célula de carga não estava a ser alimentada de forma correta pela caixa controladora adicional do equipamento, existindo no interior desta outros problemas mais difíceis de identificar.

Desta forma, decidiu-se fazer a calibração do equipamento, através da realização de uma curva de calibração mas apenas da célula de carga, pondo de parte a existência da caixa controladora que a partir deste momento serviria apenas para alimentação do motor.

Aquilo que foi projetado para a calibração, Figura 48, é uma barra com um comprimento de 700 mm, a qual possui no centro (a uma distância de 350 mm dos dois extremos) um paralelepípedo com uma secção de 18,8 mm (igual aos que haviam sido projetados para a incorporação nos provetes de ensaio).



Figura 48 - Barra projetada para a realização da calibração do torciómetro

Esta barra é presa na base fixa do equipamento, onde existe a célula de carga, através dos mordentes nos quais o paralelepípedo fica preso – Figura 49. Nesta barra, existe a uma distância de 300 mm do centro, um furo. Este foi efetuado para que neste local pudessem ser colocadas massas de valor conhecido. É a aplicação destas massas neste ponto que permite o cálculo do binário aplicado durante a execução da calibração.

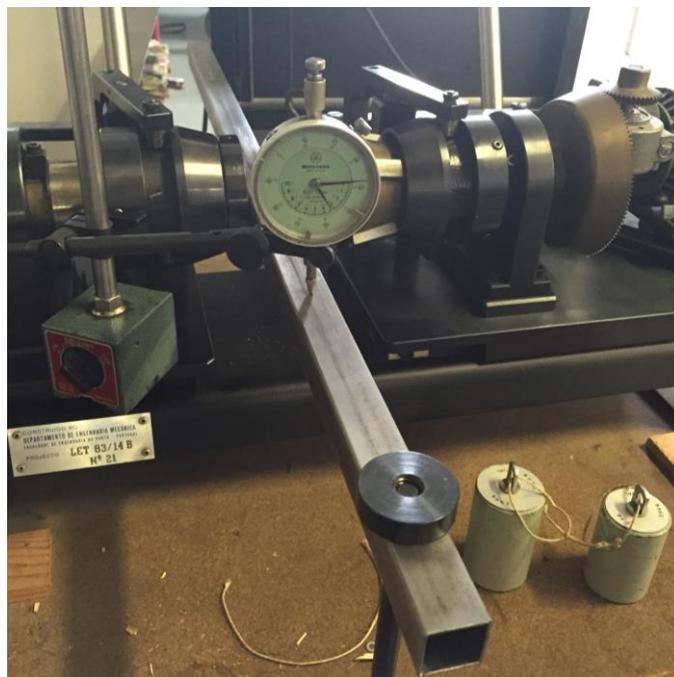


Figura 49 – Barra destinada à realização da calibração acoplada ao torciómetro

Para que a calibração do equipamento pudesse ser tão aproximada quanto possível, foi utilizado um comparador. Este permitiu através do deslocamento medido com a aplicação de

cada peso, calcular o ângulo máximo de rotação da barra, que se tornou desprezável por o seu valor ser reduzido.

Para resumir toda a informação obtida com a calibração foi elaborada a Tabela 26, na qual estão descritos o valor de cada peso, assim como o binário e o deslocamento máximo.

Tabela 26 – Valores utilizados na curva de calibração do torciómetro

Massa(g)	Massa (Kg)	Binário (N.m)	Deslocamento (mm)
148,5	0,1485	0,44	0,14
297	0,297	0,87	0,37
594	0,594	1,75	0,9
742,5	0,7425	2,19	1,25
1341	1,341	3,95	2,3
2343	2,343	6,90	4,05
3339	3,339	9,83	6,5

Com o valor de deslocamento máximo, que se observa de 6,5 mm, foi calculado o ângulo máximo que a barra se deslocou durante a calibração, tendo-se obtido um valor de 2,5°. Não considerar o valor de rotação da barra é um erro desprezável, que não demonstra acarretar problemas.

Os valores de binário foram introduzidos no programa *Catman*, o qual utiliza o equipamento *Spider*, que permitiu a leitura dos valores de binário registados na célula de carga.

Ao nível da sobreinjeção, apenas foram realizadas alterações não definitivas ao molde com a introdução de um postigo de alumínio que tapou a cavidade destinada à cápsula polimérica, fazendo com que a injeção de material fosse realizada apenas no topo superior da rolha de cortiça (Figura 46 à esquerda).

Para a realização da colagem entre a rolha de cortiça e o provete de alumínio, garantindo que esta fosse realizada de forma correta e que as duas peças do provete ficassem centradas, foi produzido em esteriolitografia um gabari para desempenhar esta função – Figura 50.

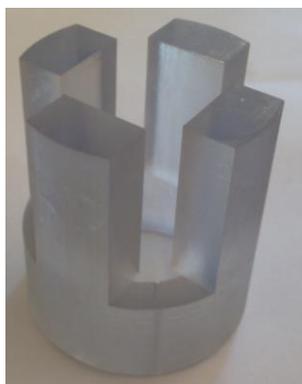


Figura 50 - Gabari concebido em esteriolitografia para a realização da colagem

Apresentação de resultados para a matriz de adesão

A partir dos valores retirados dos testes de torção realizados foi possível a elaboração de uma matriz de adesão.

Neste estudo, não é de elevada importância o valor absoluto de binário encontrado durante o teste de torção, uma vez que não existe nenhum valor de referência para ser possível entender se este valor é reduzido ou elevado. Interessa apenas a comparação feita entre os diferentes materiais, o tipo de cortiça e o tipo de tratamento de superfície aplicado, sendo feita apenas uma análise qualitativa de quais os menores ou maiores valores encontrados.

A forma como decorreu a preparação para a realização dos testes foi já descrita no capítulo 4, tendo sido preparadas três amostras dos provetes assinalados na Figura 47, para cada tipo de tratamento de superfície, para os dois tipos de cortiça utilizada e para os diferentes materiais. A Tabela 27 mostra a distribuição das amostras realizadas para o ensaio.

Tabela 27 – Distribuição das amostras realizadas para o ensaio de adesão

Material	Rolha cortiça natural - classe flor			Rolha cortiça aglomerada		
	Sem tratamento	S0	S4	Sem tratamento	S0	S4
PS Cristal	3	3	3	3	3	3
PS Antichoque	3	3	3	3	3	3
PE	3	3	3	3	3	3

Todas as amostras produzidas foram testadas no torciómetro e para cada ensaio registado o valor máximo do binário assinalado. Em todas as amostras foi possível observar que o material polimérico é descolado da rolha de cortiça, não tendo influência, como já seria esperado, a colagem entre o material polimérico e o paralelepípedo de alumínio - Figura 51.



Figura 51 – Provetes após a realização do ensaio de adesão

Com base nesses valores foi construída uma tabela com a média dos três valores analisados – Tabela 28. A tabela apresenta apenas três materiais, faltando aqui incluir o Policarbonato – PC. Não foi possível a sua utilização na máquina de injeção utilizada, pois este fica aprisionado no interior da máquina com bolhas de ar que não permitiam que fosse injetado de forma correta.

