

Aplicação de revestimentos comestíveis, suplementados com macroalgas e plantas halófitas, em filetes de sarda (Scomber scombrus) para redução do teor de gordura em processos de fritura

Catarina Ferreira Pinto Duarte Freire

Aplicação de revestimentos comestíveis, suplementados com macroalgas e plantas halófitas, em filetes de sarda (Scomber scombrus) para redução do teor de gordura em processos de fritura

Catarina Ferreira Pinto Duarte Freire

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Biotecnologia dos Recursos Marinhos

Dissertação realizada sob a orientação da Professora Doutora Carla Sofia Ramos Tecelão, da Professora Doutora Marta Maria de Melo Lopes Neves e da Professora Doutora Susana Filipa de Jesus Silva

2022

Título: Aplicação de revestimentos comestíveis, suplementados com macroalgas e plantas halófitas, em filetes de sarda (*Scomber scombrus*) para redução do teor de gordura em processos de fritura

Copyright© Catarina Ferreira Pinto Duarte Freire

Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar – Peniche

Instituto Politécnico de Leiria

2022

Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar e o Politécnico de Leiria têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação/relatório de estágio através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

O pescado é recomendado no âmbito de uma alimentação saudável pois fornece nutrientes importantes, nomeadamente, ácidos gordos essenciais que são particularmente abundantes em peixes com elevado teor de gordura, como a sarda. A fritura constitui um dos modos de confeção mais apreciados pelo consumidor devido às propriedades sensoriais que confere aos alimentos, em particular, textura crocante, crosta dourada e sabor agradável. No entanto, os alimentos fritos apresentam um elevado teor em gordura, com consequente aumento do seu valor calórico, o que constitui um dos problemas associados ao seu consumo. O trabalho desenvolvido na presente dissertação teve como objetivo desenvolver revestimentos comestíveis para aplicação em filetes de sarda (*Scomber scombrus*) pré fritura, com o intuito de: (i) reduzir a absorção de gordura proveniente do óleo, (ii) minimizar a perda de água, preservando a suculência do peixe frito e (iii) preservar a qualidade da gordura do peixe, reduzindo a sua oxidação. Para o efeito, prepararam-se revestimentos à base de alginato ou de carragenina suplementados com extratos da macroalga *Pelvetia canaliculata* ou com extratos da planta halófito *Carpobrotus edulis* (chorão-das-praias) como fonte de compostos antioxidantes. A atividade antioxidante dos revestimentos foi avaliada pelo teor de fenóis totais e pelo método de DPPH. Os filetes pós fritura foram caracterizados no que respeita à cor, à textura, teor de humidade e cinza, atividade da água, teor lipídico, índice de TBA e perfil em ácidos gordos. Os filetes fritos com revestimentos suplementados com *C. edulis*, em particular os de alginato, revelaram-se os mais eficientes quer na redução da absorção de óleo como na perda de água, obtendo uma redução de cerca de 30% na absorção de gordura, permitindo obter filetes suculentos e com menor teor lipídico. Não foram observadas diferenças significativas na textura e cor dos filetes, comparativamente à amostra controlo (peixe frito sem revestimento), bem como no índice de ácido tiobarbitúrico apresentando valores entre os 0,05 e 0,4 mg MA/Kg, o que indicou uma preservação da qualidade da gordura do peixe.

Palavras-chave: *Carpobrotus edulis*; Fritura; *Pelvetia canaliculata*; Revestimentos comestíveis; Sarda.

Abstract

Fish is recommended as part of a healthy diet because it provides important nutrients, namely essential fatty acids that are particularly abundant in high-fat fish such as mackerel. Frying is one of the most appreciated modes of confection by the consumer due to the sensory properties that gives food crispy texture, golden crust, and pleasant taste. However, fried foods have a high fat content, with consequent increase in their caloric value, which is one of the problems associated with their consumption. The work developed in this dissertation aimed to develop edible coatings for application in pre-frying Atlantic mackerel fillets (*Scomber scombrus*), with the aim of: (i) reducing the absorption of fat from the oil, (ii) minimizing water loss, preserving the succulence of fried fish and (iii) preserving the quality of fish fat, reducing its oxidation. For this purpose, coatings based on alginate or carrageenan were prepared with extracts of the macroalgae *Pelvetia canaliculata* or with extracts of the halide plant *Carpobrotus edulis* as a source of antioxidant compounds. The antioxidant activity of the coatings was evaluated by the total phenol content and the DPPH method. The post frying fillets were characterized regarding color, texture, moisture and ash content, water activity, lipid content, TBA index and fatty acid profile. The fried fillets with coatings supplemented with *C. edulis*, particularly those made of alginate, proved to be the most efficient both in reducing oil absorption, showing a reduction of 30% and in water loss, allowed to obtain juicy fillets with lower lipid content. No significant differences were observed in the texture and color of the fillets, compared to the control sample (fried fish without coating), as well as in the thiobarbituric acid index, results being between 0,05 and 0,4 mg MA/Kg, which indicted a preservation of the quality of fish fat.

Keywords: Atlantic mackerel; *Carpobrotus edulis*; edible coatings; Frying process; *Pelvetia canaliculata*.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	1
2. Revisão da literatura.....	3
2.1 Peixe: valor nutricional e consumo.....	3
2.1.1 A sarda.....	5
2.2 A congelação como método de conservação de pescado.....	7
2.3 Reações de degradação em pescado: a oxidação.....	9
2.4 A Fritura: uma técnica de confeção de pescado.....	9
2.5 Revestimentos alimentares.....	11
2.6 Algas e plantas comestíveis na alimentação.....	14
3. Materiais e métodos.....	17
3.1 Recolha e preparação da matéria-prima.....	17
3.2 Preparação dos extratos.....	17
3.3 Otimização das formulações para preparação de revestimentos comestíveis.....	18
3.4 Avaliação da atividade antioxidante dos revestimentos comestíveis.....	20
3.4.1 Quantificação de fenóis totais.....	20
3.4.2 Capacidade de redução do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo.....	21
3.5 Condições de aplicação dos revestimentos nos filetes de sarda.....	21
3.6 Processo de fritura.....	22
3.7 Caracterização dos filetes de sarda após fritura.....	22
3.7.1 Avaliação de cor.....	22
3.7.2 Avaliação de atributos texturais.....	24
3.7.3 Teor de humidade e cinza.....	24
3.7.4 Atividade da água (a_w).....	25

3.7.5 Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA).....	25
3.7.6 Determinação do teor de lípidos totais.....	27
3.8 Tratamento estatístico de dados	29
4. Resultados e discussão	30
4.1 Atividade antioxidante das soluções de revestimento.....	30
4.2 Formulação de revestimentos	32
4.2.1 Alginato de sódio e carragenina	32
4.3 Caracterização de filetes de <i>Scomber scombrus</i>	34
4.3.1 Avaliação de cor.....	34
4.3.2 Atributos texturais	39
4.3.3 Teor de humidade, cinza e a_w	43
4.3.4 Determinação do teor lipídico total.....	45
4.3.5 Determinação de TBA.....	46
4.3.6 Determinação e caracterização do perfil de ácidos gordos	48
4.3.7 Análise de Componentes principais das amostras de filetes de sarda.....	50
5. Considerações finais e perspectivas futuras.....	52
6. Bibliografia.....	53

Índice de figuras

Figura 1 - Desenho experimental.....	2
Figura 2 - Consumo de pescado na Europa. Fonte: EUMOFA (2021).	4
Figura 3 - Distribuição de <i>Scomber scombrus</i> . Retirado de AquaMaps (2019, outubro) https://www.aquamaps.org	5
Figura 4 - Esquema de cadeia de congelação desde a captura até ao consumidor (Nielsen & Jessen, 2007).....	7
Figura 5 - Representação gráfica do espaço de cor CIELab (retirado de https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/).....	23
Figura 6 - Avaliação da capacidade antioxidante dos revestimentos suplementados com extratos de <i>P. canaliculata</i> e <i>C. edulis</i> , pelo método de sequestro de radicais de DPPH, expressos em Eq Trolox ($\mu\text{g/mL}$ de revestimento).	30
Figura 7 - Compostos fenólicos presentes nos revestimentos suplementados com extratos de <i>P. canaliculata</i> e <i>C. edulis</i> , expressos em Eq de AG (mg ácido gálico/ mL de revestimento).	31
Figura 8 - Pré-ensaios para testar a aderência dos revestimentos no pescado.....	33
Figura 9 - Curva de congelação das amostras em estudo (Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) versus tempo (min)).	34
Figura 10 – Parâmetros registados pelo colorímetro: L^* , a^* e b^* dos filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de <i>P. canaliculata</i> , AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de <i>C. edulis</i> , Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>P. canaliculata</i> , CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>C. edulis</i>).....	35
Figura 11 - Diferença Total de Cor (TCD) entre filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de <i>P. canaliculata</i> , AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de <i>C. edulis</i> , Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>P. canaliculata</i> , CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>C. edulis</i>).....	37

Figura 12 - Filetes Fritos: a. Filete Fresco; b. Filete revestido com alginato 2%; c. Filete revestido com alginato 2% e extrato de <i>C. edulis</i> ; d. Filete revestido com alginato 2% e extrato de <i>Pelvetia canaliculata</i> ; e. Filete revestido com carragenina 1%; f. Filete revestido com carragenina 1% e extrato de <i>Carpobrotus edulis</i> ; g. Filete revestido com carragenina e extrato de <i>Pelvetia canaliculata</i> ; h. Filete Controlo.	38
Figura 13 - Filetes congelados: a. revestido com carragenina 1%; b. revestido com carragenina e extrato de <i>Pelvetia canaliculata</i>	38
Figura 14 - Avaliação do parâmetro de textura relativo à distancia até falha, expresso em mm. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos.....	39
Figura 15 - Avaliação do trabalho de corte, correspondente à força necessária aplicada por milímetro ao longo do tempo (N/mm.seg). Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos de filetes de sarda.	40
Figura 16 - Avaliação da força de corte, sendo a força aplicada por milímetro. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos de filetes de sarda.....	42
Figura 17 - Teor de humidade das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes.	43
Figura 18 - Correlação entre teor de humidade, representado pelas esferas, e a atividade da água (a_w), representada pela barras dos grupos de filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de <i>P. canaliculata</i> , AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de <i>C. edulis</i> , Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>P. canaliculata</i> , CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de <i>C. edulis</i>), Fr: filetes frescos, FrC: filetes frescos congelados).	44
Figura 19 - Teor de cinza das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos.	45

Figura 20 - Teor de lípidos totais das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes. 46

Figura 21 - Índice de TBA das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em mg de malonaldeído por kg de amostra. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes. 47

Figura 22 - Diagrama da análise PCA dos dados obtidos para grupos de amostragem a partir das análises (vectores) de teor lípidico, teor de humidade e cinza e ainda a presença de ácidos gordos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e poliinsaturados (PUFA). (Alg: revestimento de alginato 2%, Alg-P: revestimento de alginato suplementados com extrato de *P. canaliculata*, Alg-C: revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, Car: revestimento de carragenina 1%, Car-P: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *P. canaliculata*, Car-C: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *C. edulis*). 51

Índice de tabelas

Tabela 1 - Perfil nutricional da sarda (INSA, 2022)	6
Tabela 2 - Formulação de revestimentos comestíveis.....	20
Tabela 3 - Designação dos grupos de amostragem e respectivas abreviaturas.....	22
Tabela 4 - Classificação de diferença total de cor (DrLange, 1994).....	24
Tabela 5 - Quantidade média (%)/(μg/mg) de ácidos gordos presentes em cada grupo de amostragem.	49

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A presente dissertação enquadra-se no projeto Oceans2Oils, financiado pelo Fundo Azul – Direção-Geral de Política do Mar, que pretende explorar as potencialidades das macroalgas como fonte de compostos de alto valor, em particular de antioxidantes, com o intuito de minimizar alguns constrangimentos associados à utilização de óleos alimentares. Uma das linhas de investigação do projeto, onde se insere este trabalho, pretende desenvolver revestimentos comestíveis ricos em antioxidantes, que constituam uma barreira às transferências de massa que ocorrem entre o óleo e o alimento, minimizando os processos de oxidação que ocorrem durante a fritura.

1.2 Objetivos

O objetivo deste estudo centra-se na aplicação de revestimentos comestíveis suplementados com extratos de *Pelvetia canaliculata* ou de *Carpobrotus edulis*, em filetes de sarda (*Scomber scombrus*) com o intuito de reduzir a absorção de gordura e minimizar a oxidação em processos de fritura. Para o efeito, foram analisados vários parâmetros físico-químicos nos filetes fritos de acordo com o desenho experimental apresentado na Figura 1.

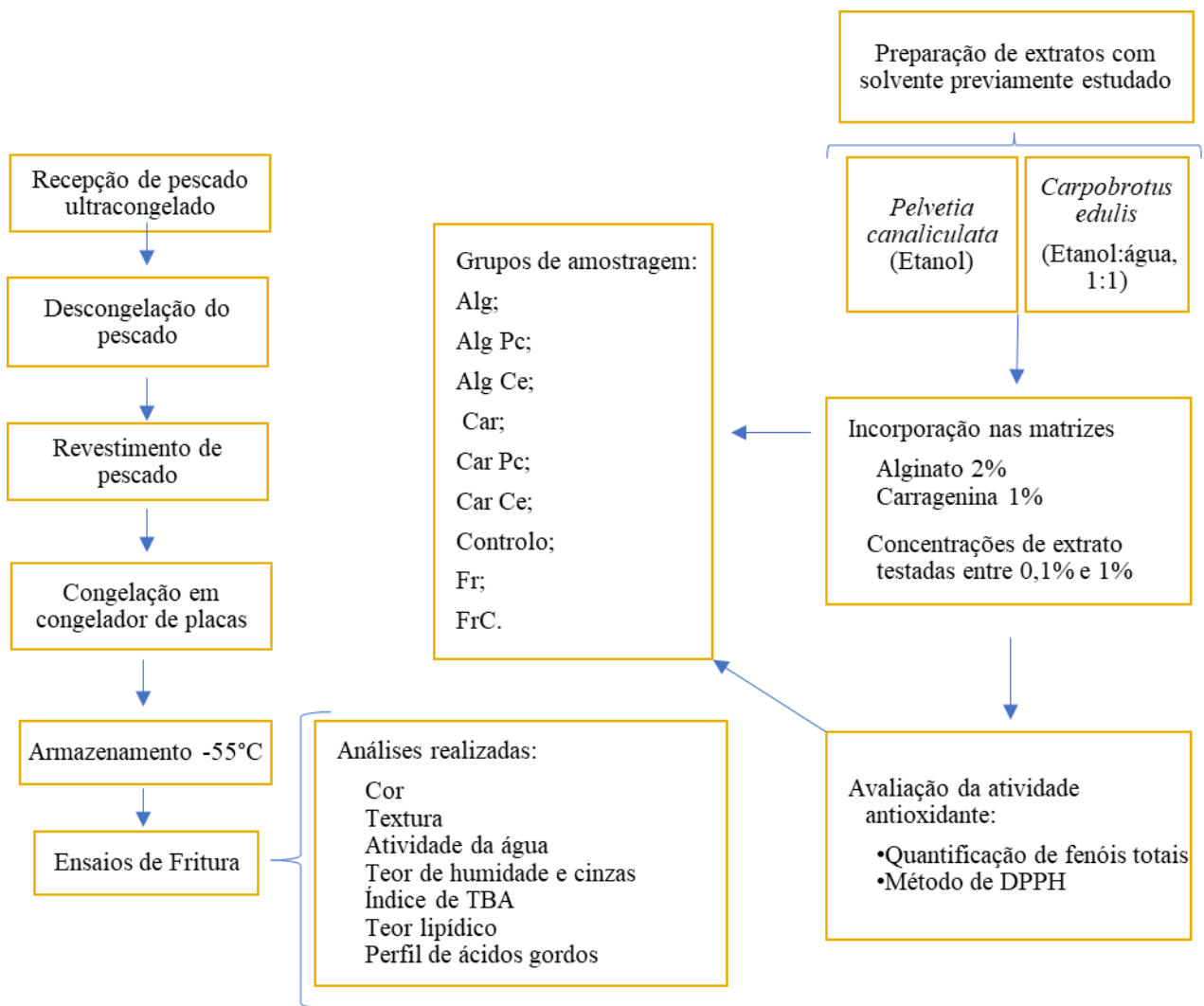


Figura 1 - Desenho experimental.

2. Revisão da literatura

2.1 Peixe: valor nutricional e consumo

A adoção de hábitos de alimentação saudável contribui para a redução ativa dos níveis de mortalidade, devido a um menor risco de exposição a doenças cardiovasculares, cancro, obesidade e processos de inflamação (Zampelas *et al.*, 2005). Dentro da variedade de alimentos que estão englobados numa dieta saudável, o peixe destaca-se pela diversidade de compostos de alto valor biológico que advém do seu consumo (J. Chen *et al.*, 2022). O peixe é uma fonte importante de energia, proteínas de qualidade, ácidos gordos polinsaturados, vitaminas (A, B12, D e E) e minerais (Gil & Gil, 2015), correspondendo a cerca de 17% do consumo de proteína animal a nível mundial e até 50% em populações costeiras (Almeida *et al.*, 2015; Bennett *et al.*, 2021; J. Chen *et al.*, 2022).

Os lípidos são nutrientes importantes no peixe, que podem ser classificado de acordo com o seu conteúdo lipídico, em (Gil & Gil, 2015):

- até 2,5% de gordura corresponde a peixe magro (famílias Gadidae e Pleuronectidae, por exemplo, bacalhau e solha)
- entre 2,5% e 6% de gordura remete a peixe com teor médio de gordura (maioritariamente, as famílias Merlucciidae e Phycidae, por exemplo, robalo e perca de mar)
- entre 6% a 25% de gordura corresponde a peixe com teor de gordura elevado (nomeadamente as famílias Cupleidae, Engraulidae, Scombridae e Salmonidae, por exemplo, anchova, arenque, sardinha, cavala, sarda, atum e salmão).

O peixe é uma fonte importante de ácidos gordos polinsaturados (AGPI/PUFA) que desempenham um papel relevante no crescimento e desenvolvimento das crianças. O consumo adequado de AGPI ómega-3 durante a gravidez e após o nascimento é essencial para o desenvolvimento do sistema nervoso central e do cérebro (Domingo & L Domingo, 2014). A FAO estima que o consumo mundial de peixe em 2020 foi de apenas 20,5 Kg/per capita (FAO, 2020). A nível europeu o consumo de pescado variou entre 4,8 Kg/per capita

por ano na Hungria e 56,9 Kg em Portugal. Isto é suportado pela informação contida na Figura 2, onde são reportados os dados de 2019 (EUMOFA, 2021).

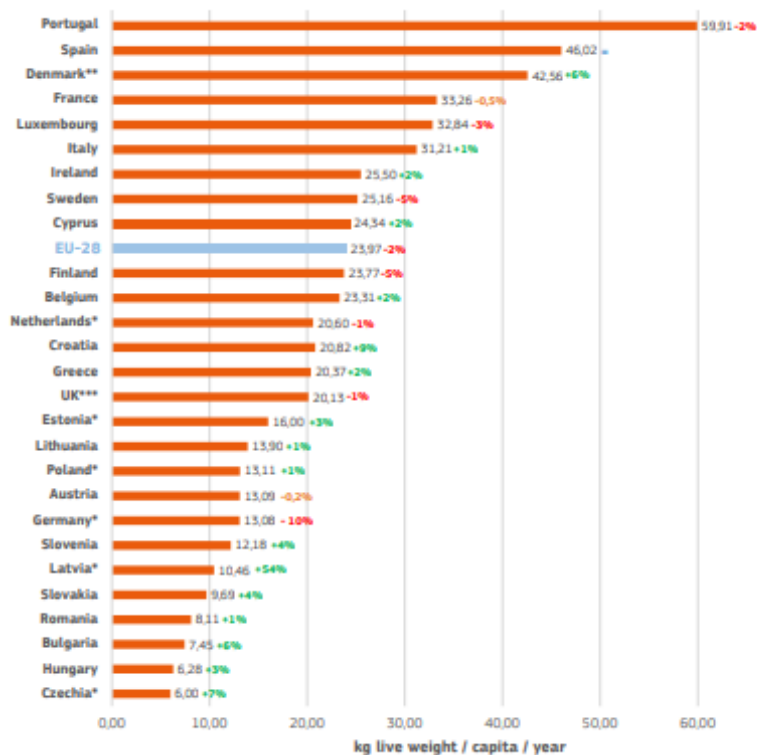


Figura 2 - Consumo de peixe na Europa. Fonte: EUMOFA (2021).

