



Universidade de Aveiro
2023

**Alexandrina Marlene
Gomes Machado**

**Estudo cinético da transferência de massa para a
otimização da produção de bacalhau salgado
seco**



Universidade de Aveiro
2023

**Alexandrina Marlene
Gomes Machado**

**Estudo cinético da transferência de massa para a
otimização da produção de bacalhau salgado seco**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Doutor Manuel António Coimbra Rodrigues da Silva, Professor Associado do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e supervisão empresarial de Denise Lima Caçoilo, gestora de operações da empresa Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã.

o júri

presidente

Doutora Maria Inês Purcell de Portugal Branco
Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Doutor Fernando José Neto da Silva
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Doutor Manuel António Coimbra Rodrigues da Silva
Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Coimbra, pela disponibilidade, sugestões para o trabalho, paciência e apoio durante a realização deste trabalho.

Agradeço à professora Inês Portugal, diretora do curso que frequento, por toda a ajuda, disponibilidade e apoio no processo da dissertação.

Quero exprimir agradecimentos a toda a equipa da empresa Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda., por todo o carinho. Em especial à Denise Caçoilo, por todo o tempo disponibilizado no auxílio desta dissertação, liberdade de ação, confiança e orientação.

Gostaria ainda de agradecer a todos aqueles que de algum modo contribuíram para a execução deste trabalho, em particular à Bárbara Pereira por todo o suporte ao longo destes meses.

Por último quero expressar a minha eterna gratidão à minha mãe e irmã pelo apoio, motivação, compreensão e acima de tudo por todos os sacrifícios para que tudo isto fosse possível.

palavras-chave

Bacalhau, transferência de massa, difusão, cinética, coeficientes de difusividade, otimização

resumo

Em Portugal o bacalhau é conservado industrialmente por processos de descongelação, secagem, demolha e salga. Este é o processo utilizado na empresa Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda., onde foi realizada a presente dissertação. Foi avaliada a influência da temperatura no tempo de descongelação do bacalhau, concluindo-se que a imersão à temperatura ambiente é o processo mais rápido e exequível na empresa. No caso da secagem foram estudadas as cinéticas consoante a posição do bacalhau no tabuleiro de secagem e do tabuleiro de secagem no secador. Verificou-se que o bacalhau colocado no topo do tabuleiro seca mais rápido do que o bacalhau colocado no fundo. No caso da posição do secador, concluiu-se que, nas primeiras horas, as posições mais próximas das ventoinhas secam mais rapidamente do que a posição no fundo do equipamento. Ao longo do processo esta variação altera-se, com a zona do secador mais distante das ventoinhas a secar de forma mais eficiente, como consequência da presença de um condensador que retira a humidade. No caso da demolha foi avaliada a influência da quantidade de água utilizada e da sua temperatura. Concluiu-se que o processo é otimizado quando realizado à temperatura ambiente, minimizando o gasto de água no processo. Deu-se especial ênfase à salga, estudando o impacto da concentração de cloreto de sódio, da temperatura e de uma prévia salmoura. Os resultados obtidos foram confirmados com a determinação do coeficiente de difusividade efetiva, recorrendo ao modelo de Peleg e à equação da difusão unidirecional de Fick. Obtiveram-se coeficientes de correlação, na sua maioria, elevados, demonstrando que o modelo se adequa. Os resultados obtidos permitiram concluir que quanto maior a quantidade de sal utilizada, maior a velocidade de desidratação. O mesmo se verificou nos ensaios a uma temperatura do ar envolvente mais elevada e também quando, antes da salga seca, se realizou uma salmoura de 24 horas. Em termos físico-químicos verificou-se que todas as variáveis escolhidas otimizavam a linha de produção como um todo, retirando horas do processo de secagem. Das possíveis melhorias identificadas, através de um estudo económico, verificou-se que uma salga realizada com adição de sal é a que mais otimiza a produção.

keywords

Cod, mass transfer, diffusion, kinetics, diffusivity coefficients, optimization.

abstract

In Portugal, codfish is industrially conserved by a process of unfreezing, drying, soaking and salting. This is the process used by Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda, where the present dissertation was developed. The temperature's influence of codfish unfreezing was assessed, concluding that immersion at room temperature is the fastest and most feasible process. When it comes to drying, the kinetics according to the position of codfish on the drying tray and of said tray inside of the dryer were studied. It was verified that codfish placed at the top of the tray dries faster than codfish placed on bottom. About the position inside the drier, it's shown that the places close to the fan dry faster than the ones further away. Along the process this variation changes, the area of the drier that's farther away from the fan becomes the most efficient, this is consequence of the presence of a condenser that removes humidity. When it comes to the soaking, studies revolved around the influence of the quantity of water used and its temperature. It was concluded that the process is optimal when it's done at room temperature, minimizing costs associated with process water. Special attention was given to the salting by studying the impact of sodium chloride's concentration, temperature and previous brine. The obtained results were confirmed by the determination of diffusion coefficients, resorting to Peleg's model and Fick's unidirectional diffusion equation. Correlation coefficients were obtained, in its majority, showing that the model is adequate. Results allowed to conclude that with the increase of the used salt's quantity, the dehydration velocity also increases. The same was verified in runs where the surrounding air's temperature was higher and also when, before the dry salting, a 24 hour brine was done. In physico-chemical terms, it was verified that all chosen variables optimize the production line as a whole, removing hours of the drying process. From all possible identified improvements, an economic study showed that a salting done with the gradual addition of salt is what best optimizes the process.

Índice

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Nomenclatura.....	xii
Abreviaturas.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Bacalhau.....	1
1.2. Estudo de mercado do bacalhau em Portugal	3
1.3. Importância da conservação do bacalhau	4
1.4. Processos de conservação do bacalhau.....	5
1.4.1. Congelação e descongelação	5
1.4.2. Salga.....	7
1.4.3. Secagem.....	8
1.4.4. Demolha.....	9
1.5. Mecanismos de Transporte	10
1.5.1. Descongelação	10
1.5.2. Salga e Demolha	11
1.5.3. Secagem.....	11
1.6. Cinética do processo.....	12
1.6.1. Descongelação	12
1.6.2. Salga e Demolha	13
1.6.3. Secagem.....	15
1.7. Modelos teóricos	17
1.8. Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.	18
1.8.1. Etapas do processamento de bacalhau.....	18
1.9. Âmbito e objetivo.....	24
2. Metodologia e materiais utilizados.....	25
2.1. Descongelação.....	25
2.2. Salga	25

2.3.	Secagem.....	27
2.4.	Demolha.....	28
3.	Resultados e Discussão	29
3.1.	Estudo da influência das respectivas variáveis nos processos de conservação	29
3.1.1.	Descongelação	29
3.1.1.1.	Influência da temperatura do ar envolvente	29
3.1.2.	Salga.....	31
3.1.2.1.	Influência da concentração de NaCl na salga.....	31
3.1.2.2.	Influência da temperatura na salga	32
3.1.2.3.	Influência de uma salmoura de 24 horas no processo de salga	33
3.1.2.4.	Determinação do coeficiente de difusividade efetiva	34
3.1.3.	Secagem.....	35
3.1.4.	Demolha.....	37
3.1.4.1.	Influência da temperatura.....	37
3.1.4.2.	Influência da razão entre massa de água de demolha e a de bacalhau.....	39
3.2.	Otimização do processo industrial	40
4.	Avaliação económica	42
5.	Conclusões e sugestões de melhoria.....	45
6.	Referências	47
7.	Anexos	53
	Anexo A – Posições estudadas no processo de secagem	53
	Anexo B – Resultados obtidos nos ensaios da salga.....	54
	Anexo C – Resultados do processo de secagem.....	56
	Anexo D – Ajustes dos modelos na determinação dos coeficientes de difusividade ...	57

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Gadus macrocephalus</i> .	1
Figura 2. <i>Gadus morhua</i> .	2
Figura 3. Vendas e produção entre 2010 e 2020 de (a) bacalhau congelado. (b) bacalhau salgado seco.	4
Figura 4. Secagem do bacalhau (a) natural. (b) artificial.	9
Figura 5. Processo de demolha industrial do bacalhau.	10
Figura 6. Transferência de calor através da superfície no processo de descongelação.	10
Figura 7. Transferência de calor e massa no processo de secagem.	12
Figura 8. Duas das fases do processo de descongelação.	13
Figura 9. Fluxos de transporte no processo de salga.	14
Figura 10. Cinética do processo de demolha.	15
Figura 11. Cinéticas de secagem.	16
Figura 12. Etapas do processamento de bacalhau na Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.	20
Figura 13. Fluxograma da linha de produção de congelados na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.	21
Figura 14. Fluxograma da linha de produção de salgado verde na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.	22
Figura 15. Fluxograma da linha de produção de salgado seco na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.	23
Figura 16. Termómetro digital.	25
Figura 17. Material utilizado nos ensaios realizados: (a) recipiente e amostra. (b) hidrómetro de aquário. (c) proveta graduada de 250 mL. (d) medidor de matéria seca.	26
Figura 18. Influência da temperatura do meio envolvente no processo de descongelação.	29
Figura 19. Influência do teor de sal na perda de água ao longo do tempo de desidratação das amostras de bacalhau.	31
Figura 20. Influência da temperatura na desidratação das amostras de bacalhau ao longo do tempo de processamento.	32

Figura 21. Influência de salmoura seguida de uma salga seca no processo desidratação do bacalhau.	33
Figura 22. Cinéticas de secagem em função da posição da amostra no tabuleiro.	35
Figura 23. Cinéticas de secagem em função da sua posição no secador.	35
Figura 24. Comparação do efeito da disposição da amostra num tabuleiro aberto e num fechado.	36
Figura 25. Quantidade de cloreto de sódio presente na água da demolha ao longo do tempo de processamento.	38
Figura 26. Influência da temperatura nas variações de massa durante o processo de demolha do bacalhau.	38
Figura 27. Influência da massa de água na quantidade de cloreto de sódio presente na água da demolha ao longo do tempo.	39
Figura 28. Variação do teor de humidade em base húmida no processo de secagem.	41
Figura 29. Interior do secador na Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.	53
Figura 30. Tabuleiro de secagem.	53
Figura 31. Ajustes do modelo de Peleg do ensaio (a) “ $1/4 + 1/4$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (b) “Controlo”. (c) “ $4/5$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (d) “ $2/3$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (e) “Temperatura”. (f) “ $1/4$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (g) “Salmoura + salga seca”.	57
Figura 32. Ajustes da 2ª lei de Fick do ensaio (a) “ $1/4 + 1/4$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (b) “Controlo”. (c) “ $4/5$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (d) “ $2/3$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (e) “Temperatura”. (f) “ $1/4$ (kg _{sal} /kg amostra)”. (g) “Salmoura + salga seca”.	58

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valor nutricional do bacalhau no seu estado fresco e salgado seco e demolido por 100 gramas de porção edível.	2
Tabela 2. Variação da temperatura do bacalhau ao longo do tempo em função da temperatura do ar envolvente.	30
Tabela 3. Constantes de Peleg e coeficientes de difusividade obtidos.	34
Tabela 4. Resultados obtidos do estudo da temperatura do ar envolvente no processo de demolha.	37
Tabela 5. Resultados obtidos no estudo da influência da quantidade de água no processo de demolha.	40
Tabela 6. Valores de custos e consumos energéticos utilizados para a realização da análise económica.	42
Tabela 7. Resultados da análise económica nos ensaios “Controlo”,” Salmoura + salga seca “, “ $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} (\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}})$ ”, $\frac{2}{3} (\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}})$ ”.	43
Tabela 8. Resultados obtidos nos ensaios do processo de salga.	54
Tabela 9. Resultados obtidos nos ensaios do processo de secagem.	56

Nomenclatura

C	Concentração de água ou sal	kg/m^3
D_{ef}	Coefficiente de Difusividade efetiva	m^2/s
D_0	Fator pré-exponencial	m^2/s
E_a	Energia de ativação	kJ/mol
i	Número de termos da série	
k_1	Constante de Peleg	$s (g_{\text{água}}/g_{\text{massa seca}})^{-1}$
k_2	Constante de Peleg	$(g_{\text{água}}/g_{\text{massa seca}})^{-1}$
L	Meia espessura da placa	m
$m_{amostra}$	Massa total da amostra	kg
$m_{salmoura}^{\text{água}}$	Massa de água na salmoura	kg
$m_{inicial}$	Massa da amostra inicial	kg
$m_{salmoura}$	Massa total da salmoura	kg
m_{seca}	Massa de matéria seca	kg
R	Constante dos gases perfeitos	$8,31 J/mol K$
R^2	Coefficiente de correlação	Adimensional
t	Tempo	s
t_d	Tempo de descongelação	h
t_{dm}	Tempo de demolha	h
t_{sc}	Tempo de secagem	h
t_{sg}	Tempo de salga	d
T	Temperatura	K
$T_{ambiente}$	Temperatura ambiente	K
$T_{amostra}$	Temperatura da amostra de bacalhau	K
$T_{ambiente amostra}$	Temperatura da amostra quando a temperatura do ar envolvente é a ambiente.	K
$T_{refrigeração}$	Temperatura de refrigeração	K
$T_{amostra}^{refrigeração}$	Temperatura da amostra quando a temperatura do ar envolvente é a de refrigeração.	K

W_A	Quantidade adimensional de água perdida	Adimensional
x	Coordenada cartesiana	m
$x^{água}$	Fração de água presente na salmoura	Adimensional
x^{NaCl}	Fração de cloreto de sódio na salmoura	Adimensional
$X_{b.h}$	Teor de humidade do bacalhau em base húmida	$g_{água}/g_{amostra}$
$X_{b.s}$	Teor de humidade do bacalhau em base seca	$g_{água}/g_{matéria\ seca}$
$X_{b.s}(0)$	Teor de humidade do bacalhau em base seca inicial	$g_{água}/g_{matéria\ seca}$
$X_{b.s}(eq)$	Teor de humidade do bacalhau em base seca no equilíbrio	$g_{água}/g_{matéria\ seca}$
z^{NaCl}	Teor de sal na salmoura	%
$z_{NaCl}^{demolha}$	Teor de sal na água da demolha	%
ΔM_t	Varição total da massa da amostra	kg

Abreviaturas

ATP	Adenosina trifosfato
NaCl	Cloreto de sódio

1. Introdução

1.1. Bacalhau

O bacalhau pertence à família Gadidae, género *Gadus* [1]. Habita os mares árticos, chegando a atingir 2 metros de comprimento. É pescado de janeiro a abril, altura da desova, nos mares da Islândia, Noruega e Rússia. Os juvenis encontram-se junto à costa, a profundidades mais baixas (10 - 30 metros), já os adultos encontram-se em águas mais profundas e frias, entre os 100 e os 200 metros. Ao longo do dia movem-se em grandes cardumes por forma a se defenderem dos predadores. Alimentam-se, quando jovens, de zooplâncton, crustáceos, larvas e bivalves. Em adultos, alimentam-se de pescadas, tamboris ou até inclusive de bacalhaus jovens [2].

O bacalhau pode ser encontrado no mercado no estado fresco, congelado (em filete ou inteiro) salgado (verde ou seco), seco e sem sal, em salmoura ou defumado bem como noutros estados de importância inferior [3]. De acordo com o decreto Lei nº 25/2005, de 28 de janeiro, três espécies são consideradas bacalhau: *Gadus morhua* (bacalhau do Atlântico), *Gadus macrocephalus* (bacalhau do Pacífico) e o *Gadus ogac* (bacalhau da Gronelândia), sendo o bacalhau do Pacífico e do Atlântico as espécies com maior importância [4].

O bacalhau do Pacífico (*Gadus macrocephalus*), Figura 1, ostenta cor castanha a cinza com manchas no dorso e pálida no ventre bem como uma cabeça larga, atingindo 1 metro de comprimento. Encontrado na borda do Pacífico Norte, do Mar amarelo ao Estreito de Bering e ao sul até cerca de Los Angeles. Migra para desovar consoante as alterações de temperatura no oceano, não sendo uma migração tão significativa como o *Gadus morhua*. Alimenta-se de peixes, tais como o açafraão, escamudo, salmão e sardinha, polvos e crustáceos, como o caranguejo e o camarão. É capturado, principalmente, por redes de arrasto, mas também por palangres, corricos e linhas de mão e o seu interesse comercial está ligado maioritariamente à filetagem [1].

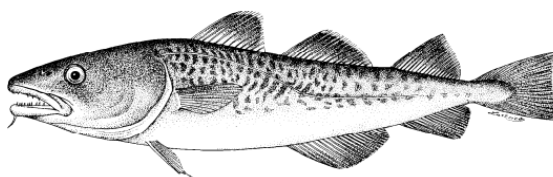


Figura 1. *Gadus macrocephalus* [1].

O bacalhau do Atlântico, *Gadus morhua*, Figura 2, exibe uma cabeça estreita e uma cor variável entre castanho a esverdeado, ou ainda, cinza no dorso e na parte superior e pálida no ventre. Pode atingir até 2 metros de comprimento. É encontrado em diversos habitats desde a costa Norte-americana, costa leste e oeste da Gronelândia, em torno da Islândia, e ainda costas da Europa. Vive a maioria do tempo no fundo do mar. Sobrevive em praticamente todas as salinidades e a temperaturas de 0 a 20 °C. É considerado uma espécie hermafrodita, embora apresente sexos separados. Alimenta-se quando pequeno de plâncton, quando juvenil de invertebrados e quando maduro de invertebrados e peixes, incluindo de bacalhau mais jovem. É capturado essencialmente com redes de arrasto marítimas. Também pode ser capturado por redes de emalhar, palangres, redes de cerco, entre outros [1]. O *Gadus morhua* é um dos produtos tradicionais mais apreciados do mundo, consequência da sua estabilidade quando armazenado, do seu palato [5]. Por ser um animal faminto, apresenta elevado valor nutricional, Tabela 1 [2, 5].



Figura 2. *Gadus morhua* [1].

Tabela 1. Valor nutricional do bacalhau no seu estado fresco e salgado seco e demolido por 100 gramas de porção edível [6].

	Bacalhau fresco	Bacalhau salgado seco e demolido
Energia (kcal)	76	80
Proteína (g)	17,8	19
Gordura (g)	0,5	0,4
Hidratos de carbono (g)	0,0	0,0
Colesterol (mg)	44	52
Sódio (mg)	65	1483
Vitamina B12 (µg)	1,0	0,95
Potássio (mg)	362	36
Fósforo (mg)	200	116

1.2. Estudo de mercado do bacalhau em Portugal

A Indústria Transformadora da Pesca e Aquicultura tem uma elevada representatividade na produção nacional. O total de vendas correspondeu a cerca de 80 – 95 % da produção nacional de acordo com as estatísticas de mercado entre os anos 2010 – 2020 publicadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) [7].

Entre os anos 2010 e 2021, os produtos congelados lideram a estrutura da produção, seguidos dos produtos secos e salgados. Em ambos os grupos, o bacalhau representa o volume de produção mais significativo. Em 2010, foram produzidas cerca de 50 mil toneladas de bacalhau salgado seco e 25 mil toneladas de bacalhau congelado. Foram vendidas por volta de 36 mil toneladas de salgado seco, atingindo-se um valor de vendas igual a 207 milhões de euros [8]. A produção de bacalhau salgado seco decresceu cerca de 1,3 % no ano seguinte, no entanto o bacalhau congelado manteve a sua tendência de crescimento verificada nos anos anteriores a 2011 como consequência do aumento de exportações [9].