Tabela 28 – Valores médios para o binário (N.m) registado no ensaio de adesão

Material	Rolha cortiça natural - classe flor			Rolha cortiça aglomerada		
	Sem tratamento	S0	S4	Sem tratamento	S0	S4
PS Cristal	1,57	2,10	0,67	1,60	1,40	1,13
PS Antichoque	1,40	1,73	1,33	2,10	1,63	1,30
PE	1,97	1,87	1,55	2,03	1,67	1,45

A partir da Tabela 28 é possível observar que para os dois tipos de rolhas de cortiça analisados – natural e aglomerada – os melhores resultados obtidos são registados para rolhas onde não existe qualquer tipo de tratamento de superfície.

Para os dois tipos de cortiça, a Tabela 28 indica melhores resultados, para os três materiais analisados, para o tratamento de superfície S0 em detrimento do tratamento S4. Apesar de que para as rolhas de cortiça aglomerada os valores não são muito díspares, no entanto continuam inferiores para o tratamento S4.

Esta diferença de valores confirma aquilo que já seria esperado, que o tratamento de superfície S4 (que contém silicone e parafina) dificulta a adesão entre a cortiça e o material polimérico durante o processo de sobreinjeção. Este tratamento foi tido muitas vezes como motivo de reprovação para as rolhas capsuladas através do processo de sobreinjeção, existindo agora uma base de justificação mais concreta.

Os testes de adesão realizados levam a inferir que o melhor tratamento de superfície ao qual o processo de sobreinjeção pode ser aplicado é o tratamento S0, o que já tinha sido considerado anteriormente uma vez que nas rolhas de cortiça capsuladas produzidas era verificada uma taxa de aprovação superior com este tratamento.

Dos três materiais testados, aquele que aparenta ser o mais indicado para a aplicação do processo de sobreinjeção é o Polietileno (PE). Este alcançou na maioria dos testes realizados valores de binário superiores, indicando que a separação entre a rolha de cortiça e o material polimérico se torna mais difícil quando este material é utilizado.

Entre os dois Poliestirenos testados a diferença não é muito notória, uma vez que a base dos dois materiais é a mesma (monómero de estireno), podendo ser também opções na aplicação do processo.

Para a tipologia de cortiça utilizada, isto é se é utilizada cortiça natural ou aglomerada, não é notória uma diferença significativa, uma vez que para os dois tipos de cortiça os valores se aproximaram para os diferentes materiais e tratamentos. Desta forma é possível a produção de rolhas dos dois tipos de cortiça através do processo de sobreinjeção.

5. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

6.1 Conclusões gerais do trabalho

Neste capítulo pretende-se resumir todas as conclusões obtidas ao longo da presente dissertação, dando assim resposta aos objetivos definidos no capítulo 1. Todo o trabalho é parte integrante de um projeto realizado em colaboração com a empresa *Top Series Unit*.

Todos estes objetivos permitiram organizar o trabalho em linhas de estudo e tarefas coerentes, bem como dividir esta dissertação para que nenhuma parte fosse descurada – para qualquer etapa em curso, existia todo um encadeamento entre o estudo e as tarefas das etapas anteriores e seguintes que permitiam correto entendimento da tarefa em curso.

As primeiras rolhas utilizadas nos testes de sobreinjeção possuíam no topo superior uma falange de 1,5 mm. Esta geometria apresentava bons resultados, dado que a falange permitia uma maior área de adesão entre os materiais bem como criando um ressalto onde a cápsula polimérica ficaria presa à rolha de cortiça. Contudo, apesar dos bons resultados apresentados, esta dimensão de falange tem como inconveniente a quantidade de cortiça desperdiçada durante a maquinação da rolha – o que torna o seu uso menos adequado.

Para reduzir este desperdício foram testadas diferentes geometrias. As primeiras geometrias testadas possuíam o mesmo formato, apenas dimensões de falange menores, de 1 mm, 0,75 mm e 0,5 mm, respetivamente. As rolhas de 1 mm e 0,75 mm demonstraram bons resultados nos ensaios de caracterização realizados

A geometria de 0,5 mm de falange foi a única que demonstrou mais problemas na sua utilização. Com esta dimensão de falange não se garantiu em nenhum dos ensaios realizados uma total aprovação. Mesmo sendo aquela que conduz a um menor desperdício de cortiça, esta não garante o ressalto suficiente para aprisionar a cápsula polimérica.

Apesar da dimensão de falange de 0,75 mm mostrar ser a mais indicada, foram ainda testadas mais duas diferentes geometrias: uma delas sem qualquer falange no topo (igual às rolhas de cortiça atualmente utilizadas no processo de encapsulagem) e outra em que existiam rasgos na superfície superior da rolha de cortiça.

Para as rolhas sem qualquer falange, não foi possível garantir com nenhum dos testes realizados uma repetibilidade dos resultados, independentemente do tratamento de superfície utilizado, em todos os testes existiu alguma falha que inviabilizou a utilização desta geometria de rolha de cortiça.

Da última geometria testada, para rolhas com rasgos, foram desenhadas duas variantes da mesma, uma com apenas um rasgo e outra com dois rasgos no topo superior. Para ambas as geometrias, a taxa de aprovação global foi bastante satisfatória (tendo sido registado um valor de 80%), no entanto a existência dos rasgos fragilizava bastante a rolha de cortiça, ficando a cápsula polimérica no limite dos rasgos, o que a tornava propícia à rotura.

Neste momento a geometria de rolha que garante o correto fabrico das rolhas de cortiça capsuladas através do processo de sobreinjeção, assim como o menor desperdício de cortiça, é a dimensão de falange de 0,75 mm.

O desenho e conceção do molde que acompanhou toda a realização do trabalho tornou-se uma tarefa simples, tendo sempre em atenção algumas considerações, tais como as dimensões e o equipamento (máquina de injeção) onde seria utilizado.

Com o mesmo molde foi possível testar diferentes formas de injeção, através de pequenas alterações ao molde inicial, assim foram testadas a injeção no topo da cápsula polimérica e duas formas de injeção lateral, uma no centro da cápsula polimérica e outra um pouco mais acima.

A forma de injeção que se traduz em menos defeitos no produto final é a realização da injeção pelo topo da cápsula, contudo esta não é aconselhada uma vez que a marca de injeção se encontra no topo da cápsula o que reduz o aspeto estético da mesma. As duas outras formas de injeção foram de encontro à necessidade de reduzir a visibilidade da marca de injeção (passando esta a estar na lateral da cápsula), no entanto o facto de a injeção ser realizada quando no interior do molde já existe a rolha de cortiça dificulta o processo, dado que a rolha sofre deformações permanentes, eliminando a perpendicularidade característica entre a rolha de cortiça e a cápsula polimérica.

O último ponto que falta referir foi a elaboração da matriz de adesão entre cortiça, tipos de tratamento de superfície e materiais poliméricos. Com a matriz de adesão foi possível perceber quais os tipos de materiais mais indicados para a aplicação do processo de sobreinjeção, assim como as suas limitações.

