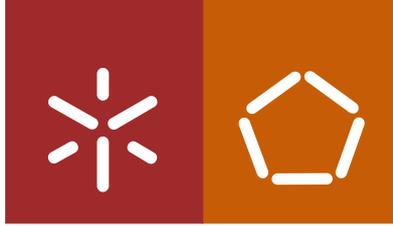


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Maria Ferreira Salgado Oliveira Costa

**Controlo da qualidade analítico de  
embalagens plásticas flexíveis**



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Maria Ferreira Salgado Oliveira Costa

## **Controlo da qualidade analítico de embalagens plásticas flexíveis**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Biológica  
Ramo de Tecnologia Química e Alimentar

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Doutora Solange Inês Mussatto Dragone**

outubro de 2014



## DECLARAÇÃO

Maria Ferreira Salgado Oliveira Costa

Endereço eletrónico: mariasalgadocosta@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 13738425

Título da dissertação: Controlo da qualidade analítico de embalagens plásticas flexíveis

Orientador: Doutora Solange Inês Mussatto Dragone

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Biológica – Ramo de Tecnologia Química e Alimentar

1.É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura:





## **AGRADECIMENTOS**

À Doutora Solange, minha orientadora, pela disponibilidade e simpatia.

À Dr<sup>a</sup> Elvira, a minha orientadora na Vizelpas neste projeto, por ter acreditado em mim.

Ao Paulo, responsável do laboratório da Vizelpas pelos ensinamentos transmitidos sobre ensaios laboratoriais a filmes plásticos flexíveis e por sempre ter estado disponível para me ajudar.

À Cristina e a Sónia, pelos ensinamentos, amizade e incentivo.

À Vizelpas por me ter aberto as portas e me ter dado a possibilidade de realizar o meu estágio curricular. A todos os colegas de trabalho da Vizelpas, por me terem recebido tão bem e por terem tornado alguns momentos mais complicados muito mais fáceis de superar.

À minha família e aos amigos, pela paciência e apoio nos momentos mais difíceis e pelas alegrias proporcionadas em todos os outros.



## **RESUMO**

A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentar devido às suas múltiplas funções, nomeadamente de proteção, conservação, informação e conveniência para o consumidor. Para que estas funções sejam possíveis é necessário que sejam controlados um conjunto de propriedades, parâmetros e processos de fabrico, de modo a que as especificações sejam cumpridas. Todas estas características da embalagem devem interagir de tal forma que o objetivo desta seja a aplicação adequada ao fim a que se destina, quer relativamente ao contacto direto com o alimento, quer no processamento do filme nas embaladoras do elo seguinte da cadeia alimentar quer também no próprio fabrico e transformação dos filmes e sacos.

No presente trabalho foram estudados parâmetros físico-mecânicos de quatro estruturas poliméricas com aplicações alimentares com uma amplitude abrangente, reflexo do que a Vizelpas produz dentro desta área. Assim, foram estudados filmes para embalagens de frutos desidratados, molhos, pescado e carne. Para tal, realizaram-se em laboratório, os ensaios de resistência mecânica à perfuração, resistência mecânica à tração, determinação do coeficiente de atrito e gramagem. Os métodos utilizados basearam-se nas normas da American Society for Testing and Materials (ASTM).

Através deste estudo foi possível concluir que os filmes destinados ao embalamento de produtos alimentares desidratados têm como principal fator a controlar a permeabilidade ao vapor de água, enquanto que, no caso em que se pretende embalar molhos, o principal parâmetro de controlo deve ser a permeabilidade ao oxigênio. No embalamento de peixe e aves inteiras, concluiu-se que a resistência mecânica da embalagem é de extrema importância, para garantir que esta não se danifica na presença de espinhas e ossos, respetivamente. No caso do embalamento de aves inteiras os filmes que irão embalar estes alimentos devem possuir uma boa percentagem de alongamento, uma vez que se pretende que estes filmes se adaptem ao formato do alimento.

Conclui-se então que os polímeros utilizados na estrutura da embalagem possuem influência direta nas características que a embalagem vai apresentar. Como tal, é importante projetar a embalagem considerando as características do alimento que se pretende embalar, cumprindo assim com as respetivas especificações o que foi verificado no trabalho de controlo de qualidade laboratorial realizado na Vizelpas.

## **ABSTRACT**

Packaging plays an essential role in the food industry due to its multiple functions, which are: protection, conservation, information and convenience to the consumer. To concretize these functions, is necessary to control a set of properties, parameters, and manufacturing processes, so that specifications are achieved. All these features of the package must interact, in a way that the final objective of this application is adequate for the purpose for which it is intended, to regard to direct contact with food, either in the packaging film processing in the next link in the food chain and also in the own manufacturing and processing of films and bags.

In this study physical-mechanical parameters of four polymeric structures with food applications were studied, reflecting the Vizelpas production in this area. Thus, films were studied for packing dehydrated fruits, sauces, fish and meat. For this purpose were made laboratory tests of mechanical puncture resistance, tensile strength, coefficient of friction and weight. The methods used were based on the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM).

Through this study it was concluded that the films used for the packaging of dried food products have as main factor the permeability of water vapor control, while in the case where it is desired sauces pack, the primary control parameter must be the permeability to oxygen. In the packaging of whole fish and meat, it was concluded that the mechanical resistance of the packaging is important to ensure that it is not damaged in the presence of bones.

It is concluded that the structure of the polymers used in packaging have direct influence on the characteristics that the package will provide. As such, it is important to design the package considering the characteristics of the food being pack.





## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	V
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
Capítulo 1 - OBJETIVO .....	1
Capítulo 2 - INTRODUÇÃO .....	3
2.1. A história da embalagem .....	3
2.2. A função da Embalagem.....	5
2.3. Interação embalagem / género alimentício .....	7
2.3.1. Absorção .....	8
2.3.2. Migração.....	8
2.3.3. Propriedades barreira.....	10
Capítulo 3- POLÍMEROS .....	11
3.1. Conceitos Gerais dos Polímeros.....	11
3.2. Propriedades de alguns polimeros utilizados em embalagens de géneros alimentares ..	12
3.2.1. Polietileno (PE).....	12
3.2.2. Poliamida (PA) .....	16
3.2.3. Etileno Acetato de Vinila (EVA) .....	17
3.2.4. Copolímero de etileno e álcool vinílico (EVOH) .....	18
3.2.5. Polipropileno (PP) .....	19
CAPÍTULO 4 – PROPRIEDADES DE FILMES PLASTICOS FLEXÍVEIS .....	22
4.1. Propriedades de Tração.....	22
4.2. Propriedades Óticas .....	23
Capítulo 5 - PRODUÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS FLEXÍVEIS NA VIZELPAS .....	25
5.1. Co-Extrusão.....	25
Capítulo 6 – METODOLOGIAS .....	27

6.1.Determinação das Propriedade de Tração.....	27
6.2.Determinação da Gramagem .....	28
6.3. Determinação do Coeficiente de Atrito .....	29
6.4. Determinação da Resistência à Perfuração .....	30
Capítulo 7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
7.1. Embalagem para produtos alimentares desidratados .....	33
7.1.1. Determinação do Coeficiente de Atrito .....	35
7.1.2. Resistência à Perfuração .....	36
7.1.3. Resistência à Tração .....	37
7.1.4. Gramagem.....	38
7.2. Embalagem para molhos.....	39
7.2.1. Determinação do Coeficiente de Atrito .....	42
7.2.2. Resistência à Perfuração .....	42
7.2.3. Resistência à Tração .....	44
7.2.4. Gramagem.....	45
7.3. Embalagem para peixe .....	45
7.3.1. Determinação do Coeficiente de Atrito .....	47
7.3.2. Resistência à Perfuração .....	48
7.3.3. Resistência à Tração .....	49
7.3.4. Gramagem.....	50
7.4. Embalagem para carne .....	51
7.4.1. Determinação do Coeficiente de Atrito .....	52
7.4.2. Resistência à Tração .....	53
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	56
BIBLIOGRAFIA .....	58

ANEXOS ..... 60



## **CAPÍTULO 1 – OBJETIVO**

Pretendia-se com este estágio curricular a aquisição de competências sobre o controlo da qualidade laboratorial da Vizelpas de parâmetros físico-mecânicos através de ensaios de tração, perfuração, *Hot Tack*, gramagem, índice de fluidez, de propriedades barreira (permeabilidade ao oxigénio e ao vapor de água ao oxigénio e vapor de água) e da migração global de produtos acabados da *Vizelpas* com o objetivo de aprovação ou rejeição dos produtos testados.

Para a realização deste trabalho foram selecionadas matrizes poliméricas com aplicações alimentares com uma amplitude abrangente, reflexo do que a Vizelpas produz dentro desta área. Assim, foram estudados filmes para embalagens de frutos desidratados, molhos, pescado e carne.

O âmbito do estágio curricular realizado na empresa Vizelpas foram os ensaios de controlo da qualidade realizados às estruturas: PEBD, PET/Alumínio/PEBD, PET/PEBD EVOH PEBD Opaco Branco, PA PEBD.

Os parâmetros de controlo da qualidade realizados no decorrer do estudo foram a gramagem, a resistência à perfuração, a resistência à tração, a percentagem de alongamento e o coeficiente de atrito. Outros parâmetros, nomeadamente a migração global e a permeabilidade ao oxigénio e ao vapor de água foram realizados em laboratórios externos acreditados, mas cujos resultados são importantes para a correlação entre propriedades dos filmes e o uso a que estes se destinam - os géneros alimentícios.



## **CAPÍTULO 2 - INTRODUÇÃO**

### **2.1. A história da embalagem**

Segundo o Decreto-Lei n.º 366-A/97, a embalagem define-se como " todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor ao utilizador ou consumidor, incluindo todos os artigos descartáveis utilizados para os mesmos fins."

O seu papel é essencial e imprescindível na sociedade moderna, ocupando um papel de alto destaque na indústria alimentar. De modo a que fosse possível acompanhar todos os desenvolvimentos da indústria alimentar, esta tem sido alvo de estudos e de importantes avanços tecnológicos.

A história da embalagem não é tão recente quanto possa parecer, existem registos de tempos remotos, em que o homem primitivo já utilizava pedaços de árvore, chifres, peles e bexigas ou estômagos de animais como meio de acondicionamento de alimentos. Pensa-se que um dos primeiros materiais de embalagem tenha sido o papel, muito provavelmente inicialmente usado pelos chineses.

Com a chegada da era dos descobrimentos, houve a necessidade de desenvolver embalagens mais resistentes e com maior capacidade de conservar alimentos.

Em 1815, o Governo francês, sob o comando de Napoleão Bonaparte, com o objetivo de conseguir alimentar os seus exércitos, ofereceu um prémio a quem desenvolvesse uma forma de manter os alimentos frescos durante as viagens, e assim surgiram as indústrias de processamento de alimentos enlatados.

A revolução industrial foi também um marco na história da embalagem, com a industrialização foi possível o desenvolvimento de novos e mais convenientes formatos de embalagens, que permitissem manter as características intrínsecas dos produtos.

Também durante a Primeira Guerra Mundial a embalagem sofreu alterações, devido à necessidade de fornecimento de alimentos aos exércitos em pequenos pacotes, a embalagem de

produto a granel deu origem à embalagem individual, hoje conhecida como embalagem de consumo.

Durante a Segunda Guerra Mundial foi necessário criar melhores métodos de conservação de alimentos, de modo a aumentar o seu tempo de prateleira.

Em 1939, em consequência do aparecimento das primeiras televisões e do desenvolvimento dos meios de comunicação e publicidade, a embalagem passou a ser vista também como meio de promoção do produto.

No mundo globalizado, a embalagem assume um papel cada vez mais importante e são muitos os desenvolvimentos nesta área. A produção de bens de consumo e mercadorias está diretamente ligada com o crescimento do mercado de embalagem. As mudanças a nível social, tem exercido um forte contributo para o desenvolvimento de novos e melhores tipos de embalagem, de modo a que esta seja capaz de acompanhar as alterações nos estilos de vida, que conseqüentemente têm originado grandes mudanças nos hábitos alimentares. O desenvolvimento no campo das embalagens para alimentos pré-preparados, é um bom exemplo da influência das alterações dos hábitos sociais na embalagem.

Relativamente ao consumo de plásticos na Europa, o sector da embalagem ocupa a maior cota no que diz respeito a aplicações finais de plásticos. Este representa 39,4% da procura de plásticos a nível Europeu, como se mostra do figura 1.

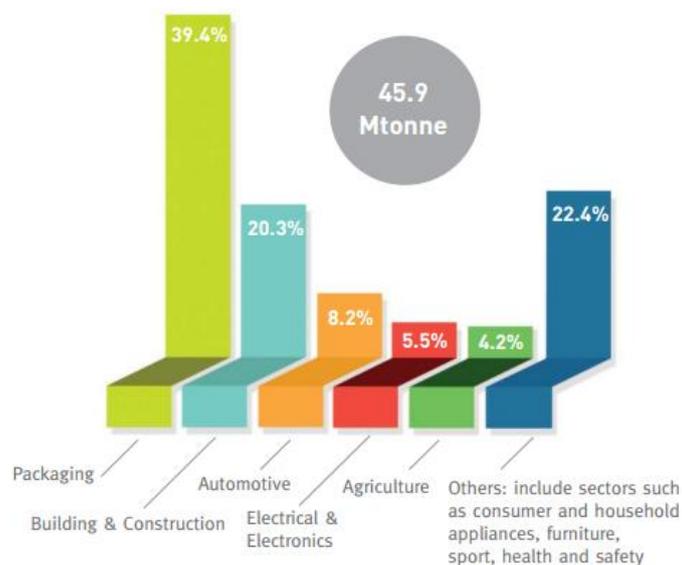


Figura 1 – Principais aplicações finais dos plásticos.

Em termos de polímeros utilizados para embalagem o polietileno de baixa densidade e o polietileno de baixa densidade linear são os mais utilizados neste sector, tal como se observa na figura 2. Também com elevado nível de utilização encontram-se o polietileno de alta densidade, o polipropileno e o politereftalato de etileno.

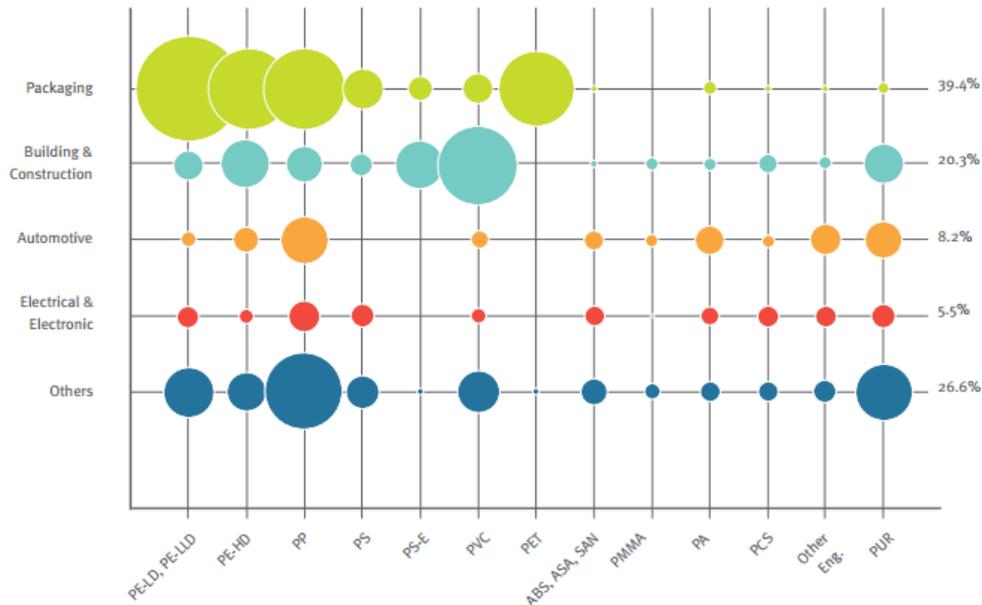


Figura 2 – Polímeros aplicados em diferentes setores.

## 2.2. A função da Embalagem

A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentar graças às suas múltiplas funções, nomeadamente, proteção, conservação, informação e conveniência na utilização e manuseamento para o consumidor.

Como forma de proteção a embalagem deve ser vista como um recipiente que contém o produto a embalar e o protege de choques, vibrações e compressões que ocorram ao longo do seu percurso, permitindo assim que o alimento seja transportado e manuseado não só pelo cliente final, mas ao longo de todo o seu circuito. Para além de proteger o alimento de impactos físicos esta deve também proteger de possíveis adulterações ou perdas de integridade.

A conservação deve ser provavelmente a mais importante das funções da embalagem, o que significa que esta é responsável por manter a qualidade e segurança alimentar do género alimentício, prolongar a sua vida útil e minimizar as suas perdas por deterioração. Para a

conservação de um produto alimentar é fulcral conseguir controlar fatores como a humidade, oxigénio, luz, bem como, impedir o contacto com microrganismos presentes na atmosfera envolvente impedindo que estes contaminem o produto alimentar e se desenvolvam (Jorge, 2013).

Para que a conservação seja maximizada é muitas vezes necessário que a própria embalagem seja parte integrante do processamento do alimento que esta vai embalar, o que implica que a própria embalagem deva ser concebida de modo a estar preparada para resistir às condições de processamento. Existem vários tipos de processamento em que a embalagem tem um papel ativo, tal como o processamento térmico, o acondicionamento asséptico e as embalagens com atmosfera modificada. No caso do processamento térmico, a embalagem necessita de cumprir com determinadas especificações, como ser hermética, permitir variações no volume do produto durante o processamento sem que isso implique a deformação permanente da embalagem e ter resistência à temperatura, esta deve ser concebida de modo a não promover a recontaminação pós-processamento. A pasteurização é normalmente realizada a temperaturas abaixo de 100°C e a esterilização utiliza temperatura acima de 120°C. Quando se pretende embalar o produto em condições assépticas, a embalagem deve ser estéril e adequada ao processo de esterilização, é essencial que esta permita o enchimento e o fecho da embalagem em condições também perfeitamente assépticas. Neste tipo de embalamento, o produto é esterilizado à parte e introduzido posteriormente na embalagem estéril. A embalagem deve ser suficientemente resistente, de modo a que, a integridade e hermeticidade do material e das soldas não seja alterada. As embalagens com atmosfera protetora acondicionam o alimento numa atmosfera gasosa que pode ser constituída por oxigénio, dióxido de carbono e/ou azoto. A constituição da mistura gasosa vai depender do produto a embalar, nomeadamente dos microrganismos potenciais que podem crescer no produto e da sensibilidade do produto ao CO<sub>2</sub> e ao O<sub>2</sub>.

Alimentos como carne fresca ou vegetais necessitam de algum oxigénio na composição da mistura gasosa, de modo a que se mantenha o pigmento vermelho característico da carne fresca e que a respiração aeróbia das frutas e vegetais possa ocorrer. No entanto, alimentos com gordura ou óleos, não beneficiam da presença de oxigénio na sua atmosfera, uma vez que este gás é responsável pela rancificação e oxidação destes.

O CO<sub>2</sub> tem um efeito inibidor de microrganismos e, como tal, deve ser usado em casos em que a deterioração é principalmente microbiana, o azoto funciona como gás de enchimento, uma vez que é um gás quimicamente inerte. Este tipo de processamento requer embalagens com materiais que sejam barreira seletiva a gases, de modo a manter constante ou dentro de limites estipulados a atmosfera gasosa criada no seu interior (Mantilla, Mano, Vital, & Franco, 2010).