As espécies de peixe consumidas são obtidas a partir da pesca e, mais recentemente, da aquacultura, que procura reproduzir e cultivar peixe em cativeiro. A aquacultura aumentou a um ritmo estável nos últimos 30 anos, culminando no aumento da produção global em 527% de 1990 a 2018, tendo atingido o máximo de 114,5 milhões de toneladas em peso vivo, representando 62,5% da produção mundial de peixe para a alimentação (FAO, 2020).

As espécies mais capturadas mundialmente, de acordo com dados da FAO referentes ao ano de 2020, são *Engraulis ringens* (anchoveta peruana), *Gadus chalcogrammus* (espécie bastante apanhada ao redor do Alasca) e *Katsuwonus pelamis* (denominado bonito), encontrando-se a sarda (*Scomber scombrus*) na posição 12 desta lista. A nível europeu o atum (em conserva) é o peixe mais consumido, seguido do bacalhau e do salmão (EUMOFA & EU Fish Market, 2019). Em Portugal, de acordo com Marques *et al.* (2019), entre as

espécies de pescado mais consumido estão o bacalhau do Atlântico (*Gadus morhua*), o peixe gato (*Pangasius hypophthalmus*) e a sardinha (*Sardina pilchardus*) e de acordo com Almeida *et al.* (2015), Portugal é o terceiro país a nível mundial com maior consumo de proteína animal marinha per capita.

2.1.1 A sarda

A sarda pertence à família Scombridae e género *Scomber*, sendo a sua espécie *Scomber scombrus* (WoRMS - *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758). É um pequeno peixe pelágico, tipicamente encontrado em grandes cardumes, abundante nas costas do Atlântico Norte, tal como apresentado na Figura 3 (Lockwood, 1988). A sua distribuição é influenciada por vários fatores como a temperatura, abundância de zooplâncton e de razão alimento/presa (Özalp Özen & Soyer, 2018). A sarda é de fácil identificação devido às marcas escuras quase verticais no seu dorso, contrastando com o ventre de cor uniforme e clara, assumindo tons de prata. Tem um total de 8 a 14 espinhas dorsais, 113 raios moles dorsais e 31 vertebrae (Collette & Nauen, 1983).

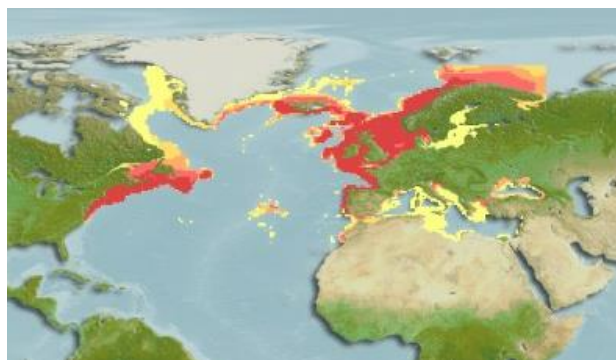


Figura 3 - Distribuição de *Scomber scombrus*. Retirado de AquaMaps (2019, outubro) <https://www.aquamaps.org>.

A sarda é classificada como peixe com teor de gordura elevado, sendo rica em ácidos gordos monoinsaturados e poliinsaturados (AGPI) ómega-3 e ómega-6 (Tabela 1). É uma fonte de ácidos gordos essenciais que, por não serem sintetizados pelo organismo, devem fazer parte de uma dieta saudável, como o ácido alfa-linoleico (18:3n-3) e o ácido linoleico (18:2n-6).

A presença dos ácidos gordos docosa-hexaenóico (DHA, 22:6n-3) e eicosapentaenóico (EPA, 20:5n-3) é também considerável neste peixe (Ferreira *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Perfil nutricional da sarda (INSA, 2022)

Composição nutricional (por 100 g de parte edível)	
Energia	181 kcal
Lípidos totais	11,7 g
Hidratos de Carbono	0,0 g
Açúcares	0,0 g
Proteínas	19 g
Ácidos gordos saturados	3,1 g
Ácidos gordos monoinsaturados	3,8 g
Ácidos gordos polinsaturados	3,5 g
Ácidos gordos trans	0,3 g
Ácido linoleico	0,2 g

A sarda é um peixe extensamente capturado, encontrando-se entre os maiores grupos de peixes pelágicos no mercado europeu, tanto em abundância como em valor comercial (Cropotova *et al.*, 2019). No entanto, é bastante suscetível a reações oxidativas, devido ao seu elevado teor em ácidos gordos mono e polinsaturados (Tabela 1), que reduzem o seu tempo de prateleira. As enzimas proteolíticas endógenas promovem a degradação de proteínas do músculo do peixe levando à perda de qualidade durante o seu armazenamento.

Consequentemente, a maioria da sarda destina-se à indústria de transformação para alimentação animal (farinhas de peixe) (Aubourg *et al.*, 2013). O desenvolvimento de um método adequado de conservação da sarda, revela-se de extrema importância no aumento do seu tempo de prateleira e do seu valor comercial (Cropotova *et al.*, 2019), assim o uso de

antioxidantes no processo de armazenamento revela-se uma opção viável na preservação da gordura do peixe (Özalp Özen & Soyer, 2018).

2.2 A congelação como método de conservação de pescado

Atualmente, a maioria do pescado capturado é conservado refrigerado ou congelado até chegar aos pontos de indústria onde é processado, dependendo de onde ocorreu a pesca e quanto tempo demora a embarcação a chegar a terra (Figura 4). As condições de refrigeração definem a qualidade do pescado fresco, enquanto o pescado congelado é avaliado pelas suas condições de descongelação e/ou armazenamento na fase de processamento (Sampels, 2015).

De acordo com Soares *et al.* (2016), define-se congelação de pescado como o método que promove a remoção de calor do corpo do peixe para reduzir a sua temperatura, geralmente abaixo dos -18°C . Nestas condições cerca de 80% da água presente no produto é transformada em gelo (Tolstorebrov *et al.*, 2016). Industrialmente, é bastante comum a aplicação da técnica de vidragem, onde uma camada de gelo é aplicada ao pescado, após a sua congelação, por procedimentos de pulverização ou imersão em banho de água (Nielsen & Jessen, 2007; Žoldoš *et al.*, 2011).

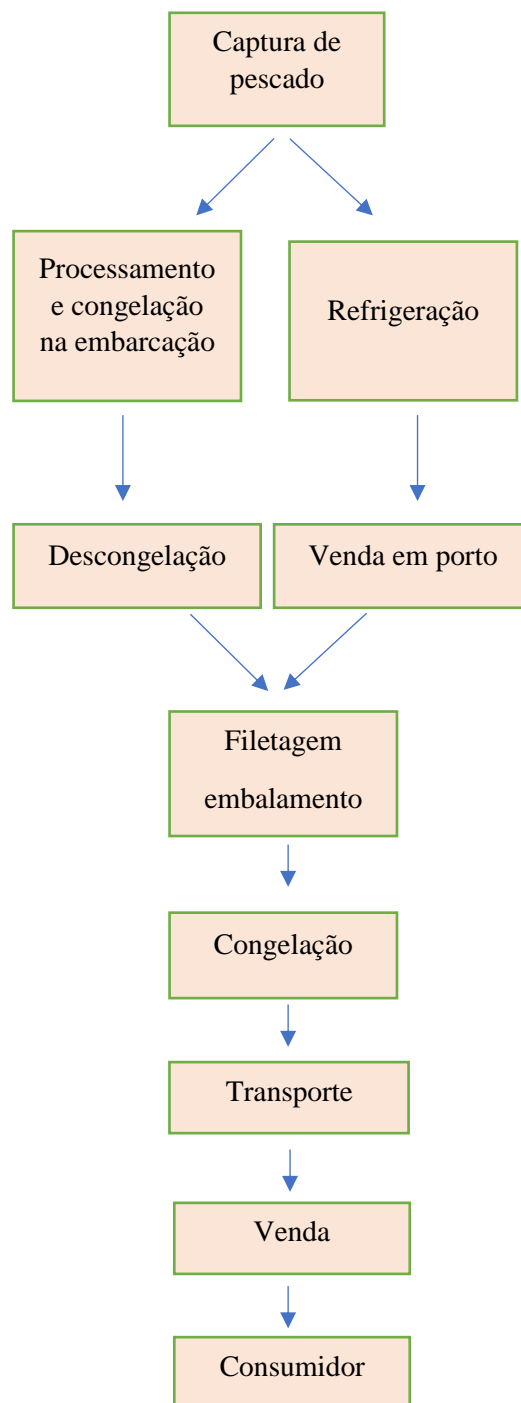


Figura 4 - Esquema de cadeia de congelação desde a captura até ao consumidor (Nielsen & Jessen, 2007).

Esta camada de gelo, reduz a exposição ao oxigénio e previne o contacto da superfície do pescado a variações de temperatura.

De acordo com Ghaly *et al.* (2010) os métodos industriais mais comuns de congelação abrangem:

- Túnel de congelação de ar – onde o alimento é congelado, ao longo de uma passadeira mecânica, por ar frio ventilado;
- Congelador de placas – o material é congelado entre duas placas refrigeradas;
- Congelação por imersão – ocorre a imersão direta do alimento num líquido frio;
- Congelação por nitrogénio líquido – pulverização de nitrogénio líquido a -196°C .

Uma das características mais influenciadas pelo tipo de congelação é o tamanho dos cristais de gelo (intra e extracelulares) que se formam durante o processo de congelação e a sua localização dentro do alimento. A taxa de congelação, ou seja, o tempo que demora até o produto congelar, é determinante uma vez que numa congelação rápida os cristais de gelo formados são pequenos e uniformes, causando pouco dano nas estruturas do peixe, como o músculo.

No entanto, numa congelação lenta (o equivalente ao congelador doméstico) os cristais de gelo formados são maiores e irregulares causando a parcial destruturação do músculo, levando à redução da qualidade do alimento (Sun *et al.*, 2019). Têm sido estudadas novas abordagens, como a congelação assistida magneticamente (*magnetically assisted freezing*), onde a aplicação de um campo magnético pode alterar as características de congelação da água devido à formação de mais pontes de hidrogénio, que conferem maior estabilidade na formação de cristais de gelo (Zhan *et al.*, 2017).

2.3 Reações de degradação em pescado: a oxidação

Fundamentalmente, o processo de oxidação lipídica está associado a duas classes de lípidos presentes nos músculos do peixe: triacilgliceróis, que constituem a maioria do conteúdo lipídico, e fosfolípidos presentes nas membranas celulares, representando cerca de 1% do peso total do músculo do pescado. Apesar dos fosfolípidos estarem presentes em menor quantidade, a sua superfície de contacto é bastante maior do que a dos triacilgliceróis para a ocorrência de reações de oxidação (Ashton, 2002). A oxidação em pescado é influenciada pela composição em ácidos gordos da sua gordura, em particular, ácidos gordos polinsaturados ómega-3 e ómega-6 (Zhan *et al.*, 2017).

A oxidação no pescado é promovida por vários fatores, em particular, o calor e a luz (Sampels, 2013). O processo de oxidação começa pela formação de compostos primários de oxidação, hidroperóxidos, dando lugar a reações em cadeia. Os hidroperóxidos decompõem-se com facilidade, quando sujeitos a temperaturas elevadas, e formam aldeídos, álcoois, ésteres e cetonas, como produtos secundários da oxidação. Os tipos mais comuns de oxidação são a auto-oxidação, oxidação fotossensível, oxidação enzimática e oxidação térmica, de acordo com Choe & Min (2009). O processo de oxidação interliga tanto lípidos como proteínas e leva à alteração da textura do alimento, capacidade de retenção de água, digestibilidade e suculência do pescado como reportado por Hematyar *et al.* (2019).

2.4 A Fritura: uma técnica de confeção de pescado

A fritura de alimentos é um método de confeção particularmente popular, por ser simples, rápido, e por conferir propriedades sensoriais apelativas ao consumidor. A fritura por imersão do alimento em óleo (*Deep frying*) ocorre a 180°C o que permite a sua rápida confeção, conferindo uma cor dourada e atrativa para o consumidor (Negara *et al.*, 2021). Neste processo, o óleo está em contacto direto com o alimento, como meio de transferência de calor, o que lhe proporciona características únicas, como uma superfície crocante, uma textura macia e suculenta no interior, um sabor e propriedades características (Liberty *et al.*, 2019).

Na fritura, o calor é transferido do óleo para o alimento por convecção, e para o seu interior por condução, permitindo que a água no interior do alimento chegue à temperatura de fervura, formando vapor. O óleo ao redor do alimento é arrefecido, apenas temporariamente. Assim que este retorna o aquecimento, começam a surgir bolhas de ar que chegam à superfície do óleo. Esta evaporação provoca a contração do alimento e a formação de poros e rugosidades na sua superfície (Liberty *et al.*, 2019). A presença de oxigênio, água e temperaturas elevadas no processo de fritura, desencadeiam reações, sendo as mais comuns a oxidação e polimerização, que tendem a baixar o valor nutricional do alimento cozinhado bem como do óleo alimentar (Negara *et al.*, 2021). Todas estas reações e transferências de massa e calor entre o óleo quente e o alimento causam também degradação no primeiro (Liu *et al.*, 2019).

A fritura por imersão aumenta o teor de gordura do alimento, alterando o seu perfil em ácidos gordos, o que pode acarretar consequências nefastas para a saúde do consumidor, em particular, pelo consumo de gordura saturada e gordura trans (Archana *et al.*, 2016). Vários fatores como a qualidade do óleo, a temperatura de fritura, o tempo de fritura e possíveis pré-tratamentos ao alimento influenciam as características do alimento frito (Kurek *et al.*, 2017).

Alguns produtos fritos podem ter até 50% do seu peso só em gordura e, claramente, muitos destes lípidos não estavam presentes no alimento até à sua confeção. No processo de fritura por imersão as batatas podem aumentar o seu teor lipídico em cerca de 14% e o peixe até cerca de 17%. Negara *et al.* (2021) relatam que o efeito de fritura, na composição nutricional de sarda é afetada, existindo uma alteração na qualidade das proteínas e na estabilidade dos ácidos gordos presentes no pescado.

Nos últimos anos têm sido procuradas estratégias para a redução de absorção de óleo por parte dos alimentos em processos de fritura. Assim, têm sido desenvolvidas estratégias que reduzam a absorção de óleo, em particular, a elaboração e formulação de revestimentos alimentares que protejam o alimento (García *et al.*, 2002).

2.5 Revestimentos alimentares

Filmes e revestimentos comestíveis são camadas finas de materiais aplicados em alimentos, com o intuito de assegurar a sua preservação e distribuição (Falguera *et al.*, 2011). Os revestimentos comestíveis em matrizes alimentares têm sido utilizados para a conservação de alimentos, como por exemplo: aplicação de ceras em frutas, revestimentos de chocolate em pastelaria e ainda filmes de lípidos em carnes de modo a controlar perdas de humidade (Pirozzi *et al.*, 2020). Atualmente os revestimentos comestíveis são aplicados numa camada fina para que a aparência do produto não seja alterada, para proteger o alimento de processos de deterioração, incluindo oxidação, reduzir a absorção de humidade, reduzir reações químicas e crescimento microbiano. Necessitam ainda de conferir boas características sensoriais e de não serem poluentes para o ambiente pois, de acordo com Stancu *et al.* (2022), o consumidor tem uma perceção positiva sobre produtos inovadores que possam atuar como estímulo ao consumo de peixe (Galus & Kadzińska, 2015; Pirozzi *et al.*, 2020; Salgado *et al.*, 2015).

Os revestimentos comestíveis podem englobar soluções líquidas e filmes para a aplicação em produtos alimentares, existindo diferenças notórias entre os dois. Soluções líquidas (ou revestimentos) representam o método de imersão numa solução líquida que contém biopolímeros. Contrariamente, filmes comestíveis são sistemas baseados na preparação de camadas finas secas que são depois utilizadas como invólucro em alimentos, podendo atuar como embalagem final (Falguera *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2013).

Os compostos presentes nos revestimentos são selecionados com base nas propriedades desejadas para a matriz alimentar, na sua disponibilidade e valor comercial, bem como nos atributos sensoriais que conferem ao produto final, para a aceitação por parte do consumidor (Silva-Weiss *et al.*, 2013). Os compostos mais comuns na formulação de revestimentos e filmes comestíveis são o quitosano, amido, celulose, alginato, carragenina, gelatinas, glúten, soro de leite, cera de abelhas e ácidos gordos (Valdés *et al.*, 2017).

As biomoléculas destes revestimentos podem ter características hidrofóbicas, que mostram propriedades de barreira contra a perda de humidade e hidrofílicas, que se concentram na sua eficácia com propriedades mecânicas. Os biopolímeros hidrofílicos podem também atuar como barreiras de gases (oxigénio e dióxido de carbono). Estes biopolímeros também adicionam um valor nutritivo, sendo que Gutiérrez (2017) descreveu vantagens como o efeito positivo na saúde cardiovascular, no desenvolvimento do sistema imunitário por conter anti-inflamatórios e ainda, em problemas gastrointestinais.

O alginato é um dos biopolímeros com maior interesse comercial por demonstrar eficiência na produção de filmes e revestimentos, devido às suas propriedades hidrocolóides, elevado valor nutricional e propriedades emulsificantes. Este é um polissacárido extraído de diversas espécies de macroalgas castanhas (Paixão *et al.*, 2019).

Yu *et al.* (2019) reportaram na sua revisão de literatura que o uso de filmes ou revestimentos de alginato ajudam a manter a qualidade de produtos do mar ao inibirem o crescimento de bactérias aeróbias, ajudando na conservação de água e diminuindo a velocidade das reações de oxidação.

No campo científico, são bastantes os autores, que dentro do nicho da biotecnologia alimentar e formulação de revestimentos, utilizam alginato de sódio como por exemplo Alexandre *et al.* (2021) em carne de vaca, Azarakhsh *et al.* (2014) em ananás fresco. É normalmente utilizado glicerol como plastificante na área alimentar e Tween 80, surfactante, também é utilizado em quantidades pequenas e neste caso, a adição destas substâncias aos revestimentos tiveram como propósito a melhoria de algumas qualidades como a viscosidade e a estabilidade da mistura com os extratos.

Vários autores denotaram que a oxidação lipídica e perdas de humidade no armazenamento de pescado congelado podem ser minoradas pela aplicação de revestimentos comestíveis, pois atuam como barreira contra a transferência de água e oxigénio, mantendo assim a qualidade do pescado e aumentando o seu tempo de prateleira (Rodríguez-Turienzo *et al.*,

2011; Soares *et al.*, 2013). Verificou-se a eficiência de revestimentos comestíveis de carragenina suplementados com óleos essenciais na diminuição do crescimento microbiano, preservando o perfil de ácidos gordos em filetes de truta refrigerados a 4°C (Maria Grazia Volpe *et al.*, 2019).