Com a matriz de adesão foi possível perceber que o tipo de cortiça (natural ou aglomerada) não tem qualquer influência na aplicação do processo de sobreinjeção, facto que já tinha sido observado com a produção de rolhas de cortiça capsuladas para teste. Dos três materiais analisados, PS Cristal e Antichoque e PE aquele que demonstrou valores mais elevados no ensaio de torção realizado foi o PE, contudo os dois poliestirenos testados também demonstraram bons resultados.

Quanto aos tratamentos de superfície utilizados (sem tratamento, com S0 e com S4), aquele em que observou um melhor comportamento foi na ausência de qualquer tratamento seguindo-se o S0. O tratamento S4 mostrou valores mais baixos quando comparados com os restantes valores, o que vem salientar que o uso deste tratamento de superfície não é o mais indicado para a aplicação do processo de sobreinjeção.

Apesar de todo o trabalho realizado, existiram inúmeras limitações, nomeadamente por parte do equipamento utilizado, que não permitia o controlo totalmente rigoroso do processo, tendo induzido em algumas falhas de fabrico do produto. Para a correta implementação de todo o trabalho a nível industrial é necessário um correto ajuste dos

parâmetros e etapas do processo, contudo neste momento a viabilidade de implementação do processo.

A nível pessoal todo o trabalho realizado permitiu a integração de uma equipa multidisciplinar, adquirindo competências de desenvolvimento de produtos e processos, aplicando conhecimentos adquiridos ao longo de todo o curso.

Desenvolvimentos futuros

No âmbito desta dissertação foi proposta a utilização de vários materiais, no entanto pelas características especiais reveladas pelo ABS e pelo Policarbonato (PC), não foi possível o seu tratamento com o equipamento disponível. Seria interessante a sua utilização em testes, nomeadamente nos testes de adesão entre os materiais para que o processo de sobreinjeção fosse tão abrangente quanto possível.

Outro ponto que seria importante de ser testado seria o molde com dois pontos de injeção (um em cada extremo da rolha de cortiça). Por questões de limitação de equipamento, não foi possível a sua conceção e teste, no entanto pelas simulações realizadas com o recurso ao *software MoldFlow*, este parece o mais indicado para a implementação do processo.

6. Referências e Bibliografia

1. Cortiça, H.d. *APCOR - História da Cortiça*. 2015 [07-04-2015]; Available from: <http://www.realcork.org/artigo/historia-cortiça.htm>.
2. Cortiça, A.P.d. *APCOR - O Montado*. 2015 [08-04-2015]; Available from: <http://www.realcork.org/artigo/montado.htm>.
3. Pereira, M.A.F.M.E.R.H., *A Cortiça*. 2004.
4. Cortiça. *APCOR - O Montado*. 2015 [07-04-2015]; Available from: <http://www.realcork.org/artigo/montado.htm>.
5. *Figura* 2015; Available from: http://corticeirafranciscocarrusca.com/galeria/imagem_principal_01.jpg.
6. Cortiça, A.P.d. *APCOR - Processo - Do Montado À Garrafa*. 2015 [08-04-2015]; Available from: <http://www.realcork.org/artigo/cortiça-do-montado-a-garrafa.htm>.
7. *APCOR - Propriedades da Cortiça*. 2015 [08-04-2015]; Available from: <http://www.realcork.org/artigo/propriedades-cortiça.htm>.
8. Rodriguez, F., *Principles of polymer systems*. Vol. 5th ed. 2003, New York London: Taylor & Francis. XIV, 760 p.-XIV, 760 p.
9. Lokensgard, E., *Industrial Plastics: Theory and Applications*. 2010.
10. Odian, G., *Principles of polymerization*. Vol. 3rd ed. 1991, New York [etc]: John Wiley & Science. XXII, 768 p.-XXII, 768 p.
11. Amorim, T.b. 2015 [30-04-2015]; Available from: <http://www.topseriesamorim.com/pt/client/skins/geral.php?page=18&cat=6&fade=0>.
12. Menges, G., W. Michaeli, and P. Mohren, *How to make injection molds*. Vol. 3rd ed. 2001, Munich: Hanser Publishers. XVII, [3], 612 p.-XVII, [3], 612 p.
13. Nguyen, S., et al., *Adhesion control for injection overmolding of elastomeric propylene copolymers on polypropylene. Effects of block and random microstructures*. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2013. **46**(0): p. 44-55.

Anexo A:

Fichas técnicas dos materiais poliméricos utilizados

Terluran GP-22

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)



Driving Success. Together.

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Heat Deflection Temperature A; (annealed, 1.8 MPa)	ISO 75	°C	94
Heat Deflection Temperature B; (annealed, 0.45 MPa)	ISO 75	°C	99
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ISO 11359	10 ⁻⁶ (-6)/°C	80 - 110
Thermal Conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.17
Electrical Properties			
Dissipation Factor (100 Hz)	IEC 60250	-	48E-4
Dissipation Factor (1 MHz)	IEC 60250	-	79E-4
Relative Permittivity (100 Hz)	IEC 60250	-	2.9
Relative Permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	2.8
Volume Resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13
Surface Resistivity	IEC 60093	Ohm	1E13
Other Properties			
Density	ISO 1183	kg/m ³	1040
Water Absorption, Saturated at 23°C	ISO 62	%	1
Moisture Absorption, Equilibrium 23°C/50% RH	ISO 62	%	0.22
Yellowness Index	DIN 6167	-	13
Processing			
Linear Mold Shrinkage	ISO 294-4	%	0.4 - 0.7
Melt Temperature Range	ISO 294	°C	220 - 260
Mold Temperature Range	ISO 294	°C	30 - 60
Injection Velocity	ISO 294	mm/s	200
Drying Temperature		°C	80
Drying Time		h	2 - 4

Typical values for uncolored products

SUPPLY FORM

Terluran® is delivered as spherical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm³. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film or delivery in silo trucks. PE bags should not be stored outside. In dry areas with normal temperature control, Terluran pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. Under poor storage conditions, Terluran absorbs moisture, but this can be removed by drying.

Page 2 of 3
Revision Date: 2013.08.21

Contact us:
Phone +49 2133 51 4007
infopoint.emea@styrolution.com
www.styrolution.com

Terluran GP-22

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)



Driving Success. Together.

PRODUCT SAFETY

No adverse effects on the health of processing personnel have been observed if the products are correctly processed and the production areas are suitably ventilated. For styrene, acrylonitrile and 1,3-butadiene the maximum allowable workplace concentrations must be observed according to the pertaining national regulations. In Germany, the following limit values are valid (Oct. 2002): styrene, MAK-value: 20 ml/m³ = 86 mg/m³; acrylonitrile, TRK-value: 3 ml/m³ = 7 mg/m³ and 1,3-butadiene, TRK-value: 5 ml/m³ = 11 mg/m³. According to EU directive 67/548/EWG, Annex I and TRGS 905 (Oct. 2002), acrylonitrile and 1,3-butadiene are classified as carcinogenic, category 2 ('substances which should be regarded as if they are carcinogenic to man') and 1 (substances known to be carcinogenic to man), respectively. Experience has shown that during appropriate processing of Terluran with suitable ventilation the values obtained are well below the limits mentioned above. TRGS 402 (Germany) can be used for determining and assessing the concentrations of hazardous substances in the air within working areas. Inhalation of gaseous degradation products, such as those which may arise on severe overheating of the material or during pumped evacuation, must be avoided. Further information can be found in our Terluran safety data sheets.