A embalagem é também uma forma de transmitir informação sobre o produto. A embalagem possui a função de suporte informativo onde os requisitos legais de rotulagem (nome e tipo do produto, quantidade, data de validade, fabricante, entre outros), a informação nutricional, as instruções para a preparação e uso e as condições de conservação são expressos. Esta informação é de extrema importância para o consumidor, no entanto, existem informações transmitidas através da embalagem que são importantes não só para o consumidor como para todo o circuito de distribuição e venda do produto, tais como a informação para a gestão de *stocks*, instruções de armazenamento e manuseio e a rastreabilidade do produto.

A embalagem tem que ser funcional na perspectiva da utilização e consumo final do produto. Esta função encontra-se também relacionada com alguns aspetos mais ligados ao *marketing* e à capacidade de a embalagem captar a atenção do consumidor. Alguns exemplos de conveniência para o consumidor são a abertura fácil em algumas embalagens, o fecho entre utilizações, a possibilidade de aquecer ou mesmo cozinhar o produto na própria embalagem e a possibilidade de ter o alimento em unidades, mais convenientes para o consumo em determinadas situações (Jorge, 2013).

### **2.3. Interação embalagem / género alimentício**

Quando a embalagem e um género alimentício entram em contacto pode haver interações entre o produto, a embalagem e o meio, ou seja, transferência de componentes entre estes, tal como esta representado na figura 3. As interações entre produto e embalagem não são nada mais que processos de transferência de massa, denominados permeação, migração e absorção (Jorge, 2013).

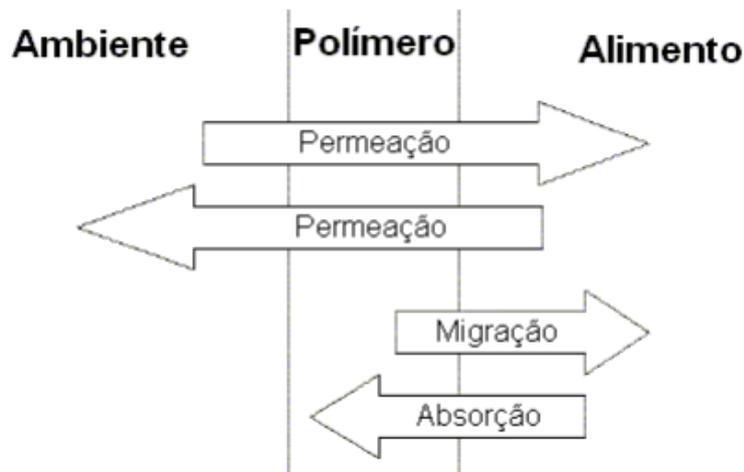


Figura 3- Esquema ilustrativo dos fenômenos de permeação, migração e absorção (Canedo, 2007).

### 2.3.1. Absorção

A absorção, pela embalagem, de componentes do produto embalado pode provocar perdas de aroma, perda da função barreira, alterações nas propriedades mecânicas provocando um decréscimo na qualidade do produto embalado (Jorge, 2013).

### 2.3.2. Migração

Dos fenômenos relacionados com a interação do produto com a embalagem, o fenômeno de migração necessita de atenção especial devido aos seus efeitos nocivos para a saúde. A inércia total não existe, e como tal, fenômenos de migração ocorrem em todos os materiais. Dada a natureza das suas moléculas, os plásticos e os papéis são os mais problemáticos a este nível.

A consciência do perigo para os consumidores do consumo repetido de pequenas quantidades de substâncias nocivas ou suscetíveis de o ser, foi um abrir de portas para a importância de serem feitas análises à toxicidade de alguns compostos. Com vista à preservação da saúde dos consumidores, existe legislação relativa ao fabrico e comercialização de bens que se destinam ao contacto direto com géneros alimentícios, onde se estipula limites de migração de alguns compostos.

Na Europa, o Regulamento (UE) N°10/2011 da Comissão de 14 de Janeiro de 2011 estabelece as listas de monómeros e outras substâncias iniciadoras que podem ser usadas no fabrico de materiais plásticos para contacto alimentar, assim como os limites de migração dos

constituintes, a lista de simuladores que podem ser utilizados e regras sobre a verificação da migração desses constituintes (Canedo, 2007).

Os ensaios de migração devem ser realizados nas condições mais extremas de tempo e temperatura que seja possível prever para a utilização real. Existem dois tipos de migração, a migração global e a migração específica.

A migração global diz respeito à massa total de substâncias cedidas para o alimento em condições de tempo e temperatura definidas. A migração específica relaciona-se com a determinação da transferência de compostos bem identificados. Os compostos mais importantes do ponto de vista de migração são os monómeros, como por exemplo o óxido de estireno monómero dos poliestirenos, aditivos (plastificantes, antioxidantes, entre outros), solventes residuais de tintas de impressão ou de adesivos e compostos de termodegradação (REGULAMENTO (UE) N°10/2011).

Os ensaios de migração global são feitos com simuladores de géneros alimentícios, uma vez que trabalhar com alimentos torna-se complexo. Os simuladores são substâncias com composição química conhecida, estes são seleccionados em função das características do alimento que se pretende simular. Os simuladores utilizados para migração global são referidos na tabela 1.

**Tabela 1** - Simuladores utilizados em ensaios de migração global (Regulamento N°10/2011)

<b>Simulador Alimentar</b>	<b>Abreviatura</b>
Etanol a 10% (v/v)	Simulador A
Ácido acético a 3% (m/v)	Simulador B
Etanol a 20% (v/v)	Simulador C
Etanol a 50% (v/v)	Simulador D1
Óleo vegetal	Simulador D2

Os simuladores alimentares A, B e C são utilizados para alimentos com carácter hidrofílico e que podem extrair substâncias hidrofílicas. O simulador B representa alimentos com pH inferior a 4,5 e o simulador C substitui os alimentos alcoólicos com um teor de álcool até 20% assim como os alimentos com um substancial teor de ingredientes orgânicos que os tornam mais lipofílicos.

Os simuladores alimentares D1 e D2 utilizam-se para alimentos com carácter lipofílico e que podem extrair substâncias lipofílicas. O simulador alimentar D1 serve para alimentos alcoólicos com um teor de álcool superior a 20% e para emulsões de óleo em água. O simulador D2 utiliza-se como substituto de alimentos que contêm gorduras livres à superfície.

### 2.3.3. Propriedades barreira

A função das propriedades de barreira de uma embalagem consiste na proteção do produto de fatores ambientais como gases, vapor de água, luz e odores. Nas embalagens plásticas, esta propriedade não deve ser descurada e exige inúmeros esforços no sentido da otimização destas propriedades, pois contrariamente às embalagens de vidro e metal, as embalagens plásticas são permeáveis a gases, vapor de água e vapores orgânicos (vapores estranhos do meio ambiente ou odores característicos do produto), em quantidades que dependem do tipo de polímero utilizado (Jorge, 2013).

Em contato com o produto embalado, o oxigénio pode oxidar gorduras, desnaturar proteínas, decompor vitaminas e afetar o sabor, o odor e a cor. Outras reações adversas podem ocorrer quando alguns géneros alimentícios estão expostos à luz, como reações de descoloração, perda de nutrientes, desenvolvimento de odores e reações de oxidação (Sarantópoulos, et al., 2002). Os requisitos de barreira necessários a uma embalagem devem ser definidos para cada produto alimentar, consoante as suas características de composição, forma de apresentação, sistema de distribuição e tempo de vida útil desejado. A embalagem pode funcionar como barreira do exterior para o interior, em casos em que os produtos a embalar sejam sensíveis ao oxigénio ou facilmente sujeitos a hidratação (barreira ao vapor de água) e em casos em que se pretende criar uma barreira a substâncias voláteis que podem estar presentes no ambiente (hidrocarbonetos, fumos, aromas...) e suscetíveis de alterar as propriedades organolépticas (gosto, odor) do alimento. No caso de alguns produtos é necessário que a embalagem seja barreira à transferência de gases do interior para o exterior, este tipo de barreira utiliza-se em alimentos que possam perder o seu aroma específico (ex: café), quando se trata de alimentos húmidos em que pode ocorrer a desidratação dos mesmos (ex: carne fresca ou peixe) e em embalagens com atmosfera protetora, onde se pretende que a mistura gasosa introduzida para ajudar na conservação do produto, não se perca (Jorge, 2013).

## **CAPÍTULO 3- POLÍMEROS**

### **3.1. Conceitos Gerais dos Polímeros**

Polímeros são macromoléculas que têm na sua composição monómeros, pequenas moléculas que se ligam entre si através de ligações intramoleculares, do tipo covalente. A origem da palavra polímero vem do grego, em que *poli* significa muitos e *mero*, unidades de repetição. Quando os monómeros que formam o polímero são todos iguais entre si, este tem o nome de homopolímero, quando a cadeia principal é formada por dois monómeros diferentes, dá-se o nome de copolímero (Jorge, 2013).

Tendo em consideração o modo como estão química e estruturalmente ligados, podemos classificar os polímeros em duas categorias, os termoplásticos e os termoendurecíveis.

Os termoplásticos são polímeros que quando expostos a uma transformação física, como o aumento da temperatura e pressão, não sofrem alterações na sua estrutura química, a transformação é reversível o que permite serem moldados várias vezes. São exemplos de termoplásticos o polietileno, o polipropileno e as poliamidas.

No caso dos plásticos termoendurecíveis, após aquecimento estes sofrem um tempo de cura que os torna rígidos. Quando ultrapassado este tempo estes plásticos não são passíveis de alterações do seu estado físico, ou seja, não amolecem mais (Robertson, 1993).

A forma como as cadeias moleculares se encontram organizadas dá origem a polímeros amorfos ou cristalinos. Quando as cadeias possuem uma organização desordenada, o polímero pode ser inteiramente amorfo. Quando a organização química das cadeias se faz de um modo organizado e repetitivo são obtidos polímeros semicristalinos.

Polímeros que possuem moléculas quimicamente mais simples na sua constituição ou cadeias mais regulares são óticamente mais cristalinos, uma vez que estas regiões são características de moléculas com um arranjo tridimensional perfeito. O grau de cristalinidade e a morfologia das regiões cristalinas tem influência nas propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros. Quanto maior o grau de cristalinidade de um polímero, mais baixas são as suas propriedades de resistência ao impacto, alongamento na rutura e transparência ótica, maior é a

sua densidade, rigidez, estabilidade, resistência química, resistência à abrasão, temperatura de fusão e temperatura de transição vítrea (Canerolo Junior, 2002) (Callister Junior, 2002).

### **3.2. Propriedades de alguns polímeros utilizados em embalagens de géneros alimentares**

#### 3.2.1. Polietileno (PE)

O Polietileno é um polímero com uma estrutura muito simples, composta unicamente por átomos de carbono e hidrogénio, tal como ilustra a figura 4, onde se representa um monómero deste polímero. É obtido a partir do gás etileno ou como subproduto do processamento do petróleo. É um polímero plástico obtido através de um processo de polimerização de olefinas (hidrocarbonetos insaturados) em reator, com baixa ou alta pressão, sendo classificado de acordo com a sua densidade (baixa, média e alta).



Figura 4 - Estrutura química do polietileno (Moura, 2006).

A sua constituição é essencialmente composta por uma fase cristalina, responsável pela resistência e uma parte amorfa, da qual advêm as propriedades de elasticidade e flexibilidade deste polímero, bem como a sua superfície tem um toque macio.

Na caracterização do polietileno são usados outros parâmetros tais como o peso molecular (Mw) e a distribuição do peso molecular (MWD). O peso molecular (Mw) é a medida de comprimento médio das cadeias de hidrocarbonetos, enquanto que a distribuição do peso molecular (MWD) dá indicação sobre o número relativo de cadeias de cada comprimento. As determinações de peso molecular e da sua distribuição são demoradas e para isso terão de existir equipamentos especiais. No entanto, a estrutura molecular do polietileno pode também ser avaliada de forma indireta pelo índice de fluidez (MFR). Este parâmetro é uma medida de fluidez do produto fundido quando sujeito a determinadas condições de temperatura e pressão. É importante salientar que dois materiais podem ter diferentes pesos moleculares bem como diferentes

distribuições de pesos moleculares e no entanto apresentarem o mesmo índice de fluidez. Só terão o mesmo Mw e MWD se forem produzidos no mesmo reator e nas mesmas condições.

A estrutura molecular do polietileno pode ser de cadeia linear ou ramificada, parâmetro que vai influenciar a sua densidade. Quanto menor o grau de ramificação e o comprimento das cadeias poliméricas, maior a cristalinidade e a densidade.

A densidade apresenta-se como um parâmetro determinante para muitas das propriedades deste polímero e como tal, define as várias categorias deste. Podemos ter polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno de baixa densidade linear (LLDPE), polietileno de média densidade (MDPE), polietileno de alta densidade (HDPE) e polietileno de ultra-alta massa molar (UHMWPE) (Coutinho, Mello, & Maria, 2003).

De entre estas variações de polietilenos os mais usados na Vizelpas são o LDPE, o LLDPE e o HDPE.

O LDPE é um polímero produzido a altas pressões e numa gama de temperaturas entre 100 e 300°C. A sua cadeia é muito ramificada, devido à sua reação ser altamente exotérmica. As ramificações da cadeia vão possuir uma importante relação com as propriedades do polímero.

O polietileno de baixa densidade é um polímero parcialmente cristalino (50-60%) e possui temperaturas de fusão entre 110 e 115°C. Quando comparado com o polietileno linear, apresenta menor cristalinidade, uma vez que as suas muitas e longas ramificações não permitem uma boa organização da rede cristalina.

A gama de densidade do LDPE é 0,900-0,950 g/cm<sup>3</sup> e é normalmente inerte à temperatura ambiente. Apresenta uma boa resistência mecânica, excelente barreira ao vapor de água e boas propriedades de selagem. É resistente à maioria dos produtos químicos, com exceção de ácidos oxidantes, halogénios livres e certas cetonas. Contudo, não é barreira a gases e é permeável a óleos e gorduras. Este é o polímero mais utilizado na indústria de embalagens para indústria alimentar (Harada, 2001).

Este polímero apresenta alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, boa processabilidade, estabilidade e propriedades elétricas consideráveis. Na tabela 2, encontram-se alguns dados de propriedades físicas do LDPE.

Tabela 2 – Algumas propriedades físicas do LDPE (Coutinho, Mello, & Maria, 2003)

Propriedade	Método ASTM	PEBD
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	D 792	0,912-0,925
Temperatura de fusão cristalina, °C	—	102-112
Índice de refração, $n_D$	D 542	1,51-1,52
Tração no escoamento, MPa	D 638	6,2-11,5
Alongamento no escoamento, %	D 638	100-800
Resistência à tração, MPa	D 638	6,9-16
Alongamento máximo, %	D 638	100-800
Módulo elástico, MPa	D 638	102-240
Dureza, Shore D	D 676	40-50

A resistência mecânica do polietileno é determinada principalmente pelo peso molecular e pela densidade. As medições das propriedades mecânicas, como por exemplo a tensão de ruptura, são afetadas principalmente pela temperatura, energia específica na extrusão e forma da amostra (Neste Chemicals - Polyethylene).

O alongamento máximo que o material pode suportar (alongamento à ruptura) depende essencialmente da densidade, ou seja, quanto mais cristalina for a estrutura menos flexível é o material. Este efeito é mais aparente se o material tiver um baixo peso molecular, ou seja, um elevado índice de fluidez.

Quando comparado com outros polímeros o LDPE apresenta baixa permeabilidade ao vapor de água. A permeabilidade a compostos orgânicos polares é muito mais baixa do que a permeabilidade a compostos orgânicos apolares. Este possui elevada resistência à água e a algumas soluções aquosas, inclusive a altas temperaturas, contudo é lentamente atacado por agentes oxidantes. Este é aplicado em filmes que se destinam a embalagens alimentares de produtos líquidos e sólidos.

Atualmente o polietileno é o polímero mais utilizado em embalagens, por diversos motivos, nomeadamente o seu reduzido preço, a sua facilidade de processamento, a isenção de toxicidade e uma variedade de aplicações que pode satisfazer.

Este polímero pode fisicamente apresentar-se sob diferentes formas e colorações. Alguns exemplos disso são apresentados na figura 5.



Figura 5 – LDPE em flocos, LDPE em grão, LDPE em filme (da esquerda para a direita).

O polietileno linear de baixa densidade é aplicado, principalmente, na produção de embalagens de alimentos, fraldas, absorventes higiênicos e sacos industriais. Relativamente ao polietileno de baixa densidade, este polímero apresenta uma melhor resistência mecânica e confere propriedades melhores de soldadura (Coutinho, Mello, & Maria, 2003).

O polietileno de alta densidade é produzido unicamente com processos de baixa pressão e tem densidade igual ou superior a  $0,941 \text{ g/cm}^3$ . Tem um baixo nível de ramificações na sua estrutura química e forças intermoleculares fortes, dado que tem menos cadeias laterais curtas e podem por isso formar maiores quantidades de regiões cristalinas. A densidade tem uma relação direta com o grau de cristalinidade. Quanto maior o grau de cristalinidade maior a densidade (Neste Chemicals - Polyethylene).

Este polímero é resistente a altas temperaturas, tem alta resistência à tensão, compressão e tração. Tem baixa densidade em comparação com metais e outros materiais, é impermeável, inerte ao conteúdo, baixa reatividade e atóxico, mas tem pouca estabilidade dimensional.

**Tabela 3** – Algumas propriedades físicas do PEBD, PEAD e PELBD

<b>Características</b>	<b>PEBD</b>	<b>PEAD</b>	<b>PELBD</b>
Grau de cristalinidade (%)	40-50	60-80	30-40
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	0,915-0,935	0,94-0,97	0.90-0.93
Módulo ( $\text{N/mm}^2$ )	130	1000	-
Temperatura de Fusão ( $^{\circ}\text{C}$ )	105-110	130-135	121-125
Estabilidade química	Boa	Excelente	Boa
Esforço de rutura ( $\text{N/mm}^2$ )	8,0-10	20,0-30,0	10,0-30,0
Elongação à rutura (%)	20	12	16

Módulo elástico E (N/mm <sup>2</sup> )	200	1000	-
Coefficiente de expansão linear (K <sup>-1</sup> )	1.7 * 10 <sup>-4</sup>	2 * 10 <sup>-4</sup>	2 * 10 <sup>-4</sup>
Temperatura máxima permissível (°C)	80	100	-

### 3.2.2. Poliamida (PA)

As poliamidas são polímeros que contêm grupos amidas na sua estrutura molecular com variações na cadeia de carbono entre elas. Na figura 6, apresenta-se a estrutura química geral de um monómero de poliamida.