A tendência de crescimento alterou-se em 2012, com a produção de bacalhau congelado a sofrer um decréscimo face a 2011, ao passo que a de salgado seco sofreu um aumento. Apesar de, em 2013, a produção de bacalhau em ambos os setores ter aumentado, voltou a diminuir em 2014 [10], mantendo esta evolução até 2018 no caso do bacalhau congelado e 2017 no caso do bacalhau salgado seco, tal como se pode observar na Figura 3 (a) e Figura 3 (b), respetivamente. Salienta-se que a diminuição da produção de bacalhau salgado seco deve-se ao menor consumo em prol do produto congelado verificado ao longo dos anos. As vendas, por outro lado, não foram significativamente afetadas, verificando-se um aumento de 3,8 % em 2018 face a 2017 [11].

Em 2019, a produção foi avaliada em 39 mil toneladas de bacalhau salgado seco e 30 mil toneladas de bacalhau congelado. Verificou-se um aumento da produção de ambos os setores, assim como um aumento de vendas, estimado em 9,8 % (face a 2018) [12]. Em 2020, a evolução de bacalhau salgado seco manteve-se constante, contudo, registou-se uma diminuição da quantia vendida e também produzida de bacalhau congelado, sendo a vendida a que apresenta uma variação mais significativa. É essencial destacar que, não obstante ao crescimento, o bacalhau salgado seco ficou em último lugar nos montantes vendidas, sendo o primeiro lugar ocupado pelo congelado (cerca de 40,7 % do total de vendas). Verificaram-se aumentos no valor das vendas, mais 12,4 % no caso do bacalhau salgado seco e mais 12,9% no bacalhau congelado [13].

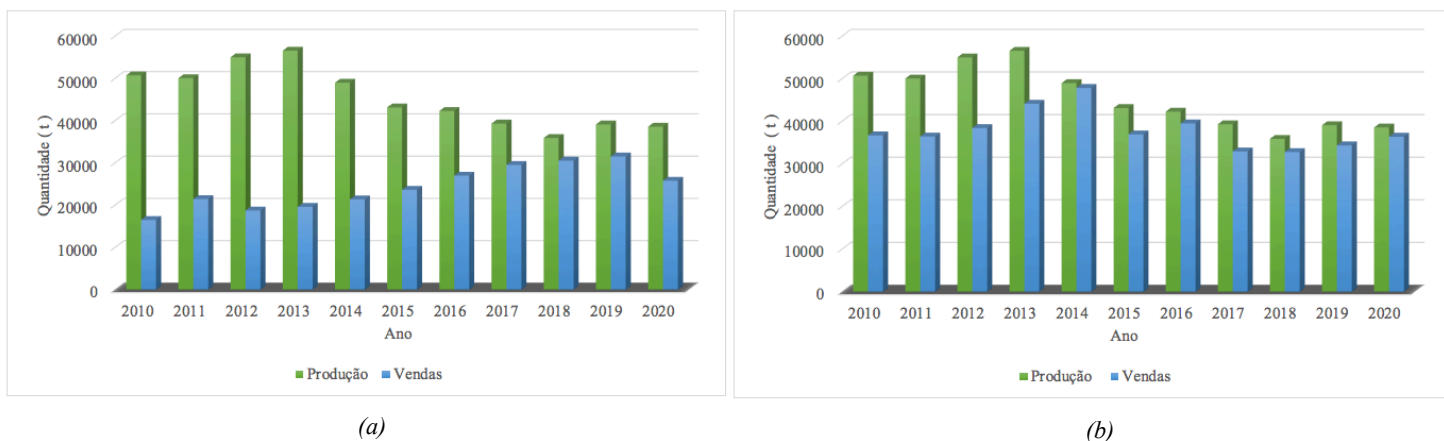


Figura 3. Vendas e produção entre 2010 e 2020 de (a) bacalhau congelado. (b) bacalhau salgado seco [8,9,10,11,12,13].

1.3. Importância da conservação do bacalhau

O pescado, após ser capturado, passa por uma série de alterações químicas e biológicas e, como consequência, pode deteriorar-se [14]. São diversos fatores que contribuem para este fenómeno: nutrientes, pH, atividade da água, compostos e estruturas antimicrobianas (fatores intrínsecos), humidade relativa, temperatura, atmosfera, taxa de crescimento específica (fatores extrínsecos), entre outros [15].

O bacalhau é dos alimentos que mais pode sofrer deterioração, em virtude de fatores microbiológicos, ao rápido início do *rigor mortis*, à grande quantidade de água presente nos tecidos bem como aos tecidos ricos em proteínas, fosfolípidos e ácidos gordos polinsaturados que funcionam como substrato para bactérias, resultando em oxidações e hidrólise das gorduras. As alterações iniciam-se no momento da sua morte [16]. A deterioração é percebida mediante mudanças no odor, na cor, na forma, textura e composição. Deve-se essencialmente a fenómenos autolíticos, microbiológicos e oxidação química [14].

O post-mortem divide-se em 3 fases: pre-rigor, rigor mortis e post rigor [16]. Após a morte, o músculo do pescado permanece relaxado, apresentando uma elasticidade que dura até que os músculos se começam a contrair. Com a interrupção de fornecimento de oxigénio, este deixa de ser suficiente para manter a função mitocondrial e, como consequência, o sistema de glicólise anaeróbica torna-se predominante. O glicogénio é transformado em piruvato que por sua vez é reduzido a lactato. A oxidação dos substratos é incompleta e verifica-se acumulação de lactato, provocando uma redução do pH na célula muscular viva,

de 6,8 para 6,1-6,5 [17, 18]. Os músculos tornam-se rígidos e o peixe fica imaleável, entra em rigor mortis [17]. Ocorre em consequência da diminuição do nível de ATP no músculo [17].

Imediatamente após a morte, a capacidade de retenção de água por parte do pescado é elevada, uma vez que este é rico em ATP. Com a degradação do ATP e a diminuição do pH, a carga líquida de superfície nas proteínas é reduzida, provocando a sua desnaturação e consequentemente a capacidade de retenção da água diminui [17]. Diversos compostos musculares são libertados juntamente com a água que sai, tais como aminoácidos, vitaminas, conteúdo proteico e cálcio, afetando a qualidade do produto final.

As doenças transmitidas pelo pescado representam um problema para a saúde pública. Assim, processos de conservação são considerados importantes processos tecnológicos [18]. Fundamentam-se na destruição dos microrganismos, quer total ou parcialmente, de tal forma que os alimentos não se tornem oportunos ao crescimento microbiano [19]. Os principais métodos de conservação de acordo com as etapas de processamento são: congelação, descongelação, refrigeração, salga, secagem e demolha.

1.4. Processos de conservação do bacalhau

1.4.1. Congelação e descongelação

A congelação é o método mais utilizado para resguardar a qualidade do pescado fresco [15]. Realiza-se normalmente a temperaturas inferiores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ uma vez que nesta gama de temperaturas ocorre a inativação do desenvolvimento de microrganismos e enzimas mediante a cristalização da maioria da água presente no pescado, deixando-a inutilizável para reações químicas e biológicas. Desta forma, o peixe permanece conservado por um período de tempo considerável [20]. A congelação deve ocorrer num curto intervalo de tempo, caso contrário poderá provocar estragos nos tecidos do músculo do alimento. Também deverá ser executada o mais cedo possível após a captura do animal com o intuito de diminuir a deterioração [21], [22]. Durante o tempo que o pescado se encontra congelado não são observadas alterações na sua qualidade, no entanto, quando se procede à sua descongelação estas tornam-se evidentes: começa a libertar quantidades significativas de água e de líquidos celulares, como consequência da diminuição da capacidade de reter água

e das lesões físicas sofridas. Como consequência, o seu valor nutricional diminui bem como o seu aspeto. Em teoria, a congelação é dividida em 3 períodos. Em primeiro lugar verifica-se uma redução da temperatura do centro térmico do alimento, seguida da formação de cristais de gelo. Por último, ocorre uma diminuição da temperatura do produto até atingir a temperatura final pretendida de armazenamento [15].

A descongelação é um processo bastante estudado uma vez que é em regra um processo mais lento do que a congelação. Durante este processo a camada superficial do pescado é a primeira a descongelar e por isso o calor necessita de trespassar a água líquida para alcançar o centro do alimento. Como o gelo conduz melhor o calor do que a água, o processo de descongelação é mais demorado [15].

Existem diversas técnicas de descongelação, como por exemplo descongelação com ar estático e com ar forçado, descongelação dielétrica, por resistência elétrica e ainda por micro-ondas, denominados métodos dielétricos, descongelação por vácuo ou por água [15]. No primeiro caso, descongelação por ar estático trata-se de um método que usa ar frio sem recirculação, num local ventilado, sem poeiras nem mesmo iluminação solar. Apesar de ser um processo atraente em termos económicos e relativamente simples, a velocidade de transferência de calor é bastante reduzida e como consequência o tempo de descongelação é enorme, provocando uma elevada oxidação dos lípidos. Já a descongelação por ar forçado é realizada em intervalos menores do que a descongelação por ar estático, no entanto apresenta diversas desvantagens tais como a ressecagem da camada superficial e aquecimento em demasia no caso de não existir um controlo correto da temperatura. Os métodos de descongelação dielétricas tratam-se de técnicas de processamento que conseguem entrar na superfície e descongelar paralelamente camadas internas. São considerados os melhores meios de descongelar uma vez que não se resumem a degelar da camada externa para a interna, além de serem processos rápidos. No entanto, são dispendiosos e difíceis de controlar, existindo um perigo elevado de aquecimento excessivos. A descongelação por vácuo tem como princípio a propagação de calor como consequência da condensação da água. É necessária especial atenção ao controlo da pressão, pois um incorreto manuseio pode provocar cisões nos tecidos do músculo. O processo de descongelação por imersão em água é o mais simples de todos, sendo utilizado essencialmente para descongelar o pescado em blocos. Trata-se de um método muito aplicado no processamento do pescado pelas empresas uma vez tratar-se de um processo rápido quando comparado com os restantes, minorando

assim o gotejamento. Como os blocos são imersos em água a temperaturas reduzidas, são evitadas proliferações bacterianas [23].

1.4.2. Salga

A salga é um mecanismo de conservação de alimentos muito usado. É baseado no transporte do sal para dentro dos tecidos [25, 26]. O sal expõe diversas funções: dar sabor, solubilizar proteínas, desidratar e alterar a pressão osmótica de modo a inibir o crescimento bacteriano e posterior deterioração [26]. Pode ser realizada em salmoura, a seco, salga mista, injeção de salmoura, a vácuo ou uma combinação desses métodos [27]. A salga seca traduz-se na colocação do pescado em camadas, envolto com cloreto de sódio sólido. Este ao longo do processo é parcialmente dissolvido e escoado durante todo o processo. Apesar das suas desvantagens, tais como a penetração do sal não ser homogénea, por vezes o produto final apresentar aparência desagradável e ainda ocorrer oxidação da gordura, apresenta uma elevada desidratação, não exige grande investimento económico (pode ser realizado em tinas comuns) e ocorre com velocidades elevadas, impedindo a deterioração do bacalhau [26]. A salga em salmoura baseia-se na imersão da matéria-prima numa solução de água e sal, com uma concentração de sal aproximadamente igual a 18 - 25 % [28]. Neste tipo de salga o sal penetra o músculo do pescado de forma uniforme. É de salientar que a oxidação dos lípidos é minorada como consequência da menor solubilidade de oxigénio na salmoura [29]. Para além da concentração de sal poder ser ajustada, verifica-se elevados rendimentos no peso [26]. A salga por injeção consiste num método em que se introduz no músculo, recorrendo a um sistema de injeção, a salmoura [29]. Neste método o sal penetra de imediato nos tecidos do bacalhau, promovendo uma distribuição de sal equilibrada. Outra vantagem deste método é, a possibilidade de o produto ser consumido sem a realização prévia de uma demolha. Todavia, ostenta um elevado perigo de propagação microbiana e provoca estragos na organização dos tecidos. A salga mista é semelhante à salga seca. Diferem apenas no facto de que na salga mista a salmoura criada pela perda de água do pescado não ser retirada, deixando a matéria-prima submersa [25].

A salga provoca mudanças na composição do tecido muscular. A quantidade de água presente no tecido passa de 82 % para 54 %, aproximadamente. No que se refere ao sal, passa de quantidades próximas a 1 % para cerca de 20 %. Adicionalmente, ocasiona alterações nos lípidos e nas proteínas. No caso das proteínas os iões sódio e cloreto podem

afetar a sua conformação nativa, incentivando a sua desnaturação. Já quando se trata dos lípidos, estes são afetados durante o processo devido à presença de ácidos gordos polinsaturados que são passíveis a sofrer oxidação. Salienta-se que a salga constitui uma operação preparatória para processos de defumação e secagem. Este processo, por si só, não constitui uma prevenção decisiva contra a decomposição do peixe. É necessário complementar [30].

1.4.3. Secagem

A secagem é realizada posteriormente à salga. Tem o objetivo de remover a água presente nos tecidos do pescado num ponto que a salga não conseguiu. Pode ser feita pela exposição ao ar livre, designada secagem natural ou em túneis apropriados, secagem artificial. Na secagem natural, Figura 4 (a) o pescado é colocado em tabuleiros e, exposto, num local com generosa quantidade de sol e propagação de ar. Esta via de processamento só é eficaz para condições climáticas específicas. Não é um tipo de operação viável uma vez que impossibilita o prognóstico da produção. Depende fortemente das condições atmosféricas e não é exequível a regulação das propriedades termodinâmicas, podendo originar a secagem exagerada do bacalhau, diminuindo o seu valor comercial. Face a estas desvantagens, a secagem natural foi substituída pela secagem artificial. A secagem artificial, Figura 4 (b), é realizada em secadores, onde as condições ambientais podem ser controladas. Apesar de ter um custo energético associado, permite a minoração adequada, para conservação, da humidade do bacalhau e, como não está dependente das condições climáticas, pode ser realizada o ano inteiro, permitindo à indústria responder ao aumento da procura. Além do que, permite controlar o tempo de secagem que depende de diversos fatores, tais como: humidade da matéria-prima, massa, condições termodinâmicas do processo e ainda disposição do pescado no secador. O processo deve ser realizado com temperaturas a variar entre os 18 °C e os 21 °C, humidade relativa entre os 55 e os 65 % e velocidade do ar a ronda os 1 a 2 m/s [30].



(a)

(b)

Figura 4. Secagem do bacalhau (a) natural [31]. (b) artificial [32].

Segundo o Decreto-Lei nº 25/2005 de 28 de Janeiro, para ser considerado bacalhau salgado seco deve apresentar um teor de humidade igual ou inferior a 47 % e um teor de sal igual ou superior a 16 % [4].

1.4.4. Demolha

A demolha traduz-se como um processo de dessalinização. Trata-se de uma etapa de extrema importância, uma vez que para ser consumido, o bacalhau tem que ser previamente demolhado [33]. É tradicionalmente realizada em ambiente doméstico, no entanto está a ser cada vez mais realizada a nível industrial face às exigências do mercado [34]. O bacalhau antecipadamente cortado é submerso em água da torneira durante 24 - 48 horas, no interior de grandes tanques, até que o teor de sal presente no mesmo atinga um patamar permitido para consumo, Figura 5. A matriz proteica é reidratada e o pescado adquire melhores qualidades sensoriais, ou seja, o músculo perde rigidez durante o processo [35, 36]. Para além disso, afeta o rendimento do processo, aumentando os lucros industriais [36]. No entanto, verifica-se uma minoração, ainda que não muito significativa, da quantidade total proteica, como consequência da solubilização de proteínas solúveis na água de demolha [37, 38]. A demolha é realizada à temperatura ambiente ou num ambiente refrigerado. Pode ser considerada como uma extração sólido-líquido, na qual os iões sódio e cloro funcionam como solutos e a água como solvente [36]. O principal problema a nível industrial é o extenso intervalo de tempo que o processo exige. Como consequência têm vindo a ser desenvolvidas

técnicas para otimizar o processo. Considera-se um processo otimizado quando as condições permitem obter um produto final no intervalo de tempo mais curto possível, com um desperdício minimizado e rendimentos elevados [36].



Figura 5. Processo de demolha industrial do bacalhau [61].

1.5. Mecanismos de Transporte

1.5.1. Descongelamento

Em termos físico-químicos, o processo de descongelamento define-se como a alimentação de um fluxo de calor ao bacalhau. É um processo de transferência de calor não estacionário e rege-se por dois princípios diferentes: transferência de calor através da superfície por convecção/condução (energia é conduzida de um líquido na superfície o produto), condensação (usualmente o vapor de água condensa na superfície do bacalhau e a energia de condensação é deslocada para o pescado) e radiação para a superfície. Os mecanismos podem funcionar sozinhos ou sobrepostos, Figura 6. Quando o meio de descongelamento é um líquido, a razão entre o calor por condução e por convecção é governada pela convecção, isto é, $q_{cond}/q_{conv} = q_{conv}$. [38].

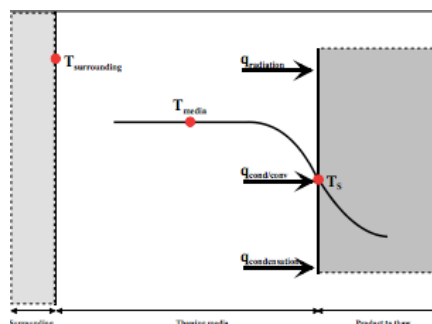


Figura 6. Transferência de calor através da superfície no processo de descongelamento [38].

1.5.2. Salga e Demolha

A difusão é o principal mecanismo de transporte durante os processos de salga e de demolha [27, 35]. Trata-se de processo espontâneo causado pelo fluxo aleatório de moléculas de uma zona de alta concentração para uma com baixa concentração ocorrendo simultaneamente perda de água e absorção de sal. O gradiente de concentração constitui a forma motriz do processo sendo que o mesmo termina quando as concentrações se igualam [41, 42]. Quando o peixe morre, os seus tecidos funcionam como uma membrana permeável, permitindo a entrada do sal e simultaneamente a perda de água dos tecidos [26]. Fenómenos de transporte de massa durante a salga podem ser assumidos como a difusão de espécies numa solução eletrolítica multicomponente. Este processo de transporte é descrito pela segunda lei de Fick, Equação 1 [26].

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

onde D_{ef} representa o coeficiente de difusividade efetiva. No caso em estudo, representa a velocidade de perda de água por parte do pescado [26].

Salienta-se que a previsão desta propriedade permite antecipar ou dominar o fluxo de massa e o tempo do processo [26].

1.5.3. Secagem

O processo de secagem combina processos de transferência de calor e de massa, Figura 7, sendo o fluxo capilar, a difusão líquida (por efeito de gradientes de concentração), a difusão de vapor (em função de gradientes de pressão parcial) da superfície do produto para o meio envolvente e a difusão em camadas líquidas incorporadas na interface sólida, os processos de transferência de massa mais importantes [42]. A transferência de calor processa-se da superfície do pescado para o seu centro mediante mecanismos de condução, convecção (o gradiente de pressão provoca a migração da humidade da zona de alta pressão para a baixa pressão) e mudança de fase [43].