DISCLAIMER

The above information is provided in good faith. Styrolution is not responsible for any processing or compounding which may occur to product finished articles, packaging materials or their components. Further, Styrolution MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND, REGARDING THE INFORMATION GIVEN OR THE PRODUCTS DESCRIBED, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ALL IMPLIED WARRANTIES, REPRESENTATIONS AND CONDITIONS, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ALL WARRANTIES AND CONDITIONS OF QUALITY, MERCHANTABILITY AND SUITABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Responsibility for use, storage, handling and disposal of the products described herein is that of the purchaser or end user.



HIGH IMPACT POLYSTYRENE(HIPS)

SH731

Characteristics:

- Medium Flow
- High Impact
- Excellent Formability
- Low Temperature Toughness

Processing :

- Molding
- Extrusion & Forming

Applications:

- Thermoformed food & non food packaging, extruded profile
- Plates, dishes, disposable cups, deep drawn thermoformed containers
- Also suitable for audio/video cabinets, business machines, ball pen toys

Material Status	:	Commercially Active
Agency Ratings	:	FDA 21 CFR 177.1640, UL file E185934

PROPERTY	ASTM TEST METHOD	TEST CONDITION	VALUE	UNIT
Rheological				
Melt Flow Index	D1238	200 °C / 5kg	4.5	gm / 10 min
Thermal				
Vicat Softening Point	D1525	120 °C /hr,1kg	102	°C
HDT (Unannealed)	D648	1.86 MPa	82	°C
Mechanical				
Tensile Strength	D638	50 mm/min	28	MPa
Elongation	D638	50 mm/min	50	%
Flexural Strength	D790	3.2 mm	44	MPa
Flexural Modulus	D790	3.2 mm	1900	MPa
Izod Impact (Notched)	D256	3.2 mm	110	J/m
Flammability				
Glow Wire Temperature	IEC 695-2-1	-	-	°C
Flammability	UL 94	@ 1.6mm	HB	-
General				
Specific Gravity	D792	-	1.03	-
Processing Conditions				
Melt Temperature	-	-	180-260	°C
Pre-drying Temperature	-	-	NA	°C
Mold Temperature	-	-	40-60	°C

Data presented in this catalogue are typical values of properties and are intended to serve as guide only. SPL reserves the right to review the content of this catalogue and revise.



SUPREME PETROCHEM LTD



01-2006, SPL/CSS/QI/003



Test Method & Standard Properties

Data presented in this catalogue are typical values of properties for natural materials and intended to serve as a guide only. All tests are carried out at 23°C unless otherwise stated. Testing of all mechanical properties is done with an injection molded specimen of 3.2 mm. In actual applications, properties can be affected to a considerable extent by the mould / die design, the processing conditions and the colour

Environmental

Supreme polystyrene resins can be recycled, incinerated or disposed off in landfill without detriment to the environment. Adequate ventilation should be used during processing. Where recycling of Supreme Polystyrene is not possible, disposal to landfill or incineration in accordance with all applicable government laws and regulations is recommended. Material Safety Data Sheets (MSDS) for Supreme Polystyrene resins are available from Supreme Petrochem Ltd MSD sheets are provided to help customers in their own handling safety and disposal need and those that may be required for applicable health and safety regulations e.g. OHSAS ISO14000.

Supreme flame retardant polystyrene grades contains additives which may release hazardous or toxic vapors through lengthy or excessive exposure to high heat. Kindly, refer to recommended processing temperatures and use suitable personal protective equipments.

Handling Precautions

While the handling of Supreme polystyrene pellets generally does not present unusual problems a dust can be formed under some circumstances . If workers are exposed to this dust , they should be protected from dust inhalation by use of approved dust respirators. Contact with the skin and eyes should be prevented by use of protective equipment and/or clothing.

SPL recommends storing of polystyrene in cool & dry place in a shade away from sunlight and heat. The packing used is not UV stabilised and hence should not be exposed to sunlight

Exclusion of Liability

The information contained herein is provided for general reference purposes only. By providing the information contained herein, Supreme Petrochem Ltd makes no guaranty or warranty, and does not assume any liability with respect to the accuracy or completeness of such information or the product results in any specific instance and hereby expressly disclaims any implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose or any other warranties or representations whatsoever, expressed or implied. Nothing contained herein shall be construed as a licence to use the products of Supreme Petrochem Ltd in any manner that would infringe any patent.



SUPREME PETROCHEM LTD

Corporate Office, Exports & Zonal Office (West)

17/18, Shah Industrial Estate, Veera Desai Road, Andheri (West), Mumbai-400 053, India.
 Ph. : (91-22) 2673 6196 to 99, Fax: (91-22) 2673 4783/ 2673 6203 / 5693 5930, Website : www.supremepetrochem.com
 E-mail: | Exports: export@spl.co.in | West Zone: marketing@spl.co.in | Business Development: appl_dev@spl.co.in

Zonal Office (North)

FGL, 9th Floor, Gopala Towers,
 25, Rajindra Place,
 New Delhi - 110 008
 Ph.: (91-11) 2573 0405-06
 Fax: (91-11) 2573 0405-06
 E-mail: spl_delhi@spl.co.in

Zonal Office (South)

144/4, Baab Enclave, Little Mount,
 Saidapet, Chennai-600 015
 Ph.: (91-44) 2235 5065 / 2235 4074
 Fax: (91-44) 2235 5065 / 2235 4074
 E-mail: spl_chennai@spl.co.in

Sales Offices

Vadodara : Telefax : (91-265) 2284521
 Kolkata : Telefax : (91-33) 24160278
 Bangalore : Telefax : (91-80) 23565110

Works

Village Amdoshi / Wangani,
 Wakan - Roha Road,
 Taluka Roha, Dist : Raigad,
 Maharashtra - 402 106.
 Ph.: (91-2194) 222540 to 222548
 Fax: (91-2194) 222617 & 222537



Informação técnica


STYRON™ 678E
 General Purpose Polystyrene Resin

Descrição geral STYRON 678E é um poliestireno de uso geral com boa fluidez e resistência. Foi criado para revestimentos de tampas com moldagem por injeção e para ser usado puro ou em misturas com outros polímeros de alto impacto e boa fluidez em aplicações de moldagem por injeção.

Aplicações:

- Embalagens com paredes finas
- Revestimento de tampas por coextrusão

Atende às regulamentações:

- Atende às regulamentações europeias EU-Directive 2002/72/EC
- U.S. FDA 21 CFR 177.1640
- Consulte as regulamentações para obter mais detalhes.

Físicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Densidade	1,05 g/cm ³	1,05 g/cm ³	ISO 1183
Densidade aparente	0,60 g/cm ³	0,60 g/cm ³	ISO 60
Índice de Fluidez (200°C/5,0 kg)	11 g/10 min	11 g/10 min	ISO 1133
Mecânicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Esforço de tensão (Limite de elasticidade)	6240 psi	43,0 MPa	ISO 527-2/5
Deformação por tensão (Na Ruptura)	2,0 %	2,0 %	ISO 527-2/5
Módulo de Flexão	508000 psi	3500 MPa	ISO 178
Resistência à flexão	11600 psi	80,0 MPa	ISO 178
Dureza	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Dureza Rockwell (R Escala)	105	105	ISO 2039-2
Dureza de penetração da bola	21800 psi	150 MPa	ISO 2039-1
Térmicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Temperatura de deflexão do calor			
66 psi (0,45 MPa), Condicionado	187 °F	86,0 °C	ISO 75-2/B
264 psi (1,8 MPa), Condicionado	180 °F	82,0 °C	ISO 75-2/A
Temperatura de Amolecimento Vicat			
–	199 °F	93,0 °C	ISO 306/A120
–	187 °F	86,0 °C	ISO 306/B50
Elétricas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Factor de dissipação (1 MHz)	6,0E-5	6,0E-5	ASTM D150
Flamabilidade	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Classificação da chama UL			UL 94 ¹
0,0630 in (1,60 mm)	HB	HB	

Notas

Estas são apenas propriedades típicas e não devem ser consideradas como especificações. Os utilizadores devem confirmar os resultados efectuando os seus próprios testes.

¹ Esta classificação não pretende reflectir os perigos apresentados por este ou por qualquer outro material em condições reais de incêndio.

Gestão do Produto	<p>A Styron LLC, Styron HoldCo B.V. e suas subsidiárias ("Styron") têm uma preocupação fundamental por todos os que produzem, distribuem e usam seus produtos, bem como pelo ambiente em que vivemos. Esta preocupação é a base de nossa filosofia de Gestão do Produto pela qual nós avaliamos as informações de segurança, saúde e meio ambiente de nossos produtos e, então, tomamos as medidas apropriadas para proteger a saúde pública e do funcionário, assim como o nosso meio ambiente. O sucesso de nosso programa de Gestão do Produto se deve a todas as pessoas envolvidas com os produtos da Styron, desde o conceito inicial e a pesquisa até o fabrico, uso, venda, descarte e reciclagem de cada produto.</p>		
Aviso ao Cliente	<p>O Cliente é responsável por rever tanto seus processos de fabrico como as aplicações dos produtos da Styron do ponto de vista da saúde humana e da qualidade do meio ambiente para assegurar que os produtos da Styron não sejam usados para o que não foram destinados. Os funcionários da Styron estão disponíveis para responder às perguntas e oferecer suporte técnico razoável. As literaturas sobre os produtos da Styron, incluindo as fichas de informações de segurança de produtos químicos, devem ser consultadas antes que os produtos da Styron sejam usados. Estão disponíveis as atuais fichas de informação de segurança de produtos químicos da Styron.</p>		
Aviso referente às restrições de aplicações médicas	<p>A Styron solicita que os clientes que estão a considerar a utilização dos seus produtos em aplicações médicas, notifiquem a Styron para que possam ser realizadas as devidas avaliações.</p> <p>A Styron não confirma nem reivindica a adequação dos seus produtos a aplicações médicas específicas e não venderá ou fornecerá intencionalmente amostras de qualquer produto ou serviço ("Produto") para certas aplicações médicas. É da responsabilidade do fabricante de dispositivos médicos ou produtos farmacêuticos determinar se o produto da Styron é seguro, legal e tecnicamente adequado à utilização pretendida.</p>		
Termo de Responsabilidade	<p>Não serão inferidas exonerações de nenhuma patente de propriedade da Styron ou de qualquer outra empresa. Considerando-se que as condições de uso e leis aplicáveis podem diferir de um local para outro, além de poderem sofrer alterações no decorrer do tempo, o Cliente é responsável por determinar se os produtos e as informações contidas nesse documento são apropriadas para seu uso, e garantir que seu local de trabalho e práticas de eliminação estejam em conformidade com as leis aplicáveis e outros decretos governamentais. A STYRON NÃO ASSUME OBRIGAÇÕES NEM RESPONSABILIDADES PELAS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESSE DOCUMENTO. NENHUMA GARANTIA É OFERECIDA POR MEIO DESTA; TODAS AS GARANTIAS IMPLÍCITAS DE COMERCIALIZAÇÃO OU ADEQUAÇÃO A UM FIM ESPECÍFICO FICAM EXPRESSAMENTE EXCLUÍDAS.</p> <p>Se os produtos estiverem descritos como "experimentais" ou "em desenvolvimento": (1) as especificações do produto podem não estar totalmente definidas; (2) são requeridos análise de riscos e cuidados no manuseio e uso; (3) há grande possibilidade de a Styron alterar as especificações e/ou suspender a produção; e (4) embora a Styron possa, de tempos em tempos, fornecer amostras desses produtos, ela não é obrigada a fornecer ou comercializar de outra forma tais produtos para qualquer uso ou aplicação, seja qual for.</p>		
Responsible Care®	<p>Nossa grande prioridade é fornecer produtos e serviços da mais alta qualidade, além de concentrarmo-nos na iniciativa de Responsible Care do Conselho Americano de Química e mantermos as nossas instalações em segurança.</p>		
Informações adicionais	<p>América do Norte EUA e Canadá: 1-888-STYRON1 1-989-633-1718 México: +1-800-441-4369</p>	<p>Europa/Oriente Médio Alemanha: +8001811361</p>	<p>+800 444 11 444 +31-11567-2626</p>
	<p>América Latina Argentina: +54-11-4319-0100 Brasil: +55-11-5188-9000 Colômbia: +57-1-219-6000 México: +52-55-5201-4700</p>	<p>Ásia/Pacífico</p>	<p>+800-7776-7776 +603-7965-5319</p>
www.styron.com	<p>Este documento é destinado para uso dentro da Europa Publicado em julho 2014 © 2014 Styron LLC, Styron HoldCo B.V. e subsidiárias</p>		



Technical Information


DOW™ HDPE KT 10000 UE
High Density Polyethylene Resin
Overview

HDPE KT 10000 UE Polyethylene Resin is an UV stabilised resin with very narrow molecular weight distribution. It was developed to impart excellent stiffness, combined with good impact strength to injection moulded parts, at minimum warpage.

Note: HDPE KT 10000 UE Polyethylene Resin should comply with FDA regulation 177.1520 and with most European food contact regulations when used unmodified and processed according to good manufacturing practices for food contact applications. Please, contact your nearest Dow office for food contact compliance statements. The purchaser remains responsible for determining whether the use complies with all relevant regulations.

Applications:

- Cases and boxes for industrial parts.
- Farm produce and beverage crates.
- Pails and buckets.