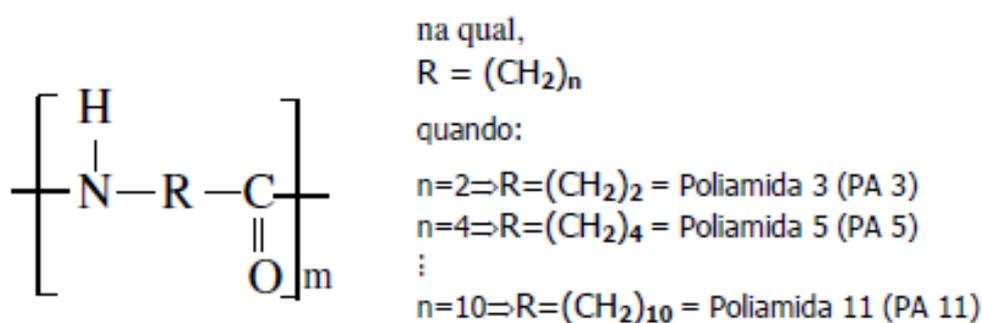


Figura 6 - Estrutura química da poliamida (Moura, 2006).

Existem vários tipos de poliamidas dependendo do número de carbonos do monómero. No entanto, na indústria das embalagens flexíveis são preferencialmente usados os tipos: PA6, PA6.6 e o copolímero PA6, 6.6. Na nomenclatura dada às poliamidas, o número que vem mencionado no nome dado às poliamidas é referente ao número de carbonos existentes no monómero. Dependendo do tipo de poliamida a polimerização pode envolver a reação entre um ou dois monômeros.

As poliamidas, também denominadas de *nylon*, são polímeros que possuem entre as suas propriedades mais importantes, a alta resistência mecânica (excelente resistência à tração e perfuração) e a baixa permeabilidade ao oxigénio. Estas caracterizam-se também por serem boa barreira a gases e aromas, possuírem boa resistência térmica, boa resistência a óleos e gorduras e poderem ser termoformadas. No que toca às propriedades químicas, as poliamidas são inertes aos reagentes inorgânicos, estas são resistentes a álcoois, acetonas, tetracloreto de carbono e benzeno, mas podem reagir em contato com agentes de oxidação como peróxido de hidrogénio,

hipocloritos, ácidos concentrados, fenóis, nitrobenzeno. Tem elevada dureza superficial e baixo coeficiente de atrito. No entanto, as poliamidas são um polímero caro, com elevada permeabilidade ao vapor de água e de difícil processamento (BASF, 2014).

Os *nylons* são bastante higroscópicos, o que pode conduzir a alterações nas suas propriedades mecânicas. A humidade absorvida pelas poliamidas quando estas se encontram em meios com humidade relativa elevada, possui um efeito plastificante no polímero que se traduz na redução da resistência à tração, do módulo de elasticidade e da rigidez, assim como na redução das propriedades de barreira a gases e a vapores orgânicos. No entanto, a absorção de humidade aumenta a flexibilidade deste polímero. As poliamidas com mais carbonos na cadeia são menos vulneráveis à humidade que as cadeias com menor número de carbonos. A absorção de água é cerca de 1,6; 1,5; 0,4 e 0,3% para as poliamidas 6; 6.6; 6.10 e 11, respetivamente (Jorge, 2013) (Hotchkiss, 1997).

A poliamida possui elevado grau de cristalinidade, devido às pontes de hidrogénio formadas entre os seus monómeros, e por conseguinte elevado ponto de fusão, com temperaturas próximas dos 250°C. É muitas vezes coextrudida com polietileno de modo a auxiliar a operação de termosoldagem nas embalagens flexíveis.

Estas podem ser utilizadas em embalagens a vácuo, embalagens com atmosfera modificada e em embalagens que necessitam de alta resistência térmica, como embalagens do tipo *boil in bag* (Jorge, 2013).

### 3.2.3. Etileno Acetato de Vinila (EVA)

O etileno acetato de vinila (figura 7) é um polímero muito elástico e de baixa cristalinidade. As propriedades e aplicações deste polímero dependem da percentagem de acetato de vinila presente no polímero. Com o aumento do teor de acetato de vinila (AV), menor será a cristalinidade da molécula e maior a sua elasticidade. A polaridade da molécula aumenta, por conseguinte a flexibilidade, a gama de selagem do material e a resistência à termosoldagem, aumentam também. O aumento do AV provoca uma redução das propriedades de barreira, ou seja, aumento na permeabilidade a gases, vapor de água e gorduras. Para aplicações em embalagens flexíveis as quantidades de AV estão entre 3% e 12%. Quando as percentagens de AV são superiores a 12% estes são usados como adesivos (Sarantópoulos, et al., 2002).

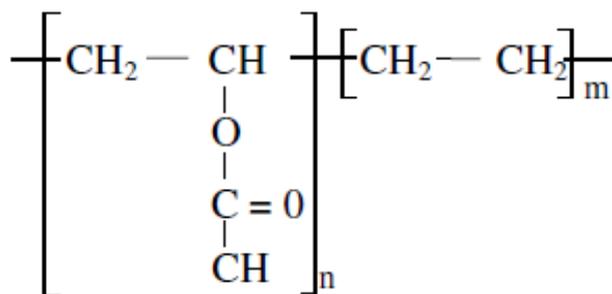


Figura 7- Estrutura química do Etileno Acetato de Vinílica (Moura, 2006)

As aplicações deste polímero são bastante restritas no que toca às embalagens flexíveis, uma vez que as suas propriedades, como elevado coeficiente de atrito e alta tendência ao bloqueio, conduzem muitas vezes a problemas de maquinabilidade. No entanto, este polímero é altamente indicado para embalagens que necessitam de alto grau de alongamento e encolhimento. Este é também aplicado em coextrusão, devido à sua boa soldadura e adesão, onde é utilizado como camada interior ou revestimento (Sarantópoulos, et al., 2002) (Harada, 2001).

#### 3.2.4. Copolímero de etileno e álcool vinílico (EVOH)

O copolímero de etileno (figura 8) e álcool vinílico é produzido através de uma reação de hidrólise do polímero etileno e acetato de vinila, onde o grupo acetato de vinila é transformado em álcool vinílico. O grupo -OH do álcool vai aumentar as forças moleculares, enquanto que os grupos etileno mantêm a mobilidade das moléculas.

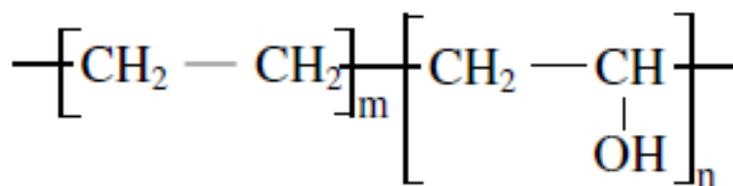


Figura 8 - Estrutura química do copolímero de etileno e álcool vinílico (Moura, 2006).

O EVOH é um polímero que tem como principal propriedade a sua capacidade de ser alta barreira ao oxigénio. Este apresenta também alta barreira a gases e aromas, sendo especialmente útil em embalagens a vácuo e em embalagens com atmosfera modificada ou inertes. Possui alta resistência à permeação de óleos, gorduras, vapores e solventes orgânicos,

no entanto a propriedade de barreira do EVOH diminui à medida que a polaridade do permeante aumenta. O EVOH possui ainda boa resistência mecânica, boa elasticidade, alta resistência química e alta transparência e brilho, para além de ser termicamente muito estável. Apesar dos grupos etileno e álcool vinílico se distribuírem aleatoriamente na cadeia, este polímero é altamente cristalino. Este polímero apresenta um elevado custo (Selke, Culter, & Hernandez, 2004).

Uma dificuldade na aplicabilidade deste polímero está relacionado com o facto de este ser um polímero hidrofílico, que faz com que atraia moléculas de água. Na presença de água as excelentes propriedades de barreira ao oxigénio do EVOH são reduzidas. Para contornar esta situação é muito comum ver o EVOH coextrudido com polioleofinas ou outros polímeros que possuam boa barreira ao vapor de água, melhorando as propriedades do filme e o custo envolvido. Para que haja uma adesão adequada entre uma poliolefina e o EVOH é necessário acrescentar um adesivo, que vai permitir ligar uma molécula polar com uma apolar.

Em casos em que é necessário a embalagem ser submetida a um processamento térmico, principalmente a esterilização, a proteção concedida pelas polioleofinas pode não ser suficiente. Nestes casos pode ser incorporado um dessecante, que consiste num aditivo com a função de absorver a humidade que possa permear através das polioleofinas durante o tratamento térmico (Selke, Culter, & Hernandez, 2004).

Comparativamente à poliamida, o EVOH possui melhor transparência, melhor resistência a óleos e melhores propriedades de barreira a gases e solventes, sendo reconhecido como o melhor material barreira ao oxigénio. No entanto, este é mais frágil que a poliamida.

### 3.2.5. Polipropileno (PP)

O polipropileno polimeriza-se de modo idêntico ao HDPE. A estrutura deste polímero pode ver-se na figura 9.

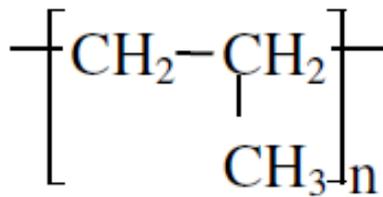


Figura 9 - Estrutura química do Polipropileno (Moura, 2006).

É um polímero cristalino porque as suas cadeias moleculares enrolam-se em forma de hélice o que facilita a sua organização cristalina.

O ponto de fusão é mais elevado que os polietilenos, cerca de 170°C, o que torna o polipropileno bastante rígido à temperatura ambiente e os seus produtos esterilizáveis em água a ferver. A baixas temperaturas, esta é mais frágil que as outras poliolefinas.

O coeficiente de atrito seco PP/PP e PP/aço é comparável ao do nylon e a resistência ao atrito é boa.

O polipropileno extrudido tem aplicações em filmes biorientados de elevada resistência e transparência para embalagens de alimentos (Pouzada & Bernardo, 1983).

O polipropileno caracteriza-se por ser o mais leve de todos os plásticos, com uma densidade de 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Esta propriedade é importante, uma vez que indica alto rendimento ou maior relação área/peso. Este polímero caracteriza-se ainda por ser boa barreira à humidade e fraca barreira a gases e gorduras, por comparativamente com o polietileno possuir elevada transparência e excelente brilho e por apresentar elevada dureza superficial. Funde a uma temperatura na gama de 140-150 °C e quando não orientado é frágil a baixas temperaturas. Comparativamente ao polietileno, é ligeiramente mais resistente a agentes químicos, é melhor barreira a óleos e gorduras e a sua permeabilidade ao vapor de água é menor (Jorge, 2013).

Quando o polipropileno é biorientado este é comumente denominado de BOPP. A biorientação melhora as propriedades mecânicas, a transparência do filme e reduz a permeabilidade. O BOPP possui muito boas propriedades de barreira ao vapor de água e fraca barreira a gases e gorduras. Em termos mecânicos possui ótima resistência à tração e baixa resistência à

perfuração. Este material possui alguns problemas de termosoldagem que conduzem muitas vezes a soldas com baixa resistência.

É o principal concorrente do celofane por ser mais barato, mais resistente, por não necessitar de revestimento para se tornar menos permeável ao vapor de água e ser termosoldável e por apresentar mais brilho e transparência. O polipropileno é utilizado como filme termoretráctil, como camada interior de embalagens termoprocessáveis e para uso em microondas, em embalagens de molhos com enchimento a quente e em embalagens de produtos sensíveis à humidade (Jorge, 2013).

## **CAPÍTULO 4 - PROPRIEDADES DE FILMES PLÁSTICOS FLEXÍVEIS**

### **4.1. Propriedades de Tração**

As propriedades de tração expressam a resistência que o material oferece à deformação por alongamento quando o filme é submetido a uma força. Esta propriedade é um parâmetro importante a controlar devido à sua possível utilização em máquinas de embalagem ou em processos de conversão, como impressão e laminação e devido ao normal manuseio da embalagem (Padilha, 2000).

A deformação ou alongamento é a variação na dimensão do corpo de prova relativamente ao seu comprimento original, quando este é submetido a um esforço.

A tensão define-se como a resistência interna de um corpo a uma força externa aplicada sobre ele, por unidade de área (equação 1).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

F - força em cada ponto

A<sub>0</sub> - área inicial da secção transversal do provete

As propriedades de tração de filmes plásticos flexíveis variam consoante sua estrutura dos polímeros que os compõem. Polímeros termorígidos apresentam um comportamento frágil, tal significa que a rutura se dá sem que se observe nenhuma modificação assinalável no seu alongamento, os materiais termoplásticos parcialmente cristalinos podem ser submetidos a elevadas deformações antes da sua rutura (comportamento dúctil) e os elastómeros apresentam uma região elástica muito extensa. A figura 10 ilustra, os três tipos de comportamentos. A curva A é típica de uma resina termorígida, a curva B de um termoplástico e a curva C de um elastómero.

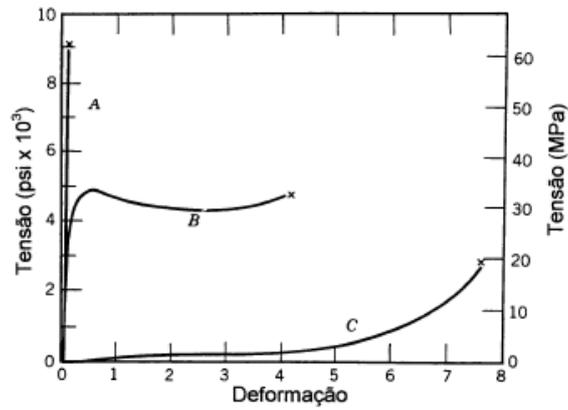


Figura 10 -- Os três tipos gráficos tensão/deformação típicos de polímeros (Padilha, 2000).

A figura 11, mostra uma curva de tensão em função da deformação de um termoplástico parcialmente cristalino. O ponto máximo de carga está associado ao início da estrição, este fenómeno corresponde à fase em que a largura do provete começa a diminuir e está relacionado com condições de instabilidade às quais o provete é sujeito. Durante a estrição as cadeias ficam orientadas e o material mais resistente à deformação (Souza, 1982).

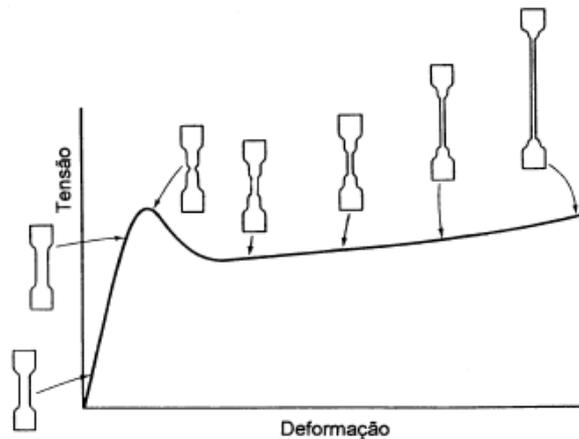


Figura 11 – Curva de tensão em função da deformação de um termoplástico parcialmente cristalino (Souza, 1982).

## 4.2. Propriedades Óticas

As propriedades óticas são essencialmente influenciadas pela morfologia do polímero. Existem dois principais tipos de propriedades óticas, a opacidade e o brilho.

O brilho está relacionado com a capacidade que o filme tem de refletir a luz incidente. Esta propriedade é quantificada por equipamentos que determinam a percentagem de luz que incide com determinado ângulo e é refletida para esse mesmo ângulo conforme é representado na figura 12.

A opacidade é definida como o valor de transmissão de luz obtido quando se mede o feixe de luz que sofre uma dispersão superior a  $2,5^\circ$  em relação ao feixe de luz incidente (Pouzada & Bernardo, 1983).

Para a determinação do brilho e da opacidade são utilizadas fontes de luz padronizadas pela CIE (Commision Internacional de L'Eclairage), as fontes de luz mais utilizadas correspondem à luz incandescente, luz do sol a meio dia e luz do dia com céu encoberto, tratando-se estas de fontes de luz com intensidade e faixas de comprimento de onda específicos.

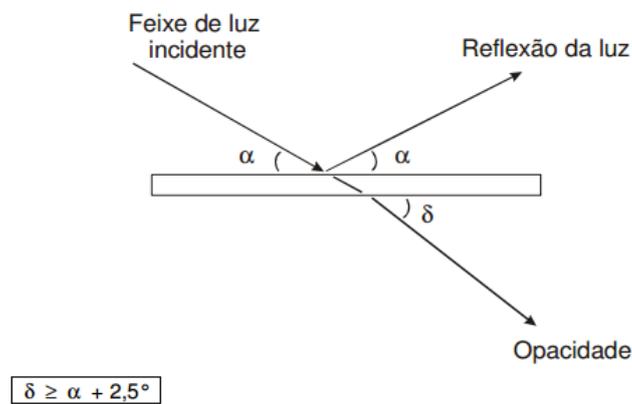


Figura 12 - Representação esquemática da opacidade.

A medição da opacidade é importante em materiais que se pretendem transparentes ou então muito opacos, onde existem especificações dos valores a cumprir.

O brilho é a medida das propriedades de reflexão da luz da superfície do filme. A superfície lisa e as propriedades refletoras do material afetam o seu brilho. Um elevado brilho é importante para as embalagens impressas e para uma boa apresentação.

O brilho e a opacidade são dois parâmetros importantes a medir, quer com o objetivo da criação de novos produtos quer para o controlo da qualidade de matérias-primas filmes e em linha de produção (Pouzada & Bernardo, 1983).

## **CAPÍTULO 5 - PRODUÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS FLEXÍVEIS NA VIZELPAS**

A Vizelpas Packaging é uma empresa que trabalha no ramo da produção/transformação de embalagens flexíveis para a indústria alimentar (cerca de 90%), farmacêutica, médico cirúrgica e têxtil. A empresa possui processos unitários de extrusão, impressão, laminação, rebobinagem e corte. O produto final é comercializado na forma de bobines ou sacos.

### **5.1. Co-Extrusão**

O processo de extrusão consiste na fusão de grânulos de plástico quando estes são submetidos a elevadas temperaturas e pressões. Os grânulos são introduzidos num cilindro aquecido onde o movimento de rotação de um parafuso faz com que os grãos de matéria se movimentem. A movimentação do grão origina forças de fricção entre eles e conseqüentemente à elevação da pressão e da temperatura. O plástico amolecido é posteriormente forçado a entrar através de uma abertura, denominada fieira (Pouzada & Bernardo, 1983).

O processo de co-extrusão é semelhante ao de extrusão, porém na co-extrusão cada material é plastificado numa extrusora específica. Cada extrusora homogeniza e plastifica o seu material em condições ótimas individuais de trabalho, estes materiais saem então juntos na fieira em multicamadas. Este processo aumenta bastante a capacidade dos filmes plásticos, pois possibilita a combinação das propriedades de vários polímeros numa mesma estrutura.

Filmes tubulares são produzidos pela extrusão do polímero fundido, na forma de um tubo, através de uma fieira anelar, no centro da qual ar é injetado, insuflando o tubo até este atingir um diâmetro maior. Um balão de filme (*blow film*) é formado, cujas paredes são esticadas na horizontal, pelo ar injetado, e, na vertical, por rolos puxadores, ao mesmo tempo a que se dá o arrefecimento do filme, conferindo a este tipo de filmes uma orientação biaxial.

Alguns parâmetros importantes deste processo são a razão de sopro e a linha de congelamento. Acima da linha de congelamento considera-se que o polímero está solidificado, ou seja, a sua estrutura (semicristalina ou amorfa) e orientação estão definidas (Pouzada & Bernardo, 1983).



Figura 13 - Imagem do balão formado numa co-extrusora (blow film).