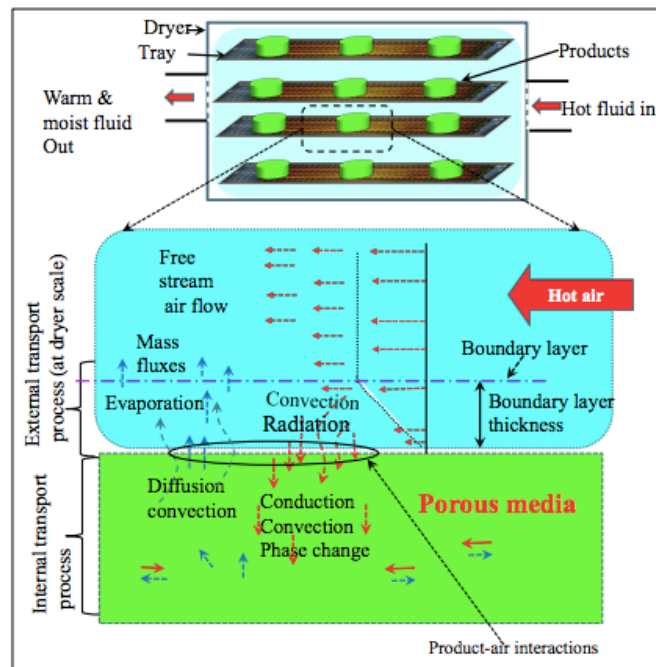


Figura 7. Transferência de calor e massa no processo de secagem [43].

1.6. Cinética do processo

1.6.1. Descongelamento

O processo de descongelamento pode ser repartido em 3 períodos. Na Figura 8 encontram-se representados 2 dos 3 períodos mencionados. No primeiro período temperatura do alimento congelado recebe um aquecimento brusco até que o gelo no interior do mesmo seja derretido - fase de têmpera. Caracteriza-se por ser curta como resultado da diminuta capacidade térmica específica e alta condutividade do gelo. O restante gelo descongela na segunda fase do processo, também designada por fase de zona latente. A temperatura do pescado é constante em consequência de a energia fornecida ser utilizada para degelo. Por último ocorre a fase de aquecimento. A temperatura do peixe aumenta de forma relativamente rápida resultante da superior alimentação energética [38].

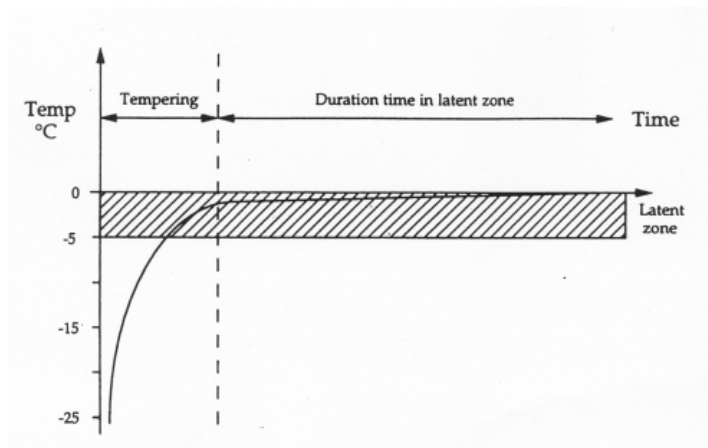


Figura 8. Duas das fases do processo de descongelação [38].

Os principais fatores que influenciam a descongelação são o coeficiente de transferência de calor na superfície e a temperatura do meio circundante. É preferível uma temperatura ambiente baixa durante o processo, para assim não ocorrer propagação microbiana. Quando o processo é relativamente curto, verifica-se uma menor perda da qualidade do pescado, no entanto, a diferença das temperaturas é reduzida, sendo esta a força motriz do procedimento em questão [21].

1.6.2. Salga e Demolha

O processo de salga pode ser dividido em 3 fases, Figura 9. Na primeira fase a pressão osmótica provoca a saída de água do peixe e a entrada de sal para o mesmo. A taxa de saída de água é maior do que a de entrada de sal, verificando-se uma perda de peso considerável. Na segunda fase ocorre o equilíbrio entre as salinidades da salmoura e da superfície do pescado. Observa-se uma diminuição da pressão osmótica. Existe uma penetração dos sais de cloreto de sódio no interior do músculo, mas não na totalidade. A terceira fase geralmente não é atingida, na medida em que considera que a salga termina quando a concentração dos fluidos da salmoura e do peixe se equiparam, no entanto, a salga termina quando a concentração de salmoura é sensivelmente 10 % superior do que a concentração no pescado [25].

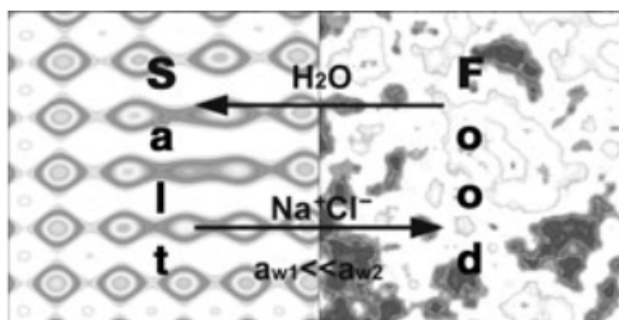


Figura 9. Fluxos de transporte no processo de salga [25].

A salga é influenciada por variados fatores externos e internos. Um dos principais fatores externos é a concentração de sal. Este parâmetro é de extrema importância no processo de salga uma vez que tem influência sobre os gradientes de concentração e a pressão dos meios envolvidos no processo bem como na atividade da água [44]. Outros fatores a ter em conta são ainda a concentração da salmoura, encolhimento, pH, capacidade de retenção de água e temperatura. Sendo o pescado essencialmente composto por água, a sua capacidade de a reter é um fator a ter em consideração, em virtude do movimento dos sais de cloreto de sódio para a fase aquosa do pescado como consequência do seu elevado grau de solubilidade. Conforme o teor de água dos alimentos diminui, a velocidade de deslocamento do sal decresce. O pH por sua vez controla a capacidade de retenção de água do músculo, e por isso, é uma variável significativa no processo de salga. A temperatura é um fator importante a ser considerado. Um aumento na temperatura provoca um aumento da energia térmica das moléculas e consequentemente um aumento na sua velocidade de difusão. A relação entre a difusividade do cloreto de sódio e da água com a temperatura é explicada pela equação de Arrhenius, Equação 2 [26].

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

A cinética do processo de demolha encontra-se apresentada na Figura 10. Representa a variação de total de massa, variação de massa de água e variação de massa de cloreto de sódio ao longo do tempo de demolha. Verifica-se que os fluxos do processo são crescentes nas primeiras horas e constantes ao longo do restante tempo [45]. Podem ser afetados pela temperatura do processo, pela dureza da água que altera consoante o local geográfico, pela

zona do bacalhau a demolhar, tamanho e ainda pela quantidade de pele presente [46]. É ainda importante referir que a demolha é afetada pela gestão da água, tempo de processo, razão massa bacalhau/água, agitação e aditivos [36].

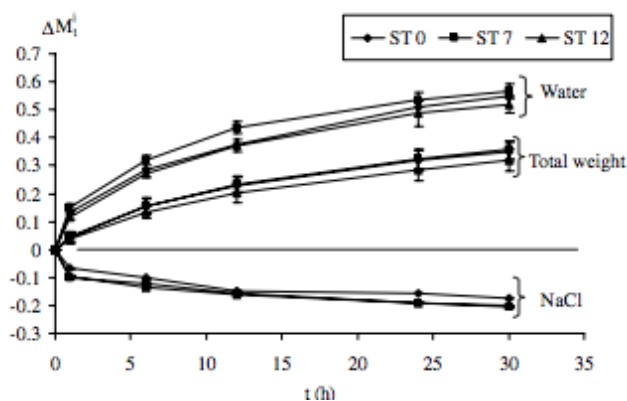


Figura 10. Cinética do processo de demolha [45].

1.6.3. Secagem

O processo de secagem pode ser dividido em 3 fases, tal como observado na Figura 11. Quando o bacalhau é colocado ao ar verifica-se um aumento significativo na temperatura do pescado até que o calor transmitido é suficiente para começar a evaporar a água presente no produto (fase 0). Durante o tempo em que existir água livre na superfície do pescado, a taxa de secagem é constante, como consequência da equivalência entre a transferência de calor e de massa (fase 1). Ao longo do processo, a superfície vai tornar-se cada vez mais seca o que levará à criação de um gradiente entre a superfície e o interior do bacalhau. Como resultado, a água presente intrinsecamente vai-se mover para o exterior, mediante processos de transferência de massa como difusão líquida, difusão de vapor, movimento molecular e osmose. O gradiente de humidade vai diminuir progressivamente e a taxa de secagem também (fase 2). O processo termina quando a humidade de equilíbrio é alcançada, ou seja, quando as pressões de vapor de água no pescado e no meio envolvente se equilibram. O teor de humidade que divide as fases 1 e 2 denomina-se humidade crítica de secagem [47].

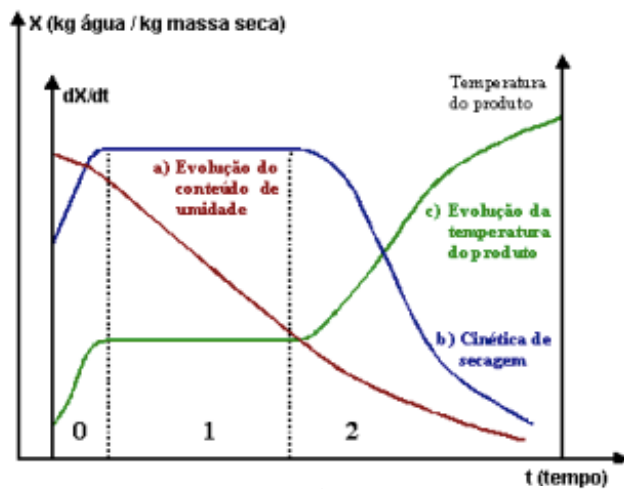


Figura 11. Cinéticas de secagem [62].

As variáveis processuais mais importantes a serem estudadas na secagem são a temperatura, a humidade relativa e a velocidade do ar circulante [49, 50]. A velocidade do ar é um importante parâmetro a ser controlado, uma vez que quando esta é baixa, a evaporação pode não ocorrer e quando é elevada existe a possibilidade de o sal na superfície do pescado cristalizar e como consequência formar-se uma camada impermeável que impede a água intrínseca do bacalhau de sair. A temperatura é também um importante fator no processo de secagem, uma vez que quando realizado a temperaturas mais altas provoca diversas reações biológicas e químicas inconvertíveis que podem levar à degradação de vitaminas e aminoácidos. Já quando o processo é realizado a baixas temperaturas apresenta vantagens ao nível da qualidade do produto final, no entanto necessita de tempos de operação mais longos e consequentemente custos de mais elevados [50]. A humidade relativa do ar expressa a relação entre a massa de vapor de água que o ar contém e o que conteria se estivesse saturado. Constitui um parâmetro importante no processo em estudo uma vez que é um fator determinante na quantidade de humidade contida no bacalhau no fim do processo. Outras variáveis que estão relacionadas com os aspetos estruturais e natureza biológica dos produtos que também têm influência são a espessura do músculo, o teor de humidade e o efeito de película. O teor de humidade é normalmente expresso em função da massa de matéria seca da amostra, uma vez que este é um valor constante em todo o processo. É determinado pela Equação (3). No entanto, pode também ser expresso em base húmida, determinado nesse caso pela Equação (4).

$$X_{b.s} = \frac{m_{amostra} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad (3)$$

$$X_{b.h} = \frac{m_{amostra} - m_{seca}}{m_{amostra}} \times 100 \quad (4)$$

1.7. Modelos teóricos

A modelação matemática é comumente utilizada para analisar os fenómenos de desidratação osmótica como consequência do tempo e custos nas respetivas operações. Os modelos são utilizados para um melhor entendimento dos mecanismos processuais e desta forma ser possível desenvolver novos controlos para um novo processo. O modelo de Peleg, é extensamente empregue para descrever o processo de desidratação osmótica, apresentando bons ajustes para o caso da perda de água. A Equação (5) traduz a linearização do modelo para a perda de água [26].

$$\frac{t}{X_{b.s} - X_{b.s}(0)} = k_1 - k_2 \cdot t \quad (5)$$

A equação da difusão unidirecional de Fick pode ser aplicada para explicar o processo de salga, numa placa de espessura $2L$, representada pela Equação (6) [51], assumindo uma quantidade inicial de água uniforme, que mediante a quantificação da perda de água, W_A , Equação (7), permite calcular o coeficiente de difusividade efetiva [52].

$$W_A = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad (6)$$

$$W_A = \frac{X_{b.s} - X_{b.s}(eq)}{X_{b.s}(0) - X_{b.s}(eq)} \quad (7)$$

As variações totais da massa da amostra, tanto na desidratação como na reidratação osmótica, podem ser precisas por meio da Equação (8) [39].

$$\Delta M_t = \frac{m_{amostra} - m_{inicial}}{m_{inicial}} \quad (8)$$

1.8. Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.

A Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda. é uma empresa de pequena dimensão, mas com uma estável posição no mercado nacional. Fica localizada na Gafanha d’Aquém, em Ílhavo e, concentra-se na prestação de serviços, transformação e comercialização de pescado. Dispõe, nas suas instalações, de modernos meios tecnológicos (5 câmaras frigoríficas e um túnel de secagem artificial), que permitem uma produtividade diária significativa. Produz e comercializa diversos produtos, tais como: bacalhau salgado seco, bacalhau salgado verde, bacalhau congelado, caras de bacalhau, migas de bacalhau, samos de bacalhau e espinhas de bacalhau. Tem sempre em vista o rigor da qualidade e segurança alimentar dos produtos produzidos.

1.8.1. Etapas do processamento de bacalhau

A empresa recebe produtos em três estados diferentes de conservação: congelado, salgado verde e salgado seco. Os fluxogramas do processo de fabrico referentes a cada linha de produção na empresa encontram-se apresentados nas Figura 13 a Figura 15. O bacalhau é processado mediante as etapas de receção, descartonamento, descongelação, escala, limpeza, salga, secagem, corte e embalagem. As principais etapas de processamento de bacalhau encontram-se apresentadas na Figura 12. A receção é realizada recorrendo ao uso de um empilhador. É executado um controlo da temperatura, aspeto visual e condições de transporte. O intuito deste controlo é avaliar uma possível presença de corpos estranhos ou uma contaminação microbiológica e proliferação microbiana. É atribuído um número de lote à matéria-prima, onde são especificadas diversas informações consideradas relevantes, tais como: data de chegada, nome do fornecedor, número da fatura, nome da espécie, quantidade, preço e em que câmara vai dar entrada. A numeração dos lotes é executada, por cada fatura que chega à empresa, através do código: SACX/Y, onde X representa o número atribuído

por ordem crescente, começando no número 1 no começo de cada ano e Y simboliza o número do corrente ano. Faz-se nota que no caso das migas, o registo de controlo de lotes é feito mediante a numeração: MEX/Y. O descartamento consiste na retirada do bacalhau da embalagem em que foi recebido. As embalagens são abertas e o produto é colocado em tinas previamente preparadas. Esta etapa é realizada pelas operárias. No caso de a matéria-prima ser recebida no seu estado congelado, o descartamento é seguido da descongelação. No caso de ser recebida em salgado verde ou seco já não se aplica. Na descongelação o pescado é colocado em tinas com água (de furo) proveniente de um sistema de mangueiras. Nesta etapa é realizado um controlo de temperatura da água, uma vez que uma temperatura inadequada pode provocar uma proliferação microbiana. Após descongelado, o bacalhau é escalado. Na escala o bacalhau entra no equipamento BAADER 440, para que lhe seja retirada a espinha, dando-lhe o aspeto que se observa no mercado. O pescado é introduzido por uma operadora no equipamento, que o insere pelo rabo. Quando o bacalhau sai da máquina, é lhe retirado o resto de sangue e as vísceras por diversas operárias, processo designado por limpeza. A espinha, que sai pela parte inferior do equipamento de escala é tratada por uma outra operária para ser retirado o samo. No caso de não ser esse o fim pretendido, a espinha é enviada para a salga. A salga é realizada na empresa de duas formas: salga em salmoura seguida de uma salga seca ou uma salga seca direta. No primeiro caso, o bacalhau depois de limpo é colocado numa tina em salmoura, previamente preparada a temperaturas adequadas (inferiores a 5 °C). Esta vai ajudar a tirar o sangue que ainda possa estar presente e contem cerca de 18 a 22 % de salinidade. Assim que a tina está cheia, é colocada na câmara frigorífica nº 2 durante aproximadamente 24 horas. Salienta-se que durante este processo, vão sendo adicionadas à salmoura pequenas quantidades de NaCl com o intuito de manter constante a gama de salinidade, uma vez que o pescado contém água doce. No segundo caso, o bacalhau é posicionado na tina em camadas sucessivas, onde uma operária vai adicionando sal entre as camadas, tendo o cuidado de colocar sal suficiente para que os pescados colocados não se toquem. O peixe é colocado sempre virado com a pele para baixo, com exceção da última camada colocada na tina que é colocada com a pele virada para cima e coberta com bastante sal. A salga é feita recorrendo ao uso de uma pá. O bacalhau que se pretende secar é colocado nos secadores com o auxílio de tabuleiros de rede. No secador é utilizado um sistema de convecção forçada. O produto é lá depositado por um período mínimo de 85 a 90 horas, consoante o seu tamanho e peso. Os parâmetros de

humidade são constantemente registados com o intuito de controlar o processo. Consoante o teor de humidade presente o bacalhau no final da secagem, pode continuar o processo para a classificação ou então ser depositado na câmara fria. Quando segue para a classificação o bacalhau pode ser cortado e posteriormente embalado ou embalado diretamente, consoante o seu uso e peso final desejado. Pode ser embalado em covetes, caixas de cartão ou ainda em sacos plásticos.

Receção



Descartonamento



Descongelção



Escala



Salga



Secagem

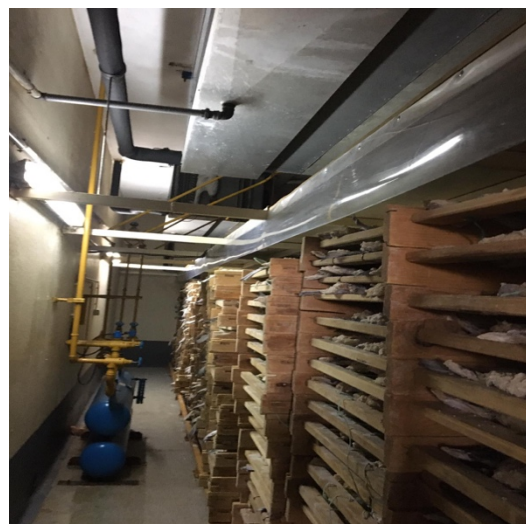


Figura 12. Etapas do processamento de bacalhau na Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.