Additive

- Antiblock: No
- Slip: No
- Processing Aid: No

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.964 g/cm ³	0.964 g/cm ³	ASTM D792
Melt Index			ISO 1133
190°C/2.16 kg	8.0 g/10 min	8.0 g/10 min	
190°C/5.0 kg	22 g/10 min	22 g/10 min	
Spiral Flow ^{1,2}	28.9 in	73.5 cm	Dow Method
Molding Shrinkage - Flow	0.021 in/in	2.1 %	ASTM D955
Environmental Stress-Cracking Resistance			ASTM D1693
100% AntaroX CO-630, Compression Molded	2.50 hr	2.50 hr	
Mechanical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Strength			ASTM D638
Yield, Compression Molded	4210 psi	29.0 MPa	
Break, Compression Molded	4640 psi	32.0 MPa	
Tensile Elongation			ASTM D638
Break, Compression Molded	800 %	800 %	
Flexural Modulus - 2% Secant (Compression Molded)	152000 psi	1050 MPa	ASTM D790
Impact	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Impact Strength (Compression Molded)	36.6 ft-lb/in ²	77.0 kJ/m ²	ASTM D1822
Hardness	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Shore Hardness (Shore D, Compression Molded)	66	66	ISO 868
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Vicat Softening Temperature	268 °F	131 °C	ISO 306/A

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

¹ Melt Temperature: 482°F (250°C)

² 2 seconds injection

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products – from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- a. long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- b. use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- c. use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- d. use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

Additional Information

North America		Europe/Middle East	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		South Africa	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	Asia Pacific	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Europe