## CAPÍTULO 6 – METODOLOGIAS

### 6.1. Determinação das Propriedade de Tração

O procedimento do ensaio de determinação das propriedades de tração efetuado na análise dos filmes em estudo segue a norma ASTM D 882 – “*Standard Test Method for Tensile Properties of thin Plastic Sheeting*”. Os ensaios foram efetuados com recurso a um equipamento universal de testes da marca Lloyd e com os acessórios adequados para este tipo de teste, tal como indica a figura 14.



Figura 14 - Ensaio de Resistência à Tração.

Para a realização do ensaio de tração cortaram-se provetes com uma largura de 10 mm e traçam-se duas marcas no sentido da largura do provete com uma distância correspondente à distância de separação inicial das garras.

Cada ensaio de tração foi realizado com uma amostragem de cinco provetes em cada direção, sentido de extrusão e transversal à extrusão, para os quais se calculou a média e o desvio padrão.

Para se iniciar o ensaio colocou-se o provete no equipamento fixado pelas duas garras. Após o início do teste uma das garras moveu-se a uma velocidade constante e a força necessária para o deslocamento da mesma foi medida e registada em função do alongamento verificado. A velocidade de tração e a distância entre as garras a usar no ensaio são definidas em função da percentagem de alongamento do filme em estudo, tal como indica a tabela 4.

**Tabela 4** – Condições de separação inicial das garras e velocidade de tração para o ensaio de resistência à tração

% alongamento na rutura	Separação inicial das garras (mm)	Velocidade de tração (mm/min)
<20	125	12.5
20-100	100	50
>100	50	500

## 5.2. Determinação da Gramagem

A gramagem define-se como sendo a massa de filme por uma determinada área, habitualmente expressa em g/m<sup>2</sup>. Esta propriedade encontra-se diretamente relacionada com a espessura e resistência mecânica do material.



Figura 15 - Cortante circular



Figura 16 - Balança analítica

Para determinar a gramagem dos filmes cortaram-se provetes em cortante circular (Figura 14) com uma dimensão de 10x10 cm, com a ajuda de um molde adequado ou de um cortador específico para este efeito.

Determinou-se a massa de cada provete com recurso a uma balança analítica (figura 13) e efetuaram-se os respetivos registos. Para o cálculo da gramagem foi utilizada a equação 2.

$$G = 10000 \times \frac{M}{A} \text{ (Eq.2)}$$

Onde:

G – gramagem expressa em g/m<sup>2</sup>

M – massa do provete ensaiado expressa em g

A – área do provete expressa em  $cm^2$

O ensaio foi realizado com uma amostragem de dez provetes, dos quais se calculou a média e o desvio padrão.

### 5.3. Determinação do Coeficiente de Atrito

O método analítico utilizado para a determinação do coeficiente de atrito teve como referencia a norma *ASTM D 1894 - Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting*.

Para efetuar o ensaio de determinação do coeficiente de atrito foram cortados cinco provetes para cada um dos lados do filme, exterior e interior. Foi colocado no equipamento universal de testes o acessório adequado a este ensaio, o qual consiste num plano horizontal e num bloco ligado com um fio (Figura 17).

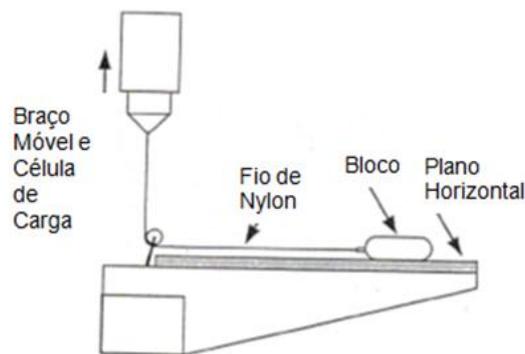


Figura 17 -Representação esquemática de um ensaio de atrito.

Para cada teste cortou-se material para revestir o plano horizontal, com as dimensões de 130x320 mm, bem como material para revestir o bloco, com dimensões de 110x170mm. Os provetes foram cortados sempre no sentido da extrusão. Estas faixas de material foram colocadas no equipamento tal como se mostra na figura 18. O bloco foi colocado sobre o plano horizontal de modo a que o fio ficasse completamente esticado, sem folga e paralelo ao deslocamento, tal qual se pode ver na figura 18. Deu-se início ao ensaio de determinação do coeficiente de atrito. O *software* do equipamento registou dados de atrito estático e cinético, mas apenas os valores de atrito cinético foram considerados relevantes para o controlo da qualidade dos filmes testados. O coeficiente de atrito é adimensional.

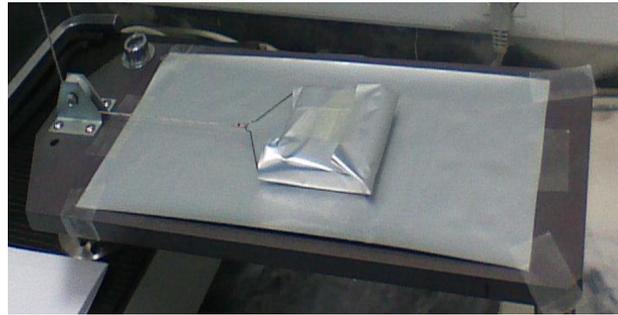


Figura 18 - Ensaio de determinação do coeficiente de atrito.

#### **5.4. Determinação da Resistência à Perfuração**

O presente procedimento é relativo ao método de determinação da resistência à perfuração de filmes plásticos flexíveis, e tem como referência a norma *ASTM F 1306 - Standard Test Method for Slow Rate Penetration Resistance of Flexible Barrier Films and Laminates*, que define entre outros parâmetros, condições de ensaio como a velocidade de ensaio, o formato da sonda metálica e a área da amostra. O ensaio de perfuração é de extrema importância em termos do controlo da qualidade de filmes flexíveis, pois tem como intuito simular forças a que a embalagem pode ser submetida, provocadas por objetos com cantos ou quinas afiadas, tais como ossos e espinhas de alimentos inteiros ou em partes que são embalados em embalagens flexíveis.

Para se proceder à realização dos testes de perfuração, foram preparados dez provetes de 1 amostra com o auxílio de um molde. O provete a ensaiar foi devidamente colocado no acessório do equipamento universal de testes, apropriado ao ensaio de perfuração, com a face a testar virada para cima, ou seja a face onde se encontra o alimento – face interior.



Figura 19 - Equipamento universal de testes com acessório adequado ao ensaio de perfuração.

Durante o ensaio cada provete foi submetido à carga de uma ponta metálica até à rutura do filme. Os valores de força máxima dados pelo *software* do equipamento foram posteriormente analisados e realizou-se o tratamento estatístico. A força aplicada pela sonda no material possui uma direção biaxial.



## CAPÍTULO 7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo apresentam-se os resultados e a análise dos testes de controlo da qualidade a filmes flexíveis, efetuados no laboratório da Vizelpas. Para este efeito selecionaram-se quatro filmes com características diferentes, ou seja, diferentes estruturas de materiais para aplicações alimentares diferentes, conforme se pode ver na tabela 5.

Tabela 5 – Estruturas dos filmes testados no estágio curricular e os géneros alimentícios a embalar

<b>Estruturas dos Filmes Testados (produtos acabados)</b>	<b>Géneros alimentícios a embalar</b>
PET/Alumínio/PEBD impresso	Maçãs desidratadas
PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso	Molhos (Ketchup, maionese, azeite, vinagre)
PA PEBD	Pescado congelado (postas de peixe e de bacalhau)
PEBD opaco branco impresso	Carne branca inteira congelada (com ossos)

### 7.1. Embalagem para produtos alimentares desidratados

O filme analisado neste ponto aplica-se a produtos alimentares desidratados ou produtos com baixo teor de humidade, que são facilmente sujeitos a hidratação.

Para o filme PET/Alumínio/PEBD é um triplex, ou seja é um laminado de três materiais diferentes, o PET, o alumínio e o PEBD, cujo produto acabado apresenta um grau com alguma complexidade e é expedido da Vizelpas sob a forma de saco Doypack.

Cada um dos materiais que compõem o filme produto acabado possuem uma função específica. O PET confere uma boa resistência e é um bom suporte para a impressão. O alumínio permite ao filme produto acabado ter uma muito baixa permeabilidade ao vapor de água<sup>(i)</sup> e à luz e o PEBD oferece boas propriedades de selagem quando o filme está a ser transformado em saco e a montante, no cliente.

(i) O alumínio confere também muito boa resistência à entrada de gases (ex: O<sub>2</sub>, outros) para dentro da embalagem, ou no caso de no embalamento ser usada atmosfera protetora impede que esta mistura de gases saia da embalagem para a atmosfera.

A embalagem para alimentos com baixo teor de humidade tem como principal requisito ser alta barreira ao vapor de água, para cumprir com o objetivo de manter a maçã desidratada seca durante o *shelf life* do produto alimentar embalado.



Figura 22 - Filme utilizado no embalamento de maçã desidratada.

Os ensaios de permeabilidade a gases e a vapor de água para o controlo da qualidade na produção da Vizelpas, neste momento, ainda são realizados no exterior por laboratórios acreditados, bem como os ensaios de migração global. Assim os resultados apresentados para as permeabilidades a oxigénio e para vapor de água são os apresentados na tabela 6 e os resultados para a migração são apresentados na tabela 7.

Tabela 6 – Resultados obtidos para a Velocidade de Transmissão de Oxigénio e Velocidade de Transmissão do Vapor de Água para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso

Ensaio	Norma	Temperatura	Humidade Relativa	Unidades	Valor médio
<b>Velocidade de Transmissão de oxigénio</b>	ASTM D3985-05 (2010) e1	23°C	0%	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	0,13
<b>Velocidade de Transmissão de vapor de água</b>	ASTM F1249-06 (2011)	38°C	90%	g/m <sup>2</sup> .dia	0.83

A permeabilidade a oxigénio e a vapor de água no filme PET/Alumínio/PEBD impresso é extremamente baixa, o que significa que esta estrutura não permite a passagem deste gás nem de humidade para o interior da embalagem. No caso de o embalamento da maçã desidratada ser realizado com atmosfera protetora a permeabilidade baixa ao oxigénio oferece garantias de que este gás não sai da embalagem para o meio ambiente.

Tabela 7 – Resultados obtidos para a Migração Global para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Ensaio de Migração Global</b>	<b>Norma</b>	<b>Condições (regulamento nº10/2011)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor médio ± tolerância analítica</b>	<b>Limite (Reg 10/2011)</b>
<b>Simulador etanol a 10%</b>	CEN/TS 14235.20 02; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	0,0 ± 1	≤ 10
<b>Simulador óleo de oliva</b>	CEN/TS 14235.20 02; EN1186-2	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	0,6 ± 3	≤ 10

No que diz respeito ao regulamento N°10/2011 da Comissão de 14 de Janeiro de 2011 o filme PET/Alumínio/PEBD impresso cumpre com a mesma e pode acrescentar-se através dos valores obtidos que estes são baixos relativamente ao limite legal.

#### 7.1.1. Determinação do Coeficiente de Atrito

Na tabela 8 podem observar-se os resultados dos coeficientes de atrito cinético obtidos para cada um dos cinco provetes. O teste foi efetuado para ambas as faces do filme, a face exterior e a face interior. O coeficiente de atrito é adimensional.

Tabela 8- Resultados do coeficiente de atrito cinético para as faces interior e exterior do filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Provete</b>	<b>Coeficiente de atrito cinético</b>	
	<b>Face Exterior</b>	<b>Face Interior</b>
<b>1</b>	0,371	0,148
<b>2</b>	0,293	0,144
<b>3</b>	0,272	0,153
<b>4</b>	0,301	0,145
<b>5</b>	0,337	0,159
<b>Min</b>	0,272	0,144
<b>Max</b>	0,371	0,159
<b>Média</b>	0,315	0,150
<b>Desvio Padrão</b>	0,039	0,006

O coeficiente de atrito é uma propriedade mecânica que está diretamente relacionada a questões de maquinabilidade do filme. Na face exterior do filme, onde se encontra o filme PET, o coeficiente de atrito foi considerado elevado. Tal facto pode estar relacionado com a impressão, que é aplicada sobre o PET, e pode originar aumento deste parâmetro nas zonas de filme impressas. A face interior, composta por uma camada de filme de polietileno, tem um coeficiente de atrito considerado baixo.

#### 7.1.2. Resistência à Perfuração

A tabela 9 apresenta os valores obtidos para se atingir o objetivo - rutura do filme. Neste ensaio foram testados dez provetes e calculada a média e o desvio padrão.

Tabela 9 - Resultados da força na rutura obtida nos ensaios de perfuração para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Provete</b>	<b>Força (N)</b>
<b>1</b>	27,6
<b>2</b>	25,0
<b>3</b>	28,7

<b>4</b>	28,5
<b>5</b>	27,1
<b>6</b>	25,2
<b>7</b>	23,1
<b>8</b>	28,3
<b>9</b>	26,4
<b>10</b>	27,5
<b>Mínimo</b>	23,1
<b>Máximo</b>	28,7
<b>Média</b>	26,714
<b>Desvio Padrão</b>	1,826

Quando comparamos os valores obtidos para o parâmetro em questão relativamente aos filmes PET/Alumínio/PEBD impresso e PA PEBD, verifica-se que os valores encontrados respetivamente de 26,7 N e 49,8 N evidenciam que o filme com maior resistência à perfuração de entre os dois acima comentados é o PA PEBD.

### 7.1.3. Resistência à Tração

As tabelas 10 e 11 expõem os resultados da resistência à tração e percentagem de alongamento relativos aos testes de tração ao filme PET/Alumínio/PEBD impresso. O ensaio foi feito nos dois sentidos, o de extrusão e o transversal à extrusão. Foram testadas cinco réplicas para cada um dos sentidos e calculada a média e o desvio padrão associados.

Tabela 10 – Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido da extrusão do filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Provete (MD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	42,44	112,05
<b>2</b>	41,86	127,78
<b>3</b>	40,07	108,92
<b>4</b>	41,32	110,94
<b>5</b>	40,45	107,42
<b>Média</b>	41,229	113,42
<b>Desvio Padrão</b>	0,978	8,221

Tabela 11 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido transversal à extrusão do filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Provete (TD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	40,98	90,35
<b>2</b>	40,78	95,73
<b>3</b>	42,70	117,63
<b>4</b>	43,14	105,58
<b>5</b>	40,96	106,12
<b>Média</b>	41,712	103,08
<b>Desvio Padrão</b>	1,1936	10,5260

A percentagem de alongamento deste filme pode-se considerar muito baixa especialmente quando comparada com os valores de percentagem de alongamento obtidos para o filme de PEBD opaco branco impresso, analisado no ponto 7.4.

Para o filme PEBD opaco branco foram obtidos valores de alongamento de 551,23% no sentido da extrusão (MD) e valores superiores a 740% no sentido oposto ao da extrusão (TD). Para este filme - PET/Alumínio/PEBD impresso - os resultados de percentagem de alongamento foram de 113,42% em MD e 103,08% em TD.

Comparando os resultados dos dois filmes referidos acima, conclui-se que o filme em análise possuía muito baixa capacidade de alongamento. No entanto apresentava valores elevados de resistência á tração.

#### 7.1.4. Gramagem

Na tabela 12 apresentam-se os resultados das massas de cada provete obtidas por pesagem em balança analítica e as respetivas gramagens, em  $\text{g/m}^2$ , para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso.

Tabela 12 – Resultados relativos às massas de cada provete e respetiva gramagem para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso

<b>Provete</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Gramagem (<math>\text{g/m}^2</math>)</b>
<b>1</b>	1,0832	108,32

<b>2</b>	1,0907	109,07
<b>3</b>	1,0917	109,17
<b>4</b>	1,0868	108,68
<b>5</b>	1,0892	108,92
<b>6</b>	1,0854	108,54
<b>7</b>	1,1012	110,12
<b>8</b>	1,1057	110,57
<b>9</b>	1,1043	110,43
<b>10</b>	1,1048	110,48
<b>Min</b>	1,0832	108,32
<b>Max</b>	1,1057	110,57
<b>Média</b>	1,0943	109,43
<b>Desvio Padrão</b>	0,0088	0,88

Os valores de gramagem obtidos para este filme não são considerados altos, pode-se mesmo dizer que o filme utilizado no embalamento da maçã desidratada é bastante leve, ou seja, este filme possui uma boa relação área/massa.

## **7.2. Embalagem para molhos**

O filme analisado neste ponto vai embalar molhos, nomeadamente Ketchup, maionese, azeite, vinagre. Este filme é um laminado constituído por PET impresso e o co-extrudido PEBD EVOH PEBD opaco branco. O produto acabado é o filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso. O aspeto do produto acabado é como se pode ver na figura 23.



Figura 23 – Filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso.

Um filme para embalar molhos deve ser alta barreira a gases, principalmente ao oxigénio, dado que quando em contato com gorduras, como é o caso do azeite, o oxigénio reage com estas oxidando-as e consequentemente dando origem a ranço. Assim o azeite perde qualidade no que diz respeito a características organoléticas e sensoriais, ficando adulterado o seu aroma e sabor.

Uma embalagem adequada para o embalamento de molhos como a que se apresenta, deve também possuir elevados requisitos de barreira à luz, uma vez que esta pode acelerar a oxidação dos pigmentos e da gordura, e, consequentemente, gerar problemas de descoloração, acelerar a rancificação e deterioração microbiológica.

Assim os resultados apresentados para as permeabilidades a oxigénio e para vapor de água são os apresentados na tabela 13 e os resultados para a migração são apresentados na tabela 14.

Tabela 13 - Resultados obtidos para a Velocidade de Transmissão de Oxigénio e Velocidade de Transmissão do Vapor de Água para o filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Humidade Relativa</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor médio</b>
<b>Velocidade de Transmissão de oxigénio</b>	ASTM D3985-05 (2010) e1	23°C	0%	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	2,5

<b>Velocidade de Transmissão de vapor de água</b>	ASTM F1249-06 (2011)	38°C	100%	g/m <sup>2</sup> .dia	6.4
---	----------------------	------	------	-----------------------	-----

A permeabilidade a oxigénio e a vapor de água no filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso é baixa, o que significa que esta estrutura não permite a passagem deste gás nem de humidade para o interior da embalagem. No caso do embalamento dos molhos ser realizado com atmosfera protetora a permeabilidade baixa ao oxigénio oferece garantias de que este gás não sai da embalagem para o meio ambiente.

Para estes géneros alimentícios a propriedade barreira com impacto é a permeabilidade ao oxigénio dado que o filme impede a entrada deste para o interior da embalagem não permitindo a oxidação do azeite, do ketchup e maionese.

Tabela 14 - Resultados obtidos para a Migração Global para o filme PET/PEBD EVOH PEBD Opaco branco impresso

<b>Ensaio de Migração Global</b>	<b>Norma</b>	<b>Condições (regulamento nº10/2011)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor médio ± tolerância analítica</b>	<b>Limite (Reg 10/2011)</b>
<b>Simulador etanol a 10%</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	0,1 ± 2	≤ 10
<b>Ácido Acético a 3%</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	0,7 ± 2	≤ 10
<b>Simulador óleo de oliva</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-2	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	1,1 ± 3	≤ 10

No que diz respeito ao regulamento N°10/2011 da Comissão de 14 de Janeiro de 2011 o filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso cumpre com a mesma e pode acrescentar-se através dos valores obtidos são baixos relativamente ao limite legal.