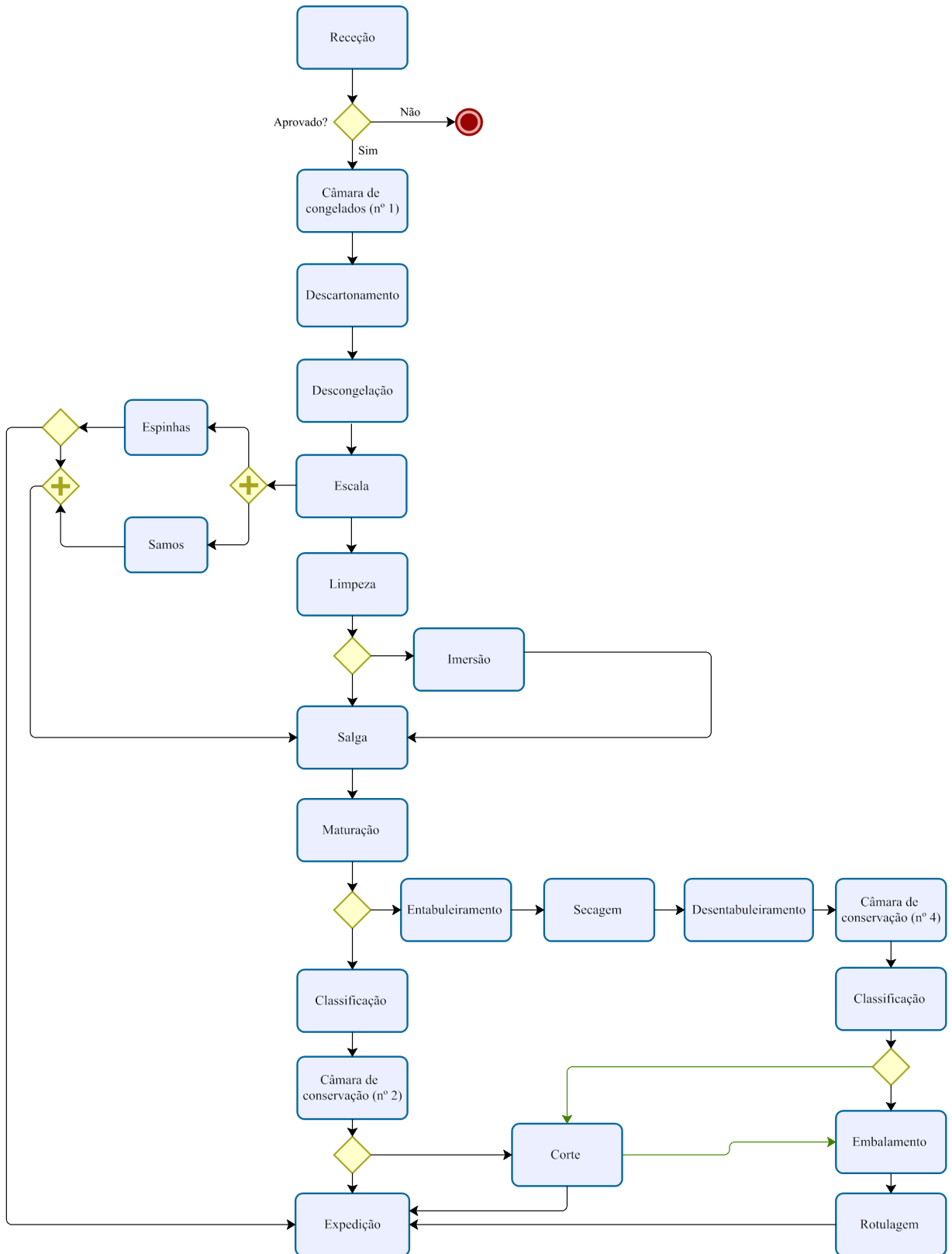


Figura 13. Fluxograma da linha de produção de congelados na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.

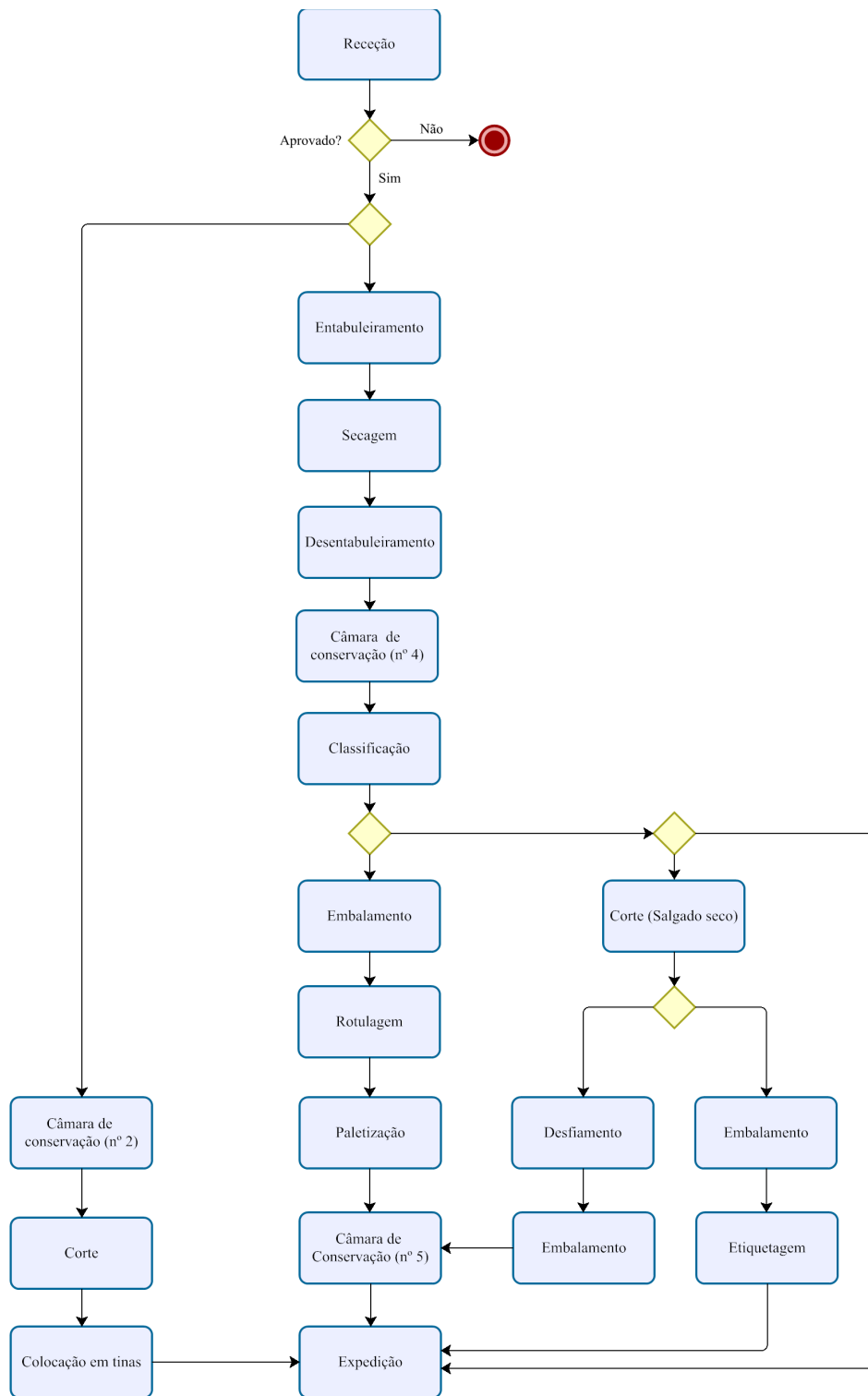


Figura 14. Fluxograma da linha de produção de salgado verde na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.

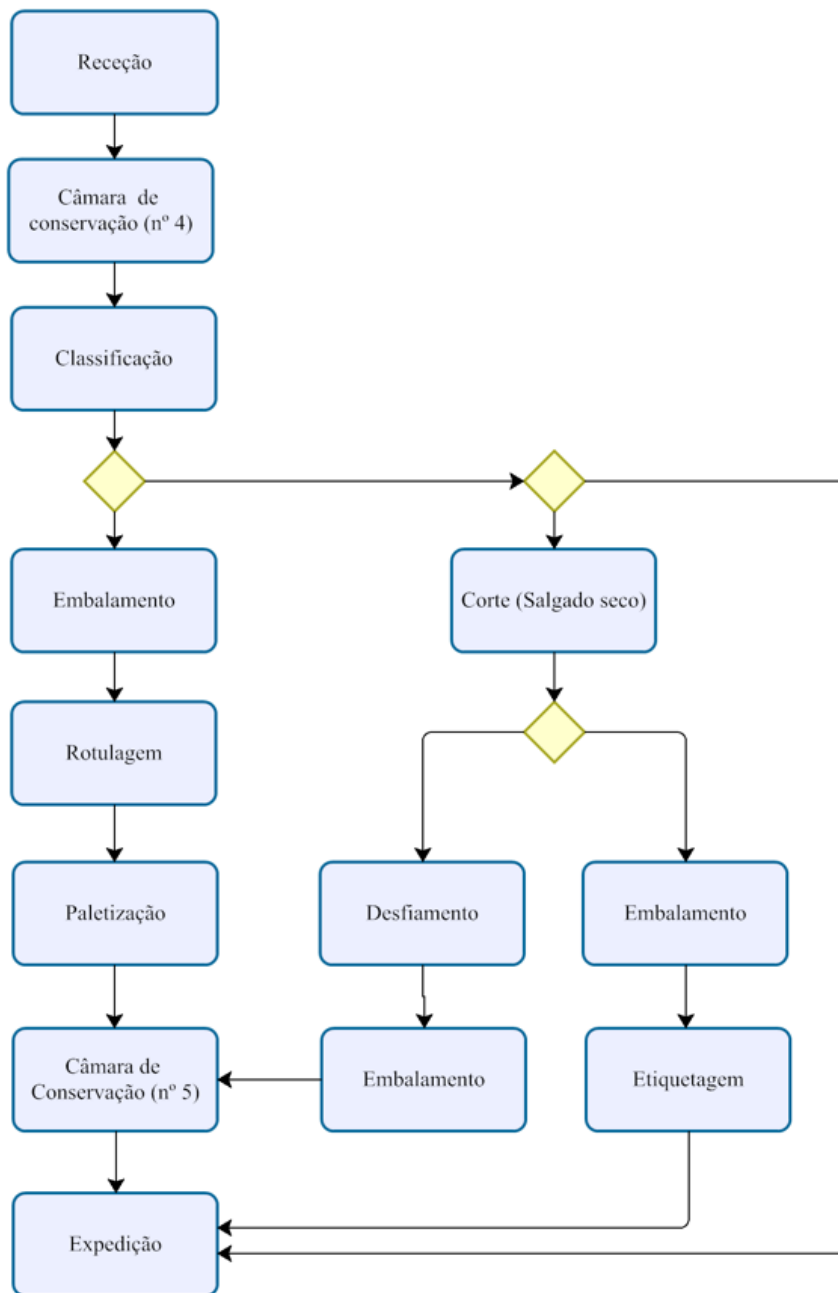


Figura 15. Fluxograma da linha de produção de salgado seco na empresa Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda.

1.9. Âmbito e objetivo

O presente trabalho foi desenvolvido na indústria de bacalhau, Sacarema - Indústrias Alimentares, Lda. Tem como objetivos identificar as várias etapas de produção do bacalhau, bem como as variáveis processuais mais significativas nas principais etapas do processo e as cinéticas de transferência de massa associadas. Mediante a realização de ensaios experimentais realizados na empresa, é também objetivo otimizar as variáveis processuais do bacalhau salgado seco.

2. Metodologia e materiais utilizados

2.1. Descongelamento

No processo de descongelamento foi avaliada a influência da temperatura do ar envolvente no processo. Foram utilizadas duas tinas, dois blocos de bacalhau congelado e água do furo para a realização do procedimento. Uma das tinas foi colocada à temperatura ambiente da empresa, que corresponde a [15 17] °C e a segunda tina foi exposta a uma temperatura refrigerada que ronda os [1 4] °C. Avaliou-se a temperatura das amostras de bacalhau ao longo do ensaio, com recurso a um termómetro digital de sonda, Figura 16.



Figura 16. Termómetro digital.

2.2. Salga

Nesta etapa de processamento foram estudadas a influência da temperatura, teor de cloreto de sódio, adição do mesmo e ainda de uma salmoura de 24 horas seguida de uma salga seca. Para tal foram utilizadas 7 amostras de bacalhau colocadas em recipientes do mesmo tamanho e massa semelhantes, Figura 17 (a). Todas as amostras de bacalhau foram salgadas com o mesmo tipo de sal (sal marinho). Foram colocadas nas mesmas condições ambientais, isto é, no mesmo local da empresa e à mesma temperatura, temperatura ambiente ([15 17] °C), com exceção da amostra que tinha como objetivo estudar a influência da temperatura, que foi colocada na câmara de refrigeração, com temperaturas a variar de [1 4] °C. Ao longo do ensaio foram aferidos a massa da salmoura formada, recorrendo ao uso de uma balança digital (marca Ruby, modelo DELTA 86), e a sua salinidade. Para conhecer a salinidade foram retiradas alíquotas da salmoura formada ao longo do ensaio, em

quantidades suficientes para encher uma proveta graduada de 250 mL, Figura 17 (c). Mediante o uso de um hidrômetro de aquário, Figura 17 (b), conheceu-se o teor de sal presente na salmoura. Foi, ainda, lida a massa seca de cada amostra. Para tal foram retiradas pequenas porções de bacalhau e após trituradas foram introduzidas num analisador de humidade (marca Precisa, modelo 310 M), Figura 17 (d). Salienta-se que, para estudar a influência da quantidade de sal no processo, foi pedido a uma operária para salgar uma amostra, definindo essa amostra como sendo o controlo. Dessa forma, aferiu-se que o bacalhau é salgado com uma relação de $\frac{1}{2}$ kg_{sal}/ kg_{amostra}. Mediante este razão, variou-se a concentração de NaCl aplicada.

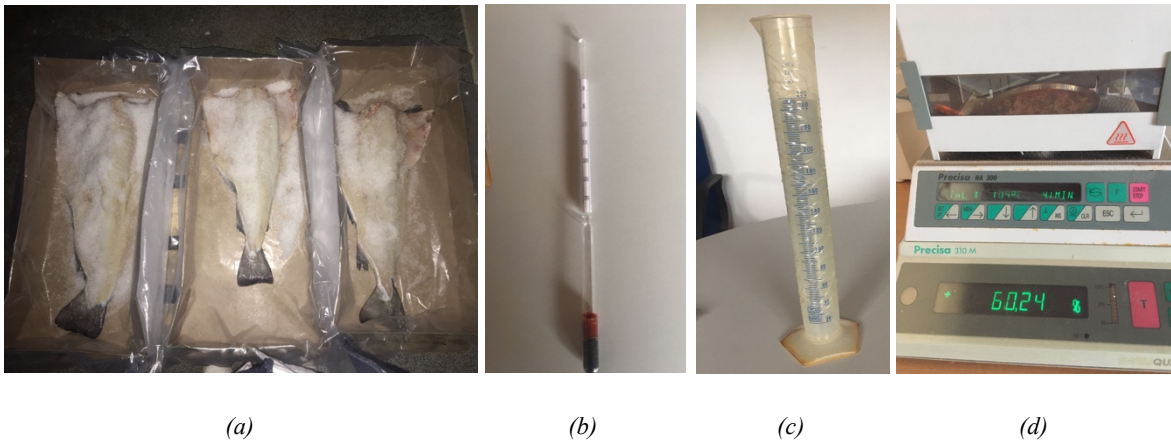


Figura 17. Material utilizado nos ensaios realizados: (a) recipiente e amostra. (b) hidrômetro de aquário. (c) proveta graduada de 250 mL. (d) medidor de matéria seca.

A massa de água na salmoura foi obtida aplicando as Equação (9) e Equação (10), admitindo que corresponde unicamente à água perdida pela amostra de bacalhau e, que em $t = 0$, a perda de água é nula.

$$z^{NaCl} = \frac{x^{NaCl}}{x^{NaCl} + x^{água}} \times 100 \quad (9)$$

$$m_{salmoura}^{água} = (1 - z^{NaCl}) \cdot m_{salmoura} \quad (10)$$

Foram analisadas as cinéticas de perda de água mediante a representação da razão entre a massa de água presente na salmoura e a massa inicial da amostra de bacalhau ao longo do tempo de salga, de forma a facilitar a comparação.

2.3. Secagem

Neste método de conversação não foi estudada diretamente a influência da temperatura, velocidade do ar e humidade relativa. Em alternativa, foram estudadas a influência da posição no secador no processo de secagem, da posição no tabuleiro de secagem e ainda a influência do tipo de tabuleiro utilizado no processo de secagem. Para o estudo da influência da posição no secador, foram utilizadas 3 amostras, colocadas na zona designada “Início do secador”, que corresponde à posição mais próxima das ventoinhas, “Meio do secador” e “Fim do secador”, que corresponde à zona mais afastada das ventoinhas. Para o estudo da influência da posição do tabuleiro na cinética de secagem colocou-se uma amostra de bacalhau no “Topo do tabuleiro”, uma segunda no “Meio do tabuleiro” e uma terceira no “Fundo do tabuleiro”. O tabuleiro de secagem foi colocado na zona designada como “Início do secador”. No último caso, foram utilizadas duas amostras, uma foi colocada num tabuleiro fechado nas laterais e outra num tabuleiro aberto, nas mesmas condições, isto é, mesma posição no secador (início do secador), e mesma posição ao longo do tabuleiro (topo do tabuleiro). O secador funcionou a uma temperatura de 18 °C. Foram aferidas as massas ao longo do ensaio, com recurso a uma balança digital (marca Ruby, modelo DELTA 86), Figura 17 (a) bem como os teores de matéria seca utilizando um analisador de humidade (marca Precisa, modelo 310 M), mesmo da salga, Figura 17 (d).

Foram analisadas as cinéticas de secagem, representando-se a taxa de secagem ao longo do tempo de processamento. A taxa de secagem foi calculada pela derivada da humidade em base seca ao longo do tempo de processamento. A humidade em base seca foi determinada a partir da Equação (3).

No anexo A são apresentadas ilustrações das posições ao longo do tabuleiro, do tabuleiro aberto nas laterais e das posições ao longo do secador para uma melhor compreensão dos casos estudados.

2.4. Demolha

Na demolha foram estudados o efeito da temperatura no processo bem como a razão entre a quantidade de água utilizada e a massa de bacalhau. Salienta-se que estes ensaios apenas serviram como estudo do método, não havendo interesse direto na sua otimização uma vez que esta etapa não é realizada como processo de produção na Sacarema - Indústrias alimentares, Lda. Esta etapa apenas é realizada ocasionalmente para controlo interno. Foram utilizados 4 recipientes, a fim de comparar as variáveis estudadas. Utilizaram-se massas de amostras de bacalhau próximas em todos os casos. Para o estudo da temperatura, uma das amostras foi demolhada à temperatura ambiente da empresa, [15 17] °C, e a outra amostra foi colocada na câmara de refrigeração, com temperaturas a variar entre 1 °C e os 4 °C. No segundo caso de estudo ambas as amostras foram demolhadas dentro da câmara de refrigeração, dado ser o método normalmente utilizado na empresa para a demolha do bacalhau. Recorreu-se ao uso de uma balança digital, um hidrómetro de aquário e uma proveta graduada (mesmos instrumentos utilizados no processo de salga) de forma a aferir as massas das amostras de bacalhau e a salinidade da água da demolha. Estudou-se a influência dos referidos parâmetros no tempo de demolha bem como nas mudas da água realizadas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Estudo da influência das respectivas variáveis nos processos de conservação

3.1.1. Descongelamento

3.1.1.1. Influência da temperatura do ar envolvente

Os resultados obtidos no processo de descongelamento podem ser consultados na Tabela 2 e na Figura 18. Salienta-se que a Figura 18 representa a variação da temperatura da amostra de bacalhau ao longo do tempo de descongelamento para as duas temperaturas do ar envolvente estudadas: temperatura ambiente e temperatura de refrigeração.

