

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

Escola Superior Agrária de Santarém

Mestrado em Tecnologia Alimentar



Estudo de um pré-tratamento ao processo de secagem convencional por desidratação osmótica, no âmbito da valorização de maçã de baixo calibre

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre na área de Tecnologia Alimentar

Maria Alice Fontes Rodrigues

Orientadora: Doutora Maria Gabriela de Oliveira Lima Basto de Lima

Coorientadora: Mestre Cristina Maria Carruço Laranjeira

Santarém, 2017

ORIENTADORA/COORIENTADORA

Orientadora: Doutora Maria Gabriela de Oliveira Lima Basto de Lima

Coorientadora: Mestre Cristina Maria Carruço Laranjeira

Dedicatória

À minha filha Inês Fontes Castelo.

À minha mãe Fernanda Fontes.

Aos meus amigos.

Agradecimentos.

Do ponto de vista académico a dissertação é um trabalho individual. Contudo, não posso deixar de mencionar o contributo de algumas pessoas, merecendo da minha parte um grande agradecimento.

À Professora Maria Gabriela Basto de Lima pela sua colaboração e orientação na realização das análises textuométrica e sensorial e pela grande disponibilidade durante toda a fase de realização deste trabalho em particular no tratamento estatístico e análise de resultados.

À Professora Cristina Maria Carruço Laranjeira pela sua colaboração e orientação na realização das análises químicas.

Ao Departamento de Tecnologia Alimentar, Biotecnologia e Nutrição da Escola Superior Agrária de Santarém que disponibilizou os laboratórios para a realização dos ensaios de desidratação osmótica.

Ao Laboratório das Carnes da Escola Superior Agrária de Santarém que disponibilizou equipamentos de controlo e medição, em especial à Eng^a M. da Conceição Tovar de Faro.

Ao Laboratório de Química da Escola Superior Agrária de Santarém que disponibilizou os laboratórios para a realização de análises físico-químicas.

Aos colegas do Mestrado de Tecnologia Alimentar, pela sua amizade e ajuda em todas as fases do Mestrado de Tecnologia Alimentar.

À Copa- Cooperativa Horto Fruticultores de Alcobaça que disponibilizou a maçã *Royal Gala*.

À Inovidro-Comércio e Instalação de Vidros e Espelhos de Rio Maior que patrocinou o fabrico dos discos circulares em PVC.

Aos meus amigos que sempre me motivaram para não desanimar e que continuaram fiéis no vazio da minha ausência, em especial à Elisabete Quelhas e à Ermelinda Rodrigues.

Com carinho ao Rafael Silva e Nicole Rolo pelo apoio informático na elaboração deste trabalho.

Por último, àqueles que não foram mencionados, mas que indiretamente contribuíram para este trabalho, o meu sincero agradecimento.

Resumo.

O presente trabalho consistiu na aplicação da tecnologia de desidratação osmótica à maçã *Royal Gala* de menor calibre. As fatias de maçã foram imersas em soluções de sacarose, 40% e 50% (m/m) a 20°C-30°C-40°C durante 30-60-120-240-360-480 minutos.

Verificou-se que a temperatura e a concentração de sacarose influenciaram os parâmetros analisados, contudo o aumento da concentração da solução de sacarose originou valores mais elevados de perda de peso e de água do que o aumento da temperatura da solução, podendo considerar-se que a concentração da solução osmótica é neste processo de desidratação o parâmetro mais importante.

Nas provas sensoriais, os provadores foram unânimes na preferência da maçã *Royal Gala* sujeita à desidratação osmótica com secagem posterior, tornando-a mais aceitável do que a maçã desidratada sem pré-tratamento. Importa mencionar a elevada aceitação das maçãs produzidas no tratamento com 50% (m/m) de sacarose a 20°C em todos os atributos sensoriais.

Palavras-chave: maçã, transferência de massa, desidratação osmótica, qualidade.

Abstract.

This report consisted in osmotic dehydration of the *Royal Gala's* application for apple of smallest caliber. The apples slices, were immersed in sucrose solutions 40%, and 50 % at 20°C-30°C-40°C for 30-60-120-240-360-480 minutes.

The results showed that the mass transfer in terms of weight reduction, solid gain and water loss were influenced by increasing solution sucrose content and temperature over processing time. However, the increase in the concentration of the sucrose solution resulted in higher values of weight and water loss than the increase in solution temperature, and it may be considered that the concentration of the osmotic solution is the most important parameter in this dehydration process.

Regarding the sensory tests, judges were unanimous in the preference of the Royal Gala's apple subjected to the osmotic dehydration followed by drying making this product more acceptable than the dehydrated apple without pretreatment.

Keywords: apple, mass transfer, osmotic dehydration, quality.

Índice Geral.

Agradecimentos.....	1
Resumo.....	2
Abstract.....	3
Índice Geral.	4
Índice de Quadros.	8
Índice de Tabelas.	9
Índice de Figuras.	10
Abreviaturas e Nomenclatura.....	12
Abreviaturas.....	12
Nomenclatura.	12
CAPÍTULO I - Introdução.	1
1.1. Enquadramento da dissertação.	2
1.2. Objetivo.....	3
CAPÍTULO II - Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. A maçã. Produção e consumo.	6
2.2. Variedade em estudo “Gala”.	9
2.3. Composição química.	10
2.4. Desidratação osmótica de alimentos.	12
2.4.1. Fundamentos do processo.....	12
2.4.2. Variáveis do processo.	15
2.4.2.1. Propriedades dos tecidos celulares do alimento.	15
2.4.2.2. Tipo de agente osmótico.	19
2.4.2.3. Concentração da solução osmótica.	21
2.4.2.4. Temperatura da solução osmótica.....	21
2.4.2.5. Tempo de imersão.....	22
2.4.2.6. Agitação da solução osmótica.....	23

2.4.2.7. Geometria e dimensões do produto.....	23
2.4.2.8. Proporção em massa de produto e massa de solução.	25
2.4.2.9. Outros fatores.....	25
2.4.3. Mecanismo da desidratação osmótica.....	26
2.4.4. Alterações físico-químicas.	28
2.4.4.1. Atividade de água.....	28
2.4.4.2. Cor.....	30
2.4.4.3. Textura.....	31
2.4.5. Análise sensorial.	33
2.5. Mercado dos produtos desidratados.....	33
2.6. Vantagens da tecnologia de desidratação osmótica.	34
2.7. Desvantagens da tecnologia de desidratação osmótica.	35
CAPÍTULO III - Material e Métodos.....	37
3. Material e métodos.	38
3.1. Materiais.	38
3.2. Métodos.....	38
3.2.1. Preparação das maçãs.....	38
3.2.2. Preparação da solução osmótica.....	39
3.2.3. Metodologia experimental.	39
3.2.4. Ensaio experimentais.	40
3.2.4.1. Ensaio preparatórios.	42
3.2.4.2. Ensaio principais.....	43
3.3. Metodologia analítica.....	43
3.3.1. Determinação do teor de humidade.....	44
3.3.2. Determinação de sólidos solúveis.....	44
3.3.3. Determinação do pH.....	45
3.3.4. Determinação da acidez total.....	45
3.3.5. Determinação de açúcares redutores.....	45

3.3.6. Determinação da textura.....	45
4. Análise sensorial.....	47
5. Análise e tratamento estatístico dos resultados.	47
CAPÍTULO IV - Apresentação e Discussão dos Resultados.....	48
4. Apresentação e discussão dos resultados.....	49
4.1. Caracterização da maçã fresca.....	49
4.2. Ensaio preparatórios.....	51
4.2.1. Parâmetros da desidratação osmótica.....	51
4.3. Ensaio principais.....	55
4.3.1. Parâmetros da desidratação osmótica.....	55
4.3.2. Propriedades físico-químicas da maçã desidratada.	61
4.3.2.1. Teor de humidade.	61
4.3.2.2. Teor de sólidos solúveis.....	63
4.3.2.3. pH.	64
4.4. Parâmetros da maçã desidratada versus maçã fresca.	66
4.4.1. Açúcares redutores.	66
4.4.2. Acidez total.	67
4.4.3. Textura.....	69
4.5. Propriedades físico-químicas da solução de sacarose.....	70
4.5.1. Teor de sólidos solúveis.....	70
4.5.2. pH.	71
4.6. Análise sensorial.	73
CAPÍTULO V – Conclusões Finais.....	75
5. Conclusões finais.....	76
5.1. Sugestões para trabalhos futuros.	78
CAPÍTULO VI – Referências Bibliográficas.	80
6. Referências Bibliográficas.....	81
ANEXOS.....	89

Anexo 1.....	90
1.1. Norma de comercialização da maçã fresca.....	90
Anexo 2.....	91
2.2. Protocolo experimental da desidratação osmótica.....	91
Anexo 3.....	96
3.1. Gráficos experimentais da textura.....	96
3.1.2. Maçã desidratada com 40% (m/m) de sacarose.....	96
3.1.3. Maçã desidratada com 50% (m/m) de sacarose.....	98
Anexo 4.....	100
4.1. Folha de Prova.....	100
Anexo 5.....	103
5.1. Determinação dos açúcares redutores.....	103
Anexo 6.....	104
6.1. Tratamento estatístico.....	104
6.1.1. Caracterização da maçã fresca.....	104
6.2. Ensaio preparatórios.....	106
6.2.1. Desidratação osmótica.....	106
6.2.1. Solução osmótica.....	107
6.3. Ensaio principais.....	108
6.3.1. Desidratação osmótica.....	108
6.3.2. Solução osmótica.....	112
6.4. Propriedades físico químicas da maçã desidratada versus maçã fresca.....	116
6.5. Análise Sensorial.....	118

Índice de Quadros.

Quadro 1. Soluções osmóticas para a desidratação osmótica..	20
Quadro 2. Geometrias de redução de dimensões em desidratação osmótica.	24
Quadro 3. Codificação dos ensaios preparatórios.	42
Quadro 4. Codificação dos ensaios principais.	43
Quadro 5. Parâmetros do ensaio da textura.	46
Quadro 6. Pontuação de preferência de maçã desidratada com pré tratamento <i>versus</i> maçã desidratada sem pré-tratamento	73
Quadro 7. Legislação em vigor para a comercialização da maçã fresca	90
Quadro 8. Preparação das soluções de sacarose.	92
Quadro 9. Proporção maçã e solução de sacarose.	93
Quadro 10. Leituras de absorvência e respetivas concentrações dos padrões.	103
Quadro 11. Teste de significância multivariada de Wilks ,para as variáveis H_i ; TSS_i ; de maçã fresca " <i>Royal Gala</i> " para todos os tratamentos.	104
Quadro 12. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis H_f ; PP; PA; GS para as duas proporções R5 e R10.	106
Quadro 13. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si} ; pH_{sf} ; TSS_{si} ; TSS_{sf} da solução de sacarose 20% para as proporções R5 e R10.	107
Quadro 14. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis H_f ; pH_f ; TSS_i ; TSS_{sf} ; PP ;PA ;GS de maçã desidratada para o tratamento com 40% de sacarose.	108
Quadro 15. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis H_f ; pH_f ; TSS_f ; TSS_{sf} ; PP; PA; GS de maçã desidratada para o tratamento com 50% de sacarose	110
Quadro 16. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si} ; pH_{sf} ; TSS_{si} ; TSS_{sf} da solução de sacarose 40% para os tratamentos 4020; 4030; 4040.	112
Quadro 17. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si} ; pH_{sf} ; TSS_{si} ; TSS_{sf} , da solução de sacarose 50% para os tratamentos 5020; 5030; 5040.	114
Quadro 18. Teste significância multivariada de Wilks para AR; TSS; AT; pH de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca.com quatro horas de imersão.	116
Quadro 19. Teste significância multivariada de Wilks da dureza de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca com quatro horas de imersão.	118
Quadro 20. Pontuação de ordenação dos atributos da análise sensorial para maçã desidratada com pré tratamento <i>versus</i> maçã desidratada sem pré tratamento.	118

Índice de Tabelas.

Tabela 1. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da caracterização de maçã fresca “ <i>Royal Gala</i> ” utilizada no tratamento com 40% de sacarose.....	104
Tabela 2. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da caracterização de maçã fresca “ <i>Royal Gala</i> ” utilizada no tratamento com 50% sacarose.....	105
Tabela 3. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão dos parâmetros da desidratação osmótica, perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e teor de humidade final, de maçã desidratada nas proporções R5 e R10.....	106
Tabela 4. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}), pH final (pH_{sf}), teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}), teor de sólidos solúveis finais (TSS_{sf}) da solução de sacarose 20% nas proporções R5 e R10.	107
Tabela 5. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da PP; PA; GS de maçã desidratada para o tratamento com 40% de sacarose.	108
Tabela 6. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de humidade final (H_f); teor de sólidos solúveis final (TSS_f); pH final (pH_f) de maçã desidratada para o tratamento com 40% de sacarose.	109
Tabela 7. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão para PP; PA; GS de maçã desidratada para o tratamento com 50% de sacarose.	110
Tabela 8. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de humidade final (H_f); teor de sólidos solúveis final (TSS_f); pH final (pH_f) de maçã desidratada para o tratamento com 50% de sacarose.	111
Tabela 9. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}) e pH final (pH_{sf}) da solução de sacarose 40% para os tratamentos 4020; 4030; 4040.....	112
Tabela 10. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}) e do teor de sólidos solúveis final (TSS_{sf}) da solução de sacarose 40% para os tratamentos 4020; 4030; 4040.	113
Tabela 11. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}) e pH final (pH_{sf}) da solução de sacarose 50% para os tratamentos 5020; 5030; 5040.....	114
Tabela 12. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}) e do teor de sólidos solúveis final (TSS_{sf}) da solução de sacarose 50% para os tratamentos 5020; 5030; 5040.	115
Tabela 13. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão dos açúcares redutores (AR) e teor de sólidos solúveis (TSS) de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca com quatro horas de imersão.....	116
Tabela 14. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da acidez total (AT) e pH de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca com quatro horas de imersão.....	117
Tabela 15. Valores médios e respectivos desvio padrão da dureza de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca com quatro horas de imersão.....	118

Índice de Figuras.