#### 7.2.1. Determinação do Coeficiente de Atrito

A tabela 15 permite-nos ver os valores obtidos do teste de coeficiente de atrito cinético, para a face interior e exterior do filme. O teste realizou-se com uma amostragem de cinco provetes, para os quais se calculou a média e o desvio padrão.

Tabela 15 - Dados do coeficiente de atrito cinético para as faces interior e exterior do filme PET/PEBD EVOH PEBD Opaco branco impresso

<b>Provete</b>	<b>Coeficiente de atrito cinético</b>	
	<b>Face Exterior</b>	<b>Face Interior</b>
<b>1</b>	0,250	0,186
<b>2</b>	0,288	0,167
<b>3</b>	0,252	0,183
<b>4</b>	0,254	0,158
<b>5</b>	0,241	0,179
<b>Min</b>	0,241	0,158
<b>Max</b>	0,288	0,186
<b>Média</b>	0,257	0,175
<b>Desvio Padrão</b>	0,0181	0,0118

Pela observação dos resultados conclui-se que o PET que se encontra na face exterior do filme possui um coeficiente de atrito mais elevado que o PEBD do lado do filme que está em contato direto com o molho.

#### 7.2.2. Resistência à Perfuração

A tabela 16 refere-se aos valores de força máxima, obtidos através do teste de resistência à perfuração, no qual foram ensaiados dez provetes, para os quais foi calculada a média e desvio padrão.

Tabela 16 - Resultados da força na rutura obtida pelos ensaios de perfuração ao filme PET/PEBD EVOH PEBD Opaco branco impresso

<b>Provete</b>	<b>Força (N)</b>
<b>1</b>	26,3
<b>2</b>	25,8
<b>3</b>	26,7
<b>4</b>	23,8
<b>5</b>	28,4
<b>6</b>	29,0
<b>7</b>	27,5
<b>8</b>	29,3
<b>9</b>	21,9
<b>10</b>	25,7
<b>Mínimo</b>	21,9
<b>Máximo</b>	29,3
<b>Média</b>	26,435
<b>Desvio Padrão</b>	2,309

Este filme não apresentou elevada resistência à perfuração, uma vez que os valores das forças máximas obtidas para a sua perfuração foram baixos quando comparados com os valores obtidos para o filme PA PEBD (tabela 22). Para este último filme foi necessário aplicar uma força média de 49,8N.

Tendo em consideração que o filme para molhos não apresenta uma resistência à perfuração considerável está de acordo com o uso pretendido, já que o género alimentício a embalar não tem qualquer agente perfurante que possa danificar o interior da embalagem que o acolhe.

Não é expectável um eventual mau manuseamento do molho embalado que provoque a perfuração da embalagem, dado que se percebe qual o conteúdo desta e, os manipuladores vão ter em conta o possível derrame que pode vir a acontecer tendo como consequência a sujidade da roupa e do ambiente envolvente.

### 7.2.3. Resistência à Tração

Nas tabelas 17 e 18 apresentam-se os dados de tensão e percentagem de alongamento obtidos da realização dos testes de tração do filme PET/PEBD EVOH PEBD Opaco branco impresso

O ensaio foi feito nos dois sentidos, o de extrusão e o transversal à extrusão. Foram testados cinco provetes para cada um dos sentidos e calculada a média e o desvio padrão associado.

Tabela 17 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido da extrusão do filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso

<b>Provete (MD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	38,76	134,03
<b>2</b>	36,41	116,82
<b>3</b>	36,75	113,80
<b>4</b>	35,43	109,42
<b>5</b>	37,83	127,22
<b>Média</b>	37,036	120,26
<b>Desvio Padrão</b>	1,2893	10,1126

Tabela 18 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido transversal à extrusão do filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso

<b>Provete (TD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	41,78	110,41
<b>2</b>	41,44	110,83
<b>3</b>	40,27	94,50
<b>4</b>	41,42	113,70
<b>5</b>	38,97	96,69
<b>Média</b>	40,775	105,23
<b>Desvio Padrão</b>	0,6607	8,9157

O filme PET/PEBD EVOH PEBD teve boa resistência à tração, no entanto os valores de alongamento são consideravelmente baixos, comparativamente ao PEBD opaco branco

impresso, que apresenta valores de alongamento de 551,23% no sentido da extrusão e valores superiores a 740% no sentido oposto ao da extrusão. O alongamento neste filme é muito inferior em ambos os sentidos.

#### 7.2.4. Gramagem

Na tabela 19 apresentam-se os dados da massa e da gramagem obtidos para o filme em estudo. Testaram-se dez provetes, para os quais se calculou a média e o desvio padrão.

Tabela 19 - Dados relativos às massas de cada provete e respetiva gramagem

<b>Provete</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Gramagem (g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	0,8467	84,67
<b>2</b>	0,8435	84,35
<b>3</b>	0,8389	83,89
<b>4</b>	0,8411	84,11
<b>5</b>	0,8466	84,66
<b>6</b>	0,8373	83,73
<b>7</b>	0,8266	82,66
<b>8</b>	0,8313	83,13
<b>9</b>	0,8487	84,87
<b>10</b>	0,8375	83,75
<b>Min</b>	0,8266	82,66
<b>Max</b>	0,8487	84,87
<b>Média</b>	0,8398	83,98
<b>Desvio Padrão</b>	0,0070	0,71

Os valores obtidos para a gramagem estão de acordo com a especificação interna da Vizelpas para o filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso.

### 7.3. Embalagem para peixe

O filme que foi estudado neste ponto é um co-extrudido de PA PEBD. A sua estrutura é constituída pelo polímero poliamida (PA) e pelo polietileno de baixa densidade (PEBD). Ambos os polímeros desempenham diferentes funções no produto final.

O polietileno permite boas propriedades de soldadura e a poliamida confere resistência mecânica ao filme. O polietileno encontra-se na camada que está no interior da embalagem, em contato direto com o alimento e a poliamida no exterior.

O filme PA PEBD é aplicado na bandeja inferior de uma embalagem termoformada para bacalhau congelado (figura 24). No processo de termoformação o filme passa por três etapas básicas, o aquecimento, a moldagem e o corte, formando assim uma cuvete como o que se pode observar na figura 24. É importante salientar que todos os ensaios apresentados no ponto 7.3. foram realizados antes do filme ser submetido ao processo de termoformação.



Figura 24 – Embalagem termoformada de filme PA PEBD utilizada nos testes elaborados.

Tabela 20 - Resultados obtidos para a Migração Global para o filme PA PEBD

<b>Ensaio de Migração Global</b>	<b>Norma</b>	<b>Condições (regulamento nº10/2011)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor médio ± tolerância analítica</b>	<b>Limite (Reg 10/2011)</b>
<b>Simulador etanol a 10%</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	2,6 ± 2	≤ 10
<b>Simulador ácido acético a 3%</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	2,7 ± 2	≤ 10

<b>Simulador óleo de oliva</b>	CEN/TS 14235.2002; EN1186-2	10 dias a 40°C  Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	6,7 ± 3	≤ 10
--------------------------------	-----------------------------------	---	--------------------	---------	------

No que diz respeito ao regulamento N°10/2011 da Comissão de 14 de Janeiro de 2011 o filme PA PEBD cumpre com a mesma, ou seja, os valores obtidos cumprem com os limites legais. No entanto o resultado para o óleo de oliva está na fronteira do limite legal.

### 7.3.1. Determinação do Coeficiente de Atrito

A tabela 21 mostra os dados do coeficiente de atrito cinético para cada uma das faces do filme em teste. Para cada face foi feita uma amostragem de cinco provetes, da qual se calculou a média e o desvio padrão associados.

Tabela 21 - Resultados do coeficiente de atrito cinético para as faces interior e exterior do filme PA PEBD

	<b>Face exterior</b>	<b>Face Interior</b>
<b>Provete</b>	Coeficiente de Atrito Cinético	
<b>1</b>	0,328	0,122
<b>2</b>	0,320	0,121
<b>3</b>	0,319	0,117
<b>4</b>	0,269	0,122
<b>5</b>	0,338	0,116
<b>Min</b>	0,269	0,116
<b>Max</b>	0,338	0,122
<b>Média</b>	0,315	0,120
<b>Desvio Padrão</b>	0,0267	0,0029

Ao analisarmos os valores obtidos na tabela 21 pode concluir-se que o filme PA PEBD possui uma força de atrito superior do lado exterior da embalagem do que do lado interior. Pode-se então dizer que a poliamida, que se encontra do lado exterior do filme, possui um coeficiente de atrito superior ao do polietileno de baixa densidade, que está na camada interior do filme.

O valor do coeficiente de atrito no lado da poliamida é considerado alto, já o coeficiente de atrito para a face com polietileno tem um valor que pode ser considerado baixo.

O atrito é um parâmetro que não possui grande influência em termos da aplicação prática da embalagem.

No presente trabalho os valores obtidos para o coeficiente de atrito foi um modo de garantir que o filme em questão iria ter uma boa maquinabilidade quando a amostra deste filme fosse a testar no cliente.

A termoformação é um tipo de embalamento que permite a obtenção de um elevado número de produtos embalados num curto espaço de tempo. Se o filme tiver um alto coeficiente de atrito e não permitir um bom “andamento” em máquina, as velocidades de produção vão baixar, originando perdas de produtividade por parte do embalador.

### 7.3.2. Resistência à Perfuração

Para o acondicionamento de pescados a resistência mecânica da embalagem, nomeadamente a resistência à perfuração, é uma propriedade que não pode ser descurada, devido à presença de espinhas que podem danificar a embalagem se esta não for suficientemente resistente. Na tabela 22, apresentam-se os valores da força máxima aplicada ao filme até à rutura.

O ensaio de perfuração foi efetuado no sentido do polietileno para a poliamida, ou seja, do lado interior da embalagem para o exterior, de modo a simular a força exercida pelas espinhas do bacalhau na embalagem.

Tabela 22- Resultados da força na rutura obtida nos ensaios de perfuração para o filme PA PEBD

<b>Provete</b>	<b>Força (N)</b>
<b>1</b>	47,6
<b>2</b>	48,4
<b>3</b>	49,4
<b>4</b>	51,4
<b>5</b>	50,2
<b>6</b>	50,8
<b>7</b>	55,0
<b>8</b>	47,5

<b>9</b>	46,0
<b>10</b>	51,3
<b>Mínimo</b>	46,0
<b>Máximo</b>	55,0
<b>Média</b>	49,771
<b>Desvio Padrão</b>	2,590

Nos casos em que o produto passa por um processo de congelação, como é o caso, a resistência à perfuração possui mais importância, uma vez que o processo de congelação provoca a expansão do volume do produto o que pode danificar a embalagem. Para além da expansão do volume, é necessário considerar ainda que a consistência do produto alimentar vai sofrer alterações. Este torna-se mais rígido, logo mais suscetível de produzir dano na embalagem.

Os dados apresentados na tabela 22 exibem elevados valores de força exercida para a rutura, demonstrando que a embalagem cumpre com as especificações internas da Vizelpas. A poliamida presente na estrutura do filme PA PEBD é a principal responsável pela resistência mecânica desta embalagem.

### 7.3.3. Resistência à Tração

Nas tabelas 23 e 24 são apresentados os resultados de tensão e percentagem de alongamento, obtidos no teste de resistência à tração. O filme foi testado no sentido da extrusão e no sentido transversal à extrusão. Os resultados para cada uma das cinco réplicas testadas, a média e o desvio padrão associados, são expostos nas tabelas que se seguem.

Tabela 23 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido da extrusão do filme PA PEBD

<b>Provete (MD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	28,10	514,64
<b>2</b>	30,42	530,68
<b>3</b>	29,61	482,32
<b>4</b>	31,54	517,25

<b>5</b>	33,02	546,80
<b>Média</b>	30,537	518,34
<b>Desvio Padrão</b>	1,870	23,846

Tabela 24 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido transversal à extrusão do filme PA PEBD

<b>Provete (TD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	31,25	546,91
<b>2</b>	27,82	501,49
<b>3</b>	27,31	510,13
<b>4</b>	28,59	549,18
<b>5</b>	27,39	513,67
<b>Média</b>	28,474	524,27
<b>Desvio Padrão</b>	1,633	22,161

Analisando os valores das tabelas conclui-se que o filme em estudo apresentava uma percentagem de alongamento bastante elevada em ambos os sentidos, ou seja no sentido da extrusão (MD) e no sentido transversal à extrusão (TD).

Uma boa percentagem de alongamento é fundamental para que este filme seja considerado adequado para ser termoformado, dado que durante as etapas de amolecimento e moldagem do filme, este estira no molde, daí que o resultado de percentagem do alongamento deve estar dentro dos limites internos especificados pela Vizelpas.

#### 7.3.4. Gramagem

Na tabela 25 apresentam-se os dados de massa e gramagem. O ensaio realizou-se com uma amostragem de dez provetes.

Tabela 25 - Resultados relativos às massas de cada provete e respetiva gramagem do PA PEBD

<b>Provete</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Gramagem (g /m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	2,5937	259,37

<b>2</b>	2,6407	264,07
<b>3</b>	2,6346	263,46
<b>4</b>	2,6668	266,68
<b>5</b>	2,5887	258,87
<b>6</b>	2,6376	263,76
<b>7</b>	2,6193	261,93
<b>8</b>	2,6144	261,44
<b>9</b>	2,6613	266,13
<b>10</b>	2,5730	257,30
<b>Min</b>	2,5887	258,87
<b>Max</b>	2,6668	266,68
<b>Média</b>	2,6245	262,45
<b>Desvio Padrão</b>	0,0259	2,59

Comparativamente com os dados de gramagem apresentados na tabela 12 para o filme PET/Alumínio/PEBD impresso e tabela 19 para o filme PET/PEBD EVOH PEBD opaco branco impresso, pode dizer-se que o filme possuía valores de gramagem elevados, tendo em conta que os filmes testados nos pontos 7.1 e 7.2. tinham valores médios de 109,43 g/m<sup>2</sup> e 83,98 g/m<sup>2</sup>, respetivamente, e o filme em análise neste ponto, possuía uma gramagem média de 262,45 g/m<sup>2</sup>.

#### **7.4. Embalagem para carne**

Este ponto destina-se ao controlo da qualidade do filme aplicado em embalagens em que o conteúdo são produtos cárneos com ossos.

No caso específico do filme em estudo, PEBD opaco branco impresso, pretendeu-se que a sua aplicação fosse o embalamento de carnes frescas de aves inteiras.



Figura 25 - Embalagem utilizada no embalamento de aves (DOW, 2013).

Tabela 26 - Resultados obtidos para a Migração Global para o filme PEBD opaco branco impresso

<b>Ensaio de Migração Global</b>	<b>Norma</b>	<b>Condições (regulamento nº10/2011)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor médio ± tolerância analítica</b>	<b>Limite (Reg 10/2011)</b>
<b>Simulador etanol a 10%</b>	CEN/TS 14235.20 02; EN1186-3	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	0,5 ± 2	≤ 10
<b>Simulador óleo de oliva</b>	CEN/TS 14235.20 02; EN1186-2	10 dias a 40°C Provetes com 1dm <sup>2</sup> imersos em 100 ml de simulador	mg/dm <sup>3</sup>	2,7 ± 3	≤ 10

No que diz respeito ao regulamento N°10/2011 da Comissão de 14 de Janeiro de 2011 o filme PEBD opaco branco impresso cumpre com a mesma e pode acrescentar-se através dos valores obtidos que estes são baixos relativamente ao limite legal.

#### 7.4.1. Determinação do Coeficiente de Atrito

A tabela 27 mostra os dados de coeficiente de atrito cinético, para as duas faces do filme, uma delas impressa e a outra sem impressão. Para cada uma das faces foram testados cinco provetes, para os quais se calculou a média e o desvio padrão.

Tabela 27 - Resultados do coeficiente de atrito cinético para as faces interior e exterior do filme PEBD opaco branco impresso

	<b>Face exterior</b>	<b>Face Interior</b>
<b>Provete</b>	Coeficiente de Atrito Cinético	
<b>1</b>	0,278	0,249
<b>2</b>	0,238	0,244
<b>3</b>	0,231	0,240
<b>4</b>	0,227	0,239
<b>5</b>	0,214	0,237
<b>Min</b>	0,214	0,237
<b>Max</b>	0,278	0,249
<b>Média</b>	0,238	0,242
<b>Desvio Padrão</b>	0,0242	0,0048

Para este tipo de embalagem é bastante importante que o filme possua um coeficiente de atrito baixo, uma vez que o processo de embalagem é feito de modo automático em maquinaria de elevada cadência.

Um coeficiente de atrito elevado vai fazer com que aconteça o chamado efeito *blocking*, que terá repercussões na separação dos sacos e na abertura destes para a posterior inserção do frango, dado que não há o deslizamento adequado entre os sacos e estes tendem a ficar unidos, tornando o processo de embalagem pouco eficiente.

Os valores dos coeficientes de atrito cinético obtidos foram semelhantes para ambas as faces do filme, tal como seria de esperar, uma vez que este era apenas constituído por polietileno de baixa densidade.

#### 7.4.2. Resistência à Tração

Os resultados das tabelas 28 e 29 são relativos aos valores de resistência à tração e percentagem de alongamento do filme de PEBD opaco branco impresso. Os testes de tração foram realizados em cinco provetes, no sentido da extrusão e no sentido transversal à extrusão.

No caso dos resultados de percentagem de alongamento da tabela 29, a altura do equipamento universal de ensaios não foi suficiente para que se desse a rutura destes provetes. Por este

motivo não foi possível determinar o valor do alongamento. Apenas foi possível garantir que o valor foi superior aos valores apresentados.

Tabela 28 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido da extrusão do filme PEBD opaco branco impresso

<b>Provete (MD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	27,69	568,15
<b>2</b>	26,84	537,10
<b>3</b>	26,50	540,50
<b>4</b>	28,66	536,02
<b>5</b>	29,33	574,39
<b>Média</b>	27,803	551,23
<b>Desvio Padrão</b>	1,1913	18,4978

Tabela 29 - Resultados da resistência à tração e da percentagem de alongamento, nos ensaios realizados no sentido transversal à extrusão do filme PEBD opaco branco impresso

<b>Provete (TD)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>% Alongamento na Rutura</b>
<b>1</b>	19,53	> 741
<b>2</b>	18,00	>740
<b>3</b>	19,21	> 740
<b>4</b>	19,15	> 742
<b>5</b>	18,93	> 742
<b>Média</b>	18,972	-
<b>Desvio Padrão</b>	0,6663	-

A elevada percentagem de alongamento deste filme é especialmente notória no sentido transversal ao da extrusão, uma vez que foram atingidos valores de alongamento muito altos.

O polietileno de baixa densidade linear permite a esta embalagem ter uma elevada flexibilidade, que faz com que esta se ajuste ao formato do conteúdo a embalar. Deste modo permite que o espaço ocupado pela embalagem seja inferior.

Esta embalagem pode ser usada com baixas temperaturas ( $\leq -18^{\circ}\text{C}$ ) devido à sua elevada flexibilidade. Deste modo, o filme acompanha a expansão do produto alimentar durante o processo de congelação.