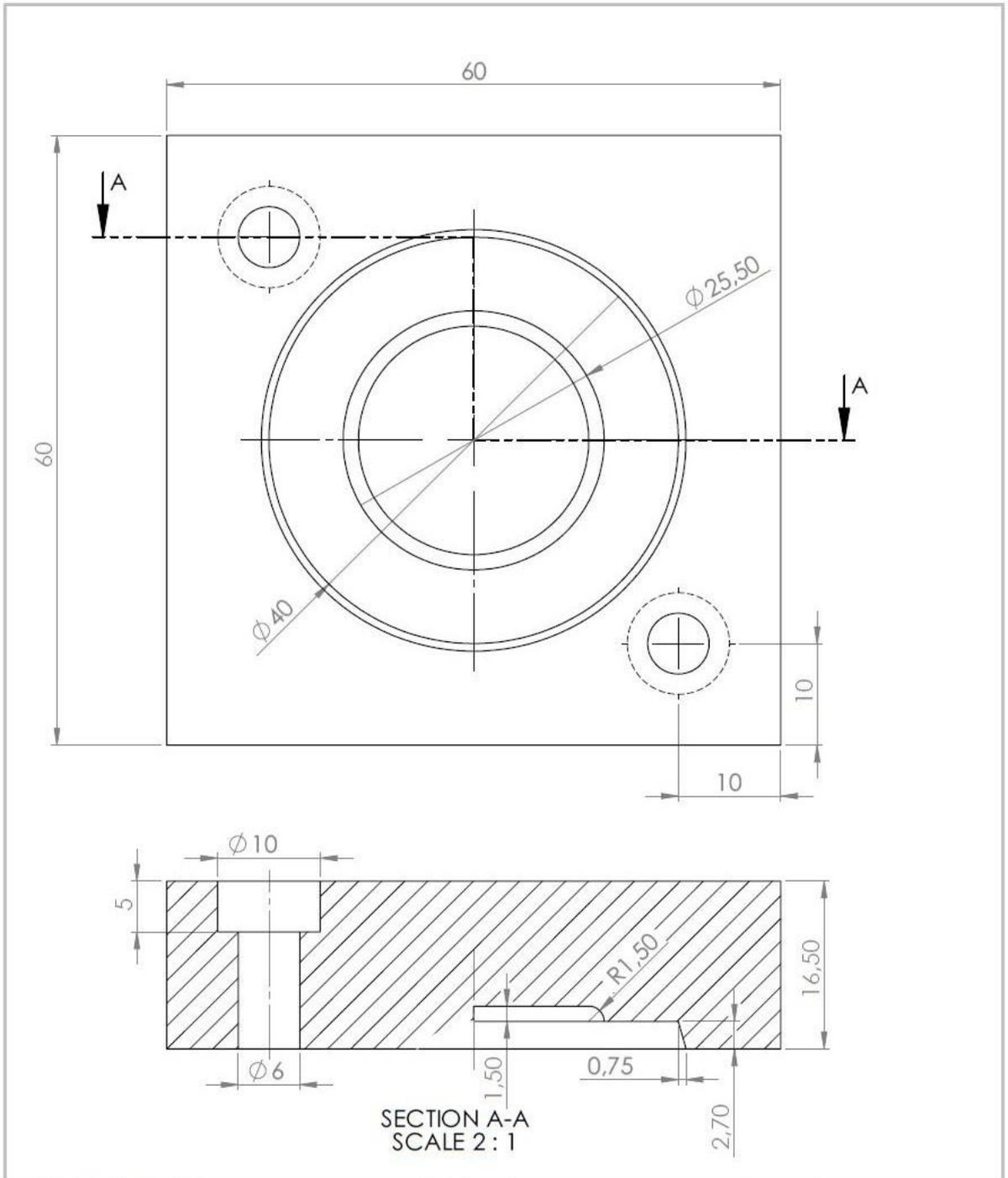
Published: 2005-05-05

© 2015 The Dow Chemical Company

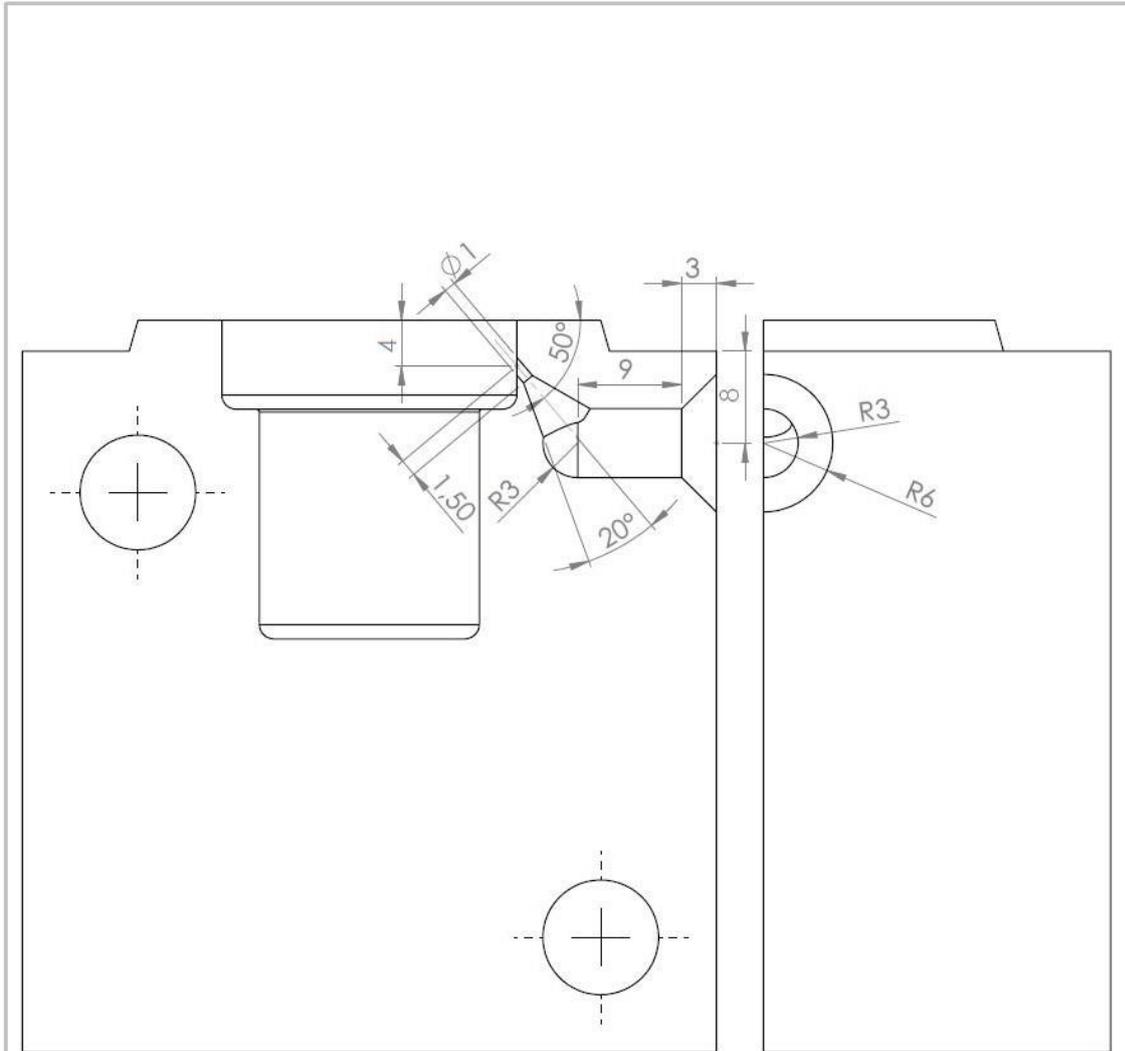


Anexo B:

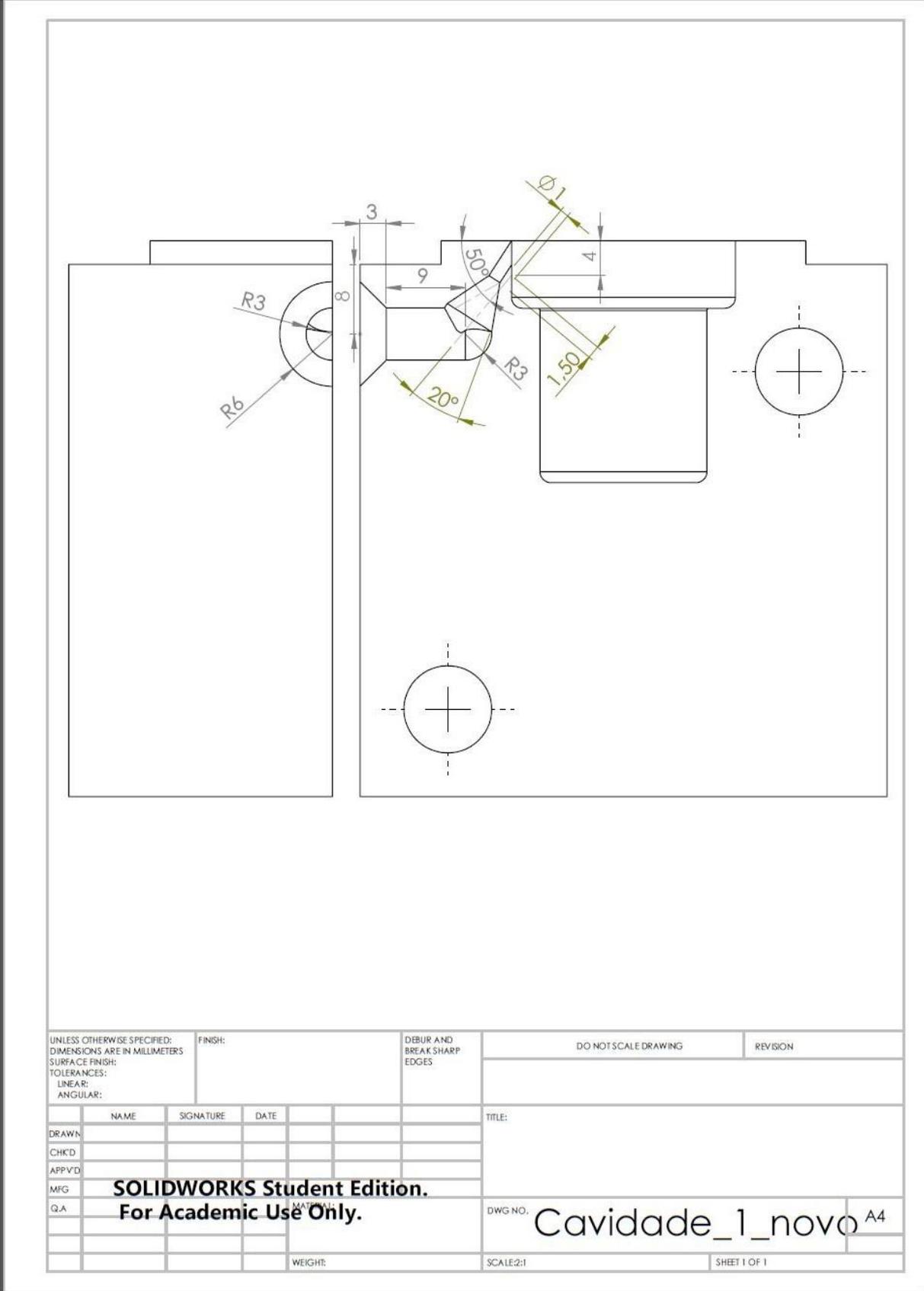
Desenhos de definição dos moldes concebidos para a realização dos ensaios