Figura 1. Variedades de maçãs mais produzidas na União Europeia.....	6
Figura 2. Produção anual de maçã em Portugal	7
Figura 3. Consumo de frutos <i>per capita</i> em Portugal (2009-2014).....	8
Figura 4. Variedade <i>Royal Gala</i>	9
Figura 5. Composição da maçã com casca	11
Figura 6. Fluxos de transferência de massa na desidratação osmótica.	13
Figura 7. Diagrama do processo de desidratação osmótica.....	15
Figura 8. Esquema de uma célula vegetal com tecido parenquimático.	17
Figura 9. Posição da membrana plasmática da célula submetida a plasmólise.	18
Figura 10. Alterações químicas e microbiológicas em função da atividade de água dos alimentos.	29
Figura 11. Atividade de água de produtos alimentares <i>versus</i> produtos desidratados.....	30
Figura 12. Preparação das fatias de maçã para os tratamentos de desidratação osmótica. .	38
Figura 13. Fluxograma experimental do processo de desidratação osmótica.	41
Figura 14. Teor de humidade inicial (a) ; teor de sólidos solúveis (b) ; pH inicial (c) dos lotes de maçã fresca submetidas aos tratamentos de desidratação osmótica.	50
Figura 15. Cinética da perda de peso de maçã desidratada ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20 °C, para as proporções de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).....	51
Figura 16. Cinética da perda de água de maçã desidratada ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20 °C, para as proporções de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).....	52
Figura 17. Cinética do ganho de sólidos de maçã desidratada ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20 °C, para as proporções de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).....	52
Figura 18. Teor de humidade final de maçã desidratada ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20 °C, para as proporções de 1:5 (R5) e 1:10 (R10)	53
Figura 19. Evolução da concentração (a) e do pH (b) ao longo do tempo de imersão da solução de sacarose para uma proporção maçã/sacarose de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).....	54
Figura 20. Cinética da perda de peso (c) , perda de água (d) de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com sacarose 40%.....	56
Figura 21. Cinética da perda de peso (e) , perda de água (f) de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com sacarose 50%.....	57

Figura 22. Cinética do ganho de sólidos de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com 40% (g) e 50% (h) de sacarose	60
Figura 23. Teor de humidade final de maçã desidratada com 40% (i) e 50% (j) de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C 40°C ao longo do tempo de imersão	62
Figura 24. Variação do teor de sólidos solúveis de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento de 40% de sacarose.	63
Figura 25. Variação do teor de sólidos solúveis de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento de 50% de sacarose	64
Figura 26. Variação do pH de maçã desidratada com 40% (l) e 50% (m) de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.....	65
Figura 27. Açúcares redutores <i>versus</i> teor de sólidos solúveis de maçã desidratada e maçã fresca ao longo de quatro horas para o tratamento com 40% e 50% de sacarose	66
Figura 28. Acidez total <i>versus</i> pH de maçã desidratada e maçã fresca ao longo de quatro horas para o tratamento com 40% e 50% de sacarose.....	68
Figura 29. Comportamento da dureza de maçã desidratada <i>versus</i> maçã fresca para o tratamento de 40% e 50% de sacarose ao longo de quatro horas de imersão.....	69
Figura 30. Variação do teor de sólidos solúveis da solução de sacarose de 40% (m) e 50% (n) para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão	71
Figura 31. Variação do pH da solução de 40% de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão	72
Figura 32. Variação do pH da solução de 50% de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.	72
Figura 33. Perfil sensorial de maçã pré tratada e fresca.....	74
Figura 34. Texturograma da maçã fresca	96
Figura 35. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 20°C; 4 horas.....	96
Figura 36. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 30°C; 4 horas.....	97
Figura 37. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 40°C; 4 horas	97
Figura 38. Texturograma da maçã desidratada, com 50% sacarose; 20°C; 4 horas.....	98
Figura 39. Texturograma de maçã desidratada, 50% sacarose; 30°C; 4 horas.....	98
Figura 40. Texturograma de maçã desidratada, com 50% sacarose; 40°C, 4 horas.....	99
Figura 41. Curva de calibração para a determinação dos açúcares redutores.....	103

Abreviaturas e Nomenclatura.

Abreviaturas.

DO - Desidratação osmótica.

GS - Ganho de sólidos.

PA - Perda de água.

PP - Perda de Peso.

PPO - Enzima Polifenol Oxidase.

R5 - Proporção de 1:5 (maçã:sacarose).

R10 - Proporção de 1:10 (maçã:sacarose).

SDO - maçã sem tratamento osmótico.

Nomenclatura.

AR_i - Açúcares redutores inicial de maçã fresca.

AR_f - Açúcares redutores final de maçã desidratada.

AT_i - Acidez total inicial de maçã fresca.

AT_f - Acidez total final de maçã desidratada.

a_w - Atividade de água.

b.h.-base húmida.

%H_i – Teor de humidade inicial de maçã fresca.

%H_f - Teor de humidade final de maçã desidratada.

P_i - Peso inicial de maçã fresca.

P_f - Peso final de maçã desidratada.

pH_i - Potencial hidrogénico inicial de maçã fresca.

pH_f - Potencial hidrogénico final de maçã fresca.

pH_{si} - Potencial hidrogénico inicial da solução de sacarose

pH_{sf} - Potencial hidrogénico final da solução de sacarose.

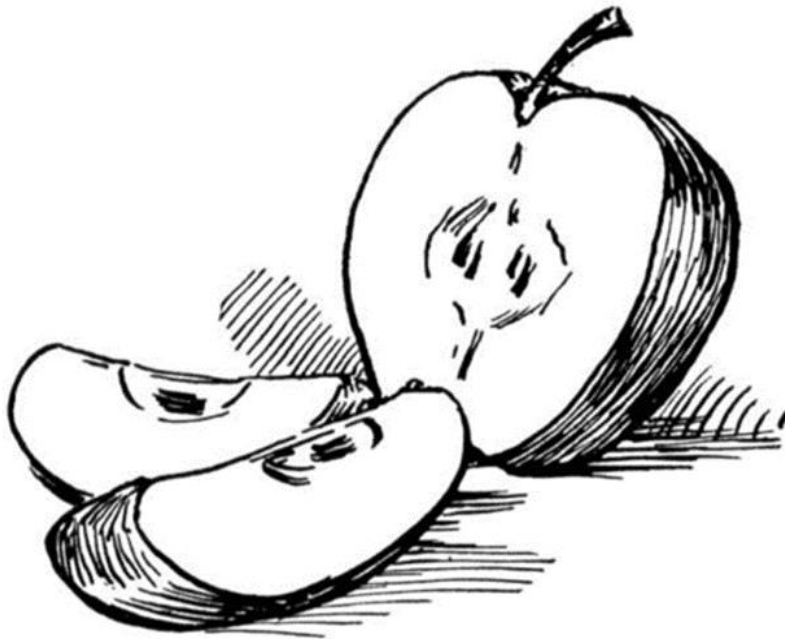
TSS_i - Teor de sólidos solúveis inicial de maçã fresca.

TSS_f - Teor de sólidos solúveis final de maçã desidratada.

TSS_{si} - Teor de sólidos solúveis inicial da solução de sacarose

TSS_{sf} - Teor de sólidos solúveis final da solução de sacarose.

CAPÍTULO I - Introdução.



1.1. Enquadramento da dissertação.

Nas últimas décadas, para melhorar a qualidade dos produtos alimentares tem sido desenvolvida muita investigação. Este facto deve-se ao aumento da procura por parte do consumidor de alimentos processados saudáveis, naturais e saborosos. As frutas e vegetais têm um papel fundamental na alimentação humana sendo fontes indispensáveis de nutrientes, vitaminas e minerais.

No caso da fruta os excedentes de produção quando não apresentam as características de qualidade necessárias à sua comercialização em fresco, em particular o seu calibre, são canalizadas para a indústria agroalimentar, para a sua transformação. Uma forma de incrementar o seu consumo como um produto de valor acrescentado é recorrer a novas tecnologias de transformação, como por exemplo o desenvolvimento de uma nova tecnologia para obtenção de maçã seca ou desidratada permitindo assim uma outra opção de consumo de fruta, colocando no mercado um produto novo, possibilitando ao mesmo tempo o aproveitamento do excedente de fruta fresca pelo consumidor.

O consumo de frutos desidratados não depende somente de uma mudança cultural na alimentação, mas na maioria dos casos os fruticultores produzem predominantemente para o mercado *in natura*, onde em geral conseguem um maior retorno, vendendo apenas o excedente a um preço menor para a indústria.

O mercado consumidor tem apresentado um crescimento considerável, nomeadamente em indústrias de produtos desidratados para produtores de misturas de cereais de pequeno almoço e barras de cereais e também lojas de produtos naturais que comercializam frutas desidratadas para consumo direto ou na preparação de chás. Os frutos desidratados são hoje incluídos numa vasta gama de alimentos, como gelados, cereais, lacticínios produtos de confeitaria e panificação.

Em Portugal, o mercado de fruta desidratada ainda é pequeno, uma vez que, por um lado, a população não está habituada a este tipo de produto, por outro lado o seu preço atual no mercado não favorece a sua compra. Assim o desenvolvimento de uma técnica de desidratação que permita produzir fruta desidratada de qualidade e de forma económica, pode ser um passo importante e decisivo para a aquisição destes produtos por parte do consumidor.

1.2. Objetivo.

Este trabalho tem como objetivo a valorização de maçã de baixo calibre que não é adequada para os operadores comerciais, aplicando uma “nova” Tecnologia de conservação, a desidratação osmótica (DO), com a finalidade de preservar as propriedades físico-químicas e características organolépticas da maçã fresca e reduzir o consumo energético na secagem convencional. Em Portugal, esta é uma estratégia que pode ser adotada para diversos tipos de fruta que, ou se deterioram por falta de vendas e/ou por conservação inadequada.

Com a finalidade de agregar valor acrescentado à maçã, um produto nacional que representa um importante sector na produção agrícola nacional, foi feito:

- Um estudo prévio para definir a proporção de fruta e solução osmótica (ensaios preparatórios).
- Um estudo com diferentes concentrações de agente osmótico, diferentes temperaturas e diferentes tempos de desidratação (ensaios principais).
- Um estudo quantitativo de transferência de massa no processo de desidratação osmótica.
- Um estudo do comportamento da solução osmótica ao longo das diferentes condições dos ensaios.
- Um estudo da influência das variáveis do processo nas propriedades físico-químicas e organolépticas dos produtos finais obtidos.
- Uma análise sensorial dos produtos obtidos para determinar a sua aceitabilidade.

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro é o capítulo introdutório onde é apresentado o tema da dissertação, os objetivos do trabalho e o enquadramento. No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica que aborda a tecnologia da desidratação osmótica, o mecanismo de transferência de massa e os fatores que afetam o processo.

No capítulo três é descrita a metodologia experimental e analítica para a elaboração do trabalho experimental. Apresenta-se também a análise estatística ANOVA/MANOVA aplicada aos resultados experimentais. No capítulo quatro apresentam-se os resultados experimentais obtidos e é feita uma análise da evolução da cinética da desidratação

osmótica, o efeito das variáveis que influenciam o processo, bem como a caracterização das propriedades físico-químicas e análise sensorial do material desidratado.

No capítulo cinco é feita a exposição das conclusões finais obtidas neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros. No capítulo seis são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração desta dissertação.

CAPÍTULO II - Revisão Bibliográfica.



2.1. A maçã. Produção e consumo.

A maçã pertence ao género *Malus*, família das rosáceas e encontra-se dispersa por vastas áreas do globo, com especial incidência no hemisfério norte, de onde é oriunda. São hoje conhecidas mais de 10 000 variedades diferentes de maçãs, variando em tamanho, forma, cor, firmeza, textura, suculência, sabor (sensações de doce, ácido, salgado e amargo), aroma (compostos voláteis) e valor nutricional. Apenas uma pequena percentagem destas variedades é produzida e comercializada à escala global (Hampson *et.al.*, 2003).

Na produção mundial as variedades *Golden Delicious* (23,9 %), *Gala* (10,2 %) e *Red Delicious* (7,0 %) são as variedades dominantes (ver figura 1).

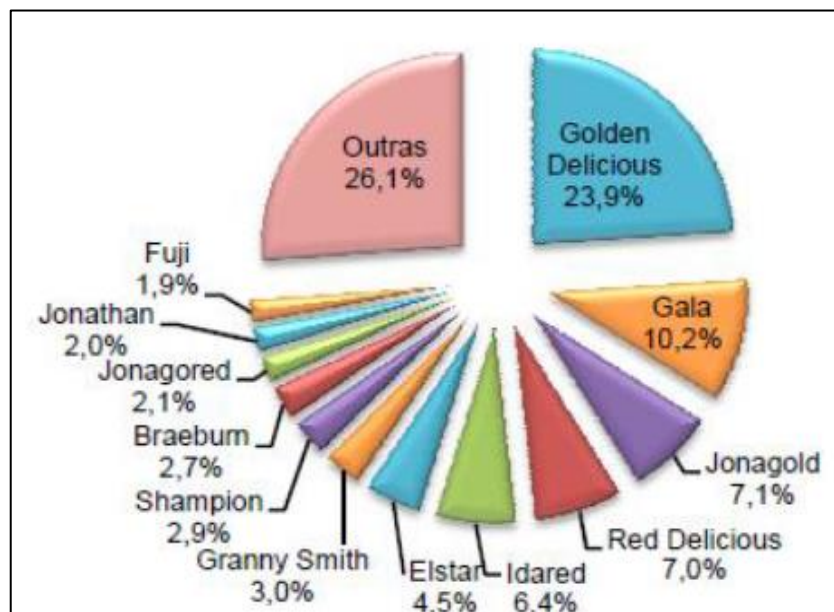


Figura 1. Variedades de maçãs mais produzidas na União Europeia (WAPA, 2016).

Atualmente, a China é o maior produtor de maçã no mundo, com um contributo de cerca de 43% na produção mundial. Em segundo lugar, aparecem os Estados Unidos da América com 6%, seguidos do Irão e Turquia, cada um com um peso de 4% (FAOSTAT, 2016).

Na União Europeia (UE-28), os produtores mais importantes de maçã são a Polónia, Itália e França, com um peso de cerca de 10%. A produção nacional corresponde a cerca de 2% da produção anual da UE-28 (GlobalAgriMar, 2016).

Cerca de 70 % a 80 % do total de maçã produzida destina-se à comercialização em fresco, sendo que a maçã de qualidade inferior é destinada à indústria agroalimentar, para transformação (GlobalAgriMar, 2016).