## **CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS**

Considerando os vários ensaios realizados no decorrer deste trabalho às 4 estruturas poliméricas PEBD opaco branco impresso, PET/Alumínio/PEBD, PET/PEBD EVOH PEBD opaco Branco e PA PEBD pode concluir-se que:

Os resultados das permeabilidades ao oxigénio e vapor de água para as quatro estruturas em questão para além de cumprirem com as especificações dos clientes são adequadas para o uso a que se destinam, ou seja, o filme PET/Alumínio/PEBD utilizado para embalar maçã desidratada, possui elevada barreira ao vapor de água e o filme PET/PEBD EVOH PEBD Opaco Branco para o embalamento de molhos mostrou ser uma boa barreira ao oxigénio. Para as outras duas estruturas apresentadas, o PEBD opaco branco impresso e o PA PEBD, e tendo em consideração o uso a que se destinam, respetivamente o embalamento de carnes brancas com osso e pescado, as permeabilidades ao vapor de água e oxigénio não são necessárias e por isso não foram apresentados os repetivos resultados. Quer a carne de aves congelada quer o pescado congelado não necessitam de propriedades barreira a gases e a vapor de água.

As quatro estruturas poliméricas estudadas PEBD opaco branco impresso, PET/Alumínio/PEBD, PET/PEBD EVOH PEBD Opaco Branco e PA PEBD cumprem com a legislação relativa à migração global, mencionada no regulamento nº10/2011, uma vez que todas estas possuem valores de migração global inferiores a 10 mg/dm<sup>3</sup>. Deve ser tido em atenção o filme de estrutura PA PEBD, uma vez que este apresenta valores de migração global próximos dos limites máximos.

De entre os resultados obtidos relativamente ao coeficiente de atrito para os quatro filmes testados, aqueles que interferem com a maquinabilidade nas máquinas de embalamento dos clientes é o filme PEBD opaco branco impresso, devido à elevada cadência da embaladora do cliente que exige eficiência no processo produtivo, a qual não é possível sem um baixo coeficiente de atrito do filme em questão de modo a evitar o efeito *blocking*.

O filme PA PEBD é o único das quatro estruturas controladas em que os valores relativos à perfuração nos permitem concluir que este filme resiste às espinhas das postas de bacalhau embaladas.

O ensaio de tração foi fundamental nos filmes PA PEBD e PEBD opaco branco impresso, para embalar respetivamente pescado congelado e aves inteiras congeladas. Para o pescado congelado com embalagem termoformada a percentagem de alongamento é essencial para o acompanhamento do filme durante a moldação, principalmente nos quatro cantos do molde. Relativamente ao embalamento de aves inteiras, a alta percentagem de alongamento do PEBD opaco branco impresso ajuda o processo de embalamento ajuste do filme ao produto alimentar.

Os resultados da gramagem para os quatro filmes em questão cumprem com as especificações internas da Vizelpas. Este parâmetro é fundamental para o processo de coextrusão.

No futuro, os ensaios de permeabilidade deviam ser testados no laboratório na Vizelpas e, na embalagem termoformada, deviam ter sido feitos os ensaios mecânicos ao filme já termoformado.

Neste trabalho de estágio curricular, pode dizer-se que os objetivos pretendidos foram alcançados no que diz respeito à aquisição de competências sobre o controlo da qualidade laboratorial da Vizelpas relativamente a parâmetros físico-mecânicos, bem como no que diz respeito à aprovação dos produtos acabados em estudo neste trabalho, todos cumprem com as especificações internas da Vizelpas e assim todos foram aprovados no controlo da qualidade laboratorial.

## **BIBLIOGRAFIA**

- (2014, Outubro 17). Retrieved from <http://www.protegeoqueebom.pt/2010/05/18/a-historia-da-embalagem-parte-1-10-000-a-c-%E2%80%931950/>:
- ASTM. (1996). *Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting*. American society for testing and materials.
- ASTM. (n.d.). *Standard method for static and kinetic coefficients of friction of plastic film and sheeting*. American society for testing and materials.
- ASTM. (n.d.). *Standard test method for slow rate penetration resistance of flexible barrier films and laminates*. American society for testing and materials.
- Basf. (2014, 09 12). *Plastics Portal*. Retrieved from [www.plasticsportal.com/products/ultramid](http://www.plasticsportal.com/products/ultramid)
- Callister Junior, W. D. (2002). *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- Canedo, M. (2007). *Certificação de Adequação de Materiais Plásticos para Embalagens de Alimentos: Optimização da Metodologia de Análise de Migração de Solutos e Aplicação de Ferramentas de Gestão*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Canerolo Junior, S. (2002). *Ciência dos Polímeros*. São Paulo: Artliber Editora 2002.
- Coutinho, F., Mello, I., & Maria, L. (2003). Polietileno: Principais tipos, Propriedades e Aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 1-13, vol.13.
- DOW. (2013). *Embalagens para alimentos e especialidades*. Brasil: DOW chemical company- Provedora de soluções inovadoras.
- Eval, & Americas. (n.d.). *EVAL, a unique Kuraray technology*. Bélgica: Eval Europe.
- Harada, J. (2001). *Polímeros para Embalagens*. São Carlos: Associação Brasileira de Polímeros.
- Hotchkiss, H. (1997). Food-packaging interactions influencing quality and safety. pp. 601-607, v.14.
- Jorge, N. (2013). *Embalagens para Alimentos*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação.

- Mantilla, S., Mano, S., Vital, H., & Franco, R. (2010). Atmosfera modificada na conservação de alimentos. *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e do Ambiente*, 437-448.
- Moura, E. (2006). *Avaliação do desempenho de embalagens para alimentos quando submetidas a tratamento por radiação ionizante*. São Paulo: Autarquia associada à Universidade de São Paulo.
- Neste Chemicals* - Manual de um fornecedor de polietileno. Neste Chemicals.
- Padilha, A. (2000). *Materiais de Engenharia*. Curitiba: Hemus.
- Pouzada, S., & Bernardo, C. (1983). *Introdução à Engenharia de Polímeros*. Braga: Universidade do Minho.
- REGULAMENTO (UE) N°10/2011.
- Robertson, L. (1993). *Food Packaging - Principles and Practice*. New York: Marcel Dekker.
- Sarantópoulos, L., Oliveira, M., Padula, M., Coltro, L., Alves, V., & Garcia, C. (2002). *Embalagens Plásticas Flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades*. Campinas : CETEA/ITAL.
- Selke, M., Culter, D., & Hernandez, J. (2004). *Plastics Packaging: properties, processing, applications and regulations*. Munich: Hanser Gardner.
- Souza, S. (1982). *Ensaio mecânicos de materiais metálicos - Fundamentos teóricos e praticos*. São Paulo: Edgard Blucher.

## **ANEXOS**

### **GRÁFICOS RETIRADOS DO PROGRAMA COMPUTACIONAL NEXYGEN PARA OS FILMES ANALISADOS**

## Embalagens para produtos alimentares desidratados

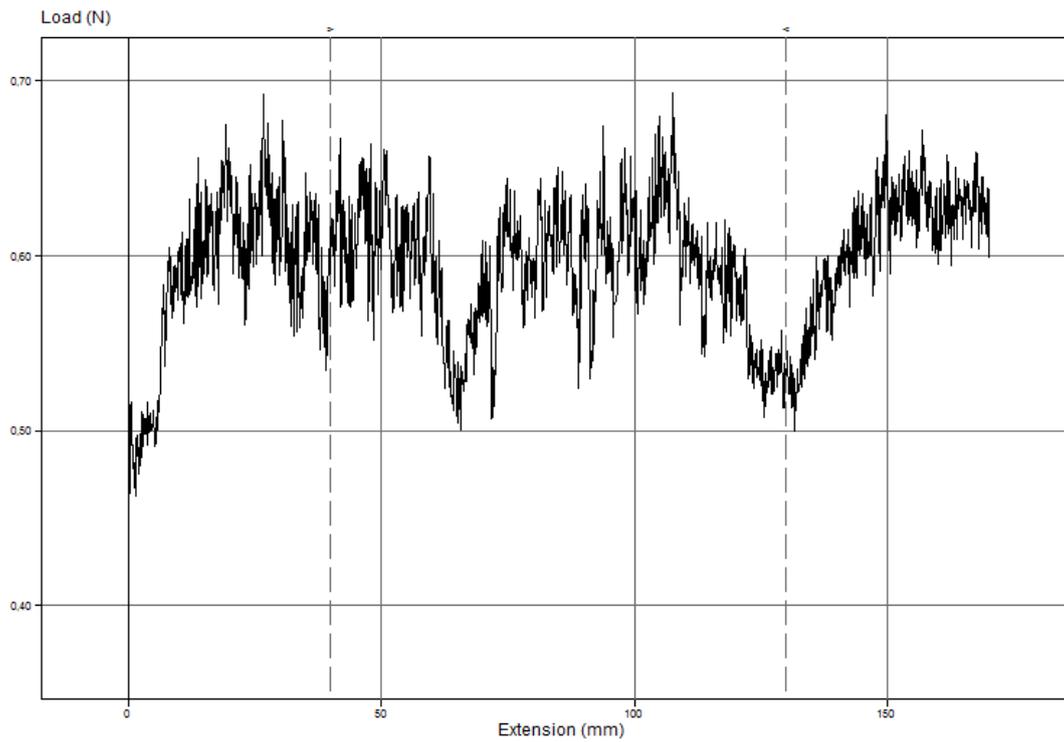


Figura A.1 – Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face exterior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco.

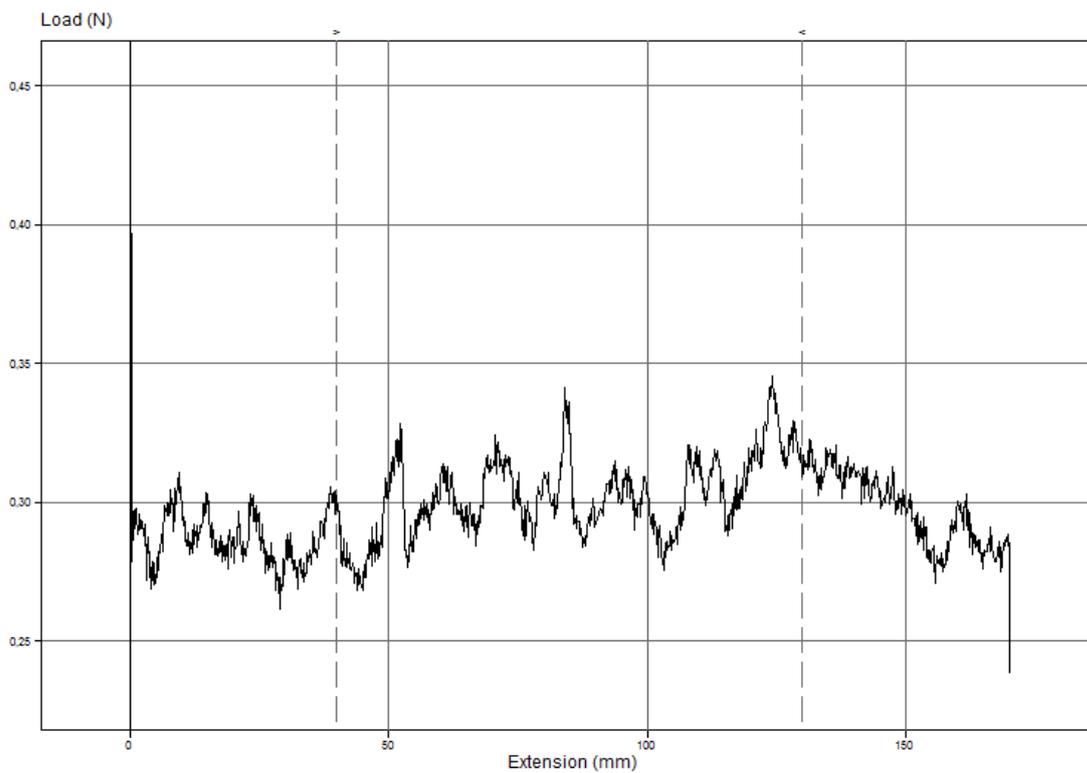


Figura A.2 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face interior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco

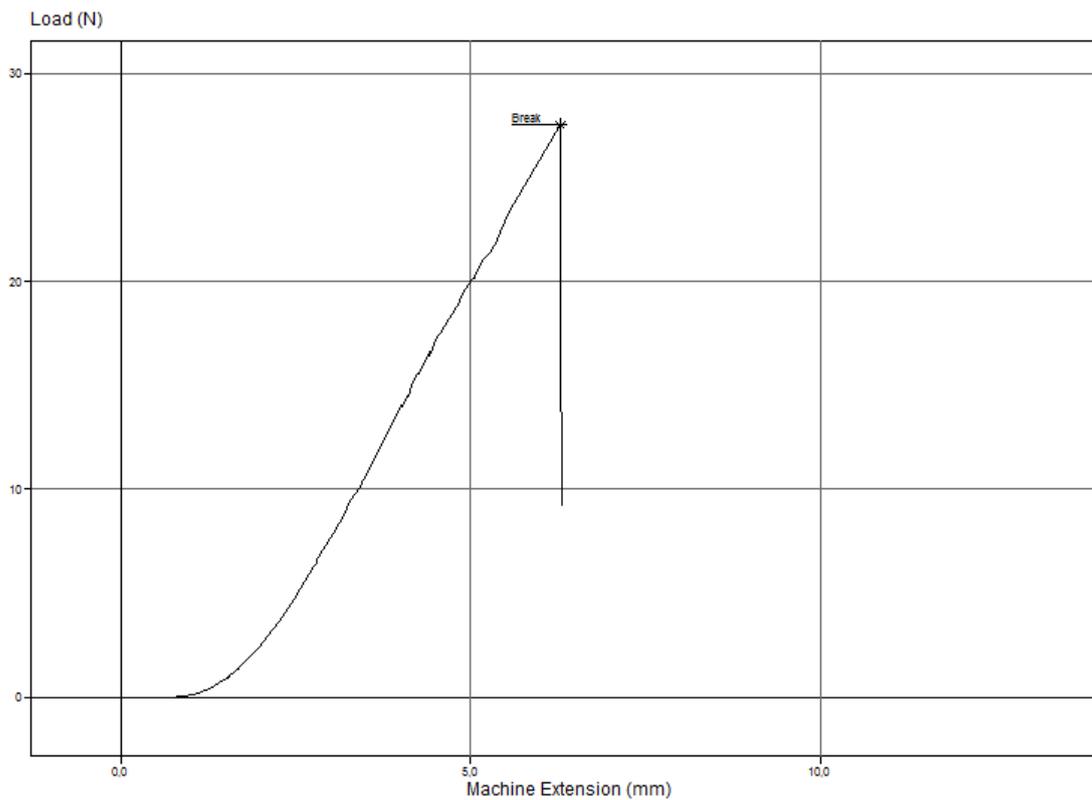


Figura A.3 – Gráfico obtido do ensaio de perfuração dado pela força em função do deslocamento.

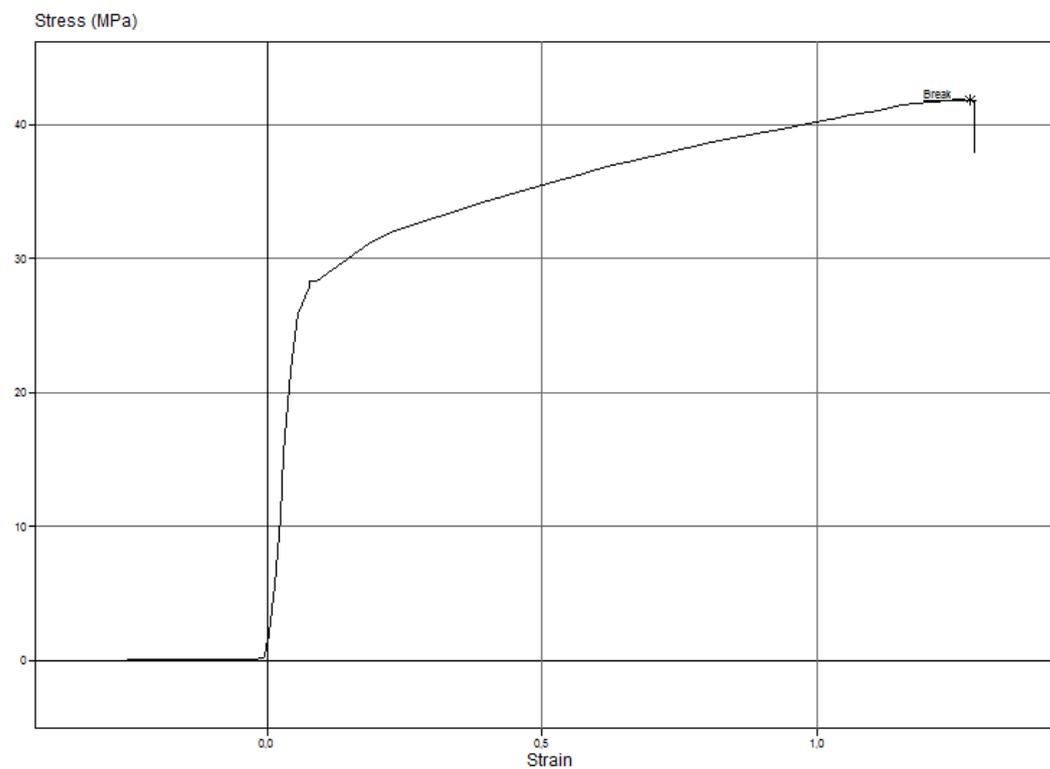


Figura A.4 – Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido da extrusão.

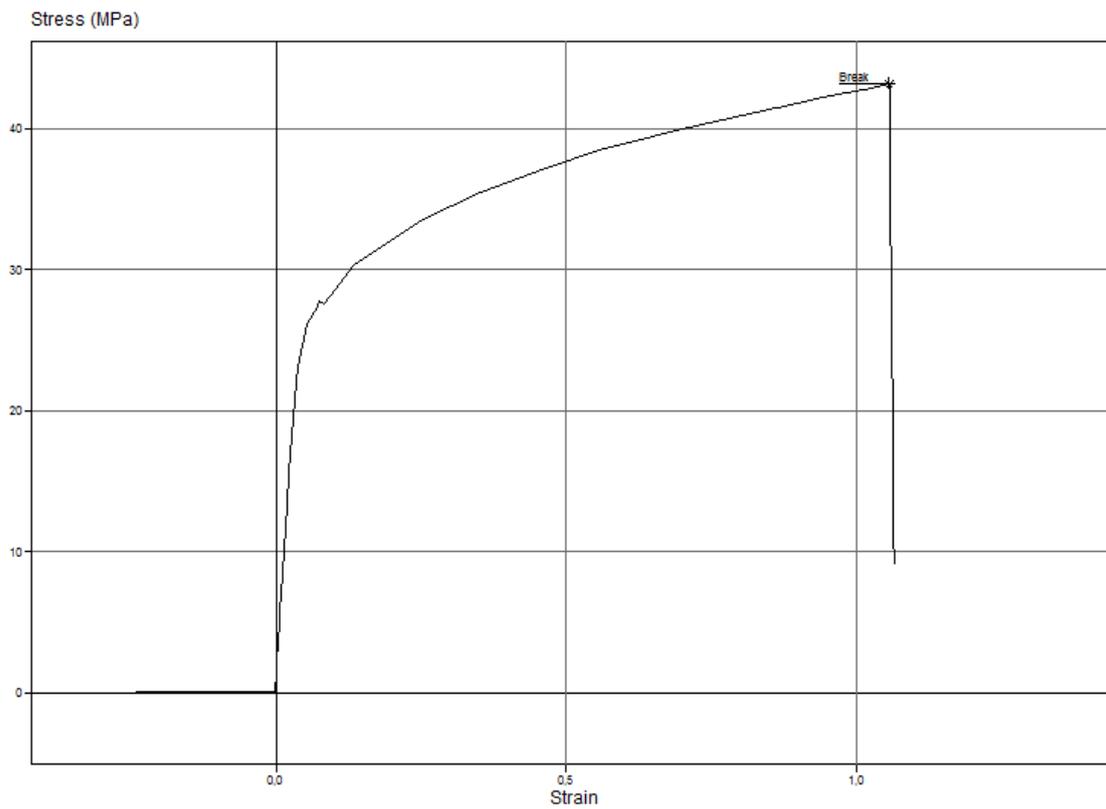


Figura A.5 – Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido transversal da extrusão.