Revestimentos comestíveis podem ser preparados e aplicados de três formas diferentes; pulverização, imersão ou por espalhamento (Dhumal & Sarkar, 2018):

- Pulverização – utilizando métodos de pulverização tradicionais ou por "electro pulverização" onde é usado para um aparelho que emprega eletricidade para dispersar um líquido;
- Imersão – geralmente, utilizado em alimentos onde é necessário a aplicação de uma camada mais espessa; este método é utilizado de modo a melhorar a qualidade de propriedades físico-químicos;
- Espalhamento – aplicação do revestimento é feita pincelando o alimento com o revestimento.

Podem também ser utilizados outros compostos na formulação dos revestimentos que tragam benefícios ao alimento, quer sejam antioxidantes, antimicrobianos, ou alterem a cor e/ou sabor. A aplicação de aditivos pretende melhorar ou modificar a matriz de biopolímeros escolhida, entre os quais se destacam os plastificantes, agentes de reticulação, reforços como fibras para melhoria das propriedades mecânicas e emulsionantes para a estabilização dos revestimentos e melhoramento da sua adesão ao alimento (Salgado *et al.*, 2015).

Plastificantes são adicionados para a promoção de viscosidade e flexibilidade dos revestimentos reduzindo a sua fragilidade, prevenindo quebras durante o manuseamento e armazenamento de produtos alimentares. Estes promovem a mobilidade de moléculas dos biopolímeros, reduzindo ligações de hidrogénio entre cadeias de polímeros (Pirozzi *et al.*, 2020). Estudos confirmaram que o uso de plastificantes reduz a resistência a longo prazo de revestimentos, mas de acordo com o reportado por Paixão *et al.* (2019), a escolha do plastificante utilizado é baseada na compatibilidade deste com a matriz de biopolímeros. São exemplos destes aditivos o sorbitol, glicerol, polietilenoglicol, que contribuem para a

permeabilidade de água e conseqüentemente a suscetibilidade da matriz ao ambiente a que é exposta.

Emulsificantes, são também adicionados a formulações de revestimentos comestíveis para melhorar a adesão à superfície do alimento quando do uso de revestimentos hidrofílicos em alimentos hidrofóbicos, sendo que o contrário também se aplica. Um emulsificante bastante utilizado é a lecitina, um composto altamente estabilizante e emulsificante, sendo reconhecido como um componente seguro para o uso alimentar. No entanto existem outros, também bastante utilizados como os derivados de lecitina, monoacilgliceróis acetilados, monoestearato de glicerol e Tweens (ésteres de ácidos gordos e derivados de sorbitol) (Pirozzi *et al.*, 2020).

A adição de antioxidantes é também muito comum, pois tem um efeito redutor na oxidação lipídica, atuando por remoção de radicais livres. No entanto, a utilização de antioxidantes sintéticos na indústria alimentar, como o BHT e o BHA, tem revelado efeitos potencialmente cancerígenos para o consumidor, pelo que a aplicação de antioxidantes naturais tem suscitado interesse nos últimos anos. (Alexandre *et al.*, 2021).

2.6 Algas e plantas comestíveis na alimentação

As macroalgas compreendem três grupos taxonômicos: as algas verdes (pertencentes ao Filo Chlorophyta), as algas vermelhas (Filo Rhodophyta) e as algas castanhas (Filo Phaeophyceae). As macroalgas são utilizadas há centenas de anos como alimento, sendo parte integrante de uma dieta saudável em muitas culturas, em particular no continente asiático, devido ao seu elevado valor nutritivo (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2021). De acordo com Afonso *et al.* (2019), as algas castanhas são as mais consumidas (66,5%), seguidas das macroalgas vermelhas (33%) e verdes (5%).

A produção mundial de macroalgas ascende a mais de 6 bilhões de dólares, onde 85% são produtos alimentares para consumo humano (FAO, 2018). A maioria da produção é de cultivo em países como a China e a Indonésia (cerca de 80%), a Coreia do Sul, a Coreia do Norte e Japão (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2021).

Na indústria alimentar, muitas empresas têm-se focado na produção e comercialização de alimentos com base em macroalgas e produtos derivados. Sendo uma fonte promissora de compostos bioativos, as macroalgas contêm inúmeros aminoácidos, polissacarídeos (contendo até 75% do seu peso seco), uma quantidade elevada de proteínas, minerais, vitaminas, pigmentos e compostos fenólicos (Gomez *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020), com atividades biológicas .em particular, antioxidante, antiproliferativa, anticoagulante, anti-inflamatória e anticancerígena (Chénais, 2021; Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2021).

As macroalgas são uma importante fonte de hidrocolóides, como o alginato, a carragenina e o agar, utilizados na indústria devido às suas propriedades gelificante, estabilizante e espessante (Qin, 2018). Estes hidrocolóides têm sido utilizados na formulação de revestimentos, na tentativa de criação de produtos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, que estendam o período de prateleira de um alimento ou ainda com a formação de filmes na criação de embalagens sustentáveis (Albertos *et al.*, 2019; Kilinceker *et al.*, 2009; Vital *et al.*, 2018).

As plantas halófitas são também uma fonte interessante de compostos de alto valor biológico. Estas plantas terrestres, têm o seu habitat perto do mar e por isso são resistentes a salinidades mais elevadas, podendo ser utilizadas para tratar águas residuais e para a produção de biogás num processo de biorefinaria (Turcios *et al.*, 2021). Estas plantas, que abrangem cerca de 6000 espécies, têm suscitado interesse na área alimentar e farmacêutica, como demonstrado em diferentes estudos científicos (Jallali *et al.*, 2012; Martins-Noguerol *et al.*, 2021; Petropoulos *et al.*, 2018).

De entre as plantas halófitas, destaca-se o chorão-das-praias (*Carpobrotus edulis*) reconhecida como uma das vinte plantas invasoras mais agressivas em áreas costeiras, sendo descrita por Castañeda-Loaiza *et al.* (2020), como uma planta perene nativa da região da África do Sul, que foi introduzida mundialmente para redução da erosão do solo e estabilização de sistemas dunares. Esta espécie é considerada um risco ambiental por competir com outras plantas costeiras e ter uma eficiência reprodutiva mais elevada. A aplicação desta planta em produtos alimentares ou farmacêuticos, pelas suas propriedades anti-inflamatória, antibacteriana e pela presença de elevados compostos antioxidantes é pouco estudada (González *et al.*, 2021; Ibtissem *et al.*, 2012; Van Der Watt & Pretorius, 2001).

3. Materiais e métodos

3.1 Recolha e preparação da matéria-prima

A alga castanha *Pelvetia canaliculata* (Filo Phaeophyta) foi colhida na praia de Pedras do Corgo, Portugal (41°14'55.52" N, 8°43'29.89" W) em junho de 2019. A planta halófito *Carpobrotus edulis*, foi colhida em três pontos da península de Peniche, Portugal: Carreiro da Furninha (39°21'19.2"N - 9°23'39.5"W); ilha do Baleal (39°22'22.6"N - 9°20'26.1"W) e Praia do Portinho da Areia do Norte (39°22'06.2"N - 9°22'39.8"W), em maio de 2022. As plantas foram transportadas em sacos para o laboratório localizado no edifício CETEMARES, em Peniche, onde foram limpas de quaisquer organismos e materiais indesejáveis. A biomassa foi separada em folhas, caules e flores, liofilizada e posteriormente triturada. Neste estudo, apenas se utilizaram as flores de *C. edulis*, chorão-das-praias, com base em resultados prévios que demonstraram a sua maior atividade antioxidante (Neves *et al.*, 2021).

Os filetes de sarda (*Scomber scombrus*) ultracongelados, utilizados no presente estudo, foram fornecidos pela empresa Francisco Baratizo, Lda, sediada em Peniche. O óleo de girassol utilizado foi fornecido pela empresa Sovena – Consumer Goods, sediada no Barreiro.

3.2 Preparação dos extratos

Na preparação do extrato da alga *Pelvetia canaliculata* utilizou-se o solvente etanol que, num *screening* prévio, se revelou o mais eficiente na extração de compostos antioxidantes (dados não apresentados). No processo de extração utilizou-se uma proporção biomassa: solvente de 1:10. A mistura foi mantida em agitação magnética, durante 30 min, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Posteriormente, foi filtrada para um balão de fundo redondo. A biomassa remanescente foi extraída com mais duas porções de 50 mL de solvente, recolhidas para o mesmo balão. O etanol foi eliminado em evaporador rotativo (Heidolph, Alemanha), à pressão de 100 mbar, em banho-maria de 38 °C.

Para a obtenção do extrato das flores de *Carpobrotus edulis* utilizou-se como solvente uma mistura de etanol: água (1:1) por ser o mais eficaz na extração de compostos antioxidantes (Neves *et al.*, 2021). O processo de extração foi similar ao anteriormente descrito, diferindo no processo de homogeneização da mistura (efetuado em vortex durante 5 min) e na recuperação da biomassa (por centrifugação por 12 minutos a 12000 rpm). Para a remoção do solvente, eliminou-se o etanol por evaporação e posteriormente a água por liofilização. Os extratos secos foram conservados a -20 °C até posterior utilização.

3.3 Otimização das formulações para preparação de revestimentos comestíveis

Para a formulação dos revestimentos comestíveis foram testadas soluções de dois polissacarídeos: alginato de sódio (VWR Chemicals, EUA) e carragenina tipo iota (Alfa Aesar, Thermo Scientific Chemicals, EUA) a diferentes concentrações: 1 %, 1,5 % e 2 % para a solução de alginato e 1 % e 1,5 % para a solução de carragenina.

A concentração destas matrizes é importante devido à viscosidade que conferem aos revestimentos e à sua capacidade de dissolução em água. Com base na observação da aderência das soluções ao pescado, textura e viscosidade aparente após aplicação em filetes de sarda, selecionaram-se os revestimentos com alginato de sódio a 2% (m/v) e com carragenina a 1% (m/v). Estas concentrações foram escolhidas por se terem provado as mais eficazes na aderência do pescado, não escorrendo (apresentando baixa viscosidade) nem chegando ao estado de gelatinização.

Foi adicionado glicerol (VWR Chemicals, EUA) como plastificante, um composto orgânico utilizado na área alimentar, que confere viscosidade acrescida às soluções, nas concentrações apresentadas na Tabela 2. Adicionou-se também Polissorbato 80, comumente denominado Tween 80 (VWR Chemicals, EUA), um emulsionante e surfactante, usado na indústria alimentar, que aumenta a agregação das cadeias de polissacarídeos da matriz, conferindo maior homogeneidade, viscosidade e resistência às soluções de revestimento. O Tween 80 foi aplicado apenas nos revestimentos de carragenina,

na concentração de 0,02 %, de acordo com Ribeiro *et al.*, (2007). onde se verificou a concentração ideal para adição deste surfactante. Também com base neste estudo foi aplicado o mesmo volume de glicerol.

Para a preparação dos revestimentos, partiu-se de duas soluções de revestimento base, uma de alginato e outra de carragenina, cuja formulação está descrita na Tabela 1. As concentrações dos vários componentes de cada solução foram selecionadas tendo por base estudos anteriores (S. Marques, 2019; Ribeiro *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2018).

O revestimento base de alginato, foi preparado por dissolução de 10 g de alginato de sódio em 500 mL água sob agitação a 70 °C. Posteriormente, a solução foi arrefecida à temperatura ambiente e adicionaram-se 2,4 mL de glicerol, sendo novamente homogeneizada durante 30 minutos. A preparação do revestimento base de carragenina foi efetuada por dissolução de 5 g deste polissacárido em 500 mL de água a 80 °C sob agitação. Após arrefecimento até à temperatura ambiente foram adicionados 3 mL de glicerol e 0,094 mL de Tween 80 e a solução final foi mais uma vez homogeneizada por 30 minutos.

A estas soluções base foi adicionado extrato de *P. canaliculata* ou extrato de *C. edulis*, previamente dissolvido no respetivo solvente de extração, até se atingirem as concentrações de 0,1 %, 0,2 %, 0,5 %, 0,7 % e 1 % (m/v). As concentrações finais dos extratos nos revestimentos usados nos ensaios de fritura, estão indicadas na Tabela 2 e foram selecionadas com base na atividade antioxidante da solução de revestimento final, determinada pelo método do DPPH e com o IC₅₀ calculado (expresso em equivalentes de Trolox - µg/mL de revestimento).

Tabela 2 - Formulação de revestimentos comestíveis

Revestimento	Concentração de extrato (%)	Glicerol (%)	Tween 80 (%)
Alginato 2 %	-	0,6	-
Alginato 2 % com extrato de <i>P. canaliculata</i>	0,5	0,6	-
Alginato 2 % com extrato de <i>C. edulis</i>	0,25	0,6	-
Carragenina 1 %	-	0,75	0,02
Carragenina 1 % com extrato de <i>P. canaliculata</i>	0,9	0,75	0,02
Carragenina 1 % com extrato de <i>C. edulis</i>	0,2	0,75	0,02

3.4 Avaliação da atividade antioxidante dos revestimentos comestíveis

3.4.1 Quantificação de fenóis totais

A quantificação de fenóis totais das diferentes soluções de revestimento, foi efetuada em triplicado pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por (Neves *et al.*, 2020), utilizando como padrão, o ácido gálico (C₇H₆O₅). Foram adicionados em tubos Eppendorf, 10 µL de solução padrão (para obtenção de uma curva de calibração com concentrações entre 0,01, e 0,2 mg/mL), ou de solução de revestimento, ou de água (branco); 840 µL de água e 50 µL de reagente de Folin (Sigma-Aldrich, USA). A mistura foi homogeneizada e mantida no escuro por 5 minutos. Posteriormente, adicionaram-se 150 µL de solução de carbonato de sódio a 20 % (m/v), homogeneizou-se a solução e incubou-se à temperatura ambiente, por 1 hora. Por último, transferiu-se 4 x 200 µL da solução para uma placa de 96 poços. A absorvância foi lida a 755 nm, utilizando um leitor de microplacas (Epoch 2™, Biotek Instruments, Inc., EUA). A partir dos dados das soluções padrão de ácido gálico, construiu-se uma curva de calibração absorvância *versus* concentração, e o teor de fenóis totais foi expresso em equivalentes de AG (ácido gálico) por mL de solução de revestimento. O ensaio foi realizado em triplicado.

3.4.2 Capacidade de redução do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

A atividade antioxidante das soluções de revestimento foi avaliada pelo método de DPPH de acordo com o descrito por Neves *et al.* (2020). Foram transferidos para microplaca de 96 poços, 10 µL de amostra, em quadruplicado, ou de solução padrão (antioxidante Trolox com concentrações entre 0,05 e 0,75 mg/mL), ou de água e 990 µL de solução de DPPH (C₁₈H₁₂N₅O₆). Homogeneizaram-se as soluções e conservaram-se ao abrigo da luz por 30 minutos, à temperatura ambiente. Fez-se a leitura da absorvância a 517 nm, utilizando um espectrofotómetro (Epoch 2™, Biotek Instruments, Inc., EUA). Os resultados obtidos foram expressos em equivalentes de Trolox (µg/mL) e foi determinada a concentração de extrato capaz de inibir 50% da ação do radical do DPPH (IC50).

3.5 Condições de aplicação dos revestimentos nos filetes de sarda

Os filetes foram cortados, ainda congelados, em porções com a dimensão de 7 centímetros de comprimento e cerca de 4 centímetros de largura. Foram descongelados à temperatura ambiente, pesados e imersos nas soluções de revestimento por 30 segundos. Em seguida, os filetes foram colocados numa grelha de plástico durante 2 minutos, para remoção do excesso de solução de revestimento e, posteriormente, congelados num congelador de placas de bancada (FT34MKII, Armfield, Reino Unido).

Para cada formulação de revestimento (Tabela 2) preparou-se um total de 5 filetes. Paralelamente, foram criados três grupos de referência sem revestimento, um proveniente do mesmo lote de pescado ultracongelado (controlo), e outros dois, *gold standards*, constituídos por pescado fresco obtido na lota de Peniche (Tabela 3). As amostras foram conservadas a -50 °C (Interotel, Portugal), até aos ensaios de fritura, durante cerca de quatro semanas, envolvidas individualmente em papel de alumínio de modo a evitar queimaduras ou deposição de gelo na sua superfície, com exceção das amostras designadas Fr que foram fritas com o pescado fresco, logo após a sua aquisição.

Tabela 3 - Designação dos grupos de amostragem e respetivas abreviaturas.

Grupo	S/ extrato	<i>P. canaliculata</i>	<i>C. edulis</i>	S/ revestimento
Alginato	Alg	Alg Pc	Alg Ce	-
Carragenina	Car	Car Pc	Car Ce	-
Controlo	-	-	-	Controlo
Fresco	-	-	-	Fr
Fresco Congelado	-	-	-	FrC

3.6 Processo de fritura

Para os ensaios de fritura utilizou-se uma fritadeira doméstica (Krea, Bialuso, Portugal), com capacidade máxima de 4 Litros, contendo 3L de óleo de girassol. O processo fritura ocorreu entre 160 °C e 170 °C. Os filetes de cada grupo foram fritos em simultâneo, ainda congelados, durante 4 minutos. Após fritura, os filetes foram colocados sobre papel absorvente, durante 45 segundos de cada lado, de modo a retirar o excesso de óleo. Em seguida, os filetes de sarda foram transferidos para um exsiccador onde arrefeceram até à temperatura ambiente. No final de cada *batch* de fritura, o óleo foi descartado, a fritadeira foi devidamente lavada e seca e preenchida com óleo novo.

3.7 Caracterização dos filetes de sarda após fritura

3.7.1 Avaliação de cor

A análise da cor foi efetuada a todos os filetes de cada grupo, imediatamente após o arrefecimento, com recurso a um colorímetro (Chroma Meter CR400, Minolta Inc., Japão). A calibração do equipamento foi realizada utilizando uma placa branca padrão e os resultados obtidos, foram analisados de acordo com o modelo CIELab, que incorpora três coordenadas, os valores de L*, a* e b*.

L refere a luminosidade, variando entre 0 e 100%, sendo 0 o valor de preto e 100 o valor de branco. Os valores de a* e b* dizem respeito ao cromatismo, variando entre -60 e +60, sendo a* indicador das cores verde e vermelho e b* referente a amarelo/azul. A Figura 5 representa este modelo tridimensional.

Determinou-se a diferença total de cor de acordo com DrLange (1994). Esta diferença foi avaliada, a partir da comparação de valores obtidos pelo colorímetro, de todos os grupos de amostragem com o grupo controle, a partir do conjunto de equações abaixo e classificada de acordo com a Tabela 4.

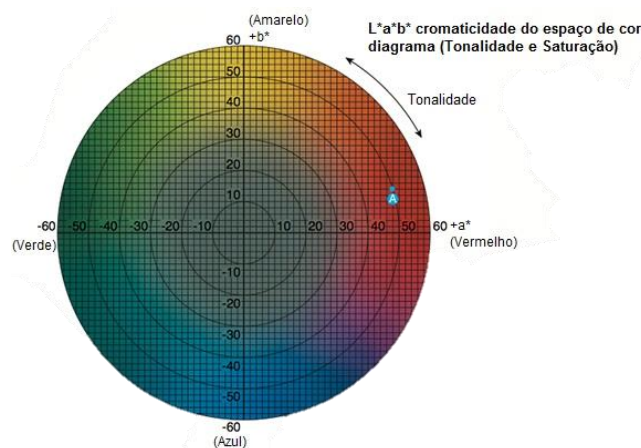


Figura 5 - Representação gráfica do espaço de cor CIELab (retirado de <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>).

$$TCD = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (\text{eq.1})$$

$$\Delta b = b - b_0 \quad (\text{eq.2})$$

$$\Delta L = L - L_0 \quad (\text{eq.3})$$

$$\Delta a = a - a_0 \quad (\text{eq.4})$$

Tabela 4 - Classificação de diferença total de cor (DrLange, 1994).