Os frutos que apresentem características que não se enquadrem nos padrões de qualidade, classificação e na seleção, como por exemplo, baixo calibre, coloração não uniforme, cicatrizes provocadas por insetos, pássaros ou granizo, ferimentos resultantes de metodologias culturais, como a colheita, transporte inadequado, sintomas de doenças ou problemas fisiológicos, são rejeitados para a sua comercialização em fresco (Codex Standard for Apples, 2010, anexo 1). Inicialmente esses frutos eram destinados à alimentação animal, porém com o aumento da disponibilidade em matéria-prima as indústrias alimentares passaram a processá-los, como forma de valorização económica.

Em Portugal a macieira cultiva-se desde tempos remotos, tendo sido introduzida na Península Ibérica através dos romanos e árabes e a sua expansão ter-se-á devido, em grande parte, às ordens religiosas (Lemos *et al.*, 2009). A produção de maçãs em Portugal atingiu a cota de 273 mil toneladas em 2014, longe do pico que ocorreu em 2013, ano em que foram produzidas 300 mil toneladas (figura 2).

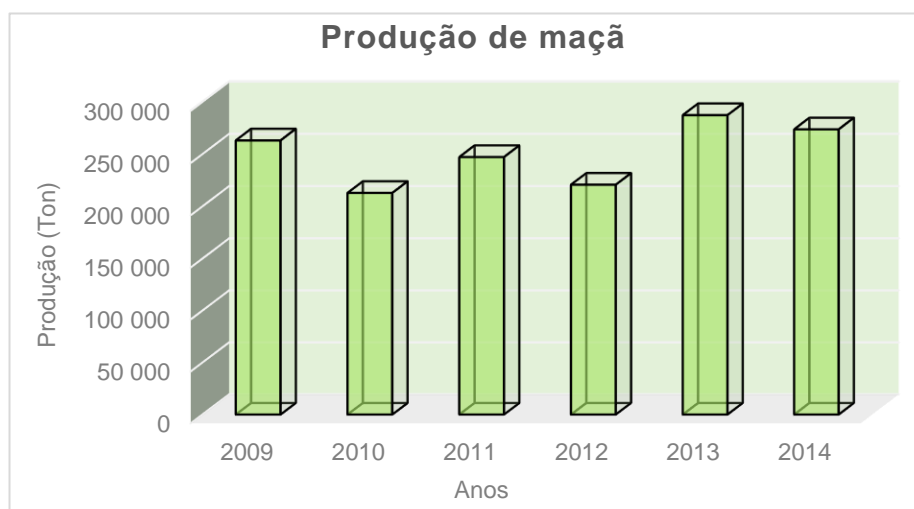


Figura 2. Produção anual de maçã em Portugal (INE, 2015).

A maçã em Portugal representa um importante sector na produção agrícola, sendo a espécie com maior peso na produção de frutos frescos, sobretudo nas regiões de Lisboa (Ribatejo e Oeste), Porto e Norte (Trás-os-Montes) e Centro, correspondendo a sua produção a 26,5% do volume total. No entanto, este produto continua a apresentar um défice na balança comercial portuguesa (WAPA, 2015).

Os principais fornecedores do mercado nacional são a Espanha, a França e a Alemanha, e em período de baixa estação, a Argentina, o Chile e o Brasil. As exportações destinam-se na quase totalidade à União Europeia, destacando-se a Espanha, Reino Unido e a Irlanda como principais clientes (GlobalAgriMar, 2016).

De acordo com os últimos dados disponíveis de 2014 (INE, 2016), a maçã continua a ser o fruto mais consumido em Portugal (figura 3); no ano de 2014, o consumo médio *per capita* de maçãs foi de 28 kg.

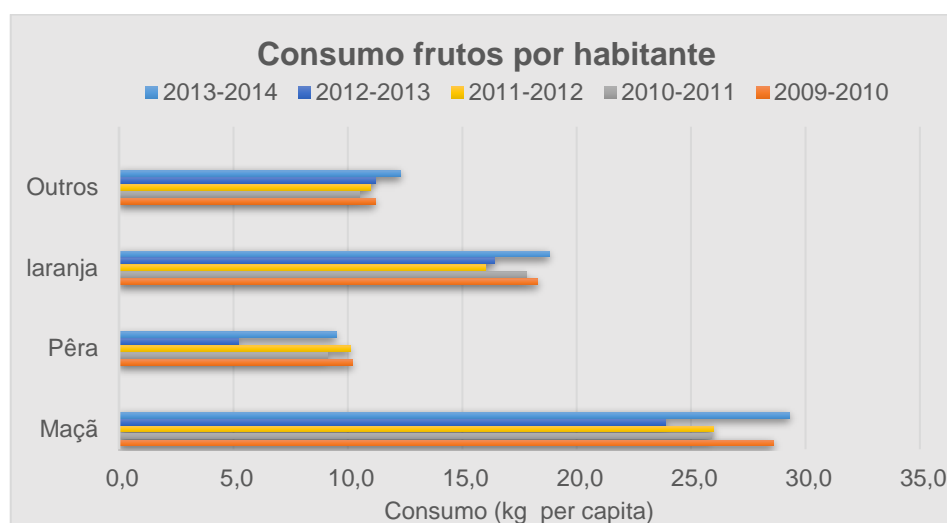


Figura 3. Consumo de frutos *per capita* em Portugal (2009-2014). Dados INE 2016.

A maçã ocupa o primeiro lugar, na produção de fruta em Portugal, o que evidencia a enorme importância desta cultura na fruticultura do país. As variedades que se cultivam em maior quantidade são as *Golden Delicious*, *Royal Gala*, *Red Delicious/Starking*, *Jonagold* e *Jonagored*, Reineta e Bravo de Esmolfe. Além destas, também são produzidas, ainda que em menor quantidade, a Riscadinha de Palmela, Casa Nova de Alcobaça, *Granny Smith* e a *Pink Lady*.

Trata-se de um produto com um potencial de crescimento assinalável, tendo presente, não só as excelentes condições agronómicas e climáticas nacionais, mas igualmente o interesse manifestado pelos consumidores e agentes económicos (GlobalAgriMar, 2016).

A maçã em Portugal reúne uma Denominação de Origem Protegida (DOP) – Maçã Bravo de Esmolfe, e quatro Indicações Geográficas Protegidas (IGP) – Maçã da Beira Alta, Maçã da Cova da Beira, Maçã de Portalegre e Maçã de Alcobaça, sendo esta última a mais famosa das maçãs portuguesas (GPPAA, 2006).

Qualificada pela União Europeia e pelo Ministério da Agricultura em 1994, a maçã de Alcobaça possui características únicas. A zona geográfica onde a maçã IGP de Alcobaça é produzida está localizada entre a Serra dos Candeeiros e o Oceano Atlântico sendo uma das regiões de produção mais a sul na Europa (GPPAA, 2006) .

2.2. Variedade em estudo “Gala”.

A variedade “Gala” é originária da Nova Zelândia. A *Royal Gala* consiste num cruzamento entre maçã *Kidds Orange* e *Golden Delicious* (Santos, 2009). Apresenta uma cor variável, dependendo da posição e da exposição ao sol na árvore. A cor mais exposta ao sol é laranja avermelhada com estrias mais ou menos aparentes. A parte que não está tão exposta adquire um tom esverdeado e à medida que vai amadurecendo a sua cor altera para verde amarelado (figura 4).

A maçã *Royal Gala* tem uma boa qualidade gustativa, sendo doce, aromática e perfumada. A polpa é fina com uma textura firme, branca e muito crocante. A colheita é feita a meio de Agosto até início de Setembro (Santos, 2009).

A sua colheita é feita quando a dureza está compreendida entre 68,6 e 88,2 N, o teor de sólidos solúveis (TSS) entre 12 a 14 °Brix e a acidez total do sumo, na gama de 3 a 5 g/dm³, expressa em ácido málico equivalente (Cavaco, 2006).

Após a colheita, a maçã é transportada, normalmente, para as centrais fruteiras onde é armazenada em câmaras de frio (GPP, 2016). Possuem um grande poder de conservação sob condições em atmosfera normal (-1 a 0 °C e humidade relativa cerca de 90%) e em atmosfera controlada/modificada (3,5°C - 4°C) e uma atmosfera de O₂ e CO₂ de 2 e 1% respectivamente (informação cedida pela Copa, 2016). A sua comercialização vai-se processando até se esgotarem os *stocks*, levando cerca de 10 a 12 meses, dependendo da campanha e da região (GPP, 2016).



Figura 4. Variedade *Royal Gala*.

2.3. Composição química.

A composição química da maçã depende da variedade/cultivar, grau de maturação, data da colheita e condições de armazenagem (Santos, 2009).

As maçãs contêm cerca de 83% (m/m) de água, 10% (m/m) de açúcares totais e uma quantidade considerável de fibras alimentares (2 - 3% m/m) e de minerais, dos quais se destacam o potássio, fósforo, sódio e o cálcio. O teor em proteínas não ultrapassa 0,2% (m/m) e o teor de lípidos 0,5% (m/m). O valor energético é de 64 kcal (269 kJ) por 100g de peso edível como se pode observar na figura 5 (INSA, 2016).

Os constituintes de maior valor nutricional são os glúcidos (hidratos de carbono) que constituem cerca de 14 % do peso fresco da maçã e são, geralmente, o grupo mais abundante depois da água, encontrando-se nas células vegetais sob a forma de açúcares simples de baixa massa molar ou de polímeros de elevada massa molar. Os polímeros de elevada massa molar podem ser macromoléculas estruturais como a celulose, a pectina ou a hemicelulose, que constituem a fibra (2,1 % do peso fresco da maçã) e contribuem para a capacidade de retenção de água na maçã, ou macromoléculas de reserva energética, como por exemplo o amido (Wills *et al.*, 2007).

Os principais açúcares de baixa massa molecular presentes na maçã são a frutose, a glucose (monossacarídeos) e a sacarose (dissacarídeo) e o sorbitol (alditol) (Wills *et al.*, 2007; Santos, 2011).

O teor de proteínas na maçã é baixo, sendo a maior parte enzimas envolvidas no metabolismo dos frutos durante o desenvolvimento, maturação e pós colheita. São baixos também os teores de lípidos, estando estes associados a camadas protetoras das células e da epiderme dos frutos (Wills *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2000).

Os ácidos orgânicos, para além de conferirem sabor ácido, condicionam o crescimento microbiano e influenciam a cor. Os ácidos mais abundantes são o ácido málico, seguido pelo ácido cítrico e outros ácidos, presentes apenas em valores vestigiais. O ácido málico, juntamente com os açúcares, ésteres e aldeídos, é o principal componente responsável pelo aroma e sabor característico da maçã (Wills *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2000).

Na maçã, como principal, vitamina destaca-se o ácido ascórbico (vitamina C), mas também estão presentes outras vitaminas como a E (α -tocoferol) e as vitaminas do complexo B ((tiamina, riboflavina, B6, niacina (PP) e folato). O ácido ascórbico e os compostos fenólicos, são uma fonte importante de antioxidantes (Martins *et al.*, 2000).

A componente mineral encontra-se sob a forma de sais ou fazendo parte de complexos organometálicos (por exemplo na clorofila). A maçã possui baixos teores de

minerais, no entanto constitui uma fonte importante de potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e fósforo. Destes, destaca-se o potássio por ser o que existe em maior concentração, 107 mg/100 g de parte edível (Martins *et al.*, 2000).

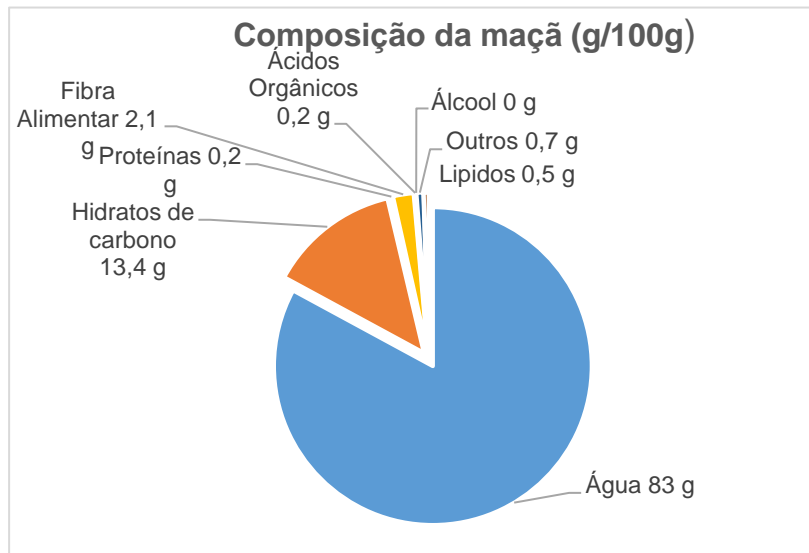


Figura 5. Composição da maçã com casca (INSA, 2016).

As maçãs são conhecidas por possuírem um sabor agradável e ligeiramente ácido, devido ao seu pH variar entre 3,90 e 4,27 (Vieira *et al.*, 2009) e à sua acidez total variar entre 0,91 e 1,67 mg/100 g de peso fresco, expresso em ácido málico equivalente (Leccese *et al.*, 2009). Por outro lado, o sabor das maçãs é também adocicado, devido ao elevado teor em açúcares que evidenciam, nomeadamente frutose, galactose, sacarose, glucose e sorbitol (Feliciano *et al.*, 2010).

Ao consumo de maçã estão associados diversos efeitos benéficos para a saúde resultantes do seu teor em polifenóis. Estes compostos fenólicos estão entre os fitoquímicos que podem prevenir o aparecimento de doenças, sendo os seus efeitos derivados da sua ação antioxidante, minimizando o “stress” oxidativo e suas consequências.

Estudos recentes indicam que a maior parte dos compostos fenólicos presentes em maçãs são flavanóis (catequinas e procianidinas), os quais representam cerca de 63 a 71% do total de polifenóis (Babbar *et al.*, 2011; Ćetković *et al.*, 2008; Boyer *et al.*, 2004). Estes compostos existem sobretudo na epiderme do fruto, mas também na polpa, ainda que em concentrações bastante mais reduzidas (Chinnici *et al.*, 2004; Spanos *et al.*, 1992).

2.4. Desidratação osmótica de alimentos.

2.4.1. Fundamentos do processo.

A desidratação osmótica (DO) é considerada uma ferramenta tecnológica importante para o desenvolvimento de novos produtos derivados de frutas, com valor agregado (Torreggiani *et al.*, 2001). A utilização desta tecnologia permite obter eficiência numa pré-secagem, possibilitando o uso de temperaturas mais baixas e tempos relativamente curtos, implicando não só uma economia de energia, mas principalmente, conferindo à fruta desidratada, características mais próximas da fruta *in natura*.