## Embalagem para peixe

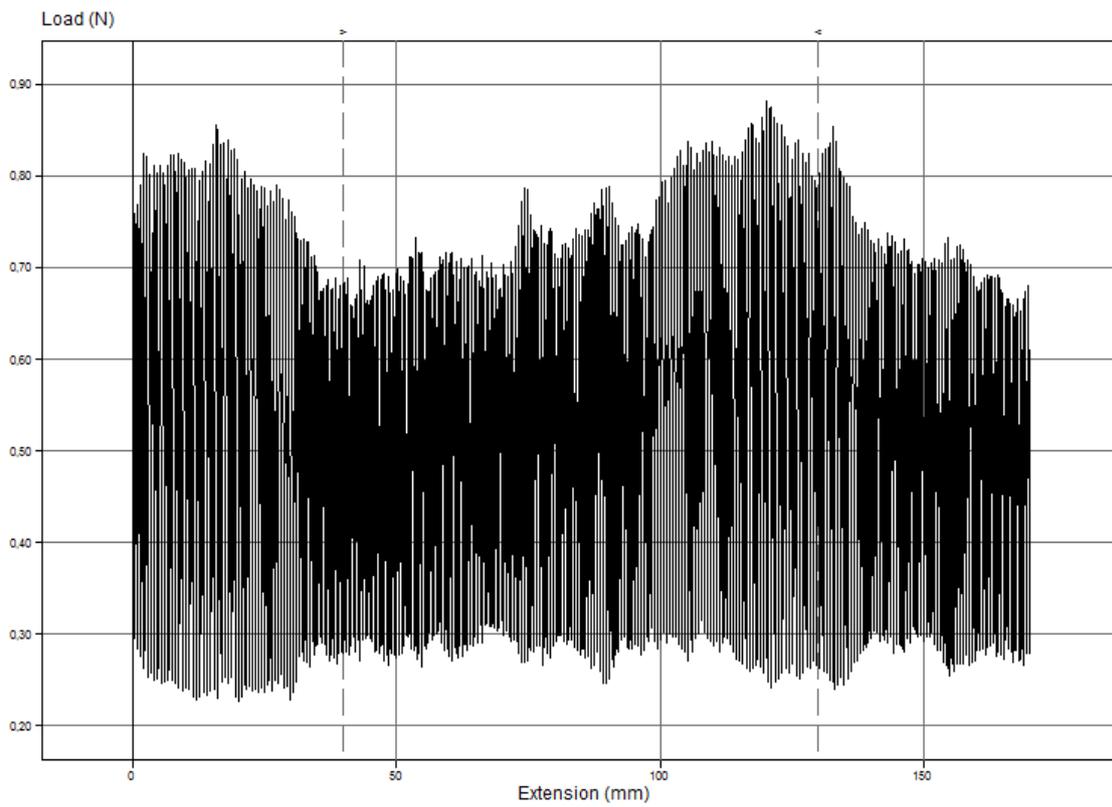


Figura A.6 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face exterior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco.

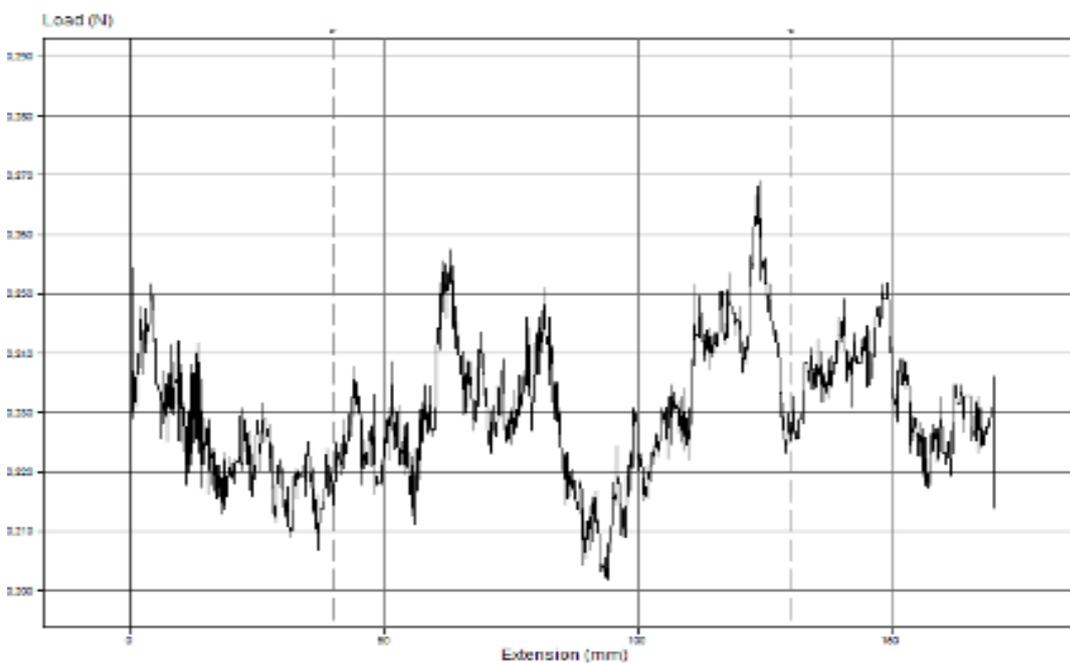


Figura A.7 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face interior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco

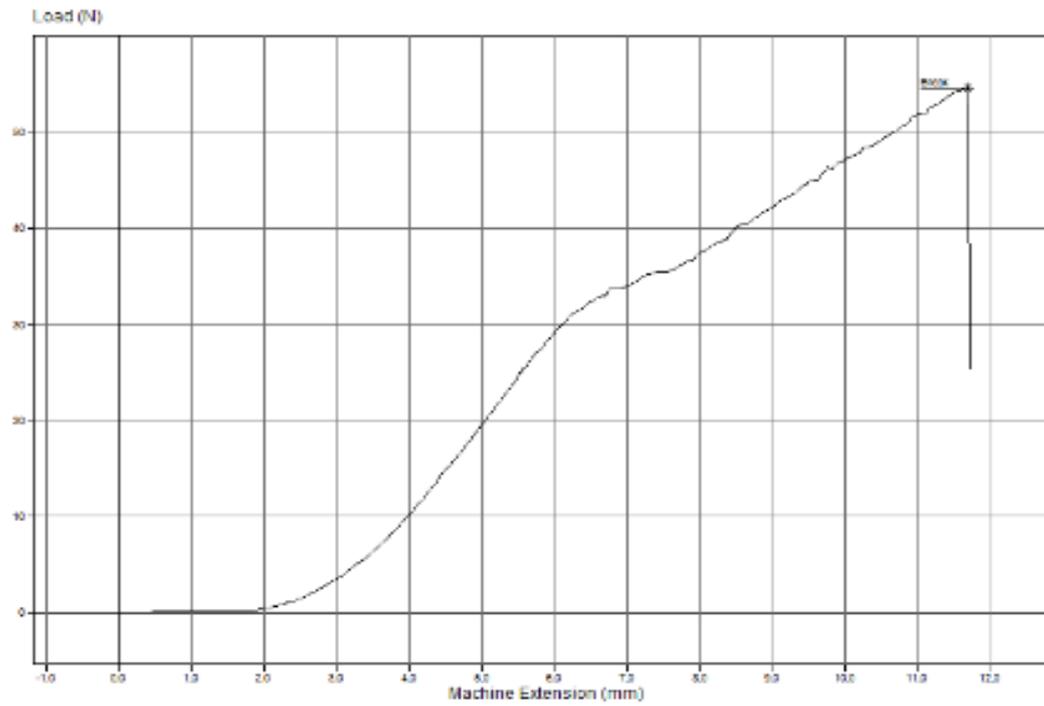


Figura A.8 - Gráfico obtido do ensaio de perfuração dado pela força em função do deslocamento.

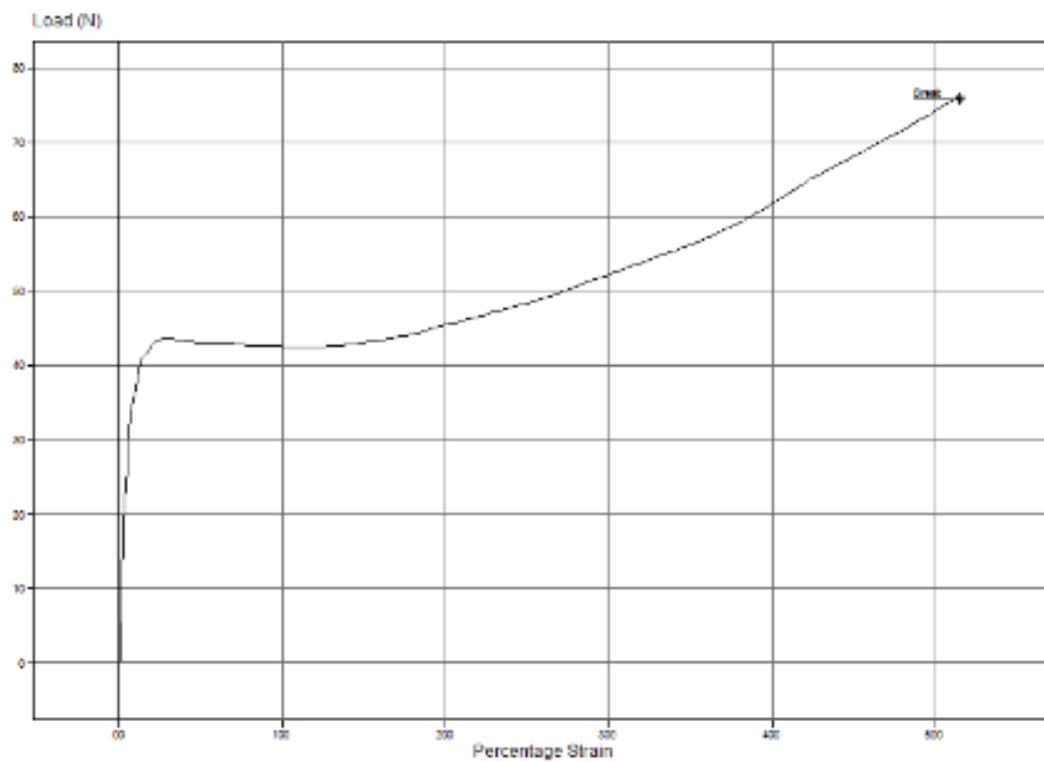


Figura A.9 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido da extrusão.

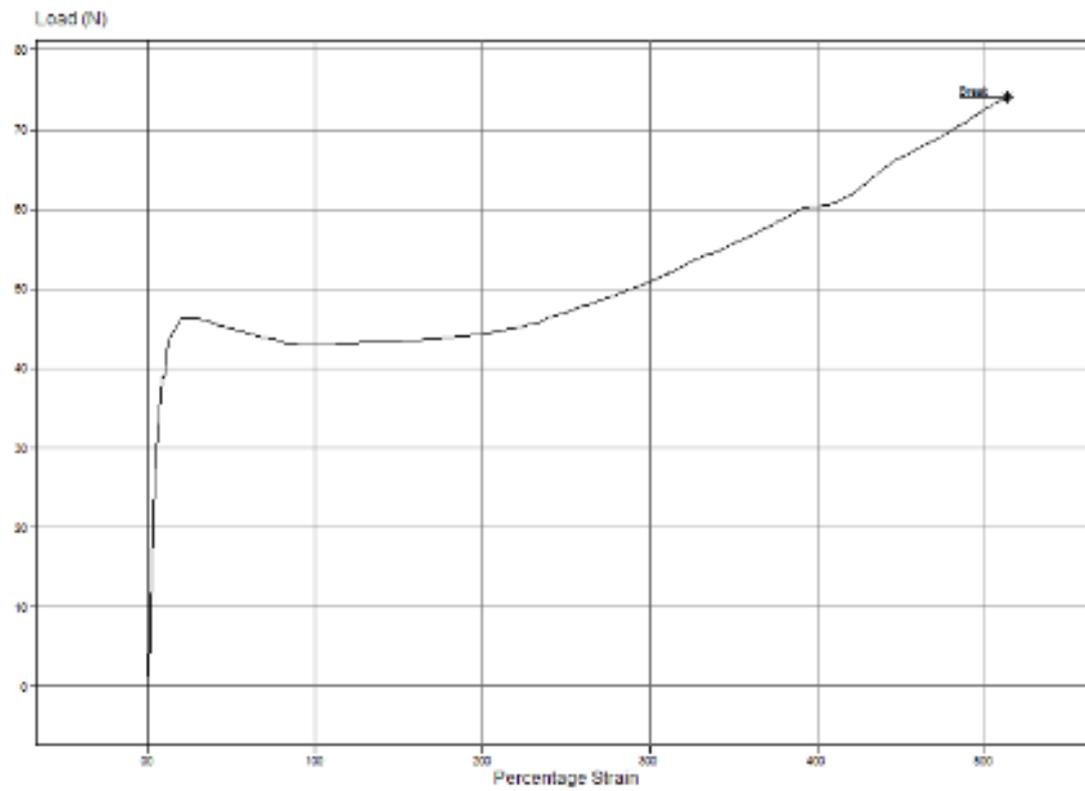


Figura A.10 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido transversal da extrusão.

## Embalagens para molhos

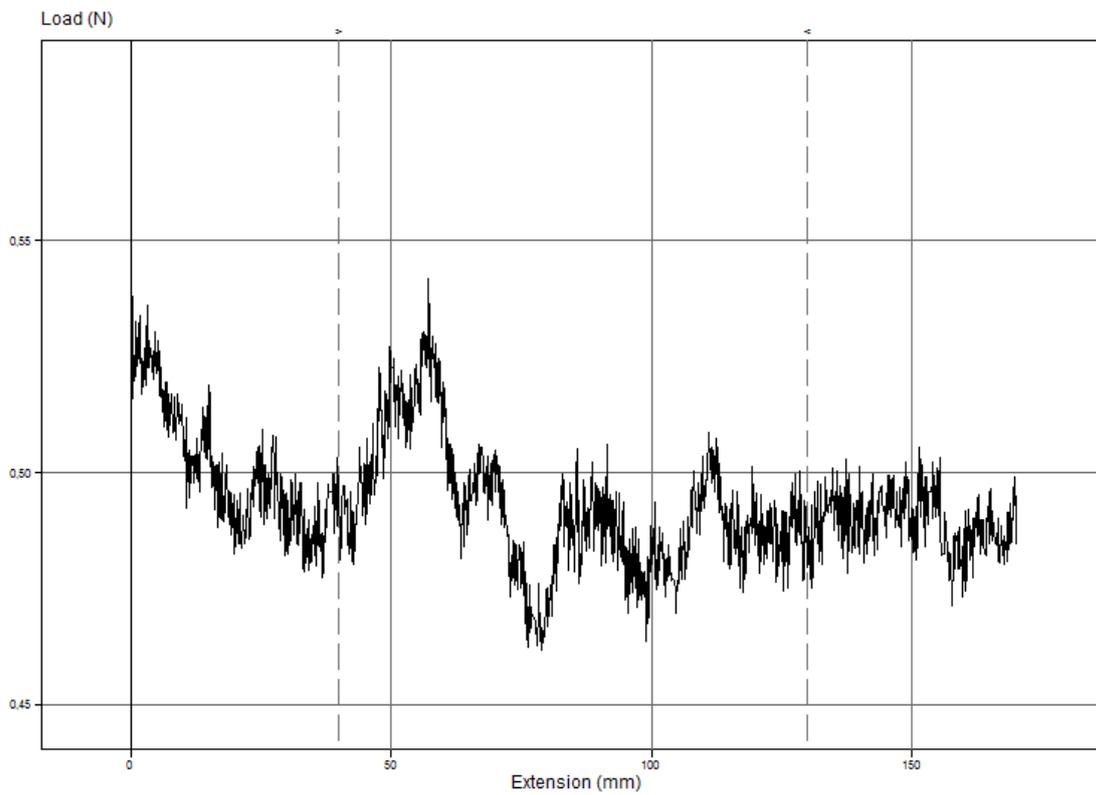


Figura A.11 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face exterior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco.