Diferença total de cor (TCD)	Classificação
0,0 - 0,2	diferença impercetível
0,2 - 0,5	diferença muito pequena
0,5 - 1,5	diferença pequena
1,5 - 3,0	diferença distinta
3,0-6,0	diferença muito distinta
6,0-12,0	diferença grande
>12,0	diferença muito grande

3.7.2 Avaliação de atributos texturais

As análises da firmeza e elasticidade dos filete fritos, foram realizadas em 4 filetes de cada condição, utilizando um texturómetro (Ta.XT *plus*C, Stable Micro Systems, Reino Unido) com a sonda *Warner BVlateral Blade*. O protocolo foi definido com base num método da biblioteca do instrumento otimizado para medição da firmeza de surimi tendo sido adaptadas a velocidade de corte (5 mm.s^{-1}) das amostras e distância de compressão (15 mm) para máxima reprodutibilidade nas amostras testadas.

Os atributos medidos foram distância até rutura (elasticidade) e trabalho (firmeza). Após a avaliação, em quadruplicado, de parâmetros texturais, os filetes foram triturados e congelados a $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em três tubos de Falcon para posteriores análises.

3.7.3 Teor de humidade e cinza

A determinação do teor de humidade foi efetuada em triplicado, a partir das amostras trituradas, de acordo com o método descrito por Ganesan *et al.* (2018) com algumas adaptações. As amostras (cerca de 1 g) foram pesadas para cadinhos previamente secos, e colocadas em estufa (FD115, Binder, Alemanha) a 105°C durante 48 horas.

Seguidamente, as amostras foram transferidas para um exsicador e novamente pesadas após arrefecimento. O teor de humidade foi calculado por aplicação da equação 5.

$$\%Humidade = \frac{(massa (amostra inicial + cadinho) - massa (amostra após 48 h a 105^{\circ}C + cadinho))}{massa inicial amostra} \times 100 \quad (Eq.5)$$

Para a determinação do teor de cinza, os cadinhos contendo as amostras desidratadas foram colocados na MUFLA (Nabertherm, Alemanha) a 525°C durante 5 horas. Após arrefecimento, as amostras foram transferidas para um exsicador até atingirem a temperatura ambiente e depois pesadas. O teor de cinza foi calculado a partir da seguinte equação 6:

$$\%Cinzas = \frac{(massa (cinzas + cadinho) - massa (cadinho))}{massa inicial amostra} \times 100 \quad (Eq.6)$$

3.7.4 Atividade da água (a_w)

A atividade da água dos filetes foi avaliada após fritura, utilizando um filete de cada grupo e recorrendo ao uso do equipamento Rotronic HygroPalm - HP23 (Rotronic, Suíça).

3.7.5 Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA)

A determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA), efetuada de acordo com a NP 3356 (1990), permitiu avaliar o estado de oxidação das amostras, por quantificação do malonaldeído (MA), um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos de ácidos gordos polinsaturados, formado durante o processo oxidativo da gordura do pescado.

Para a execução desta análise foi necessário a preparação prévia de algumas soluções: Solução A – solução de ácido tricloroacético a 7,5 % ($C_2HCl_3O_2$), contendo 0,1 % de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético, $C_{10}H_{16}N_2O_8$) e 0,1 % de galato de propilo ($C_{10}H_{12}O_5$); Solução TBA – solução de ácido tiobarbitúrico ($C_4H_4N_2O_2S$) a 0,02 mol/L; Solução TEP 1 – solução padrão de 1,1,3,3 – tetratoxipropano ($((C_2H_5O)_2CHCH_2CH(OC_2H_5)_2)$ 10^{-5} mol/mL preparada com a solução A; Solução TEP 2 – solução padrão de TEP a 10^{-8} mol/mL.

As amostras trituradas (5 g) foram pesadas, em triplicado, para tubos de Falcon de 50 mL, adicionaram-se 10 mL de solução A, sendo posteriormente homogeneizadas, para a extração do malonaldeído. Depois, as amostras foram centrifugadas (5810 R, Eppendorf, Alemanha) por 10 min a 10.000 rpm, a 4 °C.

Seguiu-se a transferência de 0,1 mL do sobrenadante límpido para tubos de ensaio roscados, e completou-se o volume para 5 mL com a solução A. À semelhança das amostras, foram preparadas soluções padrão de TEP (contendo entre 0,005 e 0,05 μ mol de MA) por diluição da solução de TEP 2 com a solução A. Para a reação de cor, foram adicionados 5 mL de solução TBA a todos os tubos (amostras, padrões e branco (solução A)), as misturas foram homogeneizadas e aquecidas em banho de água fervente durante 40 min. Seguidamente, os tubos foram arrefecidos até temperatura ambiente, levados ao banho de ultrassons (USC600TH, VWR, EUA) para desgaseificação das amostras e a absorvância foi lida a 532 nm, utilizando o espectrofotômetro (Epoch 2™, Biotek Instruments, Inc., EUA).

Foi construída uma curva de calibração absorvância *versus* quantidade química de malonaldeído. A quantidade química de MA nas amostras foi calculada por interpolação da curva e o índice de TBA foi expresso em mg de MA por Kg de amostra, de acordo com a seguinte equação 7:

$$\text{Índice de TBA} = \frac{72.06 \times n}{m \times V1} \times (VE + m \times H/100) \quad (\text{Eq.7})$$

sendo: n – quantidade de malonaldeído expressa em μmol ; VI – volume (mL) da toma colocada em cada tubo; m – massa da amostra utilizada (g); VE – volume da solução A usada na extração; H – humidade da amostra (%)

3.7.6 Determinação do teor de lípidos totais

A quantificação de lípidos totais foi determinada pelo método de Folch (Folch *et al.*, 1957) com algumas alterações de acordo com Iverson *et al.* (2001). Para esta análise, as amostras trituradas (1 g) foram pesadas para tubos de Falcon de 50 mL e adicionaram-se 1 mL de água destilada e 10 mL de reagente de Folch (Clorofórmio: Metanol, 2:1 v/v) . Esta mistura foi homogeneizada durante 5 minutos no vortex, adicionou-se 1,2 mL de NaCl 0,8 % e procedeu-se a nova homogeneização. O ensaio foi realizado em triplicado.

A seguir, a mistura foi centrifugada durante 10 min a 6000 rpm (5810 R, Eppendorf, Alemanha). A fase inferior foi recolhida e filtrada através de uma coluna de sulfato de sódio anidro para um balão de evaporação cuja massa foi previamente registada. Ao conteúdo restante da primeira centrifugação foram adicionados mais 2 mL de clorofórmio, e o processo de extração foi repetido. Finalmente, o clorofórmio presente nos balões de vidro foi removido por evaporação num evaporador rotativo (Heidolph 4000, Alemanha). O balão contendo o resíduo lipídico da amostra foi colocado na estufa (FD115, Binder, Alemanha) a 60°C , *overnight*. Posteriormente, as amostras foram colocadas no exsiccador até atingirem a temperatura ambiente e pesadas. A percentagem de gordura das amostras foi calculada por aplicação da seguinte equação 8:

$$\% \text{ lípidos totais} = \frac{(\text{massa do balão com gordura} - \text{massa do balão})}{\text{massa da amostra inicial}} \times 100 \quad (\text{Eq.8})$$

3.7.7 Perfil de ácidos gordos

Para análise do perfil de ácidos gordos dos filetes de sarda fritos, as amostras foram submetidas a um processo de transesterificação direta em meio ácido, para obtenção dos ésteres metílicos de ácidos gordos (EMAG), de acordo com Fernández *et al.* (2015), em triplicado. Para o efeito, pesaram-se 50 mg de amostra liofilizada para tubos de ensaio roscados e adicionou-se 2 mL de solução de H₂SO₄ a 2 % em metanol. Os tubos foram colocados em banho-maria, a 80 °C, durante 2 horas. As amostras foram deixadas a arrefecer no escuro até à temperatura ambiente. De seguida, adicionou-se a cada tubo 1 mL de água ultra pura e 2 mL de hexano. A mistura foi homogeneizada no vortex e centrifugada durante 5 min a 1500 rpm, para separação de fases, a fração superior (hexano), contendo os EMAG, foi transferida para *vials* de GC.

O perfil de ácidos gordos foi determinado por análise dos EMAG por cromatografia gasosa (GC), utilizando um cromatógrafo (Finnigan Ultra Trace, Thermo Fisher Scientific, EUA), equipado com uma coluna capilar Thermo Tr-FAME (60 m x 0,25 mm ID, 0,25 µm de espessura de filme de fase estacionária), um injetor automático (Autosampler AS 3000, Thermo Electron Corporation) e um detetor de ionização de chama (FID). As análises cromatográficas foram realizadas nas seguintes condições: temperatura do detetor = 280 °C; temperatura do injetor = 250°C (a funcionar em modo *splitless*); temperatura do forno inicialmente a 100 °C (1 min), aumentando 9°C min⁻¹ até 180°C (10 min), rampa de 2°C min⁻¹ até aos 235°C (5 min). O hélio foi usado como gás de arraste, ao caudal de 1,2mL min⁻¹. Para a chama do detetor utilizou-se ar sintético (350 mL min⁻¹) e hidrogénio (35mL min⁻¹). Para a aquisição e análise de dados utilizou-se o software Xcalibur. A identificação dos ácidos gordos foi feita por comparação dos tempos de retenção dos EMAG com os tempos de retenção dos componentes das misturas padrão de *SUPELCO* 37, PUFA 1 e PUFA 3 (Sigma-Aldrich, EUA). Os resultados foram expressos em percentagem de área total (% Área Total).

3.8 Tratamento estatístico de dados

Os resultados referentes às análises de textura, humidade, cinza, teor lipídico, índice de TBA e perfil de ácidos gordos correspondem à média \pm desvio padrão de, pelo menos, três réplicas independentes. Os testes estatísticos foram feitos com o software SPSS 25 (IBM Corporation, EUA) e nível de significância estabelecido em $p \leq 0,05$. Os dados foram analisados por análise de variância de um fator (ANOVA) seguida pelos testes de comparações múltiplas de Tukey e de Games-Howell. Os pressupostos da ANOVA foram verificados através do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade de Levene. Nos casos em que os pressupostos não eram cumpridos, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Para avaliar as variações dos parâmetros anteriormente referidos nos diferentes grupos de filetes (com revestimentos de alginato ou carragenina suplementados com extratos de *P. canaliculata* ou de *C. edulis*), fez-se uma análise de componentes principais (PCA) que foi realizada com o software CANOCO 4.5.

4. Resultados e discussão

4.1 Atividade antioxidante das soluções de revestimento

Neste estudo as soluções de revestimento, suplementadas com diferentes concentrações de extrato *P. canaliculata* ou de *C. edulis*, foram caracterizadas em termos de atividade antioxidante, pelo método de DPPH, e pelo teor de fenóis totais. No que concerne à avaliação da capacidade antioxidante pelo método de DPPH, é possível verificar que o revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, destaca-se pela sua maior atividade comparativamente aos restantes (Figura 6). Verifica-se também que para a mesma concentração de extrato, e independentemente do revestimento base, o extrato de *C. edulis* confere sempre maior atividade antioxidante do que extrato de *P. canaliculata*.

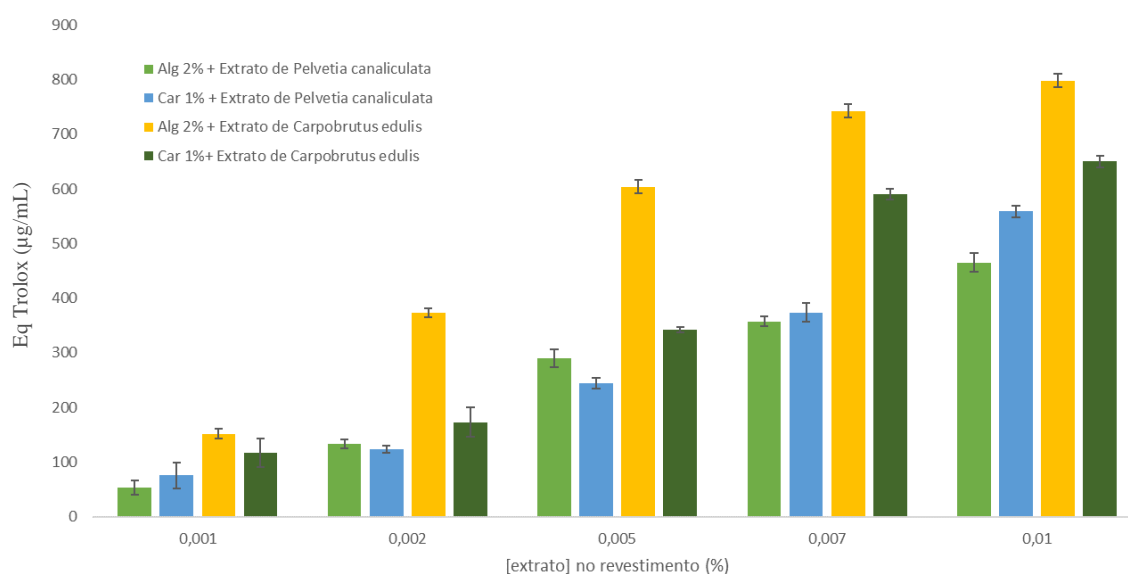


Figura 6 - Avaliação da capacidade antioxidante dos revestimentos suplementados com extratos de *P. canaliculata* e *C. edulis*, pelo método de sequestro de radicais de DPPH, expressos em Eq Trolox ($\mu\text{g/mL}$ de revestimento).

O revestimento de alginato com *C. edulis* também apresentou os valores mais elevados no que respeita ao teor de fenóis totais (Figura 7). No entanto, nas concentrações mais elevadas o revestimento de carragenina com *C. edulis* revelou um menor teor de fenóis comparativamente aos revestimentos com *P. canaliculata*.

De um modo geral, verificou-se um aumento da atividade antioxidante com o aumento de concentração do extrato aplicado no revestimento. No entanto, observou-se que as concentrações mais elevadas de extrato comprometiam as propriedades reológicas dos revestimentos pelo que se estabeleceu uma situação de compromisso, optando-se por utilizar nos ensaios de fritura a concentração de extrato correspondente ao IC50 pelo método de DPPH. Assim, selecionaram-se as seguintes formulações: alginato a 2% com extrato de *C. edulis* a 0,25%; alginato a 2% com extrato de *P. canaliculata* a 0,5%; carragenina a 1% com extrato de *C. edulis* a 0,20% e carragenina a 1% com extrato de *P. canaliculata* a 0,9% (Tabela 2).

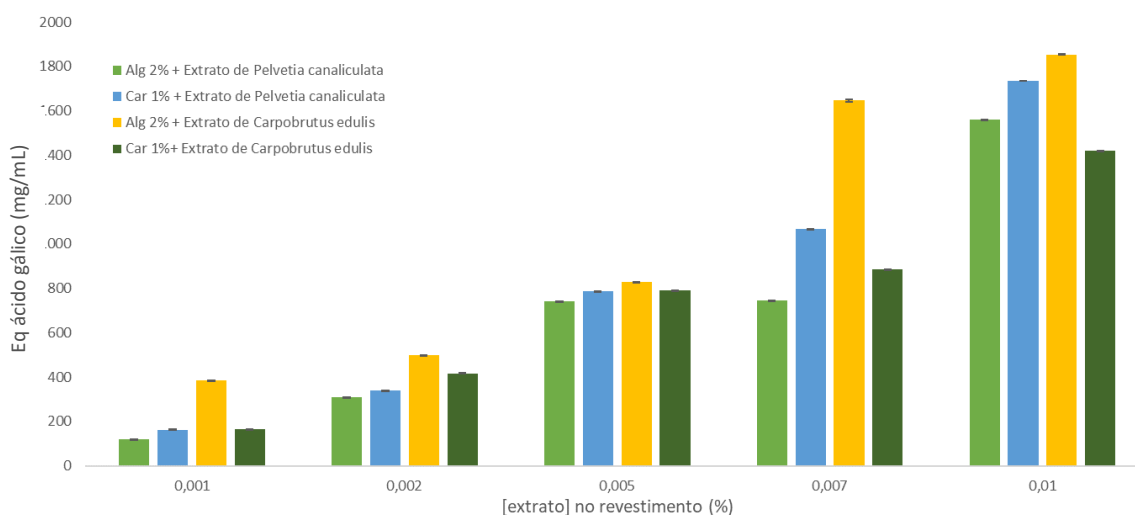


Figura 7 - Compostos fenólicos presentes nos revestimentos suplementados com extratos de *P. canaliculata* e *C. edulis*, expressos em Eq de AG (mg ácido gálico/ mL de revestimento).

Song *et al.* (2011) reportaram que a aplicação de revestimentos de alginato em filetes de dourada foram eficazes na redução de reações de oxidação e no teor de humidade dos filetes refrigerados ao longo do tempo; enquanto Vital *et al.* (2018) remararam que a suplementação de revestimentos com antioxidantes naturais, pode levar a resultados mais favoráveis no potencial antioxidante do revestimento. M. G. Volpe *et al.* (2015) destacaram

que soluções de carragenina aumentaram a qualidade de filetes de truta em processo de refrigeração, ao longo de um período de tempo definido.

4.2 Formulação de revestimentos

4.2.1 Alginato de sódio e carragenina

As matrizes utilizadas, alginato e carragenina fazem parte da lista de aditivos alimentares em Portugal, com a designação E-401 e E-407, respetivamente, de acordo com o regulamento (UE) no. 1129/2011. O alginato e a carragenina são polissacarídeos naturais utilizados na formulação de revestimentos e filmes de modo a prolongar o tempo de prateleira de diversos alimentos. Estes compostos têm características desejáveis como a ausência de sabor e odor e não causarem alergias (M. G. Volpe *et al.*, 2015).

Yu *et al.* (2019) para além da sua revisão da literatura no uso de filmes e revestimentos de alginato, denotaram também, que o alginato de sódio é um bom portador de agentes antioxidantes, que podem vir a afetar e melhorar o tempo de prateleira de produtos alimentares de origem marinha. Carragenina a 1%, utilizada neste estudo, foi também introduzida no estudo de M. G. Volpe *et al.* (2015) para aplicação em pescado com adição de óleo essencial de limão.

A introdução de plastificantes na formulação de filmes de carragenina é comum na literatura, assim mais uma vez o glicerol foi escolhido para aplicação nos revestimentos de carragenina (Dwivany *et al.*, 2020; Karbowski *et al.*, 2006). A carragenina têm capacidades antitumorais, anticoagulantes, antivirais e antioxidantes (Campo *et al.*, 2009), contrariamente continuam a existir estudos científicos que reportam efeitos biológicos adversos, sendo maioritariamente ligados a carragenina degradada (H. M. Chen *et al.*, 2010).

Os revestimentos foram preparados conforme metodologia descrita previamente, onde ocorreu a adição dos extratos aos revestimentos e procedeu-se à imersão dos filetes de pescado. Este processo decorre submergindo os filetes de pescado descongelados no revestimento, durante um período de tempo específico e que deve ser adaptado conforme a matriz e amostra em questão. Na Figura 8 podemos observar alguns filetes revestidos com revestimento de carragenina com adição de corante alimentar para verificar a sua aderência ao pescado, sendo o tempo de imersão de 30 segundos.

Após o revestimento das amostras, estas foram congeladas por grupos utilizando um congelador de placas. Este método de congelação é favorável uma vez que em condições normais de congelamento, o musculo do pescado começa a formar cristais de gelo provocando alterações a nível de textura e humidade (Nielsen & Jessen, 2007). Pelo método de congelamento de placas, o pescado congela mais rapidamente, prevenindo a formação de cristais de gelo e ainda mais, prevenindo que o revestimento se degrade fisicamente durante o processo. Uma curva de congelamento exemplificativa deste processo, é observável na Figura 9.



Figura 8 - Pré-ensaios para testar a aderência dos revestimentos no pescado.