A desidratação osmótica é um processo que permite remover parcialmente a água do material celular dos alimentos, por imersão numa solução hipertónica, sem danificar o alimento e afetar desfavoravelmente a sua qualidade (Rastogi *et al.*, 2002).

Na desidratação osmótica a água é removida sem mudança de fase. O produto assim obtido é classificado como um produto de humidade intermédia. Este tipo de produtos tem uma atividade de água (a_w) entre 0,6 a 0,9. Alguns destes produtos são microbiologicamente estáveis. A sua estabilidade é devido à baixa atividade de água (Labuza, 1990).

Uma das vantagens da utilização do pré-tratamento de DO antes da secagem é a redução de energia devido à redução de água sem haver mudança de fase (Bolin *et al.* 1983).

A desidratação osmótica é um processo de transferência de massa que ocorre através das membranas e paredes celulares. O estado das membranas celulares pode variar de parcialmente a totalmente permeáveis. Durante a remoção de água a frente de desidratação move-se desde a superfície que está em contato com a solução até ao centro. Este esforço devido á diferença de pressão osmótico, pode originar desintegração celular. A causa mais provável de danos celulares é atribuída à redução de tamanho originado pela perda de água durante a DO, tendo como consequência a falta de contato entre a membrana celular externa e a parede celular (Rastogi *et al.*, 2004).

O processo, de natureza cinética, consiste em colocar o produto em contato direto com uma solução hipertónica (contendo açúcar ou sal). Devido às diferenças de concentração entre o agente osmótico e a fruta, ou mais corretamente ao gradiente de concentrações gerado são criados dois fluxos simultâneos em contra corrente, através das paredes celulares; um da água que sai da fruta para a solução (o mais importante do ponto de vista da desidratação) e outro de soluto (sal ou açúcar) da solução para a fruta (Lenart,

1996; Torreggiani, 1993; Raoult-Wack *et al.*,1994). Estes dois fluxos estão associados a fenômenos de osmose e diálise, respetivamente (Pombeiro, 1983).

Existe ainda outro fluxo, com menor expressão, que consiste na lixiviação de compostos hidrossolúveis do alimento, como: açúcares, minerais, vitaminas, entre outros, que, embora, proporcionalmente insignificante numa perspetiva quantitativa em relação aos dois fluxos principais, exerce um importante papel sobre a qualidade organolética e nutricional do produto final (Lenart, 1996; Torreggiani, 1993; Raoult-Wack *et al.*,1994).

Estes fluxos de massa originam uma diminuição na a_w do produto, aumentando o seu tempo de vida útil. Na figura 6 é apresentada uma ilustração do processo de desidratação osmótica (Shi *et al.*,1993) .

Como resultado desta transferência de massa, há uma redução do teor de humidade e um aumento simultâneo de sólidos, além de uma modificação na composição química do alimento parcialmente desidratado.

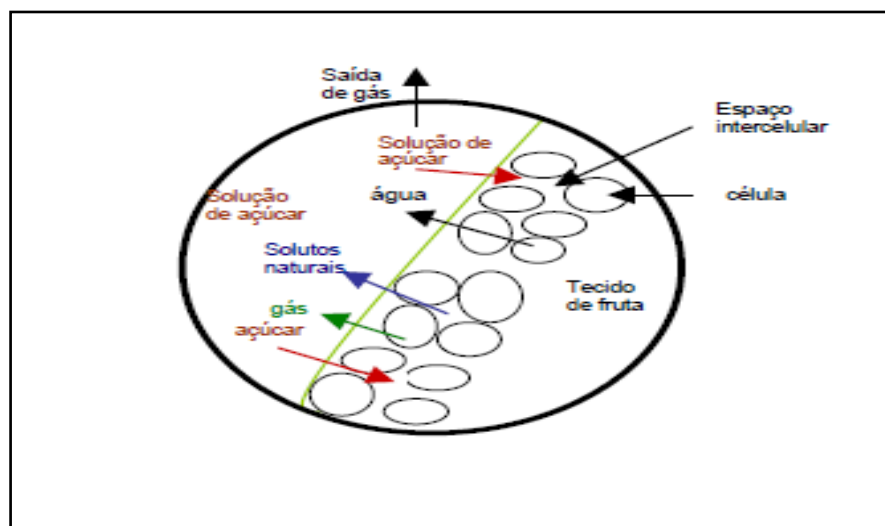


Figura 6. Fluxos de transferência de massa na desidratação osmótica (adaptado de Shi *et al.*,1993).

A perda de água durante a desidratação osmótica divide-se em duas etapas. No período inicial (aproximadamente 2 horas) a taxa de remoção de água é elevada e em aproximadamente 30 minutos, ocorre um elevado ganho de sólidos, devido à maior diferença entre a pressão osmótica da solução e do fluido celular do material a ser desidratado, bem como da pequena resistência à transferência de massa neste estágio do processo (Raoult-Wack *et al.*,1994; Lenart *et al.*, 2001). Numa segunda etapa, de duas a seis horas ocorre um decréscimo da taxa de remoção de água. A remoção de água é geralmente da ordem de 40 a 70% (m/m) e a incorporação de solutos de 5 a 25% (m/m) (Torreggiani, 1993).

Giangiaco *et al.* (1987), referiram que a perda de água em frutas ocorre principalmente durante as duas primeiras horas, enquanto Kowalska *et al.* (2001), mostraram que na maçã, abóbora e cenoura, as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos ocorreram durante os primeiros 30 minutos do processo. Porém, deve-se avaliar cada processo, pois a transferência de massa pode ser ainda relevante até que se atinja o estado de equilíbrio, isto é, quando se anula o gradiente de concentrações.

Uma das principais características dos produtos sujeitos à desidratação osmótica é a formação de uma camada superficial do soluto concentrado, com espessura de 2 a 3 mm, (Raoult-Wack *et al.*, 1994). Segundo Raoult-Wack *et al.* (1994), a formação desta camada (filme interfacial) exerce um efeito importante no controle da transferência de massa durante o processo, uma vez que favorece a perda de água, limita a impregnação de soluto e reduz a perda de solutos solúveis em água, como ácido ascórbico e frutose. Além disso, de acordo com Raoult-Wack (1994), a presença desta camada concentrada pode influenciar o comportamento do produto durante o processo complementar de secagem convectiva ou durante o armazenamento.

Este processo é utilizado como tratamento preliminar para outras técnicas de desidratação e visa melhorar a qualidade do produto final, como a estabilidade na cor, maior retenção de vitaminas, melhor qualidade na textura, redução do custo de energia e possibilita o desenvolvimento de novos produtos. Porém, este processo, não permite geralmente por si só, reduzir a atividade de água do alimento a níveis suficientemente baixos que garantam a sua estabilidade microbiológica, devendo por isso aplicar-se, a seguir um tratamento de estabilização complementar, térmico, químico ou mecânico, sendo a sua escolha feita conforme o produto a processar (Pokharkar *et al.*, 1997; Rastogi *et al.*, 2004) .

Assim, a desidratação osmótica, geralmente precede operações unitárias como a congelação (Ponting, 1976; Bianchi *et al.*, 2009), liofilização (Hawkes y Flink, 1978) e secagem por ar quente ou secagem por vácuo obtendo-se um produto seco com uma humidade final entre 2 a 15% ($a_w=0,4$ a $0,65$) ou com uma humidade intermédia de 16-25% ($a_w=0,65$ a $0,90$), (Raoult-Wack *et al.*, 1994).

As principais etapas do processo de desidratação osmótica podem ser esquematizadas conforme a figura 7.

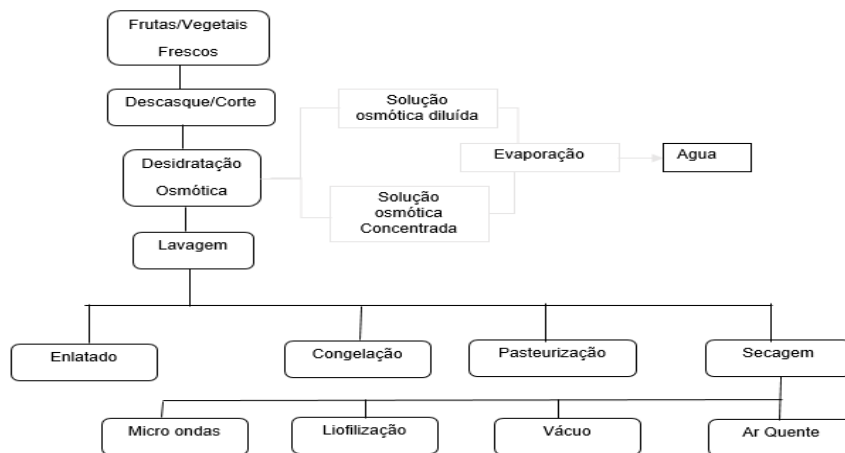


Figura 7. Diagrama do processo de desidratação osmótica (Apaza, 2007).

2.4.2. Variáveis do processo.

A quantidade e a velocidade de transferência de massa de água, durante o processo de desidratação osmótica, depende de muitas variáveis, tais como: a concentração de soluto, a composição química da solução osmótica, a temperatura da solução, a natureza da fruta, a sua geometria e dimensões, o tempo de contato, a agitação da solução e outros (Raoult-Wack, 1994).

A influência destes parâmetros, na pressão osmótica, na extração e difusão de água e ganho de sólidos, tem sido amplamente estudada.

2.4.2.1. Propriedades dos tecidos celulares do alimento.

As grandes diferenças de comportamento de diversos frutos e legumes durante a desidratação osmótica é atribuída aos diferentes tecidos celulares. Segundo Lazarides (1994) não só diferentes espécies, mas também diferentes variedades da mesma espécie e até mesmo diferentes estados de maturação da mesma variedade levam a comportamentos diferentes durante a DO.

Vários estudos, mostram que as transferências de água e dos solutos são influenciadas pela presença da membrana celular, mas também por:

- grau de compactação dos tecidos e pelo teor inicial em matérias insolúveis (Giangiacomo *et al.*, 1987);
- espaços intercelulares (Dalla Rosa, 1982);

- relação dos complexos pecto-celulósicos/pectinas livres (Formi *et al.*, 1986);
- taxa de gelatificação das substâncias pécticas (Moy *et al.*, 1987);
Natureza da solução e da atividade enzimática dos produtos (Giangiacomo *et al.*, 1987).

A figura 8 apresenta uma esquema sumário das células vegetais parenquimáticas de plantas superiores, destacando a parede celular, o plasmalema, o citoplasma, o tonoplasto e o vacúolo

A parede celular da maçã é constituída por celulose e microfibras entrelaçadas e incorporadas numa matriz amorfa de polissacáridos, incluindo substâncias pécticas. O tecido celular é composto por numerosos células e espaços intercelulares e estão intimamente ligados entre si por meio de uma **lamela média** (Alzamora *et al.*, 2000).

Nos frutos, os espaços intercelulares são significativos. Por exemplo na maçã ocupam cerca de 20 a 25% do volume total, e no pêssego ocupam 15%, mas nos tubérculos estes espaços são mais reduzidos, por exemplo, no caso da batata, são cerca de 0,2 a 1% do seu volume (Aguilera *et al.*, 1990). Estes espaços intercelulares são permeáveis à água e a pequenos solutos (Nobel, 1991). As paredes celulares e a camada interlamelar constituem 1 a 3% (v/v) da maçã e conferem rigidez á estrutura.

Todo o conteúdo da célula (exceto a parede celular) é designado por **protoplasto**, sendo este envolvido por uma membrana denominada **plasmalema** ou membrana plasmática (Alzamora *et al.*, 2000).

O citoplasma fica situado entre a plasmalema e tonoplasto (membrana citoplasmática que retém o conteúdo vacuolar). É constituído por uma solução (citosol) e contém organelas como cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos, numerosos ribossomos, bem como proteínas e outras macromoléculas e estruturas que influenciam as propriedades termodinâmicas da água (Nobel, 1991). Dentro das células o **vacúolo** ocupa a maior parte do protoplasto e ambas a membrana plasmática e o tonoplasto, são mantidos perto da parede celular.

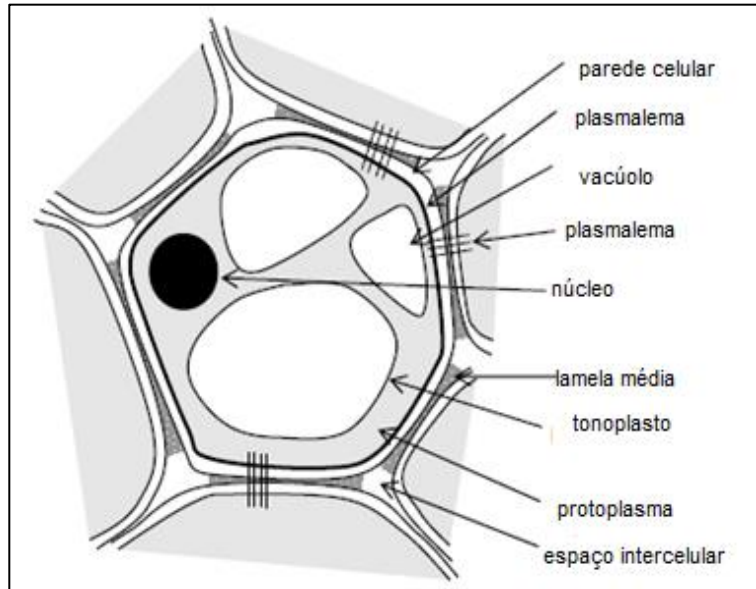


Figura 8. Esquema de uma célula vegetal com tecido parenquimático (adaptado de Alzamora *et al.*, 2000).

O vacúolo pode atingir 90% do volume de uma célula madura. A sua solução aquosa contém principalmente íons inorgânicos ou ácidos orgânicos como solutos, apesar de quantidades consideráveis de açúcares e aminoácidos poderem estar presentes (Nobel, 1991).

A etapa que limita a velocidade de movimentação de muitas moléculas para dentro e para fora das células vegetais é a difusão através da plasmalema, devido ao forte empacotamento, e às interações entre as moléculas que compõem a membrana. Sob condições normais, a pressão interna da célula empurra a plasmalema firmemente contra a parede celular (figura 9 a). Se for adicionado, à água, um soluto como a sacarose, e à medida que a concentração vai aumentando, a pressão hidrostática dentro da célula diminuirá devido ao fluxo de água para fora da mesma, e ela irá encolher até perder a turgidez, atingindo o ponto chamado de plasmólise incipiente (figura 9 b) que designa o ponto onde a água se começa a mover para fora da célula e a membrana plasmática começa a afastar-se da parede celular. A partir daí, se a concentração de soluto aumentar haverá um fluxo de água para fora da célula e um fluxo de soluto no sentido contrário. A célula irá plasmolisar (figura 9 c) isto é, ocorrerá a separação do protoplasto da parede celular resultando na sua deformação, contração e colapso; os espaços perto da interfase serão preenchidos pela solução osmótica (Nobel, 1991).