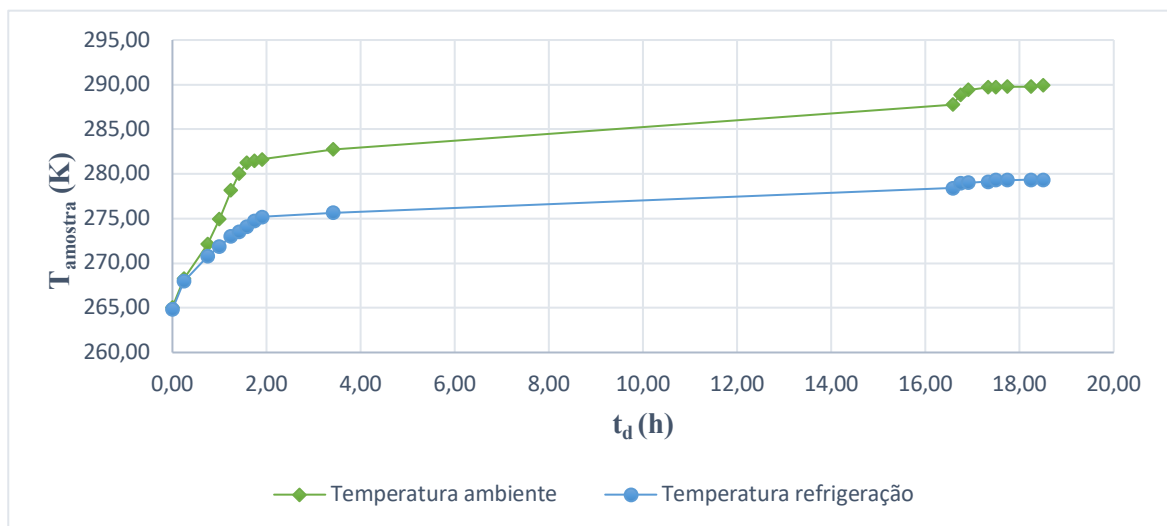


Figura 18. Influência da temperatura do meio envolvente no processo de descongelamento.

Conclui-se, através dos dados representados na Figura 18 e Tabela 2 que, uma menor temperatura ambiente provoca uma menor variação na temperatura da amostra de bacalhau ao longo do tempo de descongelamento. Observa-se, nos primeiros minutos, que ambas as amostras sofrem variações de temperatura semelhantes. Deduz-se que, como ambas as amostras foram mergulhadas em água com igual temperatura, seja resultado da temperatura da água ainda ser praticamente a mesma, ou seja, ainda não estar refrigerada. Ao longo do tempo de processamento a água vai adquirindo temperaturas menores devido ao ambiente frio em que se encontra, provocando uma descongelamento mais lenta. Salienta-se que o ensaio

terminou antes da amostra colocada na câmara estar totalmente descongelada. No entanto, verifica-se que, uma menor temperatura provoca tempos de descongelação significativamente maiores.

Tabela 2. Variação da temperatura do bacalhau ao longo do tempo em função da temperatura do ar envolvente.

$t_d(h)$	$T_{amostra}^{ambiente} (K)$	$T_{amostra}^{refrigeração} (K)$
0,00	265,09	264,82
0,25	268,26	267,98
0,75	272,15	270,76
1,00	274,98	271,87
1,25	278,15	272,98
1,42	280,04	273,54
1,58	281,26	274,09
1,75	281,48	274,71
1,92	281,65	275,21
3,42	282,76	275,65
16,58	287,76	278,43
16,75	288,87	278,98
16,92	289,43	279,04
17,33	289,71	279,15
17,50	289,76	279,32
17,75	289,78	279,33
18,25	289,79	279,34
18,50	289,96	279,35

3.1.2. Salga

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 8, Anexo B, dada a sua extensão.

Os resultados foram posteriormente representados graficamente e comparados com os obtidos no ensaio “Controlo”. Salienta-se que os mesmos foram normalizados ($\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}$ amostra inicial) com o intuito de facilitar a comparação.

3.1.2.1. Influência da concentração de NaCl na salga

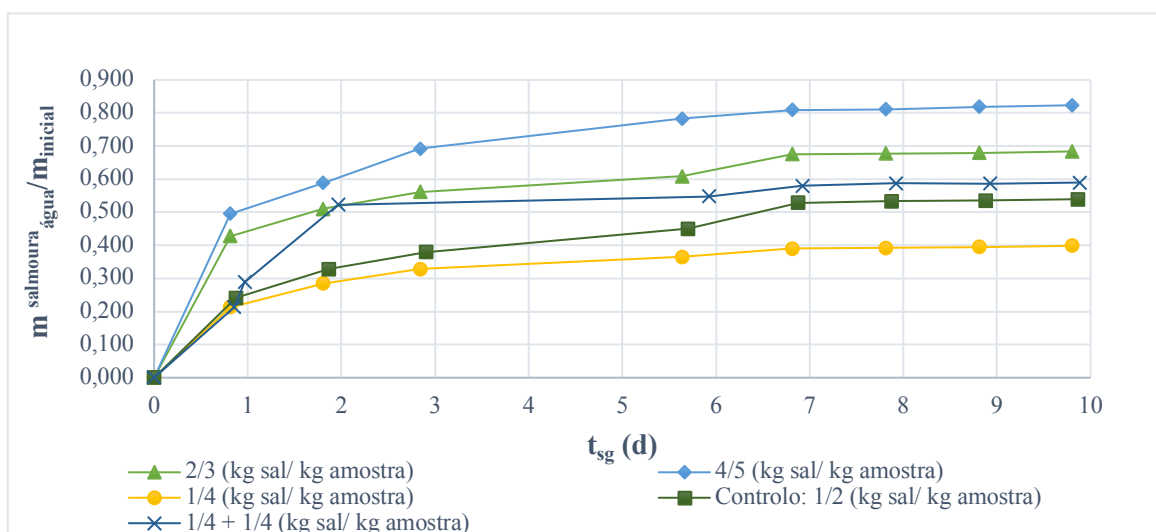


Figura 19. Influência do teor de sal na perda de água ao longo do tempo de desidratação das amostras de bacalhau.

A partir da Figura 19, verifica-se que, uma maior concentração de cloreto de sódio provoca uma maior perda de água de pescado durante o processo. No entanto, observando as curvas obtidas dos ensaios com maiores concentrações de NaCl, conclui-se que no primeiro dia a quantidade de água perdida pelo pescado é semelhante. Defere-se assim que existe uma limitação para o transporte de água e sal e, por isso, por maior que seja a quantidade de sal adicionada nas primeiras horas, a quantidade de água que o bacalhau é capaz de perder é muito semelhante. Através da análise da curva da adição de sal obtida, deduz-se que uma adição de cloreto de sódio é favorável em termos físico-químicos para a otimização do processo, uma vez que, com a mesma quantidade de sal utilizada normalmente no processo industrial, retira uma maior quantidade de água ao pescado. Tal como esperado, uma menor quantidade de sal provoca uma menor perda de água.

Apesar do processo ser favorecido com o aumento do teor de sal, o bacalhau perde a sua qualidade, ganhando um aspeto feio e um sabor muito salgado, não sendo por isso aceite pelo consumidor.

3.1.2.2. Influência da temperatura na salga

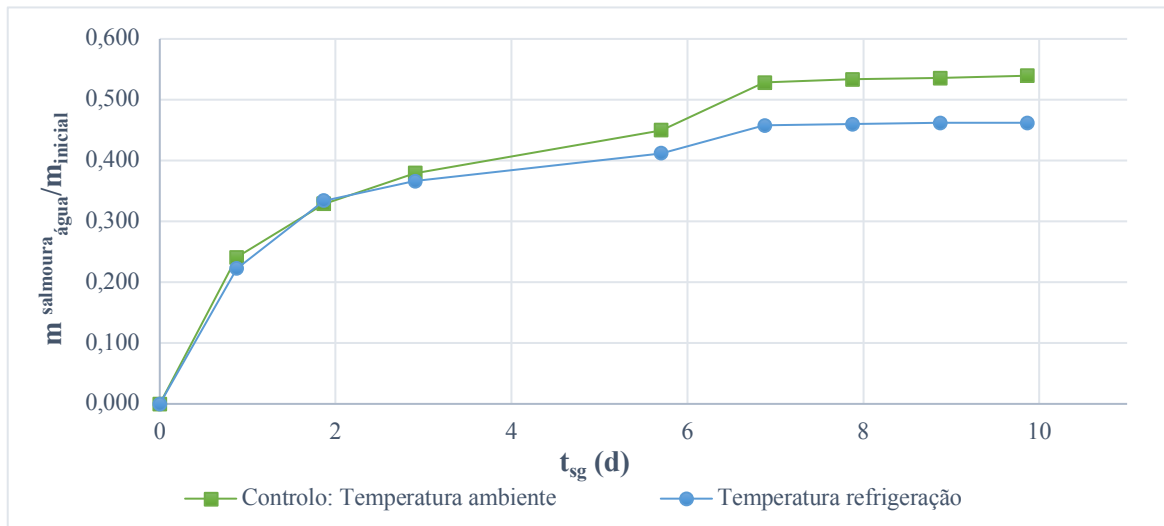


Figura 20. Influência da temperatura na desidratação das amostras de bacalhau ao longo do tempo de processamento.

Com base na Figura 20, conclui-se que uma menor temperatura leva a uma menor perda de água ao longo do tempo de imersão. Seria esperado que a menor temperatura provocasse um aumento do tempo de salga, ou seja, que demorasse mais tempo a perder a mesma quantidade de água da temperatura ambiente. Tal não se verificou, uma vez que ambas as curvas estabilizaram ao mesmo tempo para diferentes razões de perda de água. Com base em estudos presentes na literatura, conclui-se que, este resultado é consequência do aumento da viscosidade da solução osmótica com a diminuição da temperatura e diminuição da difusividade mássica [52].

3.1.2.3. Influência de uma salmoura de 24 horas no processo de salga

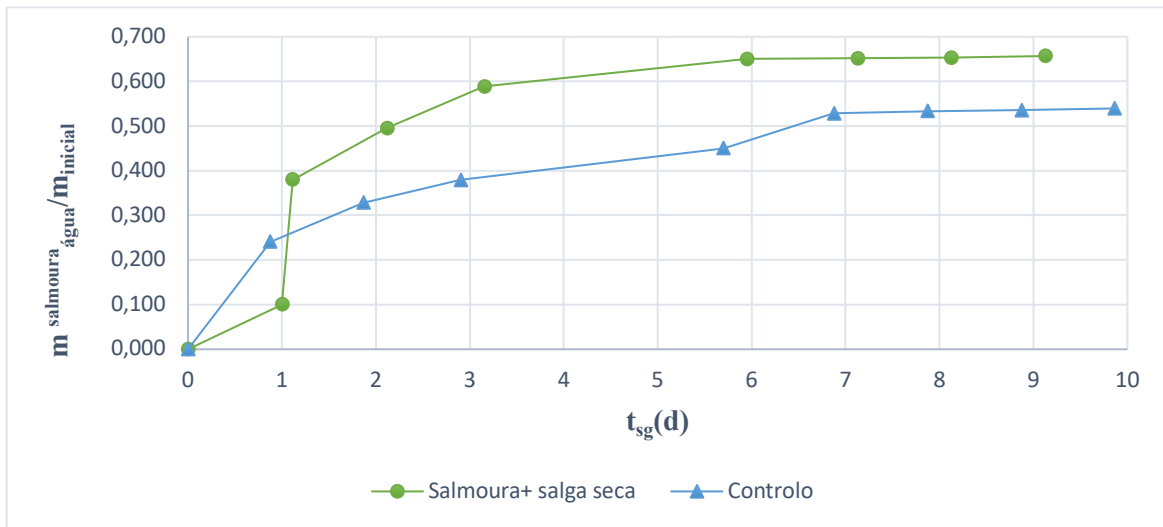


Figura 21. Influência de uma salmoura seguida de uma salga na desidratação do bacalhau.

Segundo a Figura 21, uma salga em salmoura seguida de uma salga seca provoca uma maior perda de água no pescado ao longo do tempo de salga, quando comparada com a salga seca direta, representada pelo ensaio “Controlo” e, reduz o tempo de salga, uma vez que a curva estabiliza num menor tempo quando comparada com a curva obtida no “Controlo”. Conclui-se que os resultados obtidos se encontram de acordo com o esperado na literatura, uma vez que a salmoura de 24 horas permite ao pescado absorver uma fração considerável de cloreto de sódio, reduzindo assim o tempo de processamento e aumentando a desidratação [53].

Em todos os ensaios verifica-se uma taxa elevada de perda de água inicialmente, sucedida por uma taxa de perda de água morosa no fim do processo. Deduz-se que estes resultados se devem à diferença de pressão osmótica elevada no início do processo que funciona como força motriz e que vai diminuindo com o tempo de imersão. O processo de desidratação osmótica é caracterizado por ser um processo lento, isto é, o equilíbrio só é atingido ao fim de um período de tempo relativamente longo. Constata-se que nos ensaios realizados, o equilíbrio é alcançado ao fim de aproximadamente 7 dias. Induz-se por isso, que os resultados obtidos são aceitáveis.

3.1.2.4. Determinação do coeficiente de difusividade efetiva

Foi utilizado o modelo de Peleg, Equação (5), para calcular as constantes de difusividade em cada caso estudado. Assumiu-se que a concentração de equilíbrio era igual à concentração no tempo infinito e, por isso, dada por $1/k_2$ e que, a massa da matéria seca da amostra era constante em todo o ensaio. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Constantes de Peleg e coeficientes de difusividade obtidos.

Ensaio	k_1	k_2	R^2	$D_{ef} (m^2/s)$	R^2
Controlo	$-7,18E + 04$	$2,37 E + 00$	0,9723	$5,74E - 13$	0,9545
T _{refrigeração}	$-6,85E + 04$	$1,79E + 00$	0,9895	$4,46E - 13$	0,9513
2/3 (kg _{sal} /kg _{amostra})	$-1,06E + 05$	$1,76E + 00$	0,9745	$8,21E - 13$	0,8950
4/5 (kg _{sal} /kg _{amostra})	$-1,76E + 05$	$3,36E - 01$	0,9966	$3,17E - 12$	0,7208
1/4 (kg _{sal} /kg _{amostra})	$-1,51E + 05$	$1,34E + 00$	0,9620	$4,65E - 13$	0,9644
1/4+1/4 (kg _{sal} /kg _{amostra})	$-1,66E + 05$	$1,36E + 00$	0,7204	$2,00E - 12$	0,9906
Salmoura + salga seca	$-5,13E + 05$	$7,49E - 01$	0,9931	$2,26E - 12$	0,9727

Através da análise dos coeficientes de difusividade obtidos e apresentados na Tabela 3, conclui-se que, a temperatura tem um impacto significativo na velocidade de desidratação do bacalhau. Verifica-se ainda que, os parâmetros que mais otimizam o processo de salga são a maior concentração de sal, uma salmoura seguida de uma salga seca e a adição de sal.

O ensaio com maior quantidade de sal (4/5 kg_{sal}/kg _{amostra}) foi o que permitiu obter um valor de D_{ef} significativamente maior do que os restantes ensaios, no entanto, não é viável em termos de qualidade, uma vez que o produto ganha um teor de sal demasiado elevado, perdendo valor com o consumidor.

Apesar dos coeficientes de correlação obtidos serem, na sua maioria, elevados, os valores obtidos de D_{ef} são significativamente menores do que os da literatura, $[0,81\ 5,13] \times 10^{-10} m^2/s$ [54]. Estima-se que este resultado seja consequência de se terem assumido as massas secas das amostras constantes em todo o processo, ou ainda da linearização das equações do modelo, que poderá não ser o método mais adequado.

3.1.3. Secagem

Os resultados obtidos no ensaio de secagem encontram-se apresentados na Tabela 9, Anexo C, dada a sua extensão. As suas representações gráficas estão expostas nas Figura 22 a Figura 24.

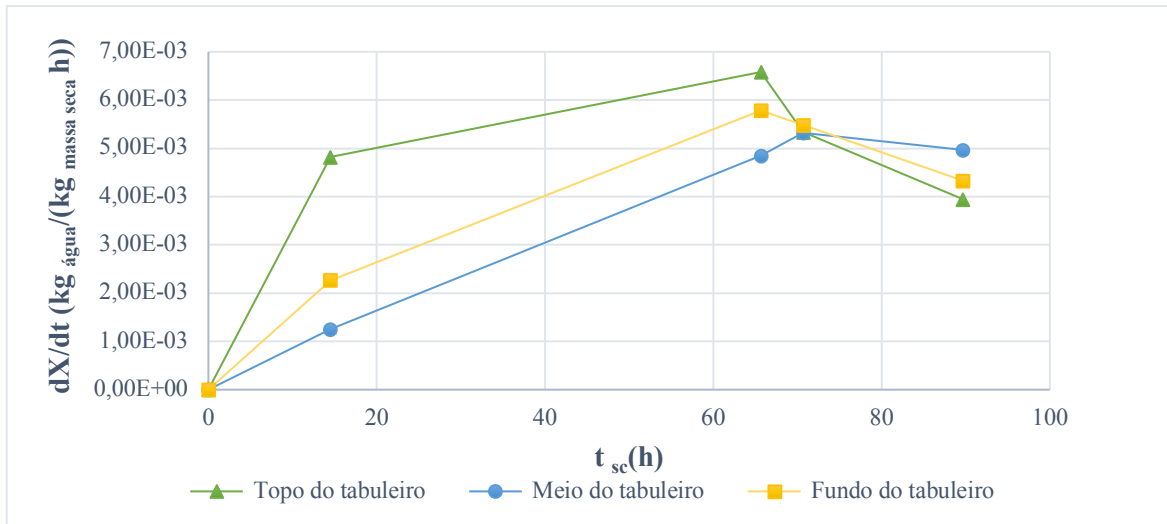


Figura 22. Cinéticas de secagem em função da posição da amostra no tabuleiro.