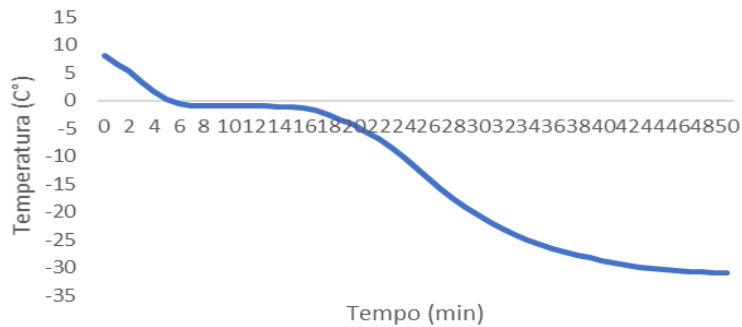


Figura 9 - Curva de congelamento das amostras em estudo (Temperatura (°C) versus tempo (min)).

4.3 Caracterização de filetes de *Scomber scombrus*

4.3.1 Avaliação de cor

A cor de um alimento é um parâmetro importante na aceitabilidade por parte do consumidor, devendo ser considerado no desenvolvimento de novos produtos alimentares. Na Figura 10 apresentam-se os resultados obtidos para os parâmetros de cor do modelo CIELAB (L^* , a^* e b^*).

Considerando os valores de L^* , correspondentes à luminosidade, observa-se que o valor mais baixo obtido é relativo ao grupo de filetes com revestimento de alginato suplementado com extrato de *P. canaliculata* o que se deve, muito provavelmente, à cor mais escura do extrato, que conferiu também uma cor mais escura ao filete (Figura 10).

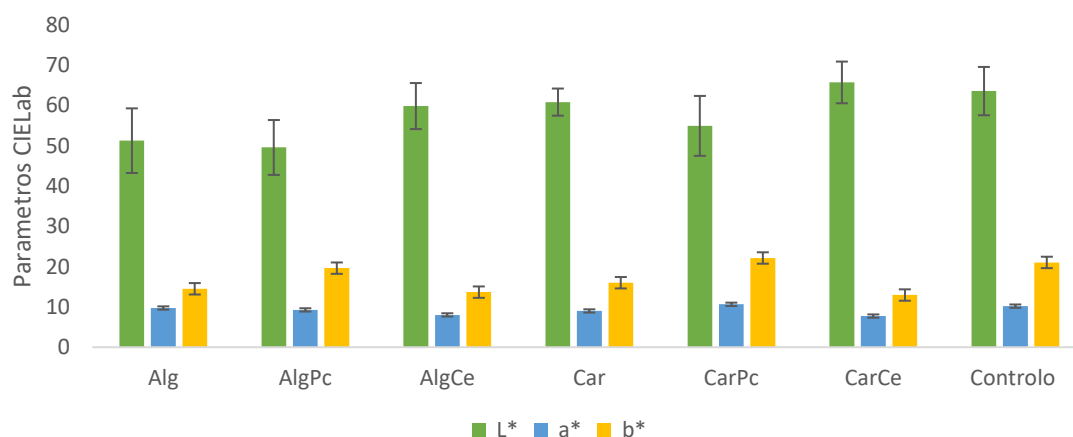


Figura 10 – Parâmetros registados pelo colorímetro: L*, a* e b* dos filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de *P. canaliculata*, AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *P. canaliculata*, CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *C. edulis*).

Os valores mais elevados para L*, foram obtidos para o grupo de filetes com revestimento de carragenina suplementado com extrato de *Carpobrotus edulis*, sendo similares aos valores obtidos para o grupo controlo, o que se revela altamente favorável. As matrizes utilizadas, alginato e carragenina, são translúcidas, mas adotam a tonalidade dos extratos incorporados. Assim, um extrato que apresente cores mais suaves irá conferir, à partida, valores dos parâmetros mais semelhantes ao grupo controlo.

Observa-se que os resultados obtidos para o parâmetro a*, encontram-se na gama do verde/vermelho, mas sendo positivos, aproximam-se mais da gama do vermelho (Figura 10). Os grupos com adição de extrato de *Carpobrotus edulis*, revelaram os valores mais baixos deste parâmetro, sendo comparáveis ao grupo *gold standard* (resultados não apresentados).

O parâmetro b* infere a cor amarela se positivo e azul se negativo, de acordo com o modelo de análise. Assim, podemos confirmar que todos os grupos se inclinam para o amarelo, tendo em conta que o valor mais elevado deste parâmetro foi obtido para o grupo controlo. Considerando o tratamento de fritura a que todos os grupos estiveram sujeitos, e sendo esta

cor (amarela/dourada) a desejada num alimento frito, os valores vão de encontro ao pretendido. Os valores mais reduzidos foram, mais uma vez, obtidos para os grupos com adição de extrato de *Carpobrotus edulis*, por ser uma amostra mais neutra e por isso mais aceitável para o consumidor.

Cardenas Bonilla *et al.* (2007) demonstrou que, em armazenamento refrigerado, as alterações de cor registadas são aparentemente influenciadas pela perda de qualidade de propriedades microbiológicas e químicas. Também avaliando diferenças de cor em filetes de peixe, armazenados a 2 ± 1 °C, Vital *et al.* (2018) referem que, na generalidade, revestimentos de alginato têm a capacidade de preservação da cor do pescado em uso, conservando-a por mais tempo.

Foi também avaliada a diferença total de cor entre grupos de amostras, sendo considerado o branco desta análise o grupo controlo e excluindo os grupos de *gold standard* (Figura 11). Assim, assumindo a tabela de classificação, o grupo que obteve uma melhor classificação foi o grupo de filetes com revestimento de carragenina e sem adição de extratos, sendo esta classificada como diferença muito distinta. Os grupos Alg Ce, Car Pc e Car Ce foram classificados como uma diferença total de cor considerada grande e por fim, os restantes grupos (Alg e Alg Pc) foram classificados como tendo uma diferença muito grande. Alg e Alg Pc obtiveram os valores mais altos, sendo possível atribuir o valor obtido pelo grupo Alg Pc à cor do extrato da alga utilizada, que criou uma tonalidade mais contrastante com o controlo.

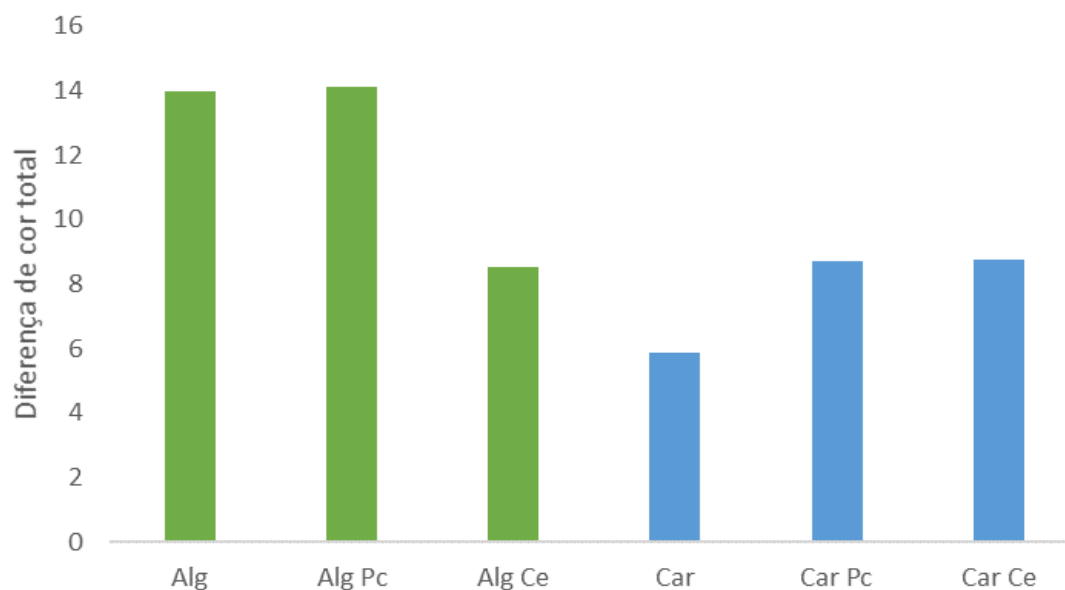


Figura 11 - Diferença Total de Cor (TCD) entre filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de *P. canaliculata*, AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *P. canaliculata*, CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *C. edulis*).

Na Figura 12 apresentam-se imagens de filetes representativos de cada grupo de amostragem, sendo pouco visível a diferença de cor. Verificou-se que as amostras com revestimentos suplementados com extratos de *P. canaliculata* apresentaram uma cor ligeiramente mais escura após fritura. No entanto, entre os outros grupos, comparativamente ao controlo, não são visíveis diferenças de cor intensas. Este resultado pode ser vantajoso uma vez que a apresentação visual de um produto alimentar é um aspeto bastante importante na perceção do consumidor. Os únicos filetes de peixe que apresentaram cor após congelação possuíam revestimento suplementado com extrato de *P. canaliculata*, podendo ser um aspeto negativo a considerar na avaliação sensorial (Figura 13).

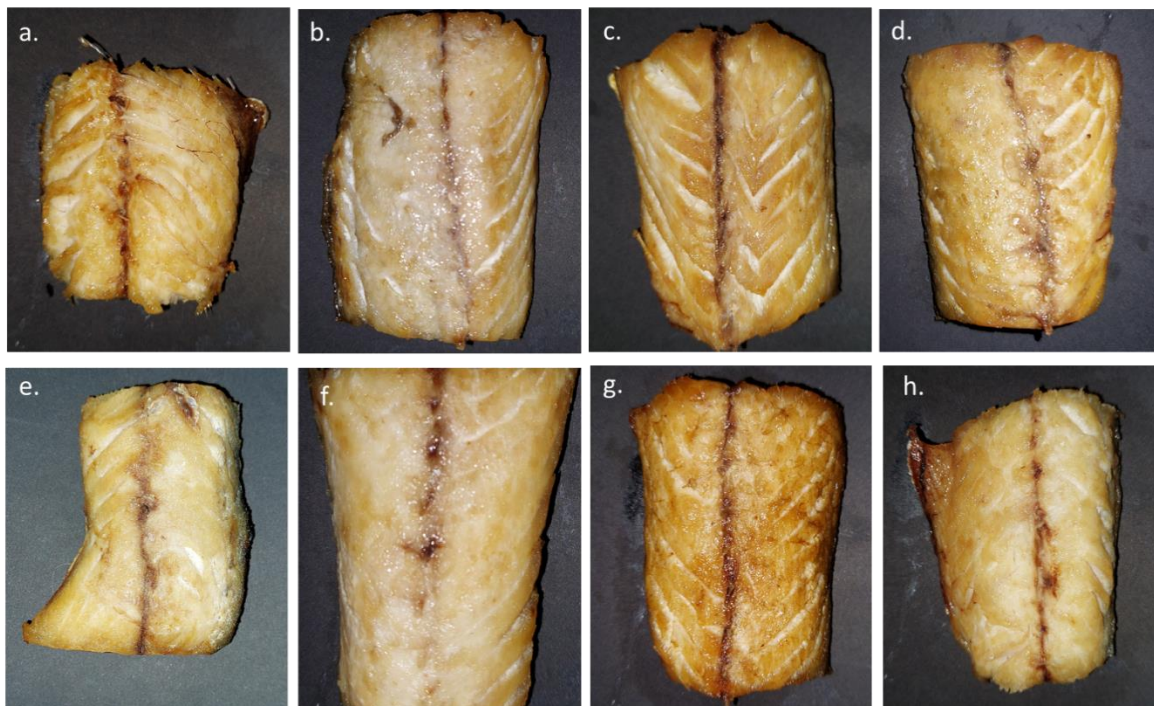


Figura 12 - Filetes Fritos: a. Filete Fresco; b. Filete revestido com alginato 2%; c. Filete revestido com alginato 2% e extrato de *C. edulis*; d. Filete revestido com alginato 2% e extrato de *Pelvetia canaliculata*; e. Filete revestido com carragenina 1%; f. Filete revestido com carragenina 1% e extrato de *Carpobrotus edulis*; g. Filete revestido com carragenina e extrato de *Pelvetia canaliculata*; h. Filete Controle.

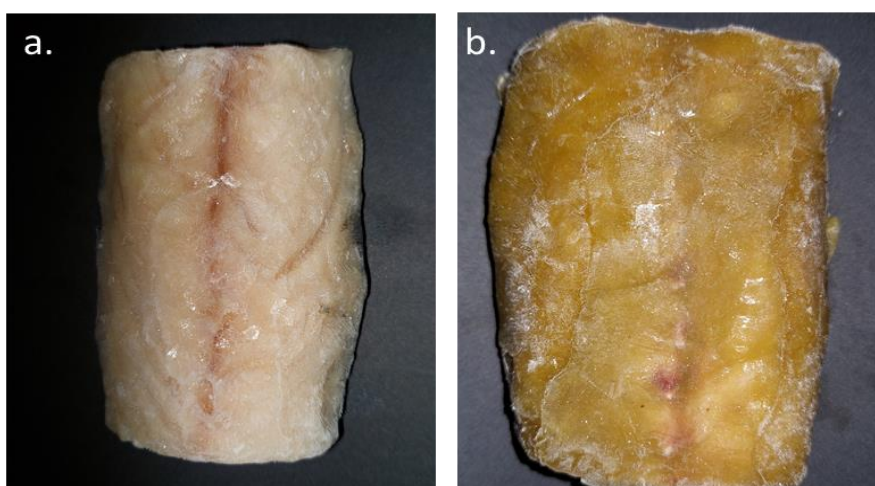


Figura 13 - Filetes congelados: a. revestido com carragenina 1%; b. revestido com carragenina e extrato de *Pelvetia canaliculata*.

4.3.2 Atributos texturais

A avaliação de atributos texturais é de extrema importância para o controle de qualidade da frescura do pescado (Cheng *et al.*, 2014) pois fatores como reações enzimáticas e químicas levam a alterações na elasticidade e firmeza, que são por sua vez, características sensoriais importantes que determinam a qualidade de produtos alimentares.

De acordo com Coppes *et al.* (2008), os parâmetros mais relevantes na avaliação de atributos texturais de um alimento são a força, distância e tempo. A força é uma medição do stress e os testes possíveis incluem perfuração, compressão, corte, esmagamento, força tênsil e flexibilidade da amostra. A distância é uma medida de pressão/tensão e avalia a mudança em dimensões de amostras causadas pela aplicação de stress; por fim o tempo revela a variação da deformação das amostras alimentares no momento exato em que lhe são aplicadas força. A classificação da textura em pescado é dificultada pelo facto de a estrutura do peixe diferir conforme a espécie, estação do ano de apanha, tamanho entre espécies e diferenças ao longo do corpo dos diversos peixes. Apesar da filetagem permitir amostras de características semelhantes no que toca à forma do pescado, ainda se considera difícil a análise devido a variações naturais entre espécimes.

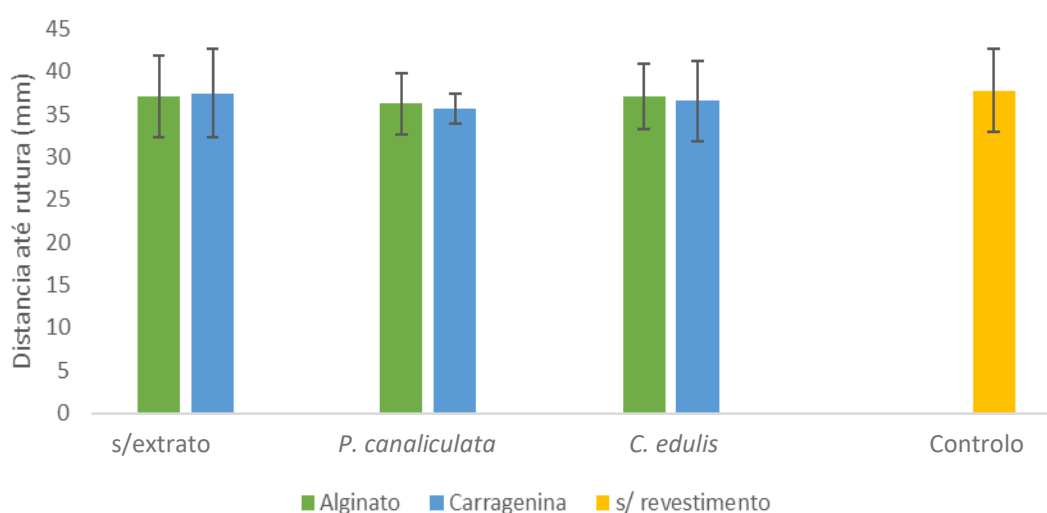


Figura 14 - Avaliação do parâmetro de textura relativo à distancia até falha, expresso em mm. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos.

O parâmetro de distância até rutura (Figura 14), remete à distância que a lâmina utilizada percorreu até cortar completamente a amostra. Assim, pode-se afirmar que esta distância foi maior nos grupos de filetes com revestimento sem a adição de extrato (± 37 mm), seguido dos grupos de peixe com revestimentos de alginato ou de carragenina suplementados com extratos de *Carpobrotus edulis*.

A diferença mais notória observa-se entre os grupos de filetes adquiridos congelados e os grupos utilizados como *gold standard* (pescado adquirido fresco, resultados não apresentados), tendo uma variação que chega aos 5 mm (sendo correspondente a mais de 10 %). Isto pode dever-se ao efeito do processo de congelação que os grupo de amostragem sofreram, contrastando com o processamento dos grupos *gold standard* e, mais provavelmente, ao facto de não serem revestidos com qualquer tipo de solução. O tratamento estatístico de dados recorreu apenas aos grupos com algum tipo de revestimento (Alg, Alg Pc, Alg Ce, Car, Car Ce, Car Pc) e controlo, assim não foram registadas diferenças estatisticamente significativas entre os demais. Sintetizando, confirma-se que os diferentes revestimentos não têm impacto na distância de rutura, mas a sua aplicação conduziu a valores inferiores neste parâmetro quando comparados com os grupos *gold standard*.

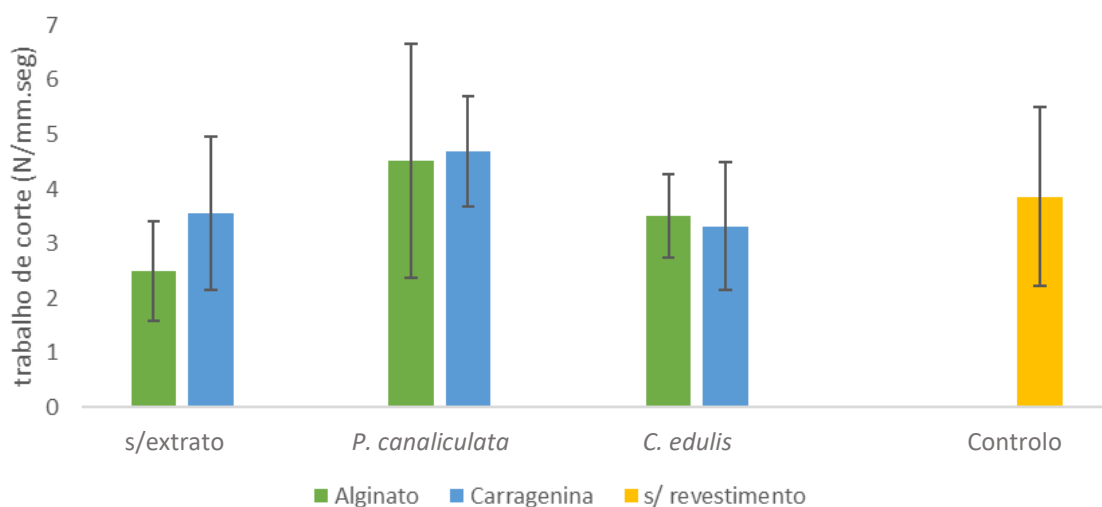


Figura 15 - Avaliação do trabalho de corte, correspondente à força necessária aplicada por milímetro ao longo do tempo (N/mm.seg). Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos de filetes de sarda.