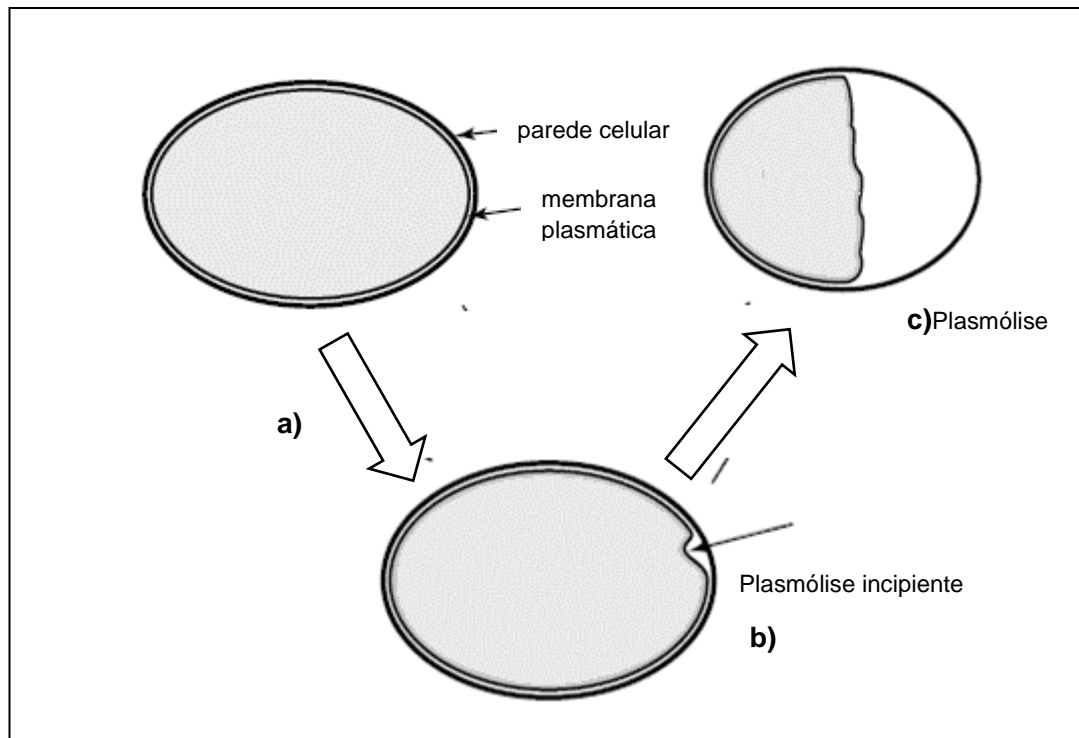


Figura 9. Posição da membrana plasmática da célula submetida a plasmólise (adaptado de Nobel, 1991).

Por outro lado, o tecido vegetal, enquanto mantiver as suas estruturas celulares íntegras, restringe a transferência de soluto, dado que as moléculas de maiores dimensões têm mais dificuldade em atravessar as membranas celulares. Sendo assim, enquanto a membrana plasmática que envolve o protoplasto estiver intacta, a sacarose não atravessará a mesma, e restringir-se-á aos espaços intersticiais e aos espaços de plasmólise. No entanto, quando a solução tem uma concentração e temperatura elevadas e ou tempos de imersão muito longos, as estruturas celulares podem ser danificadas e o soluto passa a ocupar todos os espaços da célula (Nobel, 1991).

As membranas celulares geralmente apresentam permeabilidade diferencial, isto é, permitem que solventes as atravessem mais facilmente, mas restringem a passagem de solutos (Nobel, 1991).

Mauro *et al.* (2003) verificaram que na maçã a plasmólise começa a ocorrer para concentrações de sacarose entre 20% e 30% (m/m), enquanto para as batatas a ocorrência deste fenómeno foi abaixo de 10% (m/m) de sacarose. Este facto está diretamente associado à composição do protoplasto, que no caso da maçã contém muitos açúcares, o que diminui a a_w deste fruto. Quando a maçã entra em contato com uma solução osmótica concentrada, como a sua solução vacuolar também é concentrada, ocorre pouca variação no volume do vacúolo. Observou-se para a maçã, plasmólise acentuada apenas a partir de 50% de sacarose na solução osmótica (Mauro *et al.*, 2003).

2.4.2.2. Tipo de agente osmótico.

A escolha do agente osmótico é uma questão fundamental pois está relacionada com as alterações nas propriedades sensoriais e no valor nutritivo do produto final, além do custo de processo (Lenart, 1996; Torreggiani, *et al.*, 2001).

Os solutos a usar na desidratação osmótica não devem ser tóxicos, devem ter solubilidade elevada para ser possível obter soluções mais concentradas sem terem uma viscosidade elevada e devem ser pouco onerosos. Devem também ser compatíveis com as características físico-químicas e organolépticas dos produtos (Singh, *et al.*, 2007).

As características do agente osmótico usado, como a sua massa molar e o seu comportamento iônico, afetam fortemente a desidratação, nomeadamente na quantidade de água removida e no ganho de sólidos (Lenart, 1996). Quanto maior for a massa molar do soluto, maior a perda de água para a solução e menor a incorporação de sólidos pelo alimento, favorecendo, assim, a perda de massa e o processo de desidratação (Torreggiani, 1993). A impregnação do alimento com o soluto é, pelo contrário, favorecida com o uso de açúcares com menor massa molar (glucose, frutose, sorbitol e outros) em função da maior velocidade de penetração das moléculas no produto (Torreggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994).

Segundo a *Food Science and Technology Abstracts* (FTSA, 2016) a sacarose é o agente osmótico mais usado para as frutas na gama de concentração de 40 a 70 °Brix (quadro 1). Outros açúcares como a glucose, frutose e lactose também são utilizados em frutas e vegetais ao passo que para batatas, peixe e carne são utilizadas soluções de cloreto de sódio (NaCl). Em alguns casos são utilizadas combinações de açúcares e sal.

Os solutos com menor massa molar, como a glucose, a frutose e o sorbitol, favorecem o maior ganho de sólidos no alimento, devido à maior velocidade de penetração destas moléculas no produto e reduzem a perda de água (Raoult-Wack *et al.*, 1994; Torreggiani, 1993).

A sacarose e o cloreto de sódio são os agentes osmóticos mais usados nos estudos sobre desidratação osmótica, mas qualquer soluto com alta solubilidade, como a glucose, (ou a frutose) ou um solvente que seja miscível em água, como etanol, podem ser utilizados na preparação da solução osmótica (Raoult-Wack *et al.*, 1994).

Quadro 1. Soluções osmóticas para a desidratação osmótica (FSTA, 2016).

Soluções osmóticas para desidratação osmótica		
Tipo de solução osmótica	Concentração Temperatura	Tipo de Alimentos
Sacarose	40 - 70ºBrix 30 - 70ºC	Maçã, Ananás, Cenoura, Kiwi, Uva, Cogumelo, Papaia, Coco
Glucose	40 - 60ºBrix 25-40 °C	Morango, Ameixa, Ananás, Maçã, Pera, Cereja, Pêssego, Cenoura
Glicerol	10 - 25% (m/m); 5ºC	Morango
Cloreto de sódio (NaCl)	8 - 25% (m/m); 8-40ºC	Batata, Quiabo, Pimento, Cenoura, Beringela, Feijão-Verde, Carne, Peixe
Sacarose + NaCl	45 - 15% ou 50 - 10% (m/m); 20 - 40ºC	Maçã, Batata, Ananás
Sacarose + Xilitol	30% +70%(m/m)	Vegetais
Xarope de milho	34 - 70 % (m/m) 35 - 55ºC	Maçã, Papaia e alguns vegetais

A sacarose é formada por uma unidade α -D-glucopiranosídeo (glucose) e outra β -D-frutofuranosídeo (frutose), unidas pelos extremos redutores, através de uma ligação glicosídica, constituindo, portanto, um açúcar não redutor. Caracteriza-se pela alta capacidade hidrofílica e alta solubilidade, podendo formar soluções altamente concentradas, que não necessitam de aditivos antimicrobianos para manter-se em boas condições microbiológicas. Por ser um dissacarídeo, é expectável que a migração das moléculas de sacarose para o interior do alimento ocorra mais lentamente do que no caso das moléculas de frutose que é um monossacarídeo (Bolin *et al.*, 1983).

No estudo de fatias de maçã submetidas a desidratação com uma solução de sacarose e de frutose, Bolin *et al.* (1983) mostraram que nos primeiros 30 min de processo, a penetração de ambas as moléculas decorreu de forma muito semelhante, percorrendo uma distância de 1 a 2 mm da superfície da amostra. Durante as três primeiras horas de imersão, as taxas de migração foram essencialmente as mesmas para ambos os açúcares. Com o decorrer do tempo, no entanto, a frutose passou a ser mais absorvida do que a sacarose e após 5 horas, as fatias imersas na solução de frutose já tinham absorvido 70% a mais de sólidos do que as imersas em solução de sacarose.

A sacarose é considerada como um ótimo agente osmótico, especialmente quando a desidratação osmótica é utilizada como uma etapa preliminar à secagem convectiva, pois previne o escurecimento enzimático e a perda de aromas. Este facto é devido à presença de uma camada do dissacarídeo, formada na superfície do produto desidratado, que constitui um obstáculo ao contato com o oxigénio, minimizando ou impedindo o escurecimento enzimático, além da influência positiva que tem sobre a manutenção de substâncias aromatizantes do alimento (Lenart, 1996).

A principal limitação deste açúcar é o sabor doce que introduz no produto, pelo que se podem usar misturas de sacarose e pequenas quantidades de cloreto de sódio, já que este último reduz a a_w da solução e aumenta a transferência de massa (Singh *et al.*, 2010).

Quando se usam misturas de solutos como por exemplo sal e sacarose, forma-se uma barreira de sacarose à superfície que vai evitar a penetração do sal. Desta forma a desidratação é mais efetiva e a penetração de solutos é menor. Esta combinação é mais eficiente do que quando se utiliza só a sacarose ou só o sal (Baroni *et al.*, 2009).

2.4.2.3. Concentração da solução osmótica.

Geralmente, a perda de água aumenta com o aumento da concentração da solução osmótica (Lerici *et al.*, 1985). Aumentos da concentração da solução originam a formação de uma capa de soluto sobre a superfície do produto, que vai atuar como uma barreira reduzindo a perda de nutrientes; concentrações muito elevadas podem dificultar também a perda de água (Saurel *et al.*, 1994).

Na escolha da concentração da solução osmótica deve-se ter em conta que o aumento da concentração, originará um maior ganho de sólidos, o que nem sempre é desejável, pois poderá afetar o sabor do produto final, tornando-o demasiado doce ou salgado dependendo do agente utilizado. Por outro lado, soluções de sacarose com concentrações acima de 60 °Brix são de difícil preparação, devido à sua solubilidade e por apresentarem viscosidades elevadas, o que dificulta a manipulação, o processo de agitação, com a possibilidade de ocorrer a recristalização (Lazarides, 1994).

2.4.2.4. Temperatura da solução osmótica.

A temperatura da solução osmótica influencia a velocidade de desidratação e as características do produto final. Sendo um processo cinético, uma temperatura mais elevada origina uma desidratação osmótica mais rápida, através da expansão e plasticização das membranas celulares, com uma difusão mais rápida da água dentro do

produto e também; uma melhor transferência de massa na superfície devido à menor viscosidade da solução osmótica (Lenart, 1996; Lazarides *et al.*, 1996; Beristain *et al.*, 1990).

A gama de temperatura entre 20°C e 50°C são consideradas ótimas para o processo de transferência de massa e são citados com maior frequência nos trabalhos publicados sobre este tema.

A temperatura crítica à qual se produz variação na permeabilidade da membrana depende das espécies, no entanto estima-se que para as hortofruticulturas o seu valor encontra-se entre 55 a 60 °C (Beristain *et al.*, 1990).

A temperaturas acima de 60°C, o tecido celular sofre alterações, verificando-se alteração na sua seletividade, com a perda de componentes nutricionais, mudança de cor e favorecendo a impregnação por solutos (Beristain *et al.*, 1990; Torreggiani, 1993). As temperaturas elevadas são indicadas quando se pretende produtos desidratados com alto teor do agente osmótico (Lazarides *et al.*, 1996). No entanto, a temperatura mais adequada ao processo depende do material a ser desidratado.

2.4.2.5. Tempo de imersão.

O processo de desidratação osmótica requer um contacto prolongado entre o produto e a solução, que se designa por tempo de imersão. O aumento do tempo de imersão leva, normalmente a maior perda de água, mas a velocidade com que essa perda ocorre é menor à medida que o processo se realiza, tendendo para a estabilidade (Lenart *et al.*, 1984).

Os tempos de imersão de 3 a 5 horas são indicados em vários estudos de desidratação osmótica, como períodos de não equilíbrio. O equilíbrio é caracterizado pela igualdade da atividade de água e da concentração de sólidos solúveis no alimento e na solução osmótica (Lenart *et al.*, 1984).

Lazarides (1994), verificou que em 3 horas de desidratação de fatias de maçãs a perda de água atingiu os 50% do peso inicial.

O tempo de imersão é uma variável importante para controlar o ganho de sólidos e obter aumentos na perda de água. Alguns alimentos, por apresentarem uma parede celular menos rígida e pouco resistente ao processo de desidratação, necessitam de um tempo menor em contato com a solução osmótica. Com o passar do tempo, a membrana celular não fornece uma barreira efetiva para o soluto, ficando este livre para penetrar em todas as estruturas do tecido (Mauro *et al.*, 2003). Segundo Lenart (1996), o processo de desidratação deve ser realizado em um curto espaço de tempo, para que se alcance um alto grau de desidratação com um ganho de sólidos relativamente pequeno.