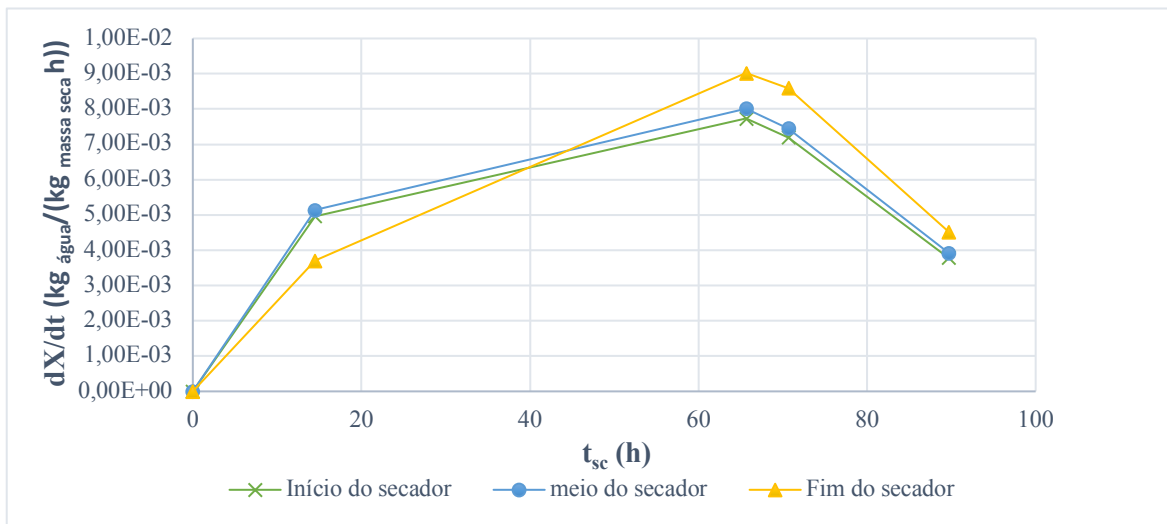


Figura 23. Cinéticas de secagem em função da sua posição no secador.

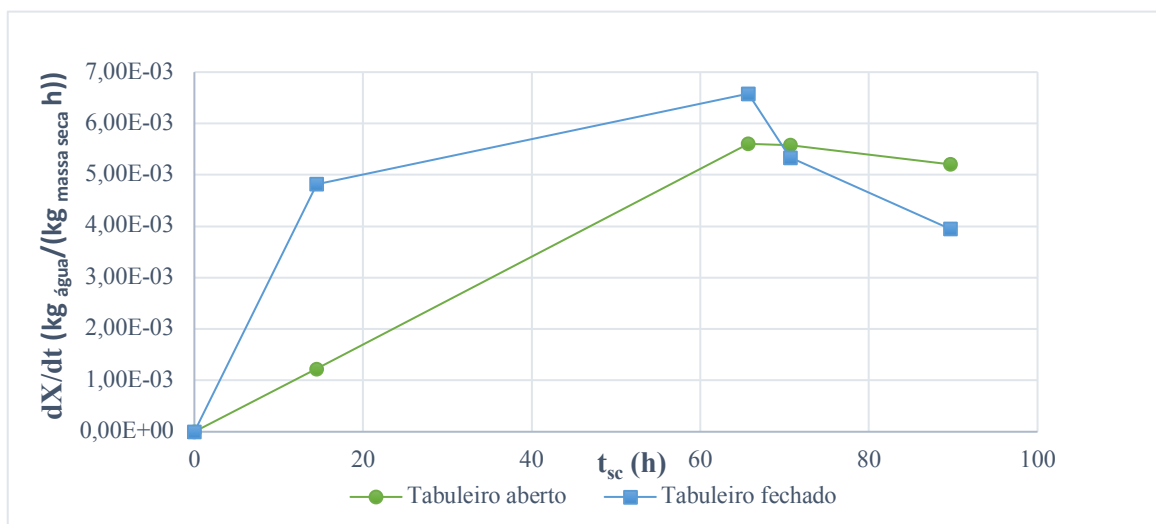


Figura 24. Comparação do efeito da disposição da amostra num tabuleiro aberto e num fechado.

Verifica-se, a partir da análise dos dados recolhidos, que as cinéticas não apresentam período de taxa de secagem constante, ao contrário do que seria esperado pelas curvas apresentadas a literatura. No entanto, os resultados são aceitáveis, pois diversos produtos biológicos não apresentam esse período no processo de secagem, apresentando apenas um período em que a taxa de secagem aumenta seguida de um decréscimo [55]. Deduz-se assim que, o interior do produto apresenta resistência ao fluxo mássico. Como consequência, a evaporação que ocorre na superfície do bacalhau para o meio envolvente é mais rápida do que o movimento de água do interior do pescado até à camada externa. Posto isto, conclui-se que é a difusão o mecanismo de transporte que limita a secagem do bacalhau.

Analisando a Figura 22, verifica-se que a taxa de secagem no topo do tabuleiro é mais elevada do que no fundo. O meio do tabuleiro é a zona que apresenta menor taxa de secagem quando comparada com as duas restantes, indicando que a distribuição do ar não é homogênea. Através da Figura 23 observa-se que a taxa de secagem é superior no início e meio do secador nas primeiras horas da secagem. Isto ocorre como consequência de serem as posições mais próximas das ventoinhas e por isso o ar estar mais aquecido e com mais velocidade. Como vai perdendo velocidade ao longo do túnel de secagem, a zona do secador mais afastada seca a velocidades inferiores. Verifica-se que o comportamento muda ao longo do processo, ou seja, o fim do secador seca mais rápido do que o restante. Defere-se que seja consequência da condensação da água que ocorre, como consequência da presença de um condensador na zona designada “Fim do secador”, ou seja a zona mais afastada das ventoinhas. Ao condensar a água, diminui a humidade presente no ar, obrigando o bacalhau

a secar mais rápido ao contrário das restantes zonas, onde o ar fica cada vez mais saturado face à perda de água do pescado.

Analisando os resultados obtidos na Figura 24, infere-se que os tabuleiros abertos de ambos os lados não otimizam o processo industrial de secagem uma vez que, a taxa de secagem é mais baixa. Depreende-se que seja consequência de uma diminuição da velocidade do ar, uma vez que se o tabuleiro estiver fechado, o ar é obrigado a circular apenas numa única direção, no entanto, se o tabuleiro estiver aberto, o ar dispersa no meio, levando a uma diminuição da velocidade de circulação e consequentemente uma secagem menos eficiente.

3.1.4. Demolha

3.1.4.1. Influência da temperatura

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 25, Figura 26 e Tabela 4.

Tabela 4. Resultados obtidos do estudo da temperatura do ar envolvente no processo de demolha.

Ensaio	$t_{dm}(h)$	$Z_{NaCl}^{demolha}$ ($\pm 0,25$)%	$m_{amostra}$ ($\pm 0,001$)kg	ΔM_t
$T_{refrigeração}$	0,00	0,00	0,620	0,000
	1,00	0,50	0,640	0,032
	2,00	1,00	0,680	0,063
	18,50	1,50	0,718	0,122
	23,50	1,50	0,720	0,125
	27,00	2,00	0,730	0,141
	46,50	2,50	0,738	0,153
$T_{ambiente}$	0,00	0,00	0,540	0,000
	1,00	1,00	0,585	0,083
	2,00	1,50	0,598	0,107
	18,50	1,50	0,639	0,183
	23,50	2,00	0,640	0,185
	27,00	2,50	0,649	0,202
	37,00	3,00	0,650	0,204

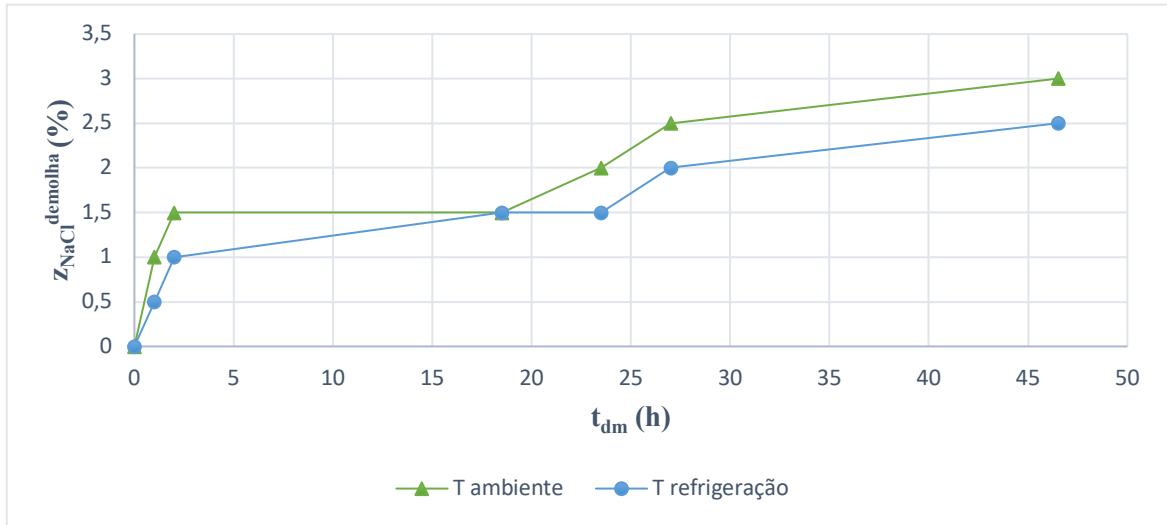


Figura 25. Quantidade de cloreto de sódio presente na água da demolha ao longo do tempo de processamento.

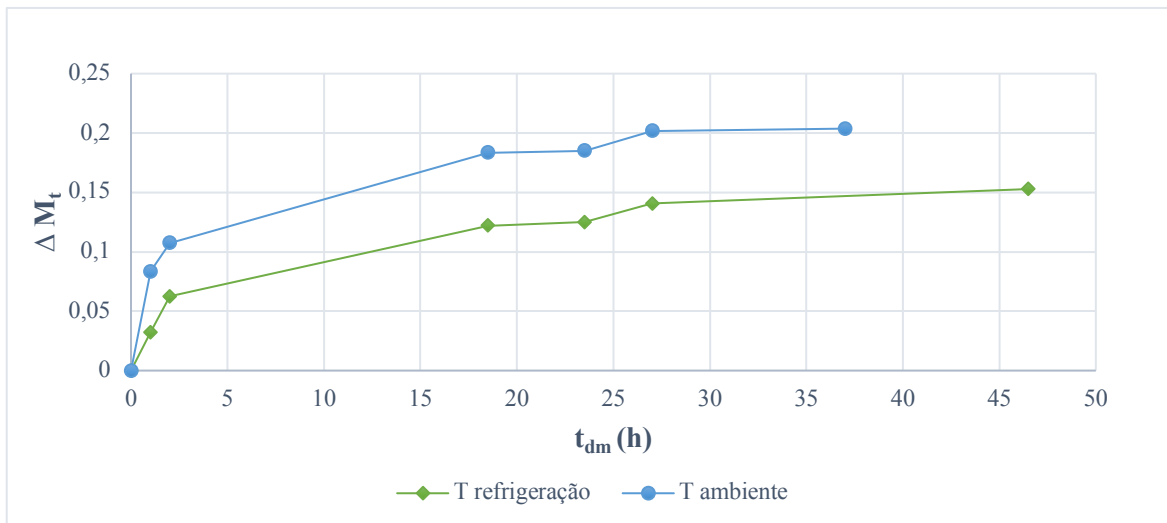


Figura 26. Influência da temperatura nas variações de massa durante o processo de demolha do bacalhau.

Analisando os resultados obtidos no ensaio realizado através da Figura 25, conclui-se que, um aumento da temperatura favorece a diminuição do cloreto de sódio no pescado, favorecendo a rápida saturação da água (na temperatura ambiente a água da demolha foi mudada aproximadamente 18 horas após o início do processo enquanto que no caso da temperatura mais baixa foi mudada apenas 23 horas depois). O mesmo se comprova quando se observa a variação total da massa do pescado, Figura 26. Verifica-se uma variação abrupta nas primeiras horas do processo, devido essencialmente à incorporação da água. Deduz-se que o processo é regido por difusão e convecção natural. A convecção natural é resultado do

diferencial de densidades. A absorção da água vai diminuindo ao longo do tempo com a diminuição do gradiente osmótico (força motriz do processo de transferência de massa). Esta tendência é alterada com a mudança de água da demolha, no entanto, verifica-se que a taxa de incorporação de água e saída de sal não é tão elevada como a observada no início do processo. Deduz-se que seja consequência do fluxo lento que ocorre no centro do pescado. Dado que os ensaios de ambas as temperaturas apresentaram um comportamento semelhante no início do processo, defere-se que a força motriz domina o fluxo em relação à dependência dos coeficientes de difusão pela temperatura. Os resultados estão de acordo com o espectável. Estudos na literatura que confirmam que as altas temperaturas favorecem o aumento da velocidade da demolha. A demolha a temperaturas mais elevadas retira horas ao processo, no entanto, conclui-se que não é uma opção viável face à suscetibilidade que o bacalhau tem de deterioração.

3.1.4.2. Influência da razão entre massa de água de demolha e a de bacalhau

A variação da quantidade de cloreto de sódio na água de demolha, $z_{NaCl}^{demolha}$, ao longo do tempo de processamento está exposta na Figura 27, antes da muda de água e Tabela 5, para duas quantidades de água diferentes e massas de amostras semelhantes.

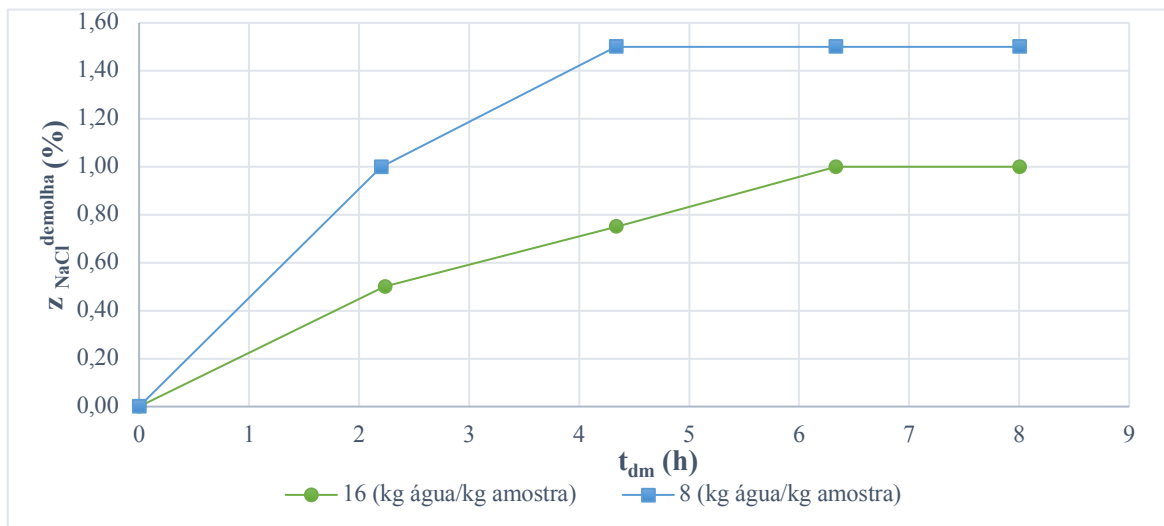


Figura 27. Influência da massa de água na quantidade de cloreto de sódio presente na água da demolha ao longo do tempo.

Tabela 5. Resultados obtidos no estudo da influência da quantidade de água no processo de demolha.

$t_{dm}(h)$	16 (kg _{água} /kg _{amostra})	8 (kg _{água} /kg _{amostra})
	$z_{NaCl}^{demolha} (\pm 0,25)\%$	$z_{NaCl}^{demolha} (\pm 0,25)\%$
0,00	0,00	0,00
2,20	0,50	1,00
4,30	0,75	1,50
6,30	1,00	1,50
8,00	1,00	1,50
24,00	0,50	0,50
28,30	0,75	1,00
30,70	1,00	1,50
32,20	1,25	2,00
35,20	1,25	2,00

Analisando os dados obtidos, verifica-se que, quando a razão entre a massa de água da demolha e a massa da amostra é igual a 16, o equilíbrio é atingido às 6,33 horas. Já quando está é igual a 8, é atingido cerca de 4,33 horas após o início do processo. Os resultados estão de acordo com o expectável uma vez que, um maior volume de água fará com que a diferença de concentração de sal no bacalhau e na água de demolha seja maior. Quando o volume de água é inferior, a concentração entre o bacalhau e a água iguala-se mais rapidamente e, sendo esta a força motriz do processo, os fluxos de transporte param. No entanto, verificou-se que ambos os ensaios terminaram ao mesmo tempo, por isso, uma menor quantidade de água de demolha vai exigir uma mudança de água período mais curto de tempo, mas não otimiza o processo no tempo de processamento.

3.2. Otimização do processo industrial

Para a otimização do processo industrial são considerados os processos de descongelação, salga e secagem. Salienta-se que, serão os processos de descongelação e salga os otimizados e, posteriormente estudado o seu comportamento na secagem, isto é, o processo de secagem será otimizado de forma indireta.

Através da análise das variáveis processuais realizadas anteriormente, concluiu-se que a descongelação é otimizada, em termos físico-químicos, com a temperatura ambiente e a salga é otimizada com a adição de cloreto de sódio, com o aumento excessivo de sal e com

uma prévia salmoura. O ensaio com maior quantidade de sal ($4/5 \text{ kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$), não é viável em termos de qualidade, uma vez que o produto ganha um teor de sal demasiado elevado, perdendo valor com o consumidor, como já referido anteriormente. Assim, para efeitos de otimização escolhem-se as amostras de adição de sal, salmoura e $2/3$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$). As três amostras, descongeladas à temperatura ambiente, foram colocadas nas mesmas posições do secador (início do secador) e do tabuleiro de secagem (topo do tabuleiro) e comparadas com as amostras de controlo. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 28.

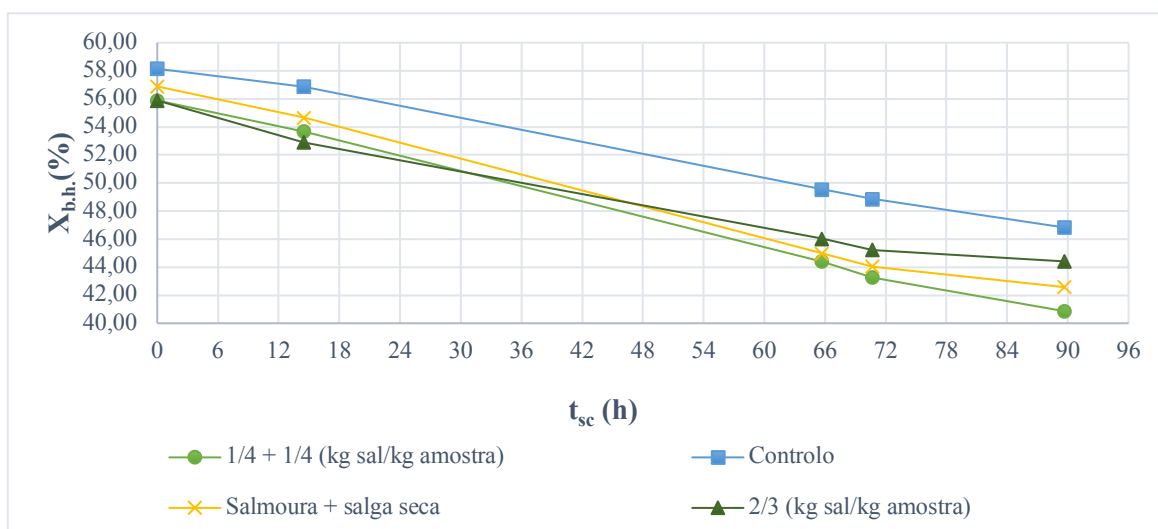


Figura 28. Variação do teor de humidade em base húmida no processo de secagem.