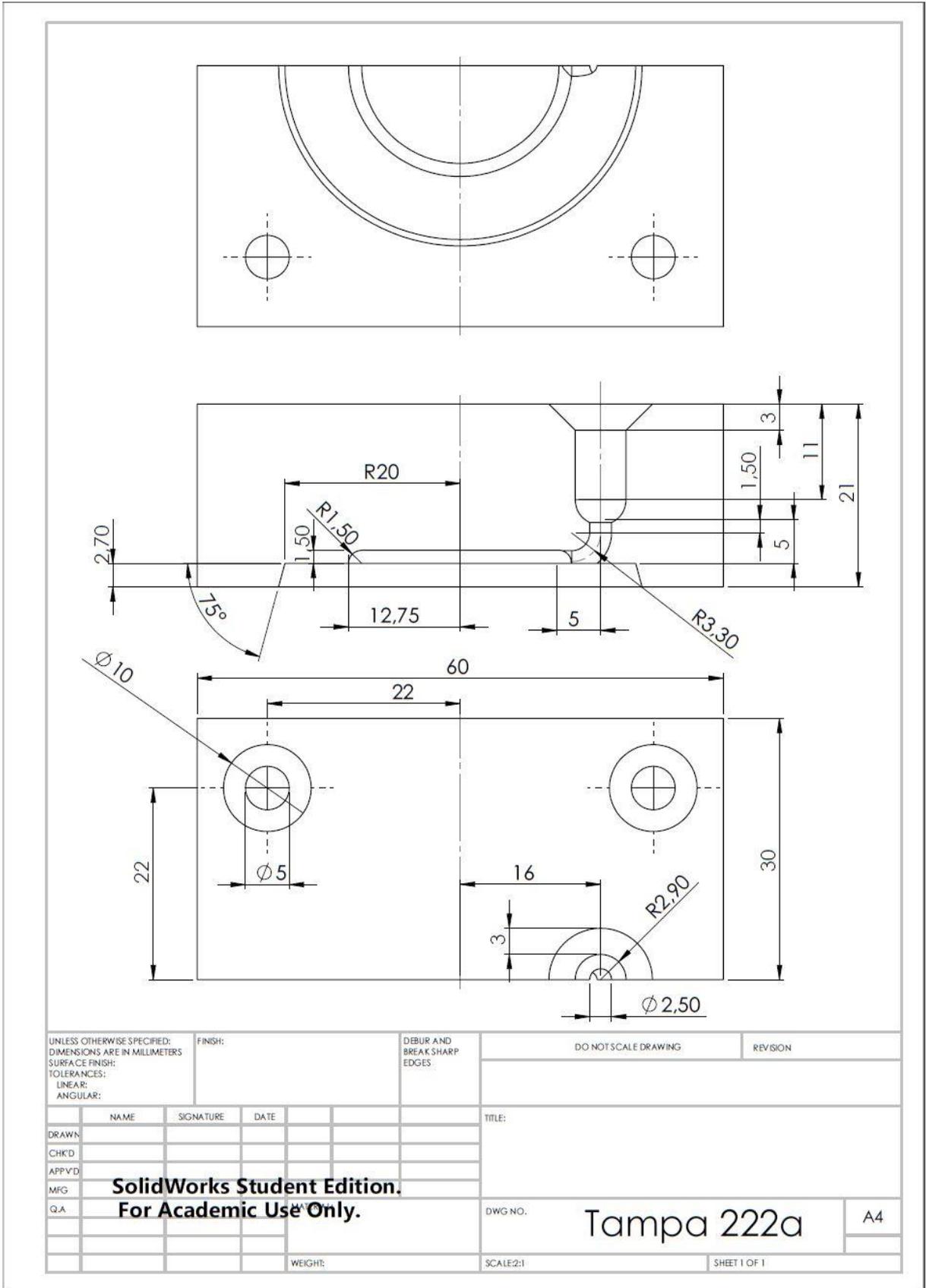


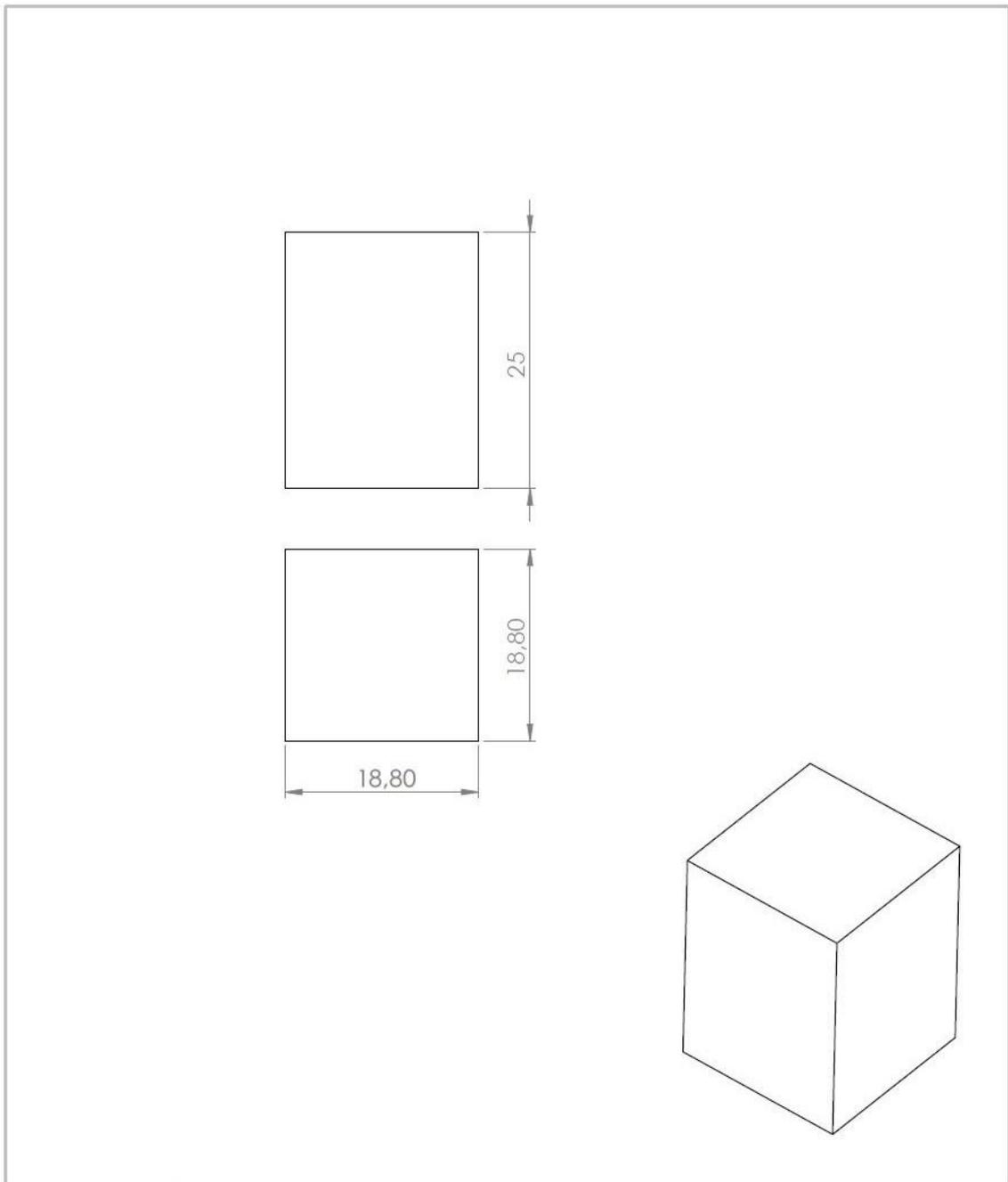
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:					
DRAWN						<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> SOLIDWORKS Student Edition. DWG NO. Topo </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: x-small;"> For Academic Use Only. A4 </div>					
CHKD											
APPVD											
MFG											
Q.A											
WEIGHT:						SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
SURFACE FINISH:										
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:				
DRAWN										
CHK'D										
APP'VD										
MFG	SOLIDWORKS Student Edition.									
QA	For Academic Use Only.					DWG NO.		Core_1_novo		A4
						SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1		
						WEIGHT:				







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN									
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A.						DWG NO.		Provete	
								A4	
						WEIGHT:		SCALE:2:1	
								SHEET 1 OF 1	

**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