2.4.2.6. Agitação da solução osmótica.

O processo de desidratação osmótica envolve a utilização de soluções concentradas, com um ou mais solutos, que normalmente apresentam viscosidade elevada. Quando o meio osmótico tem uma viscosidade elevada, origina uma transferência de massa deficiente pois torna-se mais difícil o contato entre o material e a solução osmótica, pois os pedaços do alimento têm tendência a flutuar na solução devido às diferenças de massas volúmicas entre o produto ($0,8 \text{ kg/dm}^3$ para frutas e legumes) e a solução osmótica (densidade da sacarose $1,3 \text{ kg/dm}^3$).

Normalmente, o processo de desidratação osmótica é realizado sob agitação, fator que também desempenha um importante papel no processo, por torná-lo mais rápido, (Ponting *et al.*, (1966), visando minimizar os efeitos da resistência externa e aumentar a velocidade de transferência de massa ((Ponting *et al.*, 1966; Sereno *et al.*,2001).

A agitação proporciona a circulação da solução osmótica em torno do produto, evitando o fenômeno de saturação do soluto em torno do alimento imerso. Assegura-se assim, um contato contínuo da superfície do alimento com a solução hipertônica, gerando um gradiente na interface do produto/solução e aumentando a força motriz nas regiões próximas da superfície da fruta (Sereno *et al.*, 2001).

Apesar da transferência de massa na desidratação osmótica ser favorecida com a agitação da solução osmótica, esta vai diminuir a resistência da transferência de massa na superfície do produto, ao mesmo tempo que homogeniza a temperatura e a concentração dos solutos na solução osmótica, mas pode danificar determinado tipo de produtos (Baroni *et al.*, 2009; Sereno *et al.*,2001).

Em estudos com maçã imersas em soluções de sacarose (70% m/m, 30°C) com agitação, verificou-se que o ganho de sólidos foi menor, obtendo-se 83% de perda de água e 6% de ganho de sólidos, em comparação com 75% e 12% respectivamente, para o sistema sem agitação (Azuares *et al.*, 1996).

2.4.2.7. Geometria e dimensões do produto.



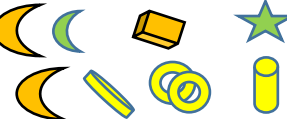





A geometria do produto é muito importante, pois faz variar a área específica, isto é, a superfície por unidade de volume que fica exposta à difusão. Da mesma forma, as dimensões do produto influenciam a velocidade de desidratação e a absorção dos solutos, pois a área específica é diferente para diferentes dimensões e formas (Apaza, 2007; Azuares *et al.*, 1992; Lerici, 1985).

Em geral as formas geométricas mais utilizadas na desidratação osmótica são: anéis, cubos, retângulos e fatias (quadro 2).

Lerici (1985), observou que um aumento da área específica do produto origina maior perda de peso até um certo limite, a partir do qual diminui e o ganho de sólidos aumenta proporcionalmente com a superfície específica. Segundo o autor, a diminuição da perda de peso deve-se a uma redução do coeficiente de difusão devido ao ganho de sólidos elevado. Este ganho de sólidos pode ser devido ao facto das trocas de soluto estarem limitadas à periferia dos produtos.

No caso de esferas ou cubos, ao aumentar o raio ou o lado, a superfície por unidade de volume diminui e a perda de água é menor para tamanhos superiores (Lerici, 1985).

Quadro 2. Geometrias de redução de dimensões em desidratação osmótica .

Alimento	Geometria	Exemplos
Ananás, melão, papaia, cenoura	Cubos.	
Bagas, framboesas, amoras, groselhas, ameixas, pêssegos.	Alimentos inteiros ou fatias.	
Pera, maçã, kiwi, laranja, manga, ananás, papaia, banana.	Rodelas, cubos, cilindros.	
Maçã, ananás, cenouras.	Cubos, tiras.	
Cebolas, pimentos.	Cubos, rodelas, tiras.	
Batatas, batata-doce.	Rodelas cubos, tiras.	
Carnes vermelhas.	Placas, filetes.	
Peixes.	Tiras e filetes.	

Fonte: Adaptado de Apaza, (2007).

2.4.2.8. Proporção em massa de produto e massa de solução.

A proporção ponderal ou em massa do produto e solução osmótica, expressa a quantidade de solução necessária por unidade de massa (ou peso) do produto. Esta proporção é um fator importante no processo de desidratação. Quando se imerge o produto na solução, este vai perdendo água de forma progressiva a uma velocidade diretamente proporcional à concentração da solução (*i.e.* cinética de primeira ordem). A água removida a partir do alimento vai diluir a solução osmótica, originando um decréscimo na pressão osmótica e como consequência, diminui o efeito da desidratação (Lenart *et al.*, 1984; Baroni *et al.*, 2009).

O efeito desta variável foi estudado em rodela de ananás tendo-se constatado que a perda de peso aumenta até alcançar uma proporção de 1:4, mas para valores acima desta proporção, não se encontraram alterações significativas (Uddin *et al.*, 1985). Uma forma desta diluição não afetar drasticamente o processo osmótico é a utilização de soluções em excesso comparado com a quantidade de alimento a desidratar, ou seja, usar proporções elevadas. Esta forma é viável a nível laboratorial e à escala piloto, no entanto, a nível industrial significaria um sobredimensionamento nos equipamentos, pelo que normalmente se procede à reciclagem da solução inicial e sua reconcentração por evaporação (Raoult-Wack, 1994).

Ponting *et al.* (1966), na DO de morango com sacarose utilizaram baixas proporções em massa de produto para evitar significativas diluições do meio osmótico, com o objetivo de tornar mais fácil o controlo da concentração do açúcar na solução.

A reposição da concentração da solução osmótica é um dos maiores problemas na gestão da solução. Uma proporção baixa origina uma menor velocidade de diluição e a reposição da concentração inicial pode ser feita após um longo tempo de imersão (Lenart *et al.*, 1984) recomendam uma proporção em peso de 1:1 a 1:5.

2.4.2.9. Outros fatores.

As características dos alimentos frescos podem também afetar o processo de desidratação, como a variedade, o grau de maturação, a forma, o tamanho e a porosidade do alimento a ser desidratado. Em materiais com alta porosidade há um maior ganho de sólidos do que em materiais de baixa porosidade. (Azuara *et al.*, 1992; Lericci, 1985).

A aplicação de outros pré-tratamentos aos alimentos antes de aplicar a desidratação osmótica vai afetar o processo. Na desidratação de maçã a aplicação do

tratamento de branqueamento aumenta a perda de água e ganho de sólidos (Taiwo *et al.*, 2001).

A aplicação em morangos de um revestimento com uma película comestível de polissacárido antes da DO, diminuiu o ganho de sólidos, enquanto a perda de água foi idêntica a morangos sem a película (Matuska *et al.*, 2006).

A redução da pressão durante a desidratação osmótica aumenta a velocidade de desidratação. Pressão baixa facilita a penetração da solução osmótica no tecido celular. A aplicação de baixas pressões aumenta a perda de água, comparada com a desidratação osmótica à pressão atmosférica (Fito, 1994; Shi *et al.*, 1995).

2.4.3. Mecanismos da desidratação osmótica.

Considera-se que a fruta imersa na solução osmótica constitui um sistema ternário de k espécies (**A**, **B** e **C**). As espécies **A** e **B** constituem uma solução (água e soluto) e podem entrar e sair do sistema. A espécie **C** é constituída pelos sólidos que permanecem sempre no sistema, formando uma matriz que delimita as fronteiras deste sistema. No caso específico de maçã imersa em solução aquosa de sacarose, a espécie **A** representa a água e a espécie **B** a sacarose. A espécie **C** inclui os sólidos insolúveis que constituem a estrutura sólida do sistema vegetal, como os compostos celulósicos, proteína e também os sólidos solúveis originais da maçã, que não deixam o sistema, como sais, açúcares e ácidos que estão presentes nos compartimentos celulares denominados vacúolos (Rodrigues, 2003).

Existem três caminhos principais nos quais a água se move através da célula (Shi *et al.*, 2002):

- A via de transporte **apoplástica** (via parede celular), que ocorre fora das membranas celulares (plasmalema) definida como a difusão de água através das paredes celulares e espaços intercelulares entre as células.
- A via de transporte **simplástica**, que ocorre dentro da plasmalema e é caracterizado como um transporte de um fluido de uma célula diretamente para outra, através dos pequenos canais da plasmodesmata.
- A via de transporte **transmembrana**, (via vacuolar), definida como uma troca de água entre o interior da célula (protoplasma e vacúolo) e o exterior da célula (parede celular e espaços intercelular), através da membrana celular.

O processo de desidratação osmótica é realizado em duas etapas. Na primeira etapa as variáveis do processo variam ao longo do tempo e no final, na segunda etapa as variáveis mantêm-se estacionárias, ou seja, atinge-se o equilíbrio. Durante a primeira fase a velocidade de transferência de massa diminui ao longo do tempo e irá tender para zero atingindo-se então a segunda fase. A remoção de água é realizada por dois mecanismos: por capilaridade e por difusão. Por outro lado, o transporte de solutos é feito por difusão (Raoult-Wack, 1994).

A evolução da transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica envolve, basicamente, três variáveis: perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos pelo produto (GS).

Os parâmetros da desidratação são calculados através de balanços mássicos, (Sacchetti *et al.*, 2001; Sereno, 2001), segundo as seguintes equações:

$$PP(\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

$$PA(\%) = \frac{(P_i \times H_i) - (P_f \times H_f)}{P_i} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

$$GS(\%) = PA - PP \quad \text{Equação (3)}$$

em que:

PP (%) - Perda de peso das fatias desidratadas.

PA (%) - Perda de água das fatias desidratadas.

GS (%) - Ganho de sólidos das fatias desidratadas.

P₀ (g) - Peso inicial das fatias desidratadas (tempo=0).

P_f (g) - Peso final das fatias desidratadas (tempo=t).

H_i (%) - Humidade inicial das fatias (tempo=0).

H_f (%) - Humidade final das fatias desidratadas (tempo=t).

2.4.4. Alterações físico-químicas.

Quando frutos ou vegetais são submetidos a um processo de desidratação osmótica produzem-se alterações químicas, físicas e estruturais do tecido celular do alimento.

Os principais parâmetros e características de qualidade, associados aos produtos desidratados, são o aspeto visual, a cor, o sabor, aromas, a textura, a a_w , a carga microbiana, a forma e dimensões do produto, bem como a estabilidade química, ausência de contaminantes (pragas, insetos) e as propriedades de rehidratação (Azuara *et al.*, 1992; Torregiani, 1993; Rastogi *et al.*, 2002; Lenart *et al.*, 2001).

2.4.4.1. Atividade de água.

A água é o principal constituinte dos alimentos e materiais biológicos. Normalmente um produto alimentar contém simultaneamente várias formas de água: água livre, água fracamente ligada e água fortemente ligada. Nos produtos mais hidratados, como é caso da maior parte das frutas e hortícolas, uma parte importante de água está na forma de água livre e água fracamente adsorvida, retida por capilaridade nos tecidos do alimento (Scott, 1957). Durante a desidratação, as moléculas de água menos ligadas são as primeiras a ser removidas e posteriormente, as moléculas de água da estrutura.

A a_w , mais do que o teor de água é a propriedade que controla a maioria das reações químicas e atividade microbiológica nos produtos alimentares (Scott, 1957).

A a_w , é uma propriedade do equilíbrio de um sistema em qualquer fase que contenha água, e é expressa pela razão entre a pressão parcial da água no alimento e a pressão de vapor de água pura à mesma temperatura. O valor de a_w está compreendido entre 0 e 1 e é tanto mais baixo quanto maiores as forças de união físico-químicas e tendendo para 1 quando a água se aproxima do estado livre e se evapora como água pura.

As frutas, em geral apresentam um alto valor de a_w , (>0,98) a qual só pode ser reduzida por secagem ou por adição de solutos (Scott, 1957).

Durante o processo de DO, como resultado da perda de água nos alimentos, a sua atividade de água vai diminuir, logo vão ocorrer menos reações de deterioração e também contribuir para uma diminuição da atividade microbiana (Labuza, 1980).

A influência da a_w na estabilidade dos alimentos pode ser observada na figura 10 onde se representam as alterações químicas e microbiológicas em função da atividade de água de um produto alimentar (Labuza, 1980). Verifica-se que quase toda a atividade

microbiana é inibida abaixo de $a_w = 0,60$; a atividade enzimática abaixo de $a_w = 0,25$ e a oxidação dos lípidos atinge um mínimo cerca de $a_w = 0,4$.

O escurecimento não enzimático é mais elevado no intervalo entre 0,4 a 0,6 de a_w , pois muita água inibe a reação por diluição e também pouca água oferece uma mobilidade inadequada. O mesmo acontece para as reações hidrolíticas que também são mais rápidas na gama de 0,4 a 0,7 de a_w (Labuza, 1980).

A atividade enzimática pode surgir quando as enzimas não são inativadas pelo calor (ou outros agentes de inibição), quer através de enzimas endógenas, presentes no alimento, quer de enzimas exógenas, em geral termoresistentes, provenientes de microrganismos (Labuza, 1980).

As reações enzimáticas ainda não estão completamente estudadas, mas sabe-se que a valores de a_w baixos, aumentam muito lentamente com o aumento desta variável, pois há uma falta de mobilidade do substrato no centro ativo da enzima. A partir de a_w aproximadamente igual a 0,8 a atividade enzimática aumenta exponencialmente (Scott, 1957).

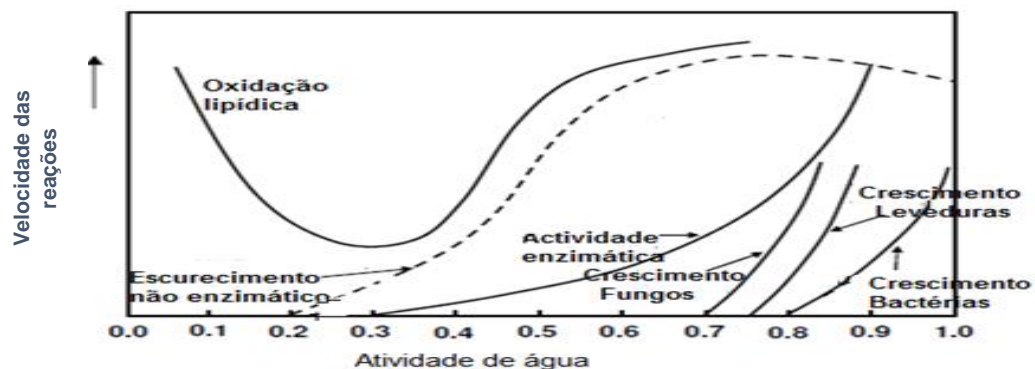


Figura 10. Alterações químicas e microbiológicas em função da a_w dos alimentos. (Adaptado de Labuza, 1980).