Tal como referido anteriormente no presente trabalho, de acordo com a legislação, o bacalhau tem que ter uma percentagem de humidade igual ou inferior a 47 % para ser considerado salgado seco. Analisando os resultados expostos na Figura 28, verifica-se que, tanto uma salga em salmoura seguida de uma salga seca, como a adição de sal e uma maior quantidade de sal retiram horas de secador. Os dois primeiros casos atingem a percentagem exigida por lei por volta das 55 e 51 horas de secador, respetivamente, enquanto que numa maior quantidade de sal atinge por volta das 58 horas. O controlo, que ilustra uma salga industrial normal, apenas atinge a referida humidade por volta das 88 horas. Conclui-se assim que, todos os ensaios otimizados retiram praticamente 2 dias de secador, com a adição de sal a apresentar melhores resultados do que a prévia salmoura e da maior quantidade de sal, ainda que não sejam muito significativos. Constata-se, que em termos físicos, todos os processos de salga são auspiciosos.

4. Avaliação económica

Com o intuito de concluir se as variáveis escolhidas otimizam a produção industrial, foi realizada uma breve análise económica. Os parâmetros utilizados nesta avaliação foram fornecidos pela Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda. e encontram-se expostos na Tabela 6. Foi considerada uma produção total de 15 toneladas para todos os casos em estudo e não foram considerados os custos envolvidos antes do processo de descongelação.

Tabela 6. Valores de custos e consumos energéticos utilizados para a realização da análise económica.

Componente	Custo /consumo energético
Mão de obra	9 € /h
Eletricidade	0,24 € /kWh
Outros	0,02 € /kg
Sal marinho (big bag 1200 kg)	150 €
Câmara de refrigeração	10 kWh/h
Secador	75 kWh/h
Equipamento de escala	3 kWh/h

Na etapa de descongelação foram contabilizados apenas os custos relativos à mão de obra e empilhador (englobado na componente “Outros”). Nos 4 casos, para a mão de obra, foram consideradas 4 operárias num total de 2 horas. Nas etapas de escala e limpeza foram estimados os custos de mão de obra e eletricidade. O material utilizado pelas operárias nesta etapa, tais como facas, baldes, cestos, entre outros, foram incluídos na componente “Outros”. Foram estimadas 4 operárias para a realização das etapas. Na salga, no ensaio “Controlo” foram considerados os custos do sal e da mão de obra, considerando que, esta etapa de processamento é realizada por uma operária e demora 8 horas. No caso do ensaio referente à realização de uma salmoura seguida de uma salga seca, foram considerados os custos da mão de obra, admitindo uma operária para a salga em salmoura, durante 8 horas e 4 operárias para a salga seca, durante 6 horas. Para além disso, foram ponderados os custos relacionados à câmara de refrigeração em torno de 20 horas. Já para o ensaio da adição de sal durante o processo de salga, foram avaliados os custos referentes à mão de obra admitindo que a primeira salga é realizada por uma operária durante um dia de trabalho e a troca de sal e nova

salga é realizada por 5 operárias durante 6 horas de trabalho. Em todos os casos, foram tidos em consideração os custos associados ao empilhador e ao material utilizado (tinhas e pás).

Em relação à secagem foram admitidos os custos de mão de obra, 4 operárias para encher o secador ao longo de 6 horas e 4 para vaziar durante sensivelmente 8 horas. O custo total de produção é dado pela soma dos custos das etapas de produção. Os resultados obtidos para os 4 casos estudados encontram-se apresentados na Tabela 7.

Salienta-se que, como a água utilizada nas etapas de processamento é água do furo, não foi considerado nenhum custo a ela associado.

Tabela 7. Resultados da análise económica nos ensaios “Controlo”, “Salmoura + salga seca”, “ $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$)”, $\frac{2}{3}$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$)”.

	Controlo	Salmoura + salga seca	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$)	$\frac{2}{3}$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$)
Descongelação	90 €	90 €	90 €	90 €
Escala e limpeza	294 €	294 €	294 €	294 €
Salga	1010 €	1297 €	1280 €	1422 €
Secagem	2088 €	1274 €	1170 €	1548€
Total	3481 €	2955 €	2833 €	3354 €

A partir dos valores calculados, conclui-se que todos os ensaios estudados de salga são auspiciosos para a otimização da produção industrial, uma vez que permitem obter um custo de produção total inferior ao do “Controlo”. Verifica-se que as diferenças obtidas são devidas às etapas de produção de salga e secagem, uma vez que a descongelação, escala e limpeza apresenta o mesmo custo associado em todos os casos de estudo. O ensaio de uma salmoura seguida de uma salga seca ostenta custos muito mais elevados no processo de salga quando comparada com o “Controlo”, consequência dos custos de mão de obra mais elevados, custos de refrigeração e maiores custos de sal, que provocam um custo de produção superior. O mesmo se verifica para os restantes casos. No caso do ensaio de adição de sal, deve-se apenas ao aumento da mão de obra comparando com o ensaio “Controlo”, uma vez que necessita da mesma quantidade de sal. No caso da maior quantidade de sal, $\frac{2}{3}$ ($\text{kg}_{\text{sal}}/\text{kg}_{\text{amostra}}$) é consequência do aumento considerável de sal utilizado na salga. No entanto, os maiores custos na etapa de salga são anulados pelos menores custos no processo de secagem, tornando o processo economicamente atraente. Analisando todos os resultados

obtidos, conclui-se que uma salga por adição é o processo que melhor otimiza a produção de bacalhau salgado seco na Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.

5. Conclusões e sugestões de melhoria

Neste trabalho estudaram-se, em ambiente empresarial, os processos de conservação do bacalhau, que são de extrema importância no seu processamento e comercialização face à rápida deterioração em virtude do rápido início do rigor mortis e doenças transmitidas que constituem um problema de saúde pública. Foram estudados os processos de descongelamento, salga, secagem e demolha do bacalhau. Concluiu-se, com base nos resultados obtidos, que o processo de descongelamento é otimizado utilizando temperaturas do ar envolvente mais elevadas. O processo de salga é também otimizado com o aumento da temperatura, resultado que seria o esperado uma vez que, a difusão é o principal princípio de transferência de massa, que é favorecido pelo aumento da temperatura. Para além disso, é beneficiado pelo aumento da concentração de sal, uma prévia salmoura e uma adição de sal. Estes resultados foram reforçados pelos coeficientes de difusividade obtidos em cada ensaio. Após estudados os seus comportamentos no processo de secagem, concluiu-se que uma prévia salmoura, uma adição de sal e uma maior quantidade de sal otimizam o processo de secagem reduzindo-o em cerca de 30 horas. De acordo com a análise económica, todos os casos considerados permitem otimizar a produção industrial pois permitem obter um custo total inferior ao do “Controlo”. Através da análise dos resultados obtidos, concluiu-se que, uma salga por adição, apesar de requerer maior mão de obra, é o método que melhor otimiza a produção. Concluiu-se que, os resultados obtidos experimentalmente de D_{ef} são consideravelmente inferiores aos esperados. Sugere-se empregar outros modelos teóricos comparando não só a gama obtida como o ajuste realizado.

Foram identificados diversos aspetos que podem ser melhorados, estando maioritariamente ligados à boa gestão de água e valorização de resíduos. A boa gestão da água é de extrema importância uma vez que a indústria de pescado consome uma quantidade de água significativa e gera igualmente uma quantidade de efluentes. Planos de gestão originam uma diminuição dos custos de tratamento e, provocam modos de marketing para a área da indústria dando o destaque de empresa sustentável [56]. Os efluentes libertados pelas empresas de processamento de pescado têm uma elevada carga orgânica, sendo que a matéria se encontra sobretudo na forma de proteínas e lípidos. Este tipo de biomassa detém elevado potencial como fonte de bens de avultado valor devido ao seu elevado conteúdo de proteína e de nutrientes essenciais, como por exemplo vitaminas, minerais e óleos de peixe [57].

Na empresa Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda. grande parte da água descarregada é proveniente do processo de descongelamento. O processo é realizado sem nenhum reaproveitamento da água. Esta água por sua vez contém óleos e gorduras, libertados pelo pescado nesta etapa. Sugere-se que sejam separados da água. A água deverá ser aplicada numa nova descongelamento, em limpezas de paredes, pisos, equipamentos ou em alimentações de caldeiras [56]. Os resíduos recuperados podem ser utilizados na indústria farmacêutica, na produção de gelatina e colagénio e na produção de revestimentos. O óleo do bacalhau pode ser refinado para a produção de margarinas e produtos como ácidos gordos e tintas [58]. Na secagem, obtém-se água destilada a partir do condensador. Verificou-se que o cheiro a bacalhau presente não era muito significativo. A água destilada pode ser vendida ou então utilizada internamente na empresa, para lavagem de equipamentos, entre outros. No caso da salga, a salmoura ganha importantes propriedades do pescado com a perda de ácidos graxos (ómega-3) do pescado. Estes podem ser utilizados na produção de gelatina e colagénio, produção de fertilizantes, ração animal, óleo de peixe e solúveis [57]. Salienta-se que o bacalhau é um alimento rico em colagénio, estando presente nas escamas, espinha dorsal e pele [59]. Dada a elevada procura deste produto, face às suas diversas aplicações como emulsificante, espumante, agente gelificante em diversos setores da indústria, é importante o seu aproveitamento nas etapas de produção [60].

Atualmente, os resíduos são enviados para produção de ração animal, vendidos por um preço relativamente pequeno. No entanto, se enviado para outras indústrias, pode-se obter um lucro maior.

6. Referências

- [1] D. M. Cohen, T. Inada, T. Iwamoto, and N. Scialabba, *Gadiform fishes of the world (order Gadiformes): an annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date*.
- [2] Riberalves, “O bacalhau.” <https://riberalves.pt/pt-br/o-bacalhau/especies/> (accessed Jun. 03, 2023).
- [3] J. F. Dias, R. Menezes, J. C. Filipe, C. Guia, V. Guerreiro, and F. Asche, “A cadeia de valor do bacalhau entre a Noruega e Portugal,” vol. VII, pp. 77–94, 2002.
- [4] “Decreto-Lei n.º 25/2005, de 28 de janeiro | DR.” <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/25-2005-620906> (accessed Jun. 05, 2023).
- [5] K. Lauritzsen, L. Akse, A. Johansen, S. Joensen, N. K. Sørensen, and R. L. Olsen, “Physical and quality attributes of salted cod (*Gadus morhua* L.) as affected by the state of rigor and freezing prior to salting,” *Food Research International*, vol. 37, no. 7, pp. 677–688, Aug. 2004, doi: 10.1016/j.foodres.2004.03.001.
- [6] M. Barbosa, “Título: Bacalhau à lupa.” [Online]. Available: www.apn.org.pt
- [7] “Portal do INE.” https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEStipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107656&selTab=tab0&xlang=pt (accessed Jun. 04, 2023).
- [8] I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca 2012*. Lisboa: INE, 2013. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/153378507>
- [9] I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca: 2013*. Lisboa: INE, 2014. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/210756920>
- [10] I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca: 2015*. Lisboa: INE, 2016. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/261842006>

- [11] I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca : 2019*. Lisboa: INE, 2020. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/435690295>
- [12] I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca: 2020*. Lisboa: INE, 2021. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/280980980>
- [13] I.P. Instituto Nacional de Estatística, Ed., *Estatísticas da Pesca: 2021*.Lisboa: INE, 2022. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/36828280>
- [14] M. Shafiur Rahman, Ed., *Handbook of Food Preservation*, 2 nd Edition., vol. 161–165. CRC Press, 2007.
- [15] P. V. Pires, *Tecnologia do Pescado*. Instituto de ciências biomédicas Abel Salazar, Universidade do Porto, 2006. Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/14479772/tecnologia-do-pescado-2005-paulo-vaz-pires-instituto-de->
- [16] C. Alasalvar, F. Shadidi, K. Myashita, and U. Wanasundara, Eds., *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications*. John Wiley & Sons, 2010.
- [17] L. N. Murthy and A. Jeyakumari, “Post mortem biochemical changes in fish,” Vashi, Navi Mumbai, 2019.
- [18] A. A. G. Karoline Mikaelle de Paiva Soares, “Qualidade e segurança do pescado,” *Rev Inst Adolfo Lutz*, 2012. Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32384/31215>
- [19] F. Lidon, *Conservação de alimentos: princípios e metodologias*. 2008.
- [20] R. Y. Tomita, “Estudo do Impacto do Congelamento sobre o Valor Nutricional do Pescado,” 2016, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/311793943>
- [21] E. Alizadeh, N. Chapleau, M. de Lamballerie, and A. LeBail, “Effects of Freezing and Thawing Processes on the Quality of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fillets,” *J Food Sci*, vol. 72, no. 5, pp. E279–E284, Jun. 2007, doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00355.x.
- [22] *Code of Practice for Fish and Fishery Products*. FAO and WHO, 2020. doi: 10.4060/cb0658en.

- [23] C. J. Backi, “Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review,” *J Food Process Eng*, vol. 41, no. 1, p. e12598, Feb. 2018, doi: 10.1111/jfpe.12598.
- [24] A. Chiralt *et al.*, “Use of vacuum impregnation in food salting process”, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/jfoodeng
- [25] G. F. Moura, C. de O. S. S. De Souza, and E. S. de A. Filho, “Salga em pescado: Revisão / Salting in fish: Review,” *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, no. 12, pp. 121831–121849, Jan. 2022, doi: 10.34117/bjdv7n12-784.
- [26] J. A. Gómez Salazar, G. Clemente Polo, and N. Sanjuán Pelliccer, “Review of mathematical models to describe the food salting process,” *Dyna (Medellin)*, vol. 82, no. 190, pp. 23–30, May 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n190.42016.
- [27] A. Andrés, S. Rodríguez-Barona, J. M. Barat, and P. Fito, “Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics”, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.08.040.
- [28] K. Lauritzsen, “Quality of salted cod (*Gadus morhua* L.) as influenced by raw material and salt composition”.
- [29] K. Lauritzsen, L. Akse, A. Johansen, S. Joensen, N. K. Sørensen, and R. L. Olsen, “Physical and Quality Attributes of Salted cod (*Gadus morhua* L.) as Affected by the State of Rigor and Freezing Prior to Salting,” *Food Research Internacional*, vol. 37, no. 7, pp. 677–688, Aug. 2004.
- [30] “Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes.” <https://www.fao.org/3/ab486p/AB486P07.htm> (accessed Jun. 05, 2023).
- [31] “Mar Lusitano.” <https://www.marlusitano.pt/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [32] “Bacalhau - Um Sabor Português - Secagem | Clube de Vinhos Portugueses.” <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/bacalhau-um-sabor-portugues-secagem/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [33] A. Andrés, S. Rodríguez-Barona, J. M. Barat, and P. Fito, “Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics”, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.08.040.
- [34] J. M. Barat, S. Rodríguez-Barona, A. Andr, and M. Visquert, “Mass transfer analysis during the cod desalting process”, doi: 10.1016/j.foodres.2003.11.001.

- [35] J. M. Barat, S. Rodríguez-Babona, A. Andrés, and J. B. Ibáñez, “Modeling of the Cod Desalting Operation,” *J Food Sci*, vol. 69, no. 4, pp. FEP183–FEP189, May 2004, doi: 10.1111/J.1365-2621.2004.TB06345.X.
- [36] J. Barat, S. Rodríguez-Barona, M. Castell, A. Andrés, and P. Fito, “Cod desalting process as affected by water management”, doi: 10.1016/S0260-8774(03)00140-7.
- [37] K. A. Thorarinsdottir, S. Arason, M. Geirsdottir, S. G. Bogason, and K. Kristbergsson, “Analytical, Nutritional and Clinical Methods Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry”, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/foodchem
- [38] A. Haugland, “Industrial thawing of fish-to improve quality, yield and capacity,” Doktor Ingenieur (Ph.D), Norwegian University of Science and Technology, 2002.
- [39] J. M. Barat, S. Rodríguez-Barona, A. Andrés, and M. Visquert, “Mass transfer analysis during the cod desalting process”, doi: 10.1016/j.foodres.2003.11.001.
- [40] “Portal de Engenharia Química - Transferência de Massa.” http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=249&Itemid=423 (accessed Jun. 05, 2023).
- [41] A. A. Andrés, S. Rodríguez-Barona, J. M. Barat, and P. Fito, “Note: Mass Transfer Kinetics During Cod Salting Operation”, doi: 10.1106/108201302031117.
- [42] George M. Hall, *Fish Processing Technology*. 2012.
- [43] M. I. H. Khan, C. P. Batuwatta-Gamage, M. A. Karim, and Y. Gu, “Fundamental Understanding of Heat and Mass Transfer Processes for Physics-Informed Machine Learning-Based Drying Modelling,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 24, p. 9347, Dec. 2022, doi: 10.3390/en15249347.
- [44] M. Van Nguyen, S. Arason, K. A. Thorarinsdottir, G. Thorkelsson, and A. Gudmundsdóttir, “Influence of salt concentration on the salting kinetics of cod loin (*Gadus morhua*) during brine salting,” 2010, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.04.003.
- [45] J. M. Barat, L. Gallart-Jornet, A. Andrés, L. Akse, M. Carlehö, and O. T. Skjerdal, “Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages,” 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.12.023.

- [46] A. Andrés, S. Rodríguez-Barona, and J. M. Barat, “Analysis of some cod-desalting process variables,” *J Food Eng*, vol. 70, no. 1, pp. 67–72, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.014.
- [47] J. Pan, *Safety and Quality Issues in Fish Processing*, 1st Edition. Elsevier Science, 2002.
- [48] D. Jain and P. B. Pathare, “Study the drying kinetics of open sun drying of fish,” 2006, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.044.
- [49] Dennis R. Heldman and Richard W. Hartel, *Principles of Food Processing*. 1997.
- [50] A. Kilic, “Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality,” *J Food Eng*, vol. 91, no. 1, pp. 173–182, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.08.023.
- [51] J. Crank, *The mathematics of diffusion*, 2nd edition. U.S.A: Oxford University Press, 1975.
- [52] M. R. Khoyi and J. Hesari, “Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution,” 2006, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.007.
- [53] Y. Yao, R. Han, F. Li, J. Tang, and Y. Jiao, “Mass transfer enhancement of tuna brining with different NaCl concentrations assisted by ultrasound,” *Ultrason Sonochem*, vol. 85, p. 105989, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.105989.
- [54] N. M. Panagiotou, M. K. Krokida, Z. B. Maroulis, and G. D. Saravacos, “Moisture Diffusivity: Literature Data Compilation for Foodstuffs,” *Int J Food Prop*, vol. 7, no. 2, pp. 273–299, Dec. 2004, doi: 10.1081/JFP-120030038.
- [55] Cristina Ratti, Ed., *Advances in Food Dehydration*, 5th Edition. New York: CRC Press, 2008. doi: 10.1201/9781420052534.
- [56] J. T. Guimarães *et al.*, “Quantification and characterization of effluents from the seafood processing industry aiming at water reuse: A pilot study,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 26, pp. 138–145, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.jwpe.2018.10.006.
- [57] G. G. Santonja, P. Karlis, K. R. Stubdrup, and T. Brinkmann, “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries,” 2010.