O trabalho de corte (Figura 15), expresso em Newtons/milímetro.segundo, é por outras palavras, o trabalho (energia) necessário para mover a lâmina pela amostra, cortando-a na totalidade (Dincer & Cakli, 2010). O trabalho de corte é indicador da firmeza da amostra.

No entanto, o trabalho de corte engloba mais do que apenas a força necessária para o efeito, pois existe um padrão de forças intrínsecas como a compressão e a tensão. Portanto, os resultados só devem ser avaliados por comparações empíricas entre amostras que tenham sofrido o mesmo tratamento. Este teste é utilizado habitualmente na tecnologia alimentar para atribuir qualquer ação de corte que separa a amostra em dois fragmentos. Nesta análise o trabalho de corte é realizado perpendicularmente à posição longitudinal das fibras musculares na amostra (Novaković & Tomašević, 2017).

Os grupos de filetes de sarda com revestimentos suplementados com extrato de *Carpobrotus edulis* revelaram uma firmeza menor, quando comparados com as amostras com revestimentos suplementados com *P. canaliculata* (Figura 15), o que sugere uma maior capacidade de retenção de água durante a congelação e fritura, resultando numa maior suculência do produto final, o que corrobora os resultados obtidos na análise do teor de humidade (descritos abaixo). Pela análise, conclui-se que, quando comparada com os filetes revestidos com carragenina suplementados com o mesmo extrato, a amostragem com revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, obteve o valor mais baixo, mesmo quando comparado com os filetes do grupo controlo, que sofreram o mesmo tratamento de congelação, sendo possível concluir que eram filetes mais tenros e flexíveis.

A força necessária para o corte completo das amostras está representado na Figura 16. É de notar que maior força foi necessária para o corte do grupo de filetes frescos (resultados não apresentados). Isto pode dever-se ao estado do musculo do peixe, em rigor mortis, por ter sido cozinhado/preparado e frito no mesmo dia de apanha (Cheng *et al.*, 2014). Os grupos com as diferentes matrizes e extratos apresentam valores mais baixos, quando comparados com os grupos *gold standard*, podendo indicar que os revestimentos conferiram um perfil menos firme aos filetes. Mais uma vez é de notar que os revestimentos com adição de extrato de *Carpobrotus edulis* apresentaram os valores mais baixos, sendo presumida pela ação de

aplicação dos mesmos no pescado. A análise estatística posterior comprovou que não existem diferenças estatisticamente significativas neste parâmetro da avaliação da textura.

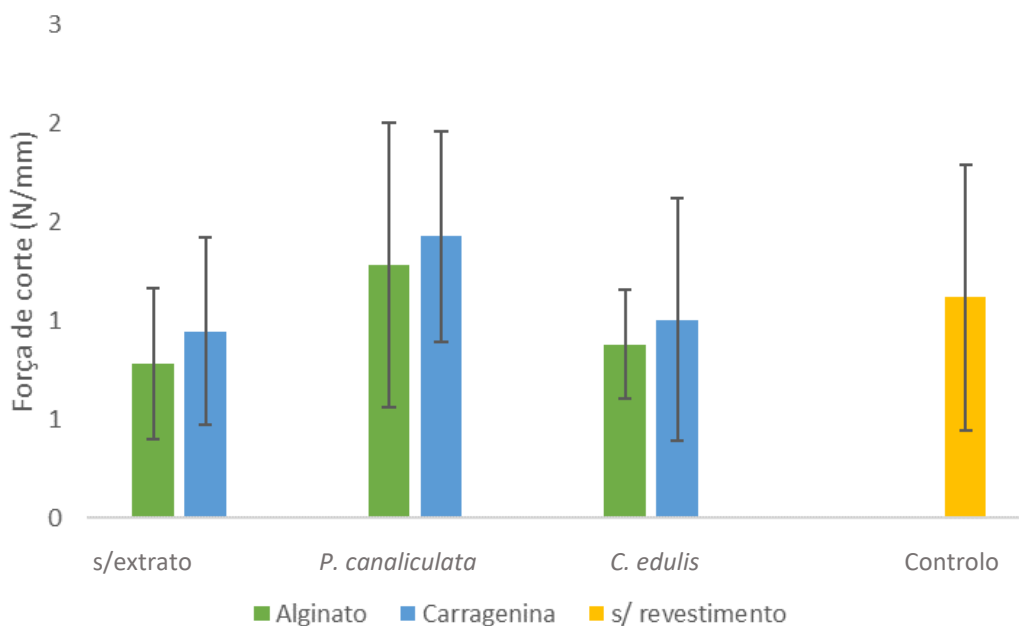


Figura 16 - Avaliação da força de corte, sendo a força aplicada por milímetro. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos de filetes de sarda.

Apesar de comparações não poderem ser feitas diretamente por se tratar de pescado ou tratamentos de revestimento diferentes, na literatura está descrito que revestimentos de carragenina com adição de compostos antioxidantes se tornaram eficazes na preservação da estrutura muscular de filetes de truta, em armazenamento refrigerado (Maria Grazia Volpe et al., 2019). Yu *et al.* (2018) reforça que dos produtos marinhos comercializados, os filetes de pescado são dos produtos mais sensíveis à deterioração da textura, como parâmetro sensorial, após os primeiros dias em armazenamento refrigerado; apresentando uma redução nos indicadores texturais entre os 30 % e os 60 %.

4.3.3 Teor de humidade, cinza e a_w

Um dos objetivos da aplicação dos revestimentos era criar uma barreira à perda de água do alimento para o óleo, no processo de fritura. Consequentemente, maior teor de humidade das amostras está associado a maior eficácia da barreira. O teor de humidade mais elevado observou-se nos grupos de filetes com revestimentos suplementados com *C. edulis*, independentemente da matriz utilizada (Figura 17). Os revestimentos à base de carragenina revelaram-se as mais eficientes na preservação da água na matriz alimentar por apresentarem os valores mais elevados de humidade. De uma forma geral, a aplicação de revestimentos revelou-se benéfica para a preservação da suculência dos filetes de sarda.

No estudo de Bland *et al.* (2018), onde avaliaram as diferenças de textura após métodos diferentes de congelação, verificaram que em filetes de peixe-gato, o teor de humidade era mais elevado nos filetes que tinham sofrido o tratamento de congelamento rápido. Também Song *et al.* (2011) reportaram diferenças significativas na retenção de humidade em filetes de dourada revestidas com revestimentos de alginato, em armazenamento a 4 ± 1 °C.

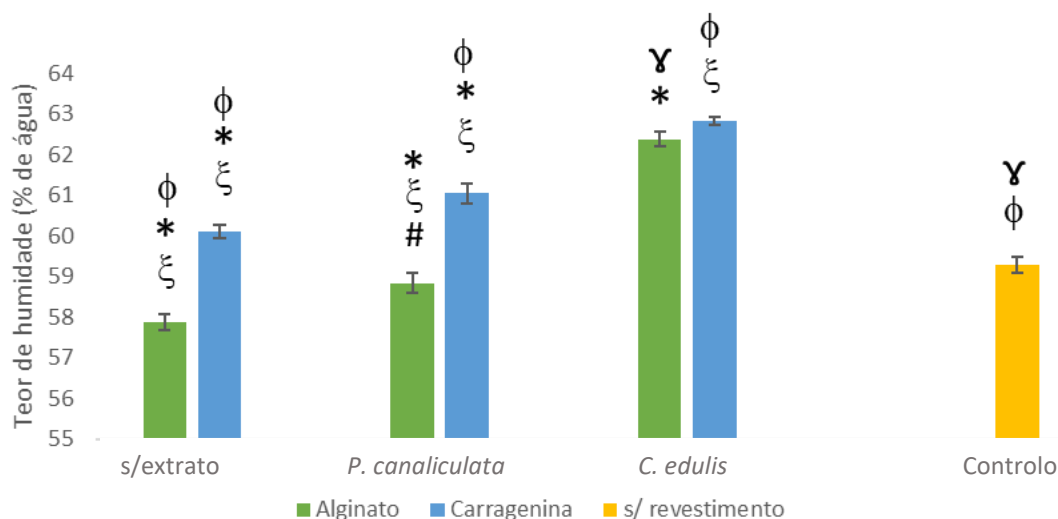


Figura 17 - Teor de humidade das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes.

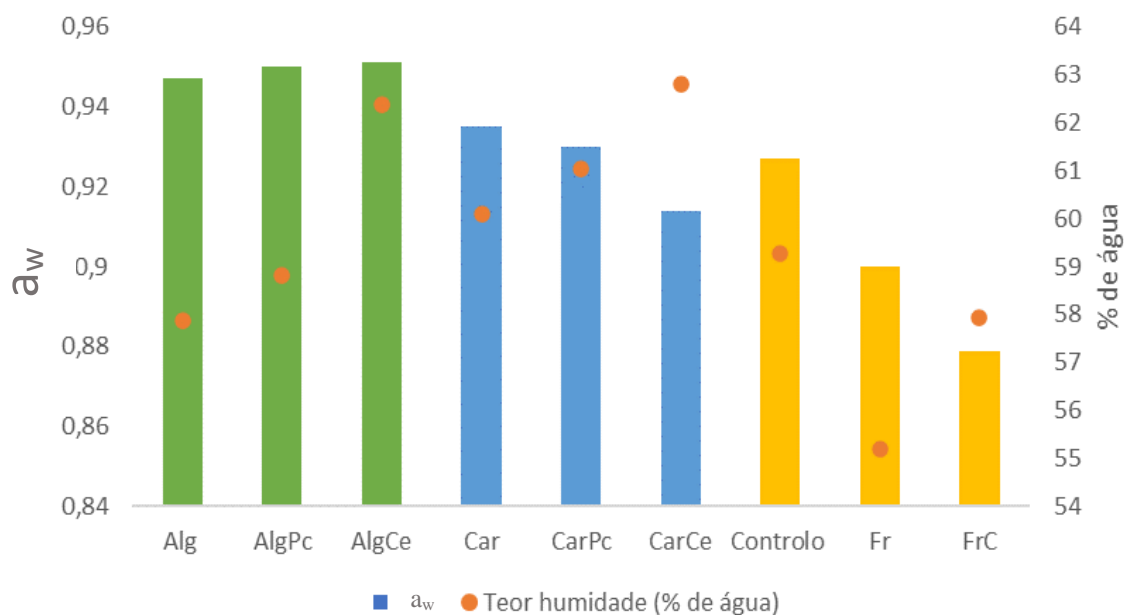


Figura 18 - Correlação entre teor de humidade, representado pelas esferas, e a atividade da água (a_w), representada pela barras dos grupos de filetes revestidos com diferentes revestimentos analisados (Alg: revestimento de alginato 2%, AlgPc: revestimento de alginato suplementados com extrato de *P. canaliculata*, AlgCe: revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, Car: revestimento de carragenina 1%, CarPc: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *P. canaliculata*, CarCe: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *C. edulis*), Fr: filetes frescos, FrC: filetes frescos congelados).

Quanto maior o valor da atividade da água, maior a probabilidade de decomposição e degradação dos constituintes de um alimento. Com base na Figura 18 constata-se que um maior valor de a_w não está necessariamente correlacionado com maior teor de humidade. No entanto, observam-se valores de a_w mais elevados nos revestimentos de alginato comparativamente aos de carragenina. Isto pode indicar uma permeabilidade mais baixa desta matriz ao óleo de fritura, possivelmente por ser hidrofílico permitindo as moléculas de água passar para o óleo de fritura, quebrando a barreira e permitindo o óleo entrar em contacto com os filetes mais facilmente.

O teor de cinza (Figura 19) é avaliado para obter uma quantificação de resíduos inorgânicos ou minerais numa amostra. Verificou-se, que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os vários grupos de filetes analisados.

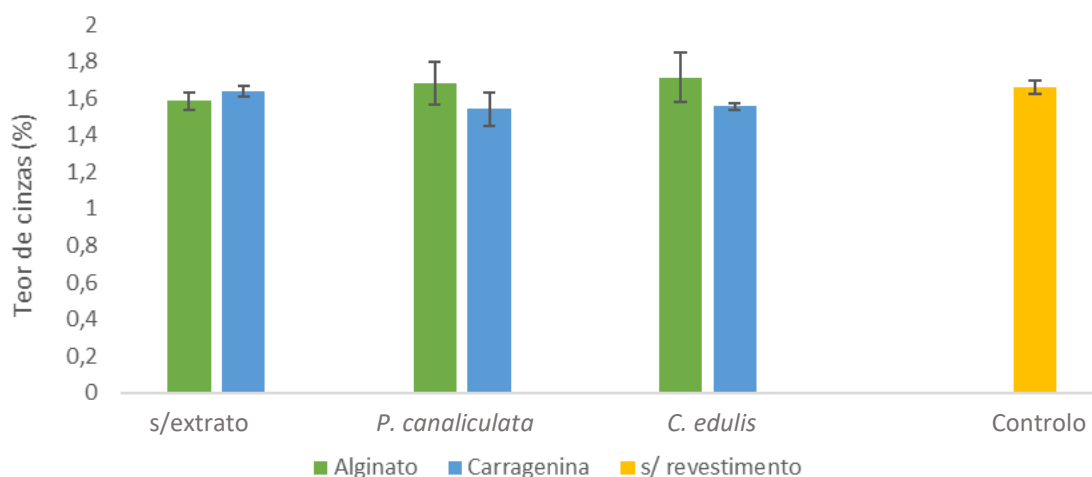


Figura 19 - Teor de cinza das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP. Não se detetaram diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos.

4.3.4 Determinação do teor lipídico total

A aplicação dos revestimentos nos filetes pretendeu conferir uma barreira à absorção de óleo, pelo que menor teor lípido demonstra maior eficácia da barreira, no processo de fritura. Na Figura 20 observa-se que todos os grupos com revestimentos suplementados com *C. edulis* apresentaram uma redução significativa do teor de gordura quando comparados com o controlo. É de salientar que os filetes com revestimento de alginato suplementados com *C. edulis* apresentaram menos 30% de gordura comparativamente ao controlo. Contrariamente, os filetes com revestimentos suplementados com *P. canaliculata* apresentaram teores de gordura semelhantes ao controlo.

Dehghani *et al.* (2018) refere que, para revestimentos onde a matriz base são polissacarídeos como o alginato e a carragenina, a barreira de humidade não atua da melhor forma, no entanto estas matrizes têm uma permeabilidade seletiva no que toca a transferências de oxigénio, dióxido de carbono e são resistentes à migração de lípidos. Na literatura também é evidenciado que a aplicação de revestimentos alimentares, independentemente da matriz base, pode retardar a degradação química e oxidativa (Alsaggaf *et al.*, 2017).

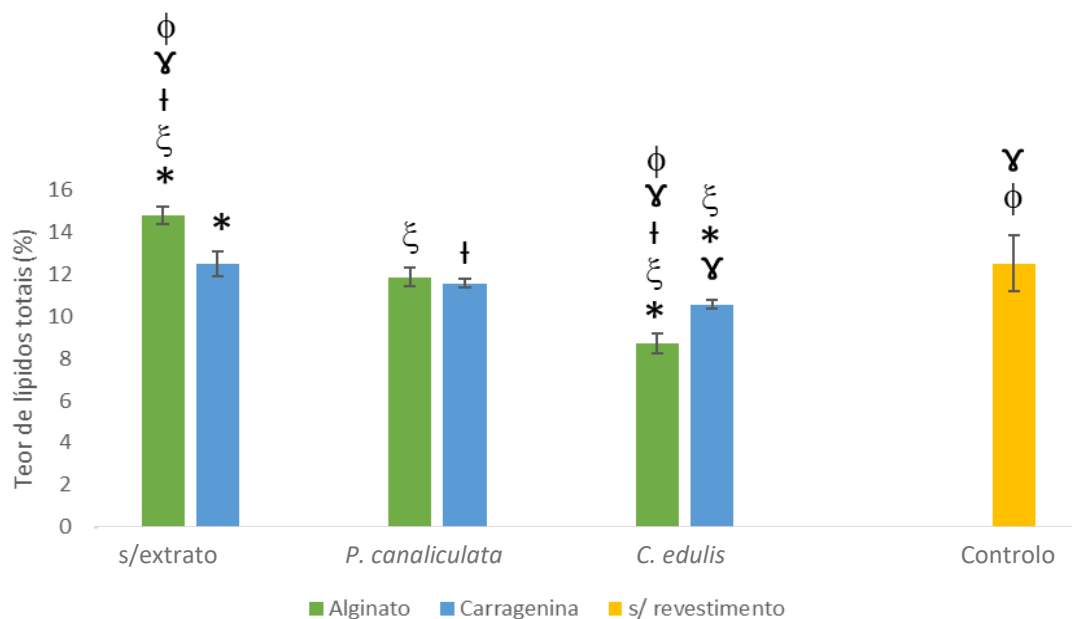


Figura 20 - Teor de lípidos totais das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em percentagem. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes.

4.3.5 Determinação de TBA

A análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico é um método amplamente utilizado para a avaliação da peroxidação lipídica através da medição do composto malonaldeído, produzido pela decomposição de ácidos gordos polinsaturados presentes no pescado (Dasgupta & Klein, 2014). Os resultados obtidos (Figura 21) evidenciam valores relativamente baixos o que indicia uma reduzida oxidação lipídica. Os filetes revestidos com alginato suplementado com *P. canaliculata* apresentaram os valores mais elevados de TBA, significativamente superiores ao controlo e às demais amostras. A causa deste valor discrepante pode estar numa menor eficácia do revestimento para a sua atuação de barreira de oxigénio e humidade.

M. G. Volpe *et al.* (2015) demonstrou que a presença de um revestimento de carragenina suplementado com óleos essenciais, reduziu a oxidação lipídica de filetes de truta. Outro estudo também com filetes de truta observou a redução dos valores de índice de TBA com a

aplicação de revestimentos comestíveis, denotando que estes resultados podem estar relacionados com o sinergismo entre a matriz do revestimento e a atividade antioxidante de óleos essenciais (Raeisi *et al.*, 2015).

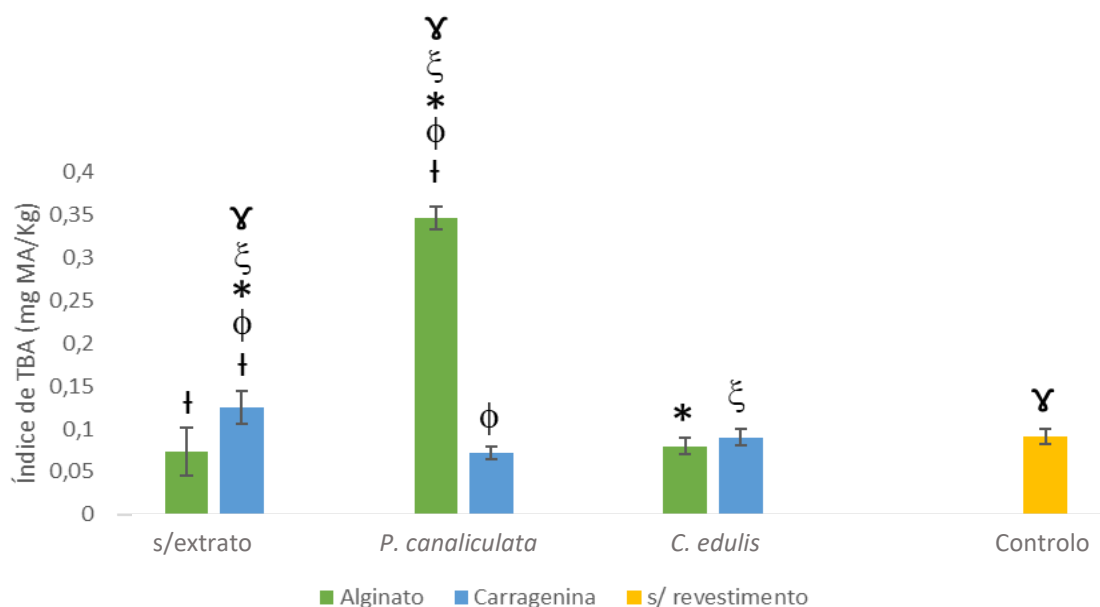


Figura 21 - Índice de TBA das amostras de filetes de sarda após fritura, expresso em mg de malonaldeído por kg de amostra. Os grupos que partilham o mesmo símbolo, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si. Os dados estão apresentados na forma média \pm DP de três réplicas independentes.