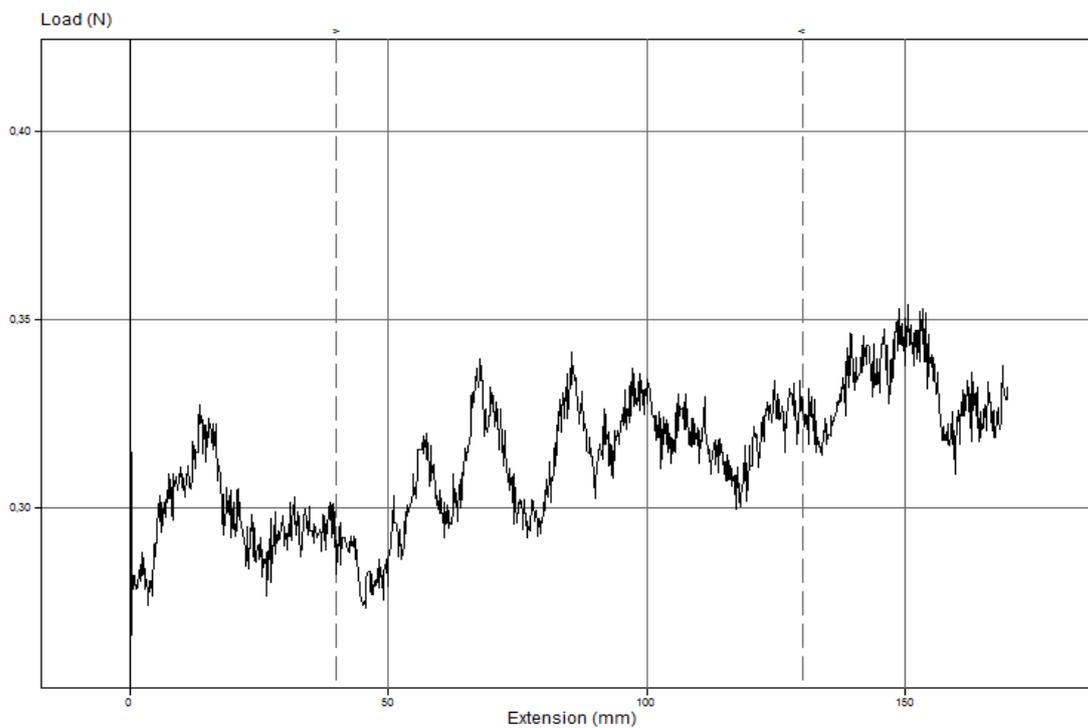


Figura A.12 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face interior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco

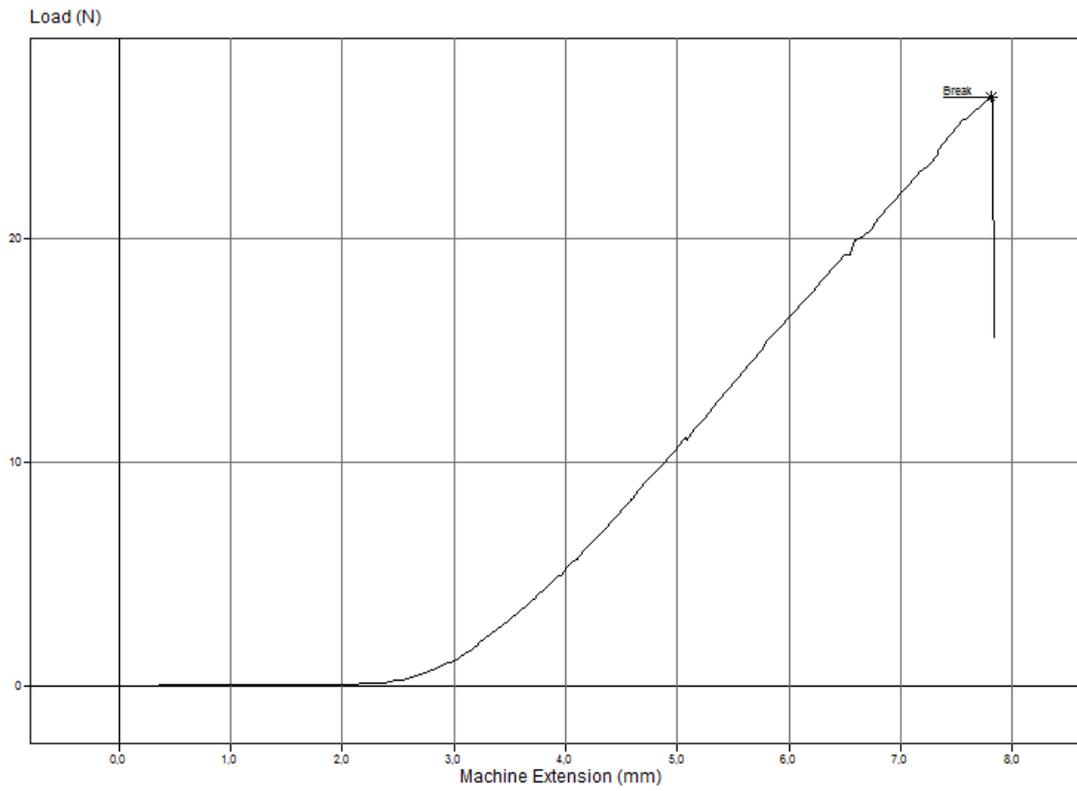


Figura A.13 - Gráfico obtido do ensaio de perfuração dado pela força em função do deslocamento.

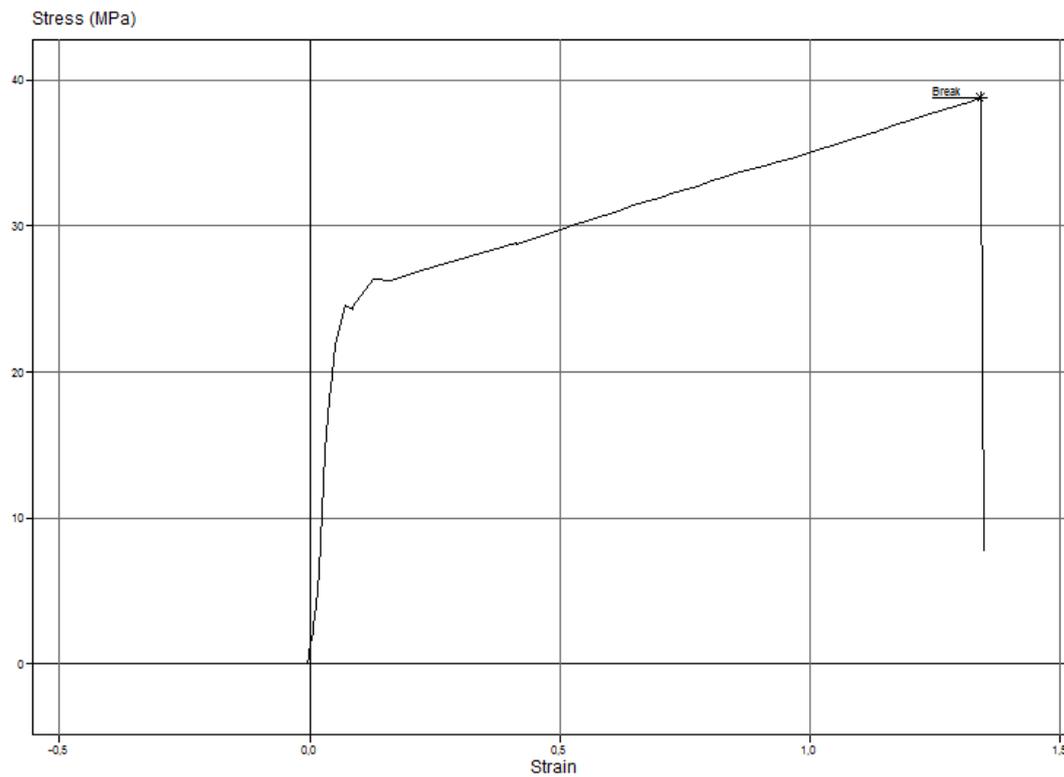


Figura A.14 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido da extrusão.

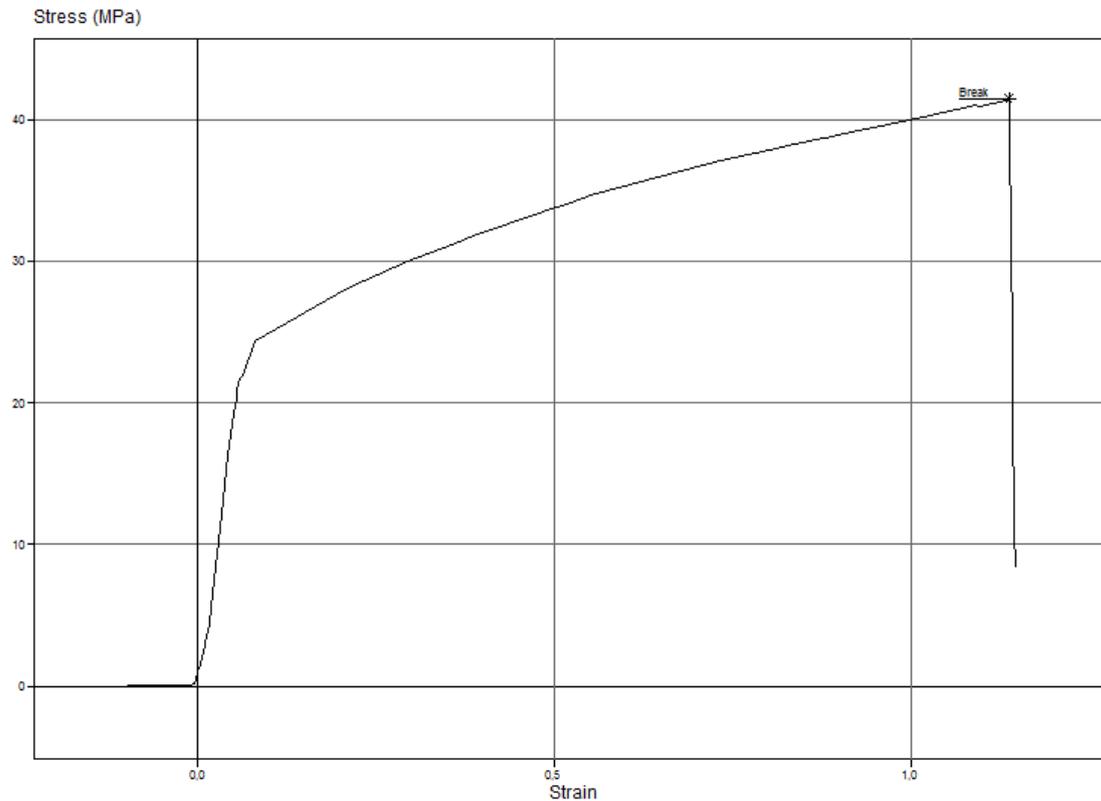


Figura A.15 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido transversal da extrusão.

## Embalagens para carnes

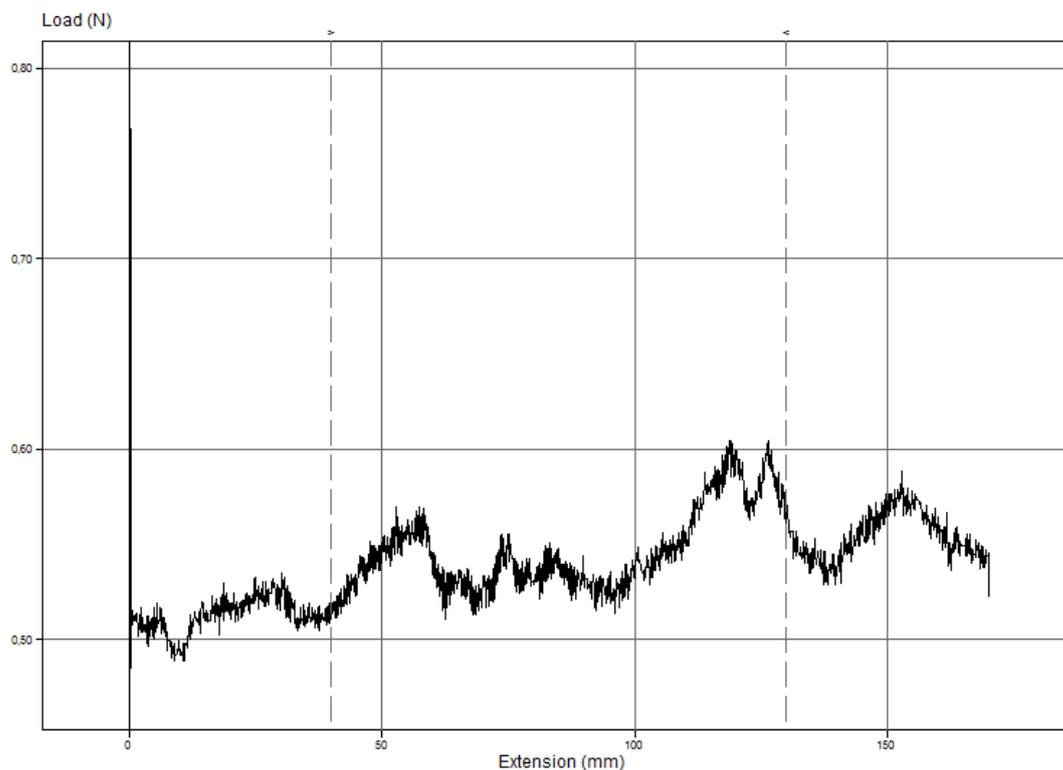


Figura A.17 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face exterior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco.

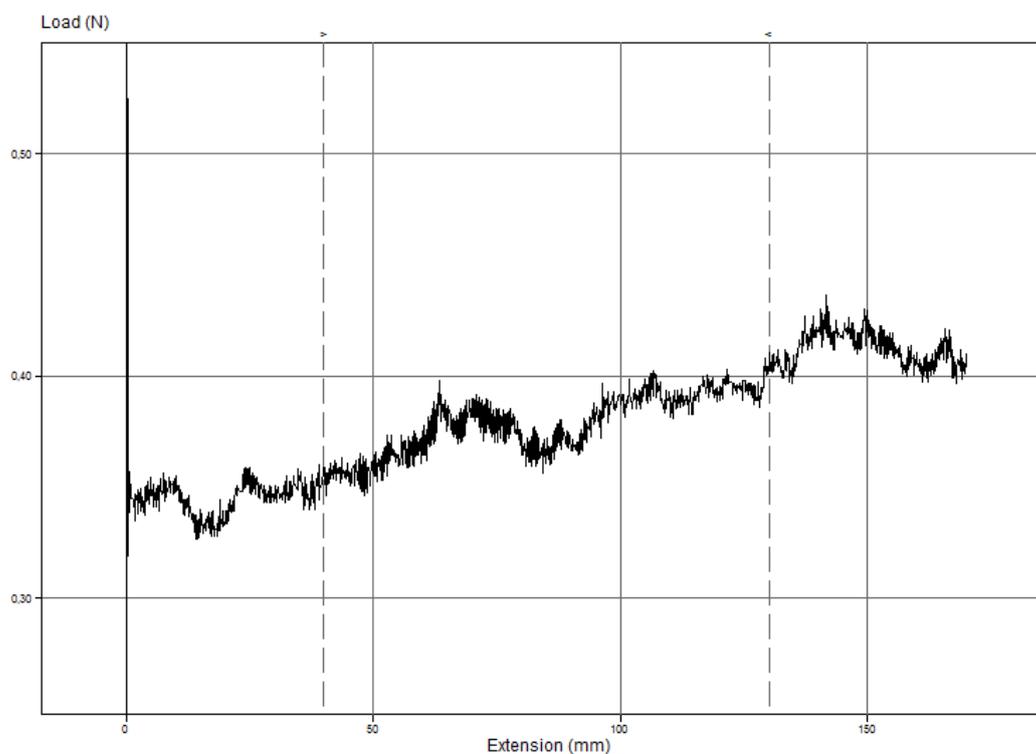


Figura A.18 - Gráfico obtido do ensaio de determinação do coeficiente de atrito, realizado na face interior, dado pela força aplicada em função do deslocamento do bloco

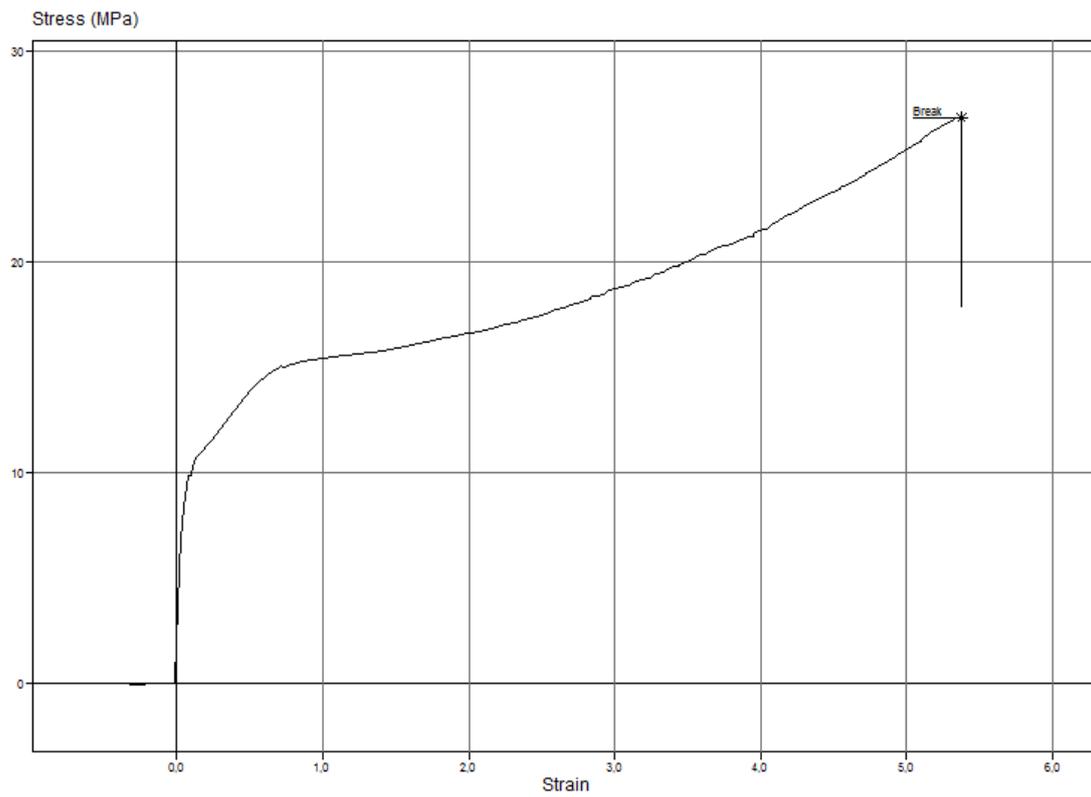


Figura A.18 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido da extrusão.

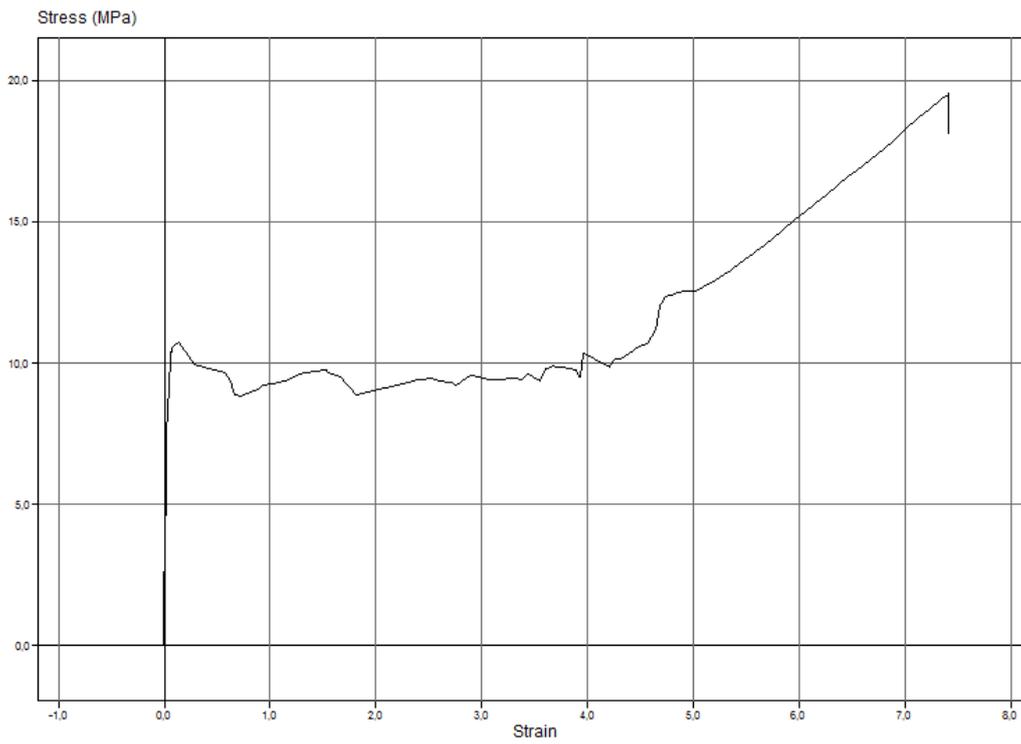


Figura A.19 - Gráfico obtido do ensaio de resistência à tração dado pela tensão em função do alongamento, no sentido transversal da extrusão