Em muitos alimentos a taxa de oxidação lipídica atinge valores mínimos para a_w entre 0,2 e 0,4; contudo, esta não é uma reação de deterioração importante para a maioria das frutas, uma vez que apresentam quantidades residuais de lípidos (Labuza, 1980).

A maioria dos fungos não se desenvolvem abaixo do valor de a_w de 0,7 (leveduras 0,8), ao passo que as bactérias normalmente não se desenvolvem abaixo de 0,9. No entanto, é importante salientar que muitos outros fatores influenciam, com efeito sinérgico ou antagónico, a atividade dos microrganismos, como a temperatura, disponibilidade de oxigénio, nutrientes e o valor de pH (Labuza, 1980).

A conservação dos alimentos pela desidratação ocorre principalmente devido à inibição do crescimento microbiano; contudo, os microrganismos não são necessariamente eliminados. A multiplicação de microrganismos não deve ocorrer em alimentos corretamente desidratados; porém, não estão imunes aos esporos ou outras formas de resistência. A redução da a_w de um produto inibe o crescimento microbiano, mas não o torna estéril (Labuza, 1980).

Com base no valor da a_w é comum classificar os produtos alimentares, (figura 11) como “secos”, “humidade intermédia” ou “alto teor de humidade”, quando o a_w for inferior a 0,6 (biscoitos, massa seca); entre 0,6 e 0,9 (frutas secas, carnes curadas, doces) ou superior a 0,9 (produtos frescos), respetivamente (Maltini *et al.*, 2003).

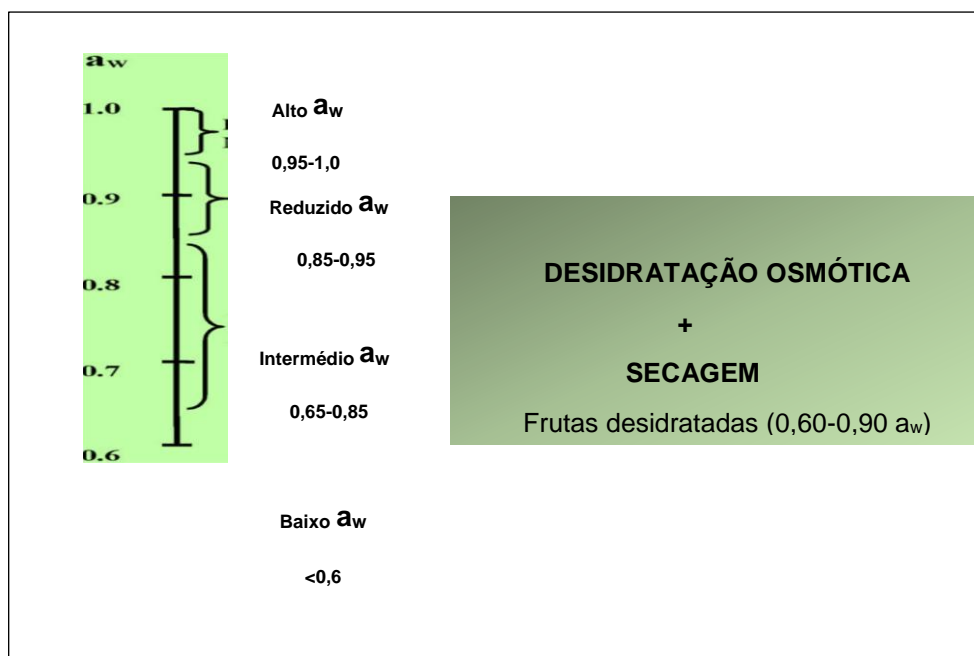


Figura 11. a_w de produtos alimentares versus produtos desidratados (Maltini *et al.*, 2003).

2.4.4.2. Cor.

As alterações de cor durante a desidratação de frutas e vegetais são devidas a diferentes fatores. Algumas são alterações físicas, tais como variações na rugosidade da superfície do material e na densidade e porosidade, alterando principalmente a leveza e opacidade do produto desidratado. Outro fator é a remoção de água, o que vai originar a concentração dos pigmentos na fase líquida, produzindo alterações na intensidade da cor perceptível pelo consumidor (Lewicki *et al.*, 1998).

A principal causa das alterações de cor está diretamente associada às reações químicas que ocorrem durante o processo de desidratação. Estas reações podem ser agrupadas em dois grupos: reações de escurecimento e degradação do pigmento (Lopéz, 2006).

O escurecimento enzimático, juntamente com as reações de Maillard, a caramelização e a oxidação do ácido ascórbico são os quatro tipos de escurecimento que ocorrem nos alimentos. O escurecimento enzimático é catalisado pela enzima polifenol oxidase (PPO) e nas frutas e legumes de cor clara, como a maçã, banana e batata, é devido á oxidação enzimática dos fenóis e quinonas que se polimerizam para formar pigmentos castanhos e melaminas (Richardson *et al.*, 1985).

Durante a desidratação osmótica, a solução osmótica preenche os espaços intercelulares inicialmente com ar, reduzindo a disponibilidade de oxigénio pela enzima PPO diminuindo assim o escurecimento enzimático (Quiles *et al.*, 2005).

Na desidratação osmótica, as alterações de cor não são muito acentuadas, principalmente devido às baixas temperaturas utilizadas e aos teores de humidade intermédia alcançados. O mesmo não se passa com a secagem convencional por ar quente, onde se verificam grandes alterações da cor, uma vez que envolve temperaturas moderadas - altas, longos tempos de processo e elevada exposição ao oxigénio. A preservação da cor é uma das razões apontadas para o uso do pré-tratamento osmótico antes da secagem por convecção (Torreggiani *et al.*, 2001).

2.4.4.3. Textura.

A textura é constituída por parâmetros de qualidade utilizados na indústria alimentar para avaliar a qualidade do produto e a sua aceitabilidade.

Segundo a ISO 11036:1994 “a **textura** são todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto, perceptíveis por meios mecânicos, tácteis e quando apropriado, por recetores visuais e auditivos”.

A importância da textura na aceitação, em geral, dos alimentos, varia muito e depende do tipo de alimento. No caso das frutas tem uma contribuição significativa, mas não dominante para a qualidade em geral e está no mesmo patamar que o “flavour” e o aspeto (Lima, 2015).

É fundamental avaliar, prever e controlar a textura dos alimentos, particularmente no que toca aos efeitos do processamento como a desidratação, com objetivo de otimizar a qualidade do produto final.

A **dureza** é a força necessária para alcançar uma determinada deformação ou penetração de um produto. Na boca é percebida pela compressão do produto entre os dentes (Lima, 2015).

A **coesividade** reflete a resistência das ligações internas que constituem o material e está relacionada com o grau de deformação antes de quebrar. A **elasticidade** traduz a rapidez com que material recupera de uma força de deformação aplicada. Sensorialmente indica a intensidade da sensação elástica que o alimento causa na boca (Lima, 2015).

A **mastigabilidade** corresponde à energia necessária para mastigar um alimento sólido até que esteja pronto para deglutir (Rosenthal, 1999).

Nas frutas, as propriedades mecânicas estão intimamente associadas à estrutura celular. A firmeza da parede celular está relacionada com a composição de pectina na sua estrutura mais externa, conhecida como lamela média. A sua importância está no efeito "ligante" que promove na parede celular, provocando a adesão das células entre si. A pectina é bastante sensível ao calor, podendo alterar a sua composição na lamela média, conforme a intensidade do processo de desidratação osmótica ou secagem (Sanjinez, 2005).

Como já foi referido, durante a desidratação osmótica a água move-se em direção à superfície através das paredes celulares, como resultado do gradiente de concentração. Esta perda de fluido celular provoca uma contração do volume da célula. A primeira fase desta contração é a depressão da camada superficial de células, produzindo uma contração no núcleo húmido e incompressível (Chen *et al.*, 2008).

A contração do volume da célula é um fenómeno esperado quando se desidratam produtos alimentares, como as frutas e ocorre devido à natureza físico-química da matriz sólida dos alimentos e às condições de processamento. Este fenómeno não é uniforme dentro da dimensão do material, sendo diferencial, pois as camadas externas contraem em relação às camadas internas, levando a pequenas rachaduras e fissuras, contribuindo para uma percepção sensorial agradável de textura durante a degustação. No entanto, o endurecimento, desde que controlado, é uma característica desejável, pois geralmente os alimentos secados são conhecidos como mais difíceis de mastigar em comparação ao seu estado inicial antes da operação de secagem (Chen *et al.*, 2008).

As principais alterações dos parâmetros de textura caracterizam-se por uma diminuição da dureza, da gomosidade e um aumento da coesividade, da elasticidade e da adesividade (Ferreira, 2003; Lopéz, 2006).

A desidratação osmótica favorece o amaciamento do tecido e o menor encolhimento durante a secagem, devido à impregnação do soluto desidratante durante o processamento. Consequentemente, quanto maior o ganho de sólidos menor será a

resistência à compressão por parte do produto comparado com aquele que não foi sujeito a este pré-tratamento (Lewicki *et al.*, 2000).

Os processos combinados de desidratação osmótica e secagem com ar quente podem originar produtos mais macios com menor a_w do que produtos desidratados sem pré-tratamento, podendo desta forma serem consumidos sob a forma de “snacks” ou incorporados em produtos de panificação, sorvetes, queijos ou iogurte (Torreggiani *et al.*, 2001).

2.4.5. Análise sensorial.

A análise sensorial é uma ferramenta moderna utilizada para o desenvolvimento de novos produtos, reformulação de produtos já estabelecidos no mercado, estudo de vida útil (*shelf life*), determinação das diferenças e similaridades apresentadas entre produtos concorrentes, identificação das preferências dos consumidores por um determinado produto e, finalmente, para a otimização e melhoria da qualidade (Lima, 2015).

No desenvolvimento de um novo produto é necessário que se realize uma prova sensorial para avaliar a sua apreciação pelos consumidores que muitas vezes não é alcançada apenas com análises físico-químicas (Lima, 2015).

De acordo com o *Institute of Food Science and Technology* (IFT), os testes sensoriais classificam-se como testes afetivos e testes analíticos. A sua escolha depende do objetivo pretendido. Quando se pretender verificar a preferência e o grau de satisfação relativamente a um novo produto (testes de preferência), e/ou a probabilidade de adquirir o produto testado (testes de aceitação), usam-se os testes afetivos (Lima, 2009).

Os testes analíticos são normalmente utilizados para painéis de provadores treinados, ou para a seleção de provadores, por isso os resultados que dele se obtêm podem ser usados como um resultado analítico preciso (Lima, 2009).

2.5. Mercado dos produtos desidratados.

O setor de frutas desidratadas está a ganhar espaço no mercado de produtos naturais. A finalidade do uso de produtos desidratados osmoticamente depende do grau de estabilidade pretendido. É um método de conservação natural, produzindo produtos naturais sem adição de corantes ou conservantes e com alto valor nutritivo (Vega *et al.*, 2012).

Produtos desidratados osmoticamente que percam cerca de 70% do seu teor de água inicial estão prontos para serem consumidos e podem ser utilizados como lanche ou em batidos (depois de triturar e misturar com leite ou outro alimento líquido). Portanto estes alimentos desidratados podem ser usados na indústria de laticínios, padaria e doces (Vega *et al.*, 2012).

Na Europa, França e Itália são os países que desenvolveram as técnicas mais avançadas de desidratação osmótica. Na Ásia a cristalização de frutos é muito utilizada para preservar frutos tropicais (Vega *et al.*, 2012).

Frutos desidratados osmoticamente foram usados para a produção de compotas (Garcia-Martinez *et al.*, 2002). Foi produzido compota de kiwi e geleia de laranja a partir de fruta tratada por desidratação osmótica e obtiveram-se produtos de maior qualidade do que os comercializados tradicionalmente.

A desidratação osmótica pode também ser aplicada como pré-tratamento no fabrico de batatas fritas (Krokida *et al.*, 2001). As batatas fritas, após serem desidratadas osmoticamente, apresentaram uma cor mais aceitável (menos escurecimento) e menor absorção de óleo do que aquelas que não foram tratadas.

Roble-Manzanares *et al.* (2004), estudaram as melhores condições de desidratação osmótica e secagem para obterem um novo produto a partir de marmelos para serem usados como ingredientes em cereais de pequeno almoço ou sob a forma de *snacks*. Os marmelos cortados em cubos foram desidratados numa solução de frutose (45°Brix; 55°Brix e 60 °Brix) a 30°C, 40°C e 50°C. Com os tratamentos a 45°Brix e 55°Brix foram obtidos os melhores resultados, relativamente aos parâmetros: cor, a_w , teor de ácido ascórbico (vitamina C) e textura. Depois de pré tratadas as amostras foram secas por convecção com ar seco a 70°C, durante 3 horas. Em comparação com os não tratados, os marmelos pré tratados evidenciaram um aspeto mais fresco.

2.6. Vantagens da tecnologia de desidratação osmótica.

Segundo Ponting *et al.* (1966), as principais vantagens da utilização da desidratação osmótica como um pré-tratamento na desidratação de alimentos são:

- As características organoléticas do alimento, cor, sabor e textura, sofrem modificações mínimas;
- A estrutura do alimento sofre danos mínimos devido à utilização de temperaturas moderadas no processo;

- O escurecimento do alimento é minimizado, sem ser necessária a utilização prévia de tratamentos químicos, devido a que o mesmo está submerso na solução osmótica evitando, assim, o contacto com o oxigénio;
- Melhoria da estabilidade do alimento, inibindo o crescimento de microrganismos através da diminuição da atividade de água do alimento;
- Retenção da maioria dos nutrientes do alimento;
- Redução da acidez das frutas, aumentando a relação ponderal açúcar/ácido;
- Diminuição dos custos de embalagem e distribuição;
- Eficiência energética devido à utilização de temperaturas moderadas.

2.7. Desvantagens da tecnologia de desidratação osmótica.

Apesar das vantagens apresentadas pelo processo de desidratação osmótica, a principal desvantagem é poder aumentar a salinidade ou a doçura e também diminuir a acidez do produto, alterando assim o sabor característico de alguns produtos. Esta desvantagem pode ser evitada através do controlo da difusão do soluto osmótico para o produto (Ponting *et al.*, 1966) e da lixiviação de compostos hidrossolúveis do alimento (Lenart, 1996; Raoult-Wack *et al.*, 1994).