O valor recomendado para o índice de TBA em pescado é 2 mg MA/kg (Bazargani-Gilani, 2018) pelo que todas amostras analisadas no presente estudo encontram-se abaixo deste limite, evidenciando um bom estado de preservação. Contrariamente, o estudo desenvolvido por Negara *et al.* (2021) refere valores superiores a 2 mg MA/kg em amostras de *Scomber japonicus* frito em condições de fritura semelhantes às aplicadas.

Aubourg *et al.* (2005) reporta que a oxidação lipídica é superior em filetes de pescado do que em pescado inteiro enquanto Crobotova *et al.* (2019) denota que, em sarda cozinhada, o valor de oxidação lipídica aumenta conforme o aumento da temperatura do processo, independentemente da adição de compostos antioxidantes.

4.3.6 Determinação e caracterização do perfil de ácidos gordos

A composição em ácidos gordos (AG) das amostras de filetes de sarda pós fritura é apresentada na Tabela 5, evidenciando-se a cinzeno os AG mais abundantes. A composição em AG dos filetes fritos advém não só da matriz alimentar como também do óleo de girassol absorvido no processo de fritura. O AG maioritário no óleo de girassol é o ácido linoleico (C18:2 n-6), seguido do ácido oleico (18:1 n-9) e dos ácidos gordos saturados palmítico (C16:0) e esteárico (AE, C18:0). (Orsavova *et al.*, 2015).

No que concerne à sarda, é um peixe rico em ácidos gordos polinsaturados, maioritariamente ácido docosa-hexaenóico (DHA, C22:6 n-3) e ácido eicosapentaenóico (EPA, C20:5 n-3). Os ácidos gordos saturados mais abundantes são o ácido palmítico (C16:0) e o esteárico (C18:0). O ácido oleico (C18:1) constitui o AG monoinsaturado mais relevante (El Oudiani *et al.*, 2019).

No presente estudo, observou-se que os ácidos gordos saturados mais abundantes nos filetes pós fritura são o palmítico e o esteárico, independentemente da formulação de revestimento aplicada. No entanto, os filetes com revestimentos de alginato suplementados com *P. canaliculata* ou com *C. edulis* apresentaram o menor teor total de AG saturados comparativamente às restantes amostras. O ácido gordo maioritário em todos os filetes com revestimento foi o ácido oleico. Efetivamente, observaram-se valores substancialmente superiores à amostra controlo, em particular, nos filetes revestidos com alginato suplementado com extrato de *C. edulis*. O revestimento de alginato com *P. canaliculata* originou o valor mais baixo de ácido oleico no produto frito, sugerindo uma maior barreira criada quando avaliando este ácido gordo.

Verificou-se um decréscimo considerável do teor de ácido linoleico em todos os filetes com revestimento, comparativamente ao controlo, com exceção do grupo de amostragem com revestimento de alginato suplementado com extrato de *P. canaliculata*. Os menores valores

reportados sugerem menor absorção de óleo pela matriz alimentar uma vez que o ácido linoleico é o AG maioritário no óleo de girassol.

Relativamente aos ácidos gordos polinsaturados, os filetes com revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis* destacaram-se pelos menores teores de DHA e EPA comparativamente ao controlo, sendo que os restantes grupos apresentaram valores similares entre eles.

Tabela 5 - Quantidade média (%)/(µg/mg) de ácidos gordos presentes em cada grupo de amostragem.

Ácido gordo	Alg 2%	Car 1%	AlgPc	AlgCe	CarPc	CarCe	Controlo
C12:0	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,02
C13:0	0,09 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,10 ± 0,01
C14:0	3,90 ± 0,09	4,25 ± 0,13	3,28 ± 0,23	2,99 ± 0,57	3,42 ± 0,12	4,78 ± 0,14	4,26 ± 0,07
C15:0	0,84 ± 0,03	0,97 ± 0,04	0,69 ± 0,06	0,80 ± 0,21	0,73 ± 0,06	1,02 ± 0,02	0,84 ± 0,03
C16:0	17,52 ± 0,11	17,02 ± 0,06	15,72 ± 1,50	14,80 ± 2,24	16,09 ± 0,12	18,50 ± 0,48	18,30 ± 0,35
C17:0	1,13 ± 0,07	1,58 ± 0,07	0,91 ± 0,24	0,94 ± 0,42	0,95 ± 0,21	1,36 ± 0,32	1,21 ± 0,03
C18:0	6,06 ± 0,12	5,88 ± 0,03	5,40 ± 0,16	6,38 ± 0,66	5,96 ± 0,04	6,45 ± 0,19	6,28 ± 0,09
C20:0	0,34 ± 0,07	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,10	0,35 ± 0,11	0,32 ± 0,04	0,37 ± 0,06	0,29 ± 0,10
C21:0	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,00	0,02 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,07 ± 0,00	0,09 ± 0,02	n.d n.d
C22:0	0,23 ± 0,01	0,25 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,52 ± 0,09	0,27 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,20 ± 0,04
C24:0	0,13 ± 0,04	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,11	0,21 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,10 n.d	0,13 ± 0,07
SFA	30,39 ± 0,29	30,61 ± 0,17	26,86 ± 2,20	27,22 ± 4,16	28,07 ± 0,27	32,99 ± 0,70	31,59 ± 0,23
C16:1 n-7	2,91 ± 0,11	3,16 ± 0,17	2,29 ± 0,26	1,58 ± 0,78	2,34 ± 0,30	2,75 ± 0,70	2,80 ± 0,26
C17:1 n-7	0,64 ± 0,12	0,85 ± 0,04	0,47 ± 0,11	0,51 ± 0,09	0,57 ± 0,13	0,70 ± 0,20	0,74 ± 0,03
<i>trans</i> C18:1 n-9	0,15 ± 0,09	0,27 ± 0,08	0,03 ± 0,04	0,27 ± 0,22	0,30 ± 0,17	n.d n.d	0,20 ± 0,07
C18:1 n-9	39,93 ± 0,54	37,49 ± 0,36	27,14 ± 0,66	61,25 ± 2,48	44,94 ± 0,96	34,85 ± 1,06	24,56 ± 0,10
C20:1 n-9	1,35 ± 0,02	1,31 ± 0,05	0,97 ± 0,14	0,99 ± 0,26	1,27 ± 0,09	1,33 ± 0,15	1,40 ± 0,01
C22:1 n-9	0,52 ± 0,05	0,64 ± 0,16	0,37 ± 0,11	0,46 ± 0,22	0,44 ± 0,06	0,53 ± 0,07	0,73 ± 0,27
C24:1 n-9	0,78 ± 0,02	0,83 ± 0,13	0,84 ± 0,11	0,45 ± 0,00	0,72 ± 0,04	0,88 ± 0,01	0,77 ± 0,06
MUFA	46,28 ± 0,50	44,54 ± 0,00	32,11 ± 0,12	65,52 ± 1,09	50,57 ± 0,54	41,03 ± 0,46	31,21 ± 0,13
C18:2 n-6	2,39 ± 0,16	2,55 ± 0,19	21,36 ± 1,78	2,05 ± 0,57	2,65 ± 0,02	2,21 ± 0,10	15,34 ± 0,55
C18:3 n-6	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,04	n.d n.d	0,05 ± 0,03	0,07 ± 0,03	0,08 n.d
C18:3 n-3 (ALA)	0,65 ± 0,03	0,78 ± 0,03	0,58 ± 0,18	0,20 ± 0,01	0,59 ± 0,07	0,72 ± 0,06	0,70 ± 0,14
C18:4 n-3	1,03 ± 0,09	1,14 ± 0,11	0,99 ± 0,07	0,12 n.d	0,92 ± 0,11	1,21 ± 0,25	1,14 ± 0,10
C20:2 n-6	0,26 ± 0,02	0,33 ± 0,05	0,23 ± 0,01	0,14 ± 0,04	0,26 ± 0,05	0,38 ± 0,07	0,36 ± 0,05
C20:3 n-6	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,03	n.d n.d	0,03 n.d	n.d n.d	n.d n.d
C20:4 n-6	1,13 ± 0,07	1,44 ± 0,07	1,24 ± 0,02	0,50 ± 0,17	1,08 ± 0,12	1,47 ± 0,07	1,15 ± 0,08
C20:5 n-3 (EPA)	4,88 ± 0,17	4,77 ± 0,14	4,52 ± 0,06	0,93 ± 0,45	3,99 ± 0,45	5,25 ± 0,59	5,43 ± 0,20
C22:5 n-3	1,41 ± 0,19	1,37 ± 0,02	1,14 ± 0,01	0,23 ± 0,12	1,15 ± 0,03	1,54 ± 0,09	1,37 ± 0,07
C22:6 n-3 (DHA)	11,48 ± 0,61	12,35 ± 0,13	10,93 ± 0,56	3,24 ± 1,75	10,66 ± 0,29	13,12 ± 0,46	11,68 ± 0,52
PUFA	23,32 ± 0,74	24,85 ± 0,17	41,01 ± 2,12	7,23 ± 3,00	21,35 ± 0,53	25,97 ± 0,92	37,20 ± 0,36

No estudo de Negara *et al.* (2021), onde há uma comparação entre diversos tipos de fritura, é verificado que, em filetes de *Scomber japonicus* crus, os ácidos gordos mais comuns são os ácidos palmítico e oleico, enquanto que em filetes fritos em vácuo, sem revestimento, os resultados obtidos para o primeiro são bastante mais reduzidos, indicando que o método escolhido para o processo de fritura também é importante e de interesse para estudo.

4.3.7 Análise de Componentes principais das amostras de filetes de sarda

Com a análise de componentes principais (PCA), é possível fazer uma comparação geral dos parâmetros que caracterizam os filetes dos vários grupos estudados (Figura 22). O primeiro componente principal, PC1 representa 49,8 % da variabilidade das amostras e está mais relacionado com os teores de ácidos gordos insaturados (MUFA e PUFA), teor de humidade e teor de lípidos totais. O segundo componente principal PC2, representa apenas 18,7% da variabilidade e é definido essencialmente pelos teores de cinza (minerais) e ácidos gordos saturados (SFA).

É possível observar que os grupos de amostragem em que o revestimento foi suplementado com extrato de *Carpobrotus edulis* (I) e (II) se destacam das outras amostras por apresentarem valores mais elevados de ácidos gordos monoinsaturados e de humidade, e um menor teor lipídico e de ácidos gordos polinsaturados. Verifica-se ainda que estes grupos se distinguem entre si, pelo facto das amostras revestidas com carragenina (II) apresentam maior teor de minerais e ácidos saturados do que as amostras revestidas com alginato (I).

Observa-se também que as amostras cujo revestimento foi suplementado com *P. canaliculata*, apresentam características similares aos filetes controlo (fritos sem revestimento) e às amostras revestidas com alginato ou com carragenina sem adição de extrato. Este conjunto de amostras (III) são as que apresentam maior teor de lípidos e menor humidade.

Assim, com base na análise de componentes principais, podemos concluir que os revestimentos suplementados com *C. edulis*, particularmente os de alginato, constituem uma barreira eficaz que diminui a absorção de óleo e a perda de água dos filetes durante o processo de fritura.

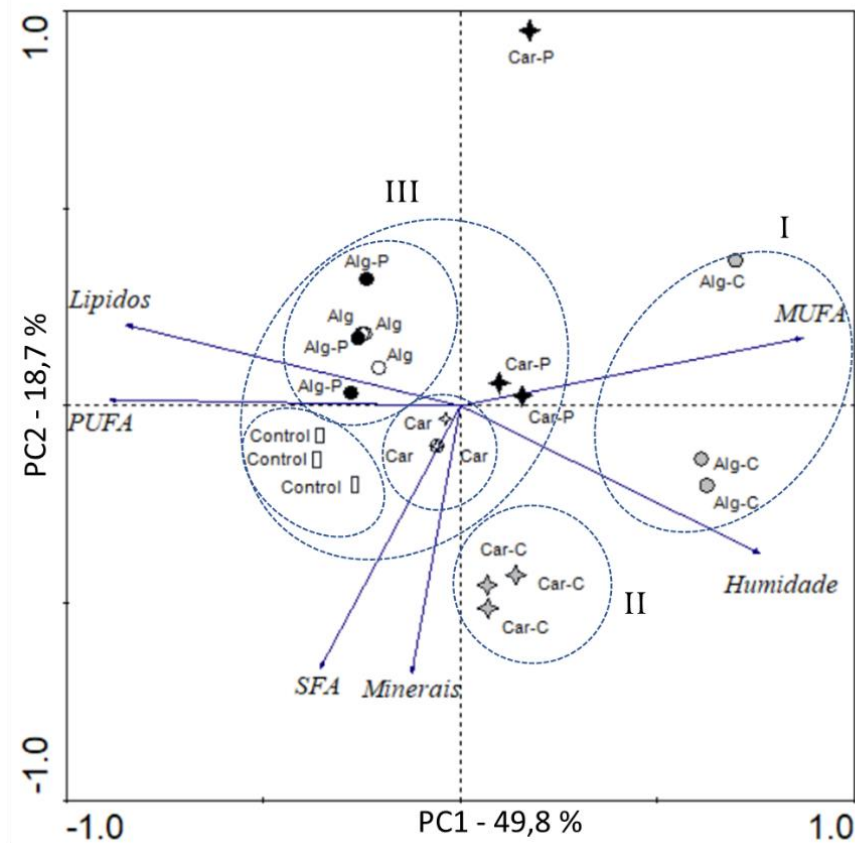


Figura 22 - Diagrama da análise PCA dos dados obtidos para grupos de amostragem a partir das análises (vectores) de teor lípidico, teor de humidade e cinza e ainda a presença de ácidos gordos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e poliinsaturados (PUFA). (Alg: revestimento de alginato 2%, Alg-P: revestimento de alginato suplementados com extrato de *P. canaliculata*, Alg-C: revestimento de alginato suplementado com extrato de *C. edulis*, Car: revestimento de carragenina 1%, Car-P: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *P. canaliculata*, Car-C: revestimento de carragenina suplementado com extrato de *C. edulis*).

5. Considerações finais e perspectivas futuras

A preocupação do consumidor por alimentos mais saudáveis e sustentáveis está na ordem do dia. O peixe é considerado um alimento equilibrado em termos nutricionais, sendo uma fonte importante de ácidos gordos essenciais. A fritura é um modo de confeção de alimentos, em particular de peixe, bastante apreciado pelas características sensoriais que confere ao produto final. Todavia, a absorção de óleo durante a fritura aumenta o teor de gordura no alimento e, conseqüentemente, o seu valor calórico. Para além disso, as temperaturas elevadas envolvidas na fritura desencadeiam reações de degradação, quer no alimento como no óleo, em particular, reações de oxidação, originando compostos potencialmente nefastos para o consumidor. O presente estudo procurou encontrar soluções para minorar estes constrangimentos. Assim, investigou-se o efeito da aplicação de revestimentos de alginato ou de carragenina formulados com extratos de *P. canaliculata* ou de *C. edulis* em filetes de sarda submetidos a fritura. No geral, a aplicação de revestimentos revelou-se benéfica comparativamente à amostra controlo (peixe frito sem revestimento). Os filetes fritos com revestimentos suplementados com *C. edulis*, em particular os de alginato, destacaram-se pela sua eficácia quer na redução da absorção de óleo como na perda de água, o permitiu obter filetes suculentos e com menor teor lípido. Não se observaram diferenças significativas na textura e cor dos filetes, comparativamente à amostra controlo, bem como no índice de ácido tiobarbitúrico, o que indicou uma preservação da qualidade da gordura do peixe.

No futuro, é de interesse explorar a aplicação de extratos de *C. edulis* em outras matrizes alimentares com o intuito de conferir propriedades interessantes ao produto, em particular, atividade antioxidante.

6. Bibliografia

- Afonso, N. C., Catarino, M. D., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2019). Brown Macroalgae as Valuable Food Ingredients. *Antioxidants* 2019, Vol. 8, Page 365, 8(9), 365. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX8090365>
- Albertos, I., Martin-Diana, A. B., Burón, M., & Rico, D. (2019). Development of functional bio-based seaweed (*Himanthalia elongata* and *Palmaria palmata*) edible films for extending the shelflife of fresh fish burgers. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100382. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2019.100382>
- Alexandre, S., Vital, A. C. P., Mottin, C., do Prado, R. M., Ornaghi, M. G., Ramos, T. R., Guerrero, A., Pilau, E. J., & do Prado, I. N. (2021a). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum* spp) extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3835–3843. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04844-1/FIGURES/1>
- Alexandre, S., Vital, A. C. P., Mottin, C., do Prado, R. M., Ornaghi, M. G., Ramos, T. R., Guerrero, A., Pilau, E. J., & do Prado, I. N. (2021b). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum* spp) extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3835–3843. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04844-1/FIGURES/1>
- Almeida, C., Karadzic, V., & Vaz, S. (2015). The seafood market in Portugal: Driving forces and consequences. *Marine Policy*, 61, 87–94. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2015.07.012>
- Alsaggaf, M. S., Moussa, S. H., & Tayel, A. A. (2017). Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological, chemical and sensorial quality enhancement of Nile tilapia fillets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 499–505. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.03.017>

- Archana, G., Azhagu Saravana Babu, P., Sudharsan, K., Sabina, K., Palpandi Raja, R., Sivarajan, M., & Sukumar, M. (2016). Evaluation of Fat Uptake of Polysaccharide Coatings on Deep-Fat Fried Potato Chips by Confocal Laser Scanning Microscopy. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10942912.2015.1065426*, 19(7), 1583–1592. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1065426>
- Ashton, I. P. (2002). Understanding lipid oxidation in fish. *Safety and Quality Issues in Fish Processing*, 254–285.
- Aubourg, S. P., Rodríguez, A., & Gallardo, J. M. (2005). Rancidity development during frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*): effect of catching season and commercial presentation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(5), 316–323. <https://doi.org/10.1002/EJLT.200401124>
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., & Mohd Adzahan, N. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2013.09.004>
- Bazargani-Gilani, B. (2018). Activating sodium alginate-based edible coating using a dietary supplement for increasing the shelf life of rainbow trout fillet during refrigerated storage (4 ± 1 °C). *Journal of Food Safety*, 38(1), e12395. <https://doi.org/10.1111/JFS.12395>
- Bennett, A., Basurto, X., Virdin, J., Lin, X., Betances, S. J., Smith, M. D., Allison, E. H., Best, B. A., Brownell, K. D., Campbell, L. M., Golden, C. D., Havice, E., Hicks, C. C., Jacques, P. J., Kleisner, K., Lindquist, N., Lobo, R., Murray, G. D., Nowlin, M., ... Zoubek, S. (2021). Recognize fish as food in policy discourse and development funding. *Ambio*, 50(5), 981–989. <https://doi.org/10.1007/S13280-020-01451-4>
- Bland, J. M., Bett-Garber, K. L., Li, C. H., Brashear, S. S., Lea, J. M., & Bechtel, P. J. (2018). Comparison of sensory and instrumental methods for the analysis of texture of cooked individually quick frozen and fresh-frozen catfish fillets. *Food Science & Nutrition*, 6(6), 1692–1705. <https://doi.org/10.1002/FSN3.737>

- Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B. da, & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 167–180. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.01.020>
- Cardenas Bonilla, A., Sveinsdottir, K., & Martinsdottir, E. (2007). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for fresh cod (*Gadus morhua*) fillets and application in shelf life study. *Food Control*, 18(4), 352–358. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2005.10.019>
- Castañeda-Loaiza, V., Placines, C., Rodrigues, M. J., Pereira, C., Zengin, G., Uysal, A., Jeko, J., Cziáky, Z., Reis, C. P., Gaspar, M. M., & Custódio, L. (2020). If you cannot beat them, join them: Exploring the fruits of the invasive species *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br as a source of bioactive products. *Industrial Crops and Products*, 144. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.112005>
- Chen, H. M., Yan, X. J., Wang, F., Xu, W. F., & Zhang, L. (2010). Assessment of the oxidative cellular toxicity of a κ -carrageenan oxidative degradation product towards Caco-2 cells. *Food Research International*, 43(10), 2390–2401. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.09.019>
- Chen, J., Jayachandran, M., Bai, W., & Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130874>
- Chénais, B. (2021). Algae and microalgae and their bioactive molecules for human health. *Molecules*, 26(4). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26041185>
- Cheng, J. H., Sun, D. W., Han, Z., & Zeng, X. A. (2014). Texture and Structure Measurements and Analyses for Evaluation of Fish and Fillet Freshness Quality: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(1), 52–61. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12043>
- Choe, E., & Min, D. B. (2009). Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(4), 345–358. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2009.00085.X>

- Collette, B. B., & Nauen, C. E. (1983). *Scombrids of the world: an annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos, and related species known to date*. v. 2.
- Comissão Técnica: C 250 /CT 25. (1990). *Norma NP 3356, Pescado. Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico. (T.B.A.). Método espectrofotométrico*.
- Coppes, Z., Pavlisko, A., & De Vecchi, S. (2008). Texture Measurements in Fish and Fish Products. *Http://Dx.Doi.Org/10.1300/J030v11n01_08*, 11(1), 89–105. https://doi.org/10.1300/J030V11N01_08
- Cropotova, J., Mozuraityte, R., Standal, I. B., Grøvlen, M. S., & Rustad, T. (2019). Superchilled, chilled and frozen storage of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets – changes in texture, drip loss, protein solubility and oxidation. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 2228–2235. <https://doi.org/10.1111/IJFS.14136>
- Dasgupta, A., & Klein, K. (2014). Methods for Measuring Oxidative Stress in the Laboratory. *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements*, 19–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405872-9.00002-1>
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.034>
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4369–4383. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3402-9/TABLES/1>
- Dincer, T., & Cakli, S. (2010). Textural and Sensory Properties of Fish Sausage from Rainbow Trout. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10498850.2010.509539*, 19(3–4), 238–248. <https://doi.org/10.1080/10498850.2010.509539>
- Domingo, J. L., & L Domingo, J. E. (2014). Nutrients and Chemical Pollutants in Fish and Shellfish. Balancing Health Benefits and Risks of Regular Fish Consumption. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10408398.2012.742985*, 56(6), 979–988. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.742985>
- DrLange. (1994). *Colour review. Application report No. 8e. USA*.

- Dwivany, F. M., Aprilyandi, A. N., Suendo, V., & Sukriandi, N. (2020). Carrageenan Edible Coating Application Prolongs Cavendish Banana Shelf Life. *International Journal of Food Science*, 2020, 8861610. <https://doi.org/10.1155/2020/8861610>
- El Oudiani, S., Chetoui, I., Darej, C., & Moujahed, N. (2019). Sex and seasonal variation in proximate composition and fatty acid profile of *Scomber scombrus* (L. 1758) fillets from the Middle East Coast of Tunisia. *Grasas y Aceites*, 70(1), e285–e285. <https://doi.org/10.3989/GYA.0235181>
- EUMOFA. (2021). *THE EU FISH MARKET Maritime affairs and fisheries*. <https://doi.org/10.2771/563899>
- EUMOFA, & EU Fish Market. (2019). *Main species consumed in the European Union (2017)*. https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/facts-and-figures/facts-and-figures-common-fisheries-policy/consumption_en
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292–303. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2011.02.004>
- Fao. (n.d.). *The global status of seaweed production, trade and utilization Volume 124*.
- Fao. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. www.fao.org/publications
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. <https://doi.org/10.4060/CA9231EN>
- Fernández, A., Grienke, U., Soler-Vila, A., Guihéneuf, F., Stengel, D. B., & Tasdemir, D. (2015). Seasonal and geographical variations in the biochemical composition of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.) from Ireland. *Food Chemistry*, 177, 43–52. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.12.062>
- Ferreira, I., Gomes-Bispo, A., Lourenço, H., Matos, J., Afonso, C., Cardoso, C., Castanheira, I., Motta, C., Prates, J. A. M., & Bandarra, N. M. (2020). The chemical composition and lipid profile of the chub mackerel (*Scomber colias*) show a strong seasonal dependence: Contribution to a nutritional evaluation. *Biochimie*, 178, 181–189. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCHI.2020.09.022>

- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*, 226(1), 497–509.
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.07.011>
- Ganesan, A. R., Shanmugam, M., Palaniappan, S., & Rajauria, G. (2018). Development of edible film from *Acanthopora spicifera*: Structural, rheological and functional properties. *Food Bioscience*, 23, 121–128. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2017.12.009>
- García, M. A., Ferrero, C., Bértola, N., Martino, M., & Zaritzky, N. (2002). Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(4), 391–397. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00050-4)
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859–877.
- Gil, A., & Gil, F. (2015). Fish, a Mediterranean source of n-3 PUFA: benefits do not justify limiting consumption. *The British Journal of Nutrition*, 113 Suppl 2(S2), S58–S67. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003742>
- Gomez, L. P., Alvarez, C., Zhao, M., Tiwari, U., Curtin, J., Garcia-Vaquero, M., & Tiwari, B. K. (2020). Innovative processing strategies and technologies to obtain hydrocolloids from macroalgae for food applications. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116784. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116784>
- González, J., Cordero-Rivera, A., & Rodríguez, L. (2021). Impacts of the invasive plant *Carpobrotus edulis* on herbivore communities on the Iberian Peninsula. *Biological Invasions*, 23, 1425–1441. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02449-5>
- Gutiérrez, T. J. (2017). Surface and nutraceutical properties of edible films made from starchy sources with and without added blackberry pulp. *Carbohydrate Polymers*, 165, 169–179. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.02.016>

- Hematyar, N., Rustad, T., Sampels, S., & Kastrup Dalsgaard, T. (2019). Relationship between lipid and protein oxidation in fish. *Aquaculture Research*, *50*(5), 1393–1403. <https://doi.org/10.1111/ARE.14012>
- Ibtissem, B., Abdelly, C., & Sfar, S. (2012). Antioxidant and Antibacterial Properties of *Mesembryanthemum crystallinum* and *Carpobrotus edulis* Extracts. *Advances in Chemical Engineering and Science*, *2*, 359–365. <https://doi.org/10.4236/aces.2012.23042>
- INSA. (n.d.). *Detalhe Alimento: Sarda crua*. Retrieved April 29, 2022, from <http://www2.insa.pt/sites/INSA/Portugues/AreasCientificas/AlimentNutricao/AplicacoesOnline/TabelaAlimentos/PesquisaOnline/Paginas/DetalheAlimento.aspx?ID=IS879>
- Iverson, S. J., Lang, S. L. C., & Cooper, M. H. (2001). Comparison of the Bligh and Dyer and Folch methods for total lipid determination in a broad range of marine tissue. *Lipids*, *36*(11), 1283–1287. <https://doi.org/10.1007/S11745-001-0843-0>
- Jallali, I., Megdiche, W., Baya, •, Hamdi, M. ', Oueslati, S., Smaoui, A., Abdelly, C., Ksouri, R., Jallali, I., Megdiche, Á. W., Oueslati, Á. S., Smaoui, Á. A., Abdelly, Á. C., Ksouri, Á. R., & M'hamdi, B. (2012). Changes in phenolic composition and antioxidant activities of the edible halophyte *Crithmum maritimum* L. with physiological stage and extraction method. *Acta Physiol Plant*, *34*, 1451–1459. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-0943-9>
- Kang, H. J., Kim, S. J., You, Y. S., Lacroix, M., & Han, J. (2013). Inhibitory effect of soy protein coating formulations on walnut (*Juglans regia* L.) kernels against lipid oxidation. *LWT - Food Science and Technology*, *51*(1), 393–396. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2012.10.019>
- Karbowiak, T., Hervet, H., Léger, L., Champion, D., Debeaufort, F., & Voilley, A. (2006). Effect of plasticizers (water and glycerol) on the diffusion of a small molecule in iota-carrageenan biopolymer films for edible coating application. *Biomacromolecules*, *7*(6), 2011–2019. <https://doi.org/10.1021/BM060179R>

- Kilincceker, O., Dogan, I. S., & Kucukoner, E. (2009). Effect of edible coatings on the quality of frozen fish fillets. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(4), 868–873. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.11.003>
- Kurek, M., Ščetar, M., & Galić, K. (2017). Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. *Food Hydrocolloids*, *71*, 225–235. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.05.006>
- Lähteenmäki-Uutela, A., Rahikainen, M., Camarena-Gómez, M. T., Piiparinen, J., Spilling, K., & Yang, B. (2021). European Union legislation on macroalgae products. *Aquaculture International*, *29*(2), 487–509. <https://doi.org/10.1007/S10499-020-00633-X/TABLES/1>
- Liberty, J. T., Dehghannya, J., & Ngadi, M. O. (2019). Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *92*, 172–183. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.07.050>
- Liu, Y., Li, J., Cheng, Y., & Liu, Y. (2019). Effect of frying oils' fatty acid profile on quality, free radical and volatiles over deep-frying process: A comparative study using chemometrics. *LWT*, *101*, 331–341. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.11.033>
- Lockwood, S. J. (1988). *The mackerel. Its biology, assessment and the management of a fishery*. Farnham (UK) Fishing News Books.
- Marques, I., Botelho, G., & Guiné, R. (2019). Comparative study on nutritional composition of fish available in Portugal. *Nutrition and Food Science*, *49*(5), 925–941. <https://doi.org/10.1108/NFS-11-2018-0311>
- Marques, S. (2019). *Desenvolvimento de Filmes Comestíveis com Base em Algas Marinhas para Salmão Congelado*. Instituto Politécnico de Leiria.
- Martins-Noguerol, R., Cambrollé, J., Mancilla-Leytón, J. M., Puerto-Marchena, A., Muñoz-Vallés, S., Millán-Linares, M. C., Millán, F., Martínez-Force, E., Figueroa, M. E., Pedroche, J., & Moreno-Pérez, A. J. (2021). Influence of soil salinity on the protein and fatty acid composition of the edible halophyte *Halimione portulacoides*. *Food Chemistry*, *352*, 129370. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129370>

- Negara, B. F. S. P., Lee, M. J., Tirtawijaya, G., Cho, W. H., Sohn, J. H., Kim, J. S., & Choi, J. S. (2021). Application of Deep, Vacuum, and Air Frying Methods to Fry Chub Mackerel (*Scomber japonicus*). *Processes* 2021, Vol. 9, Page 1225, 9(7), 1225. <https://doi.org/10.3390/PR9071225>
- Neves, M., Antunes, M., Fernandes, W., Campos, M. J., Azevedo, Z. M., Freitas, V., Rocha, J. M., & Tecelão, C. (2021). Physicochemical and nutritional profile of leaves, flowers, and fruits of the edible halophyte chorão-da-praia (*Carpobrotus edulis*) on Portuguese west shores. *Food Bioscience*, 43, 101288. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101288>
- Neves, M., Miranda, A., Lemos, M. F. L., Silva, S., & Tecelão, C. (2020). Enhancing oxidative stability of sunflower oil by supplementation with prickled broom (*Pterospartum tridentatum*) ethanolic extract. *Journal of Food Science*, 85(9), 2812–2821. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15378>
- Nielsen, J., & Jessen, F. (2007). Quality of Frozen Fish. *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*, 577–586. <https://doi.org/10.1002/9780470277829.CH44>
- Novaković, S., & Tomašević, I. (2017). A comparison between Warner-Bratzler shear force measurement and texture profile analysis of meat and meat products: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 85(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012063>
- Özalp Özen, B., & Soyer, A. (2018). Effect of plant extracts on lipid and protein oxidation of mackerel (*Scomber scombrus*) mince during frozen storage. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 120–127. <https://doi.org/10.1007/S13197-017-2847-6/FIGURES/4>
- Paixão, L. C., Lopes, I. A., Barros Filho, A. K. D., & Santana, A. A. (2019). Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(48), 48263. <https://doi.org/10.1002/APP.48263>
- Regulamento (UE) No. 1129/2011*, (2011) (testimony of Parlamento Europeu). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2011:295:FULL&from=PT>

- Pereira, D. M., Valentão, P., Teixeira, N., & Andrade, P. B. (2013). Amino acids, fatty acids and sterols profile of some marine organisms from Portuguese waters. *Food Chemistry*, *141*(3), 2412–2417. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.04.120>
- Petropoulos, S. A., Karkanis, A., Martins, N., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products. *Trends in Food Science & Technology*, *74*, 69–84. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.02.006>
- Pirozzi, A., Pataro, G., Donsì, F., & Ferrari, G. (2020). Edible Coating and Pulsed Light to Increase the Shelf Life of Food Products. *Food Engineering Reviews 2020 13:3*, *13*(3), 544–569. <https://doi.org/10.1007/S12393-020-09245-W>
- Qin, Y. (2018). Seaweed Hydrocolloids as Thickening, Gelling, and Emulsifying Agents in Functional Food Products. *Bioactive Seaweeds for Food Applications: Natural Ingredients for Healthy Diets*, 135–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00007-8>
- Raeisi, M., Tajik, H., Aliakbarlu, J., Mirhosseini, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2015). Effect of carboxymethyl cellulose-based coatings incorporated with Zataria multiflora Boiss. essential oil and grape seed extract on the shelf life of rainbow trout fillets. *LWT - Food Science and Technology*, *64*(2), 898–904. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.06.010>
- Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, *44*(1), 63–70. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2006.11.015>
- Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Moreno, V., Caride, A., Vieites, J. M., & Diaz, O. (2011). Whey protein-based coatings on frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*): Influence of the plasticiser and the moment of coating on quality preservation. *Food Chemistry*, *128*(1), 187–194. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.03.026>
- Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, *5*, 86–92. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2015.09.004>

- Sampels, S. (2013). Oxidation and Antioxidants in Fish and Meat from Farm to Fork. In I. Muzzalupo (Ed.), *Food Industry*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53169>
- Sampels, S. (2015). The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. *Trends in Food Science & Technology*, *44*(2), 131–146. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.04.003>
- Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P. J. A., Gómez-Guillén, M. C., & Bifani, V. (2013). Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods. *Food Engineering Reviews*, *5*(4), 200–216. <https://doi.org/10.1007/S12393-013-9072-5/FIGURES/2>
- Silva, A., Silva, S. A., Lourenço-Lopes, C., Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Gullón, P., Fraga-Corral, M., Domingues, V. F., Fátima Barroso, M., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2020). Antibacterial Use of Macroalgae Compounds against Foodborne Pathogens. *Antibiotics* 2020, Vol. 9, Page 712, 9(10), 712. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS9100712>
- Soares, N. M., Fernandes, T. A., & Vicente, A. A. (2016). Effect of variables on the thickness of an edible coating applied on frozen fish – Establishment of the concept of safe dipping time. *Journal of Food Engineering*, *171*, 111–118. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.10.016>
- Soares, N. M., Mendes, T. S., & Vicente, A. A. (2013). Effect of chitosan-based solutions applied as edible coatings and water glazing on frozen salmon preservation – A pilot-scale study. *Journal of Food Engineering*, *119*(2), 316–323. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.05.018>
- Song, Y., Liu, L., Shen, H., You, J., & Luo, Y. (2011). Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*). *Food Control*, *22*(3–4), 608–615. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODCONT.2010.10.012>
- Sun, Q., Sun, F., Xia, X., Xu, H., & Kong, B. (2019). The comparison of ultrasound-assisted immersion freezing, air freezing and immersion freezing on the muscle quality and physicochemical properties of common carp (*Cyprinus carpio*) during freezing storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, *51*, 281–291.

<https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2018.10.006>

Tolstorebrov, I., Eikevik, T. M., & Bantle, M. (2016). Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. *International Journal of Refrigeration*, 63, 37–47. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2015.11.003>

Turcios, A. E., Cayenne, A., Uellendahl, H., & Papenbrock, J. (2021). *Halophyte Plants and Their Residues as Feedstock for Biogas Production-Chances and Challenges*. <https://doi.org/10.3390/app11062746>

Valdés, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2017). State of the Art of Antimicrobial Edible Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings 2017, Vol. 7, Page 56*, 7(4), 56. <https://doi.org/10.3390/COATINGS7040056>

Van Der Watt, E., & Pretorius, J. C. (2001). Purification and identification of active antibacterial components in *Carpobrotus edulis* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(1), 87–91. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00197-0)

Vital, A. C. P., Guerrero, A., Ornaghi, M. G., Kempinski, E. M. B. C., Sary, C., Monteschio, J. de O., Matumoto-Pintro, P. T., Ribeiro, R. P., & do Prado, I. N. (2018). Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 4945–4955. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3429-Y>

Volpe, M. G., Siano, F., Paolucci, M., Sacco, A., Sorrentino, A., Malinconico, M., & Varricchio, E. (2015). Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 615–622. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.08.048>

Volpe, Maria Grazia, Coccia, E., Siano, F., Di Stasio, M., & Paolucci, M. (2019). Rapid Evaluation Methods for Quality of Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fresh Fillet Preserved in an Active Edible Coating. *Foods 2019, Vol. 8, Page 113*, 8(4), 113. <https://doi.org/10.3390/FOODS8040113>

WoRMS - World Register of Marine Species - *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758. (n.d.). Retrieved April 24, 2022, from <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=127023>

- Yang, M., Shi, J., & Xia, Y. (2018). Effect of SiO₂, PVA and glycerol concentrations on chemical and mechanical properties of alginate-based films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(Pt B), 2686–2694. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.10.162>
- Yu, D., Regenstein, J. M., & Xia, W. (2018). Bio-based edible coatings for the preservation of fishery products: A Review. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1457623>, 59(15), 2481–2493. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1457623>
- Yu, D., Regenstein, J. M., & Xia, W. (2019). Bio-based edible coatings for the preservation of fishery products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(15), 2481–2493. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1457623>
- Zampelas, A., Panagiotakos, D. B., Pitsavos, C., Das, U. N., Chrysohoou, C., Skoumas, Y., & Stefanadis, C. (2005). Fish Consumption Among Healthy Adults Is Associated With Decreased Levels of Inflammatory Markers Related to Cardiovascular Disease: The ATTICA Study. *Journal of the American College of Cardiology*, 46(1), 120–124. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2005.03.048>
- Zhan, X., Sun, D. W., Zhu, Z., & Wang, Q. J. (2017). Improving the quality and safety of frozen muscle foods by emerging freezing technologies: A review. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1345854>, 58(17), 2925–2938. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1345854>
- Žoldoš, P., Popelka, P., Marcinčák, S., Nagy, J., Mesarčová, L., Pipová, M., Jevinová, P., Nagyová, A., & Mal'á, P. (2011). The effect of glaze on the quality of frozen stored Alaska pollack (*Theragra chalcogramma*) fillets under stable and unstable conditions. *Acta Veterinaria Brno*, 80(3), 299–304. <https://doi.org/10.2754/AVB201180030299>