- [58] R. Allan *et al.*, “Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado,” *Arq. ciên. vet. zool. UNIPAR*, vol. 8, no. 2, pp. 181–195, 2005.
- [59] R. Melgosa *et al.*, “Subcritical water extraction and hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) frames to produce bioactive protein extracts,” *Foods*, vol. 10, no. 6, p. 1222, May 2021, doi: 10.3390/FOODS10061222/S1.
- [60] R. O. Sousa *et al.*, “Collagen from Atlantic cod (*Gadus morhua*) skins extracted using CO₂ acidified water with potential application in healthcare,” *Journal of Polymer Research*, vol. 27, no. 3, p. 73, Mar. 2020, doi: 10.1007/s10965-020-02048-x.
- [61] “Processo de produção - Riberalves.” <https://riberalves.pt/o-bacalhau/processo-de-producao/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [62] K. J. PARK, M. K. M. YADO, and F. P. R. BROD, “Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias,” *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 21, no. 3, Dec. 2001, doi: 10.1590/S0101-20612001000300007.

7. Anexos

Anexo A – Posições estudadas no processo de secagem

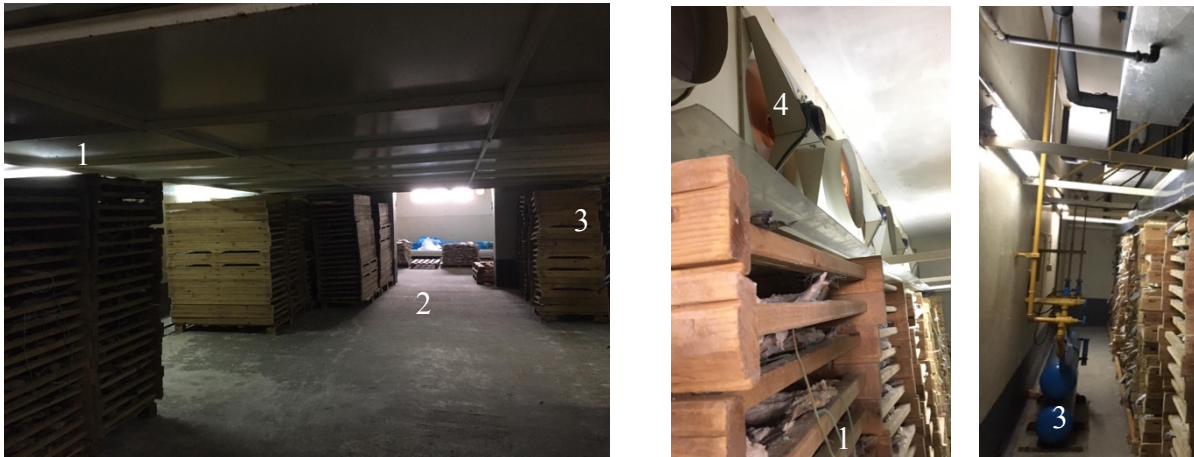


Figura 29. Interior do secador na Sacarema – Indústrias Alimentares, Lda.



Figura 30. Tabuleiro de secagem.

Legenda:

1 - Início do secador; 2 - Meio do secador; 3 - Fim do secador; 4 - Ventoinhas; 5 - Topo do tabuleiro, tabuleiro fechado; 6 - Tabuleiro aberto; 7- Meio do tabuleiro; 8 - Fundo do tabuleiro.

Anexo B – Resultados obtidos nos ensaios da salga

Tabela 8. Resultados obtidos nos ensaios do processo de salga.

Ensaio	t_{sg} (d)	$m_{amostra}$ ($\pm 0,001$)kg	m_{seca} (kg)	$m_{salmoura}$ ($\pm 0,001$)kg	z^{NaCl} ($\pm 0,25\%$)	$m_{\acute{a}gua}$ $m_{salmoura}$ (kg)
Controlo	0,00	3,860	1,597	0,000	0,00	0,000
	0,88	3,380	1,597	1,240	25,00	0,930
	1,86	3,280	1,597	1,680	24,50	1,268
	2,90	3,264	1,597	1,940	24,50	1,465
	5,70	3,248	1,597	2,300	24,50	1,737
	6,87	3,224	1,597	2,700	24,50	2,039
	7,87	3,204	1,597	2,710	24,00	2,060
	8,87	3,202	1,597	2,720	24,00	2,067
	9,86	3,200	1,597	2,740	24,00	2,082
2/3 (kg _{sal} /kg _{amostra})	0,00	3,820	1,488	0,000	0,00	0,000
	0,81	3,720	1,488	2,180	25,00	1,635
	1,80	3,220	1,488	2,580	24,50	1,948
	2,84	3,120	1,488	2,840	24,50	2,144
	5,64	3,070	1,488	3,080	24,50	2,325
	6,81	3,050	1,488	3,420	24,50	2,582
	7,81	3,044	1,488	3,430	24,50	2,590
	8,81	3,042	1,488	3,440	24,50	2,597
	9,80	3,040	1,488	3,460	24,50	2,612
4/5 (kg _{sal} /kg _{amostra})	0,00	3,360	1,220	0,000	0,000	0,000
	0,88	3,130	1,220	2,220	25,00	1,665
	1,86	2,440	1,220	2,620	24,50	1,978
	2,90	2,372	1,220	3,080	24,50	2,325
	5,70	2,360	1,220	3,460	24,00	2,630
	6,87	2,343	1,220	3,600	24,50	2,718
	7,87	2,342	1,220	3,610	24,50	2,726
	8,87	2,341	1,220	3,620	24,00	2,751
	9,86	2,340	1,220	3,640	24,00	2,766
1/4 (kg _{sal} /kg _{amostra})	0,00	3,660	1,296	0,000	0,00	0,000
	0,88	3,314	1,296	1,040	25,00	0,780
	1,86	3,207	1,296	1,380	24,50	1,042
	2,90	3,171	1,296	1,580	24,00	1,201
	5,70	3,068	1,296	1,760	24,00	1,338
	6,87	3,060	1,296	1,880	24,00	1,429
	7,87	2,988	1,296	1,890	24,00	1,436
	8,87	2,983	1,296	1,900	24,00	1,444
	9,86	2,980	1,296	1,920	24,00	1,459

1/4 + 1/4 (kg _{sal} /kg _{amostra})	0,00	4,600	1,565	0,000	0,00	0,000
	0,88	4,160	1,565	1,720	24,00	1,290
	1,86	4,100	1,565	1,740	24,00	1,322
	2,90	4,020	1,565	1,420	24,00	2,395
	5,70	3,740	1,565	1,580	24,50	2,507
	6,87	3,640	1,565	1,780	25,00	2,657
	7,87	3,620	1,565	1,810	25,00	2,689
	8,87	3,600	1,565	1,820	24,50	2,687
	9,86	3,600	1,565	1,820	25,00	2,687
T _{refrigeração}	0,00	3,300	1,120	0,000	0,00	0,000
	0,88	2,885	1,120	0,980	25,00	0,735
	1,86	2,763	1,120	1,460	24,50	1,102
	2,90	2,750	1,120	1,600	24,50	1,208
	5,70	2,739	1,120	1,800	24,50	1,359
	6,87	2,708	1,120	2,000	24,50	1,510
	7,87	2,703	1,120	2,010	24,50	1,518
	8,87	2,701	1,120	2,020	24,50	1,525
	9,86	2,700	1,120	2,020	24,50	1,525
Salmoura + Salga seca	0,00	4,435	1,315	8,900	22,00	0,000
	1,00	4,420	1,315	8,900	11,00	0,100
	1,11	4,220	1,315	1,640	24,50	1,238
	2,12	3,820	1,315	2,300	24,00	1,748
	4,92	3,660	1,315	2,840	24,00	2,158
	6,09	3,635	1,315	3,220	24,50	2,431
	7,09	3,620	1,315	3,230	24,50	2,439
	8,09	3,608	1,315	3,240	24,50	2,446
	9,08	3,600	1,315	3,260	24,50	2,461

Anexo C – Resultados do processo de secagem

Tabela 9. Resultados obtidos nos ensaios do processo de secagem.

Ensaio	t_{sc} (h)	$m_{amostra}$ ($\pm 0,001$)kg	m_{seca} (kg)	$X_{b,s}$	dX/dt
Topo do tabuleiro	0,00	1,880	0,787	1,389	0,00E+00
	14,50	1,825	0,787	1,319	4,82E-03
	65,67	1,560	0,787	0,982	6,58E-03
	70,67	1,539	0,787	0,956	5,34E-03
	89,67	1,480	0,787	0,881	3,95E-03
Meio do tabuleiro	0,00	1,840	0,827	1,225	0,00E+00
	14,50	1,825	0,827	1,207	1,25E-03
	65,67	1,620	0,827	0,959	4,85E-03
	70,67	1,598	0,827	0,933	5,32E-03
	89,67	1,520	0,827	0,838	4,96E-03
Fundo do tabuleiro	0,00	2,100	0,912	1,301	0,00E+00
	14,50	2,070	0,912	1,269	2,27E-03
	65,67	1,800	0,912	0,973	5,78E-03
	70,67	1,775	0,912	0,945	5,48E-03
	89,67	1,700	0,912	0,863	4,33E-03
Início do secador	0,00	1,260	0,556	1,267	0,00E+00
	14,50	1,220	0,556	1,195	4,96E-03
	65,67	1,000	0,556	0,799	7,73E-03
	70,67	0,980	0,556	0,763	7,20E-03
	89,67	0,940	0,556	0,691	3,79E-03
Meio do secador	0,00	1,200	0,537	1,236	0,00E+00
	14,50	1,160	0,537	1,161	5,14E-03
	65,67	0,940	0,537	0,751	8,01E-03
	70,67	0,920	0,537	0,714	7,45E-03
	89,67	0,880	0,537	0,639	3,92E-03
Fundo do secador	0,00	1,120	0,466	1,405	0,00E+00
	14,50	1,095	0,466	1,351	3,70E-03
	65,67	0,880	0,466	0,890	9,02E-03
	70,67	0,860	0,466	0,847	8,59E-03
	89,67	0,820	0,466	0,761	4,52E-03
Tabuleiro aberto	0,00	2,100	0,788	1,665	0,00E+00
	14,50	2,086	0,788	1,647	1,23E-03
	65,67	1,860	0,788	1,360	5,60E-03
	70,67	1,838	0,788	1,332	5,58E-03
	89,67	1,760	0,788	1,233	5,21E-03

Anexo D – Ajustes dos modelos na determinação dos coeficientes de difusividade

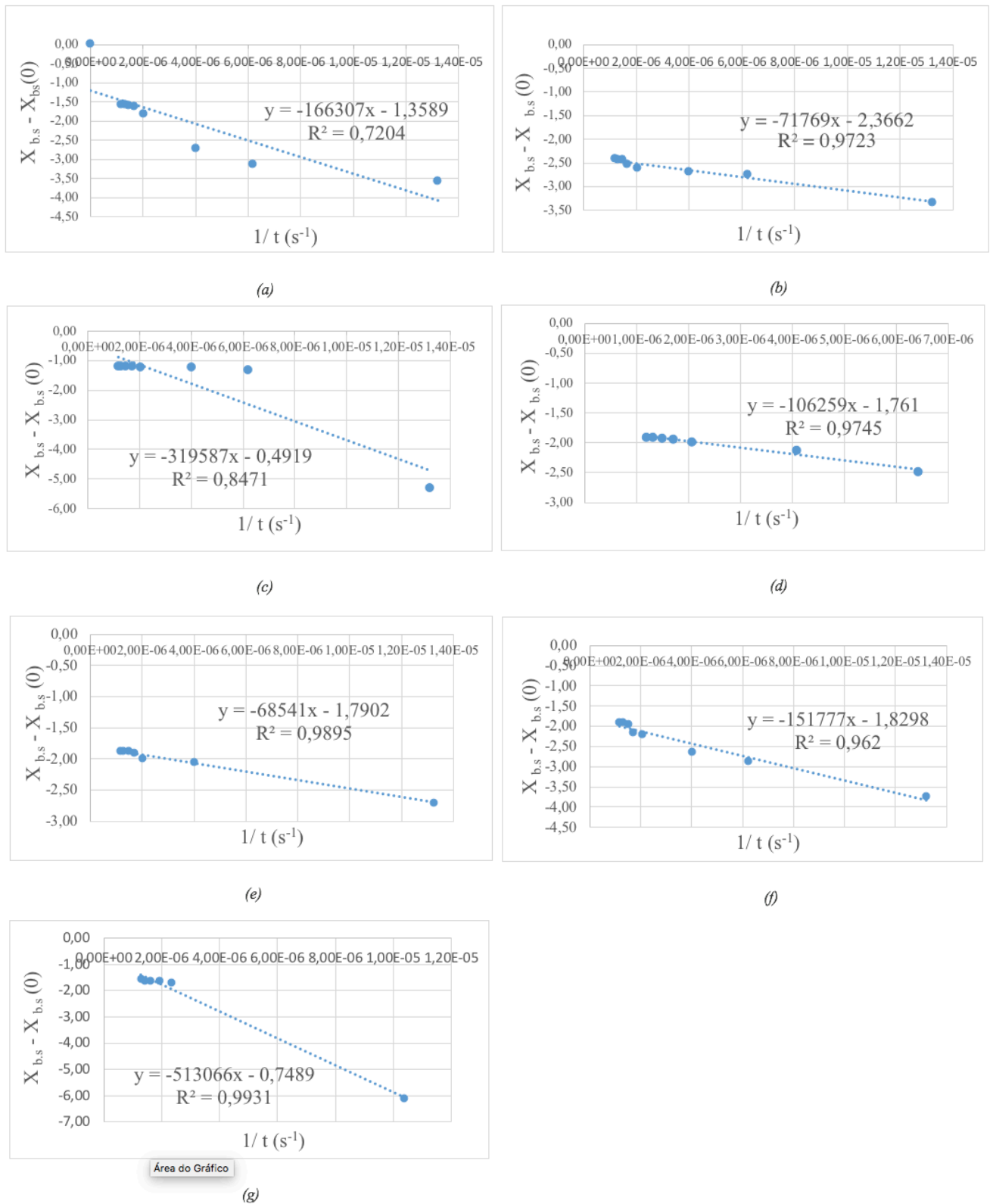
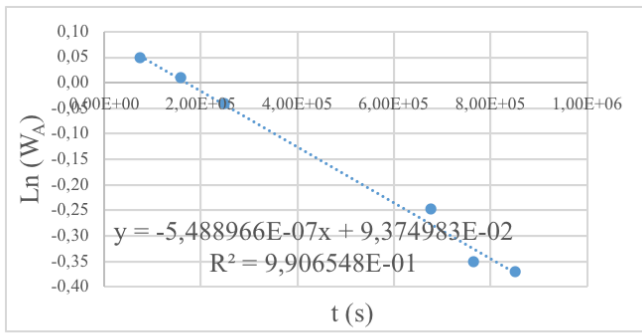
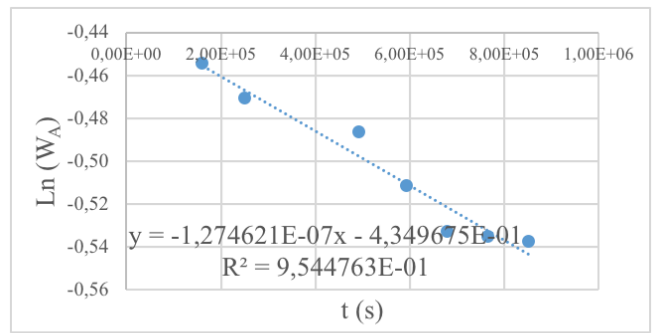


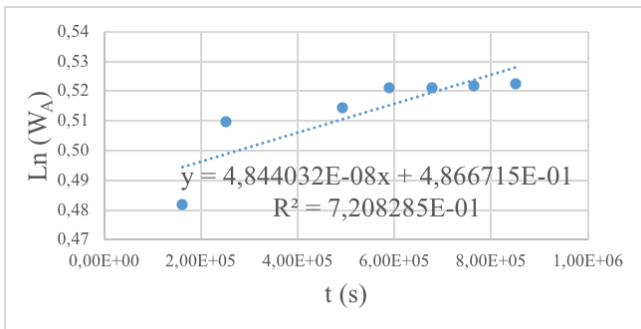
Figura 31. Ajustes do modelo de Peleg do ensaio (a) “1/4 + 1/4 (kg_{sal}/kg amostra)”. (b) “Controlo”. (c) “4/5 (kg_{sal}/kg amostra)”. (d) “2/3 (kg_{sal}/kg amostra)”. (e) “Temperatura”. (f) “1/4 (kg_{sal}/kg amostra)”. (g) “Salmoura + salga seca”.



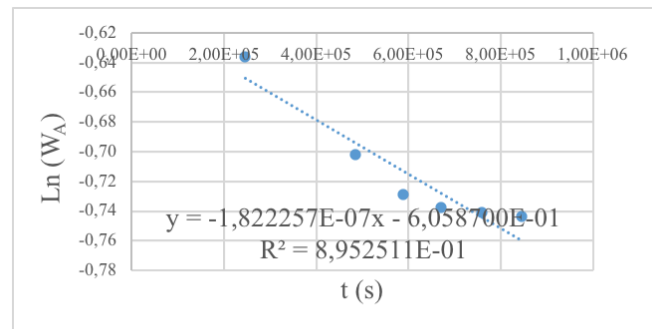
(a)



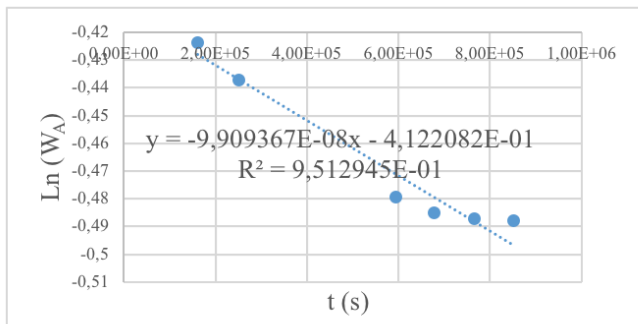
(b)



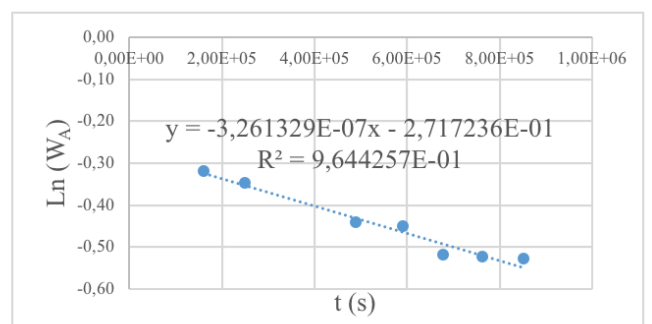
(c)



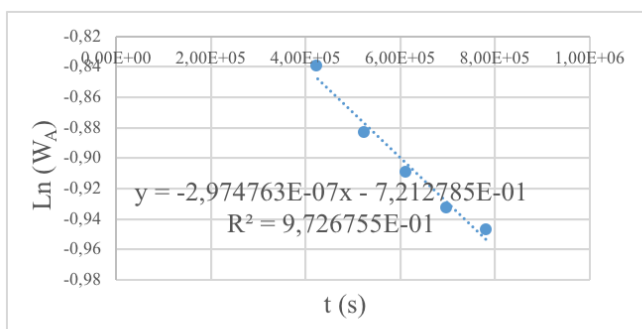
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 32. Ajustes da 2ª lei de Fick do ensaio (a) " $1/4 + 1/4$ (kg sal/kg amostra)". (b) "Controlo". (c) " $4/5$ (kg sal/kg amostra)". (d) " $2/3$ (kg sal/kg amostra)". (e) "Temperatura". (f) " $1/4$ (kg sal/kg amostra)". (g) "Salmoura + salga seca".