Uma das dificuldades para a utilização industrial da desidratação osmótica é a gestão e o destino da solução osmótica. A solução osmótica é geralmente considerada um resíduo industrial pois origina grandes volumes de efluentes, que necessitam de tratamento de acordo com a legislação ambiental, contribuindo assim, para aumentar o custo final dos produtos (Dalla *et al.*, 2000).

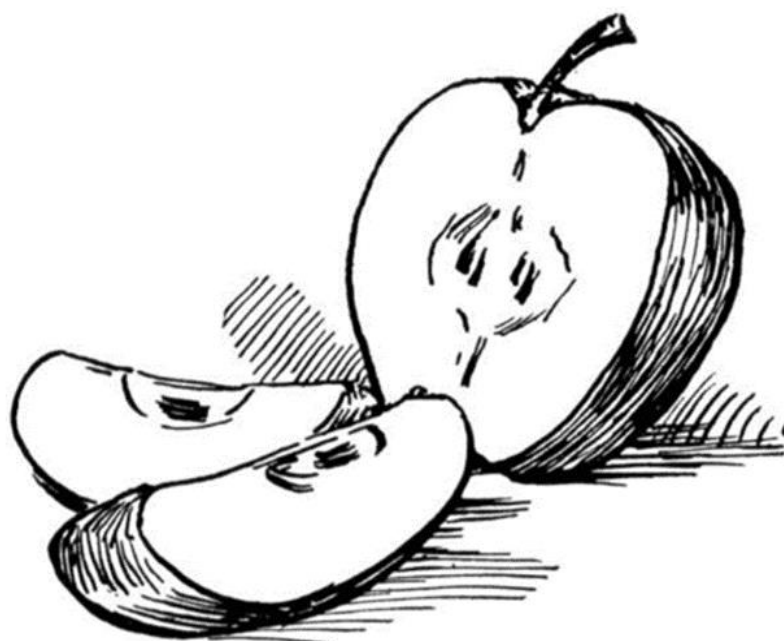
A resposta mais viável a este problema é a reutilização da solução osmótica, com a correção dos desvios de concentração ou contaminação, por partículas e/ou microrganismos, através da adição de novo soluto ou da evaporação, para reposição da concentração inicial da solução osmótica, bem como a filtração, para remover partículas indesejadas. Estes métodos para a reutilização da solução, são eficazes em escala laboratorial, sendo necessário mais estudos para a sua aplicação à escala industrial (Valdez-Fragoso *et al.*, 2002).

Por outro lado, além dos nutrientes lixiviados para a solução osmótica, tais como vitaminas e minerais, este resíduo possui elevado valor energético, podendo constituir uma potencial matéria-prima para outros processos industriais, por exemplo, como ingrediente na formulação de outros produtos (Valdez-Fragoso *et al.*, 2002). A produção de bebidas (aguardentes e licores), produtos vinagreiros finos com sabor de frutas, geleias, frutas em

calda, frutas açucaradas, produtos cristalizados e enriquecimento de ração animal, são alguns dos produtos sugeridos para o reaproveitamento de soluções provenientes dos processos osmóticos (Dalla *et al.*, 2000; Mujica-Paz *et al.*, 2002; Gomes *et al.*, 2007; Rodrigues, 2009).

Durante a desidratação osmótica, a atividade de água residual possibilita a ocorrência de reações que podem prejudicar a segurança do produto obtido, podendo ser necessário a utilização de métodos combinados de conservação, como a secagem por ar, micro-ondas, alta pressão hidrostática, impregnação a vácuo, aplicação de ultrassons, ou outras tecnologias (Pani *et al.*, 2008).

CAPÍTULO III - Material e Métodos.



3. Material e métodos.

3.1. Materiais.

Este trabalho foi realizado nos Laboratórios do Departamento de Tecnologia Alimentar, Biotecnologia e Nutrição da Escola Superior Agrária de Santarém. A variedade de maçã usada foi a *Royal Gala*, fornecida pela Empresa Copa - Cooperativa Horto Fruticultores, situada em Alcobaça.

As maçãs foram acondicionadas em caixas de plástico e armazenadas sob refrigeração a $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ até à sua utilização.

O agente osmótico utilizado foi a sacarose (açúcar granulado de grau alimentar) adquirido no mercado nacional.

Os restantes materiais estão indicados nos procedimentos respetivos.

3.2. Métodos.

3.2.1. Preparação das maçãs.

As maçãs foram retiradas da camara frigorífica e mantidas à temperatura ambiente antes de cada ensaio experimental. A fim de assegurar uniformidade, as amostras foram selecionadas visualmente pela cor, estado de maturação (11 °Brix a 13 °Brix) e ausência de danos mecânicos. Foram lavadas em água corrente, descascadas manualmente, descaroçadas e cortadas em fatias segundo o seu eixo transversal, com equipamento próprio de corte para fatias circulares e depois, cortadas manualmente em meia-lua com espessura de $3,95 \pm 0,45$ mm (figura 12).

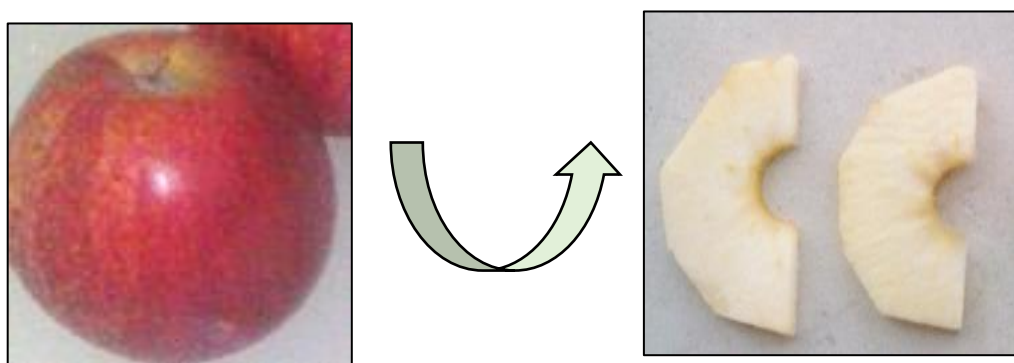


Figura 12. Preparação das fatias de maçã para os ensaios de desidratação osmótica.

3.2.2. Preparação da solução osmótica.

As soluções de sacarose (% em m/m) usadas em todos os tratamentos (Anexo 2) foram preparadas com água de qualidade laboratorial (Milli-Q) e as massas de açúcar e água, pesadas em balança centesimal Cobos, DC – 3600 – SX ($2000 \pm 0,01$) g perfazendo $1000 \pm 0,01$ g de solução. Para dissolução e homogeneização da solução foi utilizado um agitador magnético (*Agimatic -Selecta*).

3.2.3. Metodologia experimental.

As fatias de maçã (corte de 2 a 3 maçãs frescas) foram agrupadas em amostras de 100g e foram imersas na solução de sacarose de acordo com a proporção definida nos ensaios preparatórios. Para todos os tratamentos foram sempre usadas soluções osmóticas novas.

Procedeu-se à caracterização físico-química da maçã fresca nomeadamente, teor de humidade (% H), pH, acidez total (AT), teor de sólidos solúveis (TSS), açúcares redutores (AR) e textura (dureza). A codificação das amostras de maçã fresca é precedida da letra **F** seguida da codificação apresentada no quadro 4 (ver figura 14).

Para manter as maçãs uniformemente submersas durante os diferentes intervalos de tempo, foi colocado sobre as maçãs um dispositivo circular em PVC perfurado e construído para o efeito, permitindo assim um maior contato da maçã com a solução osmótica. As maçãs imersas na solução de sacarose foram colocadas numa incubadora (*IncuDigit-Selecta*) para manter a temperatura de trabalho constante.

- Antes do pré-tratamento, as fatias de maçã (100 g) foram pesadas numa balança de precisão Mettler Toledo ($200 \pm 0,0001$) g; e ao fim de cada tempo de desidratação, foram retiradas da solução osmótica de sacarose, enxaguadas com água de qualidade laboratorial (Milli-Q) para retirar o eventual filme de açúcar sobre a superfície, envolvidas suavemente em papel absorvente para retirar o excesso de água, procedendo-se novamente à sua pesagem. Foram recolhidas amostras de maçã nos diferentes tempos de imersão para análise dos parâmetros físico-químicos nomeadamente, %H, pH, AT, TSS, AR e textura (dureza), conforme figura 13.

Na referida figura é apresentado o fluxograma da metodologia experimental e metodologia analítica do processo de desidratação osmótica utilizado. O procedimento experimental encontra-se descrito no anexo 2.

3.2.4. Ensaio experimentais.

Foi estudada a evolução da desidratação osmótica através do cálculo dos parâmetros PP, PA e GS, variando as condições do processo (concentração de sacarose, temperatura e tempos de imersão), de acordo com o delineamento experimental definido (quadro 3 e quadro 4).

Ao longo dos tratamentos efetuados foram analisados: a influência da concentração de sacarose; a temperatura de desidratação e tempo de imersão nas propriedades físico-químicas dos produtos desidratados, nomeadamente, %H, pH, AT, TSS, AR (figura 13).

Foi também objeto de estudo o comportamento da solução de sacarose ao longo de todos os tratamentos, nomeadamente na determinação do TSS e o pH.

Para determinar a aceitabilidade dos produtos desidratados, procedeu-se a uma prova sensorial de ordenação de preferência.

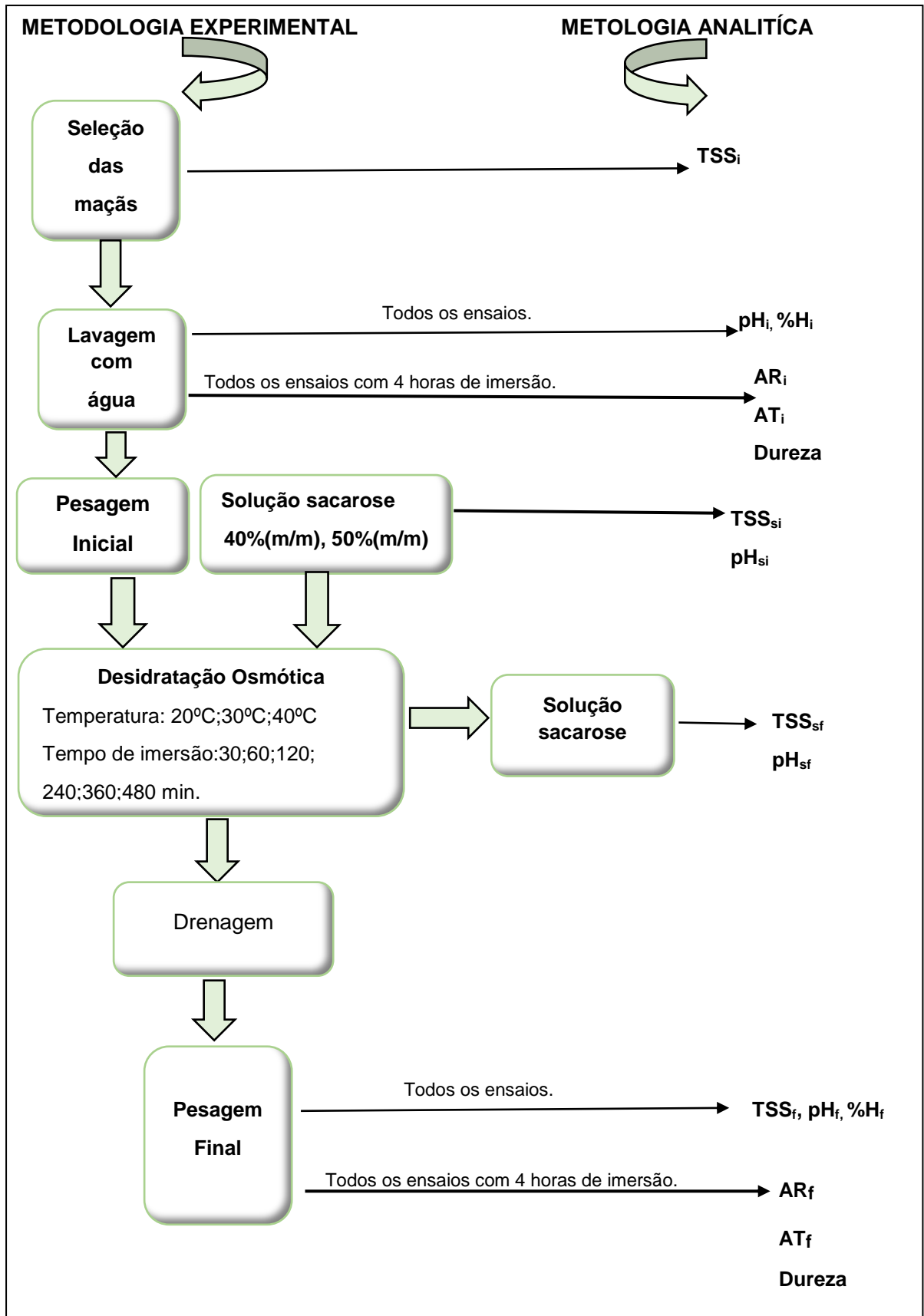


Figura 13. Fluxograma experimental do processo de desidratação osmótica.

3.2.4.1. Ensaios preparatórios.

Os ensaios preparatórios tiveram como objetivo definir a melhor proporção em massa de fruta e massa de solução osmótica a usar no pré-tratamento de maçã por desidratação osmótica.

Estudou-se a influência desta proporção (R) sobre os diferentes parâmetros do processo, nomeadamente a perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS).

Utilizou-se para o efeito duas proporções 1:5 m/m (**R5**) e 1:10 m/m (**R10**), que foram preparadas com uma solução mãe de sacarose a 40% (m/m). Os ensaios foram realizados à temperatura de 20°C e ao longo dos tempos de desidratação de 30, 60, 120, 240, 360 e 480 min.

Foram efetuados 12 ensaios preparatórios, referenciados de acordo com a codificação apresentada no quadro 3. Todos os 12 ensaios foram executados em triplicado e as amostras analisadas também em triplicado.

Quadro 3. Codificação dos ensaios preparatórios.

Variáveis		Codificação dos ensaios	
		R5	R10
Concentração de sacarose (%)		40	40
Proporção maçã-solução (m/m)		1:5	1:10
Temperatura da solução (°C)		20	20
Tempo de imersão (min.)	30	●	●
	60	●	●
	120	●	●
	240	●	●
	360	●	●
	480	●	●

● proporção 1:5 (R5) ● proporção 1:10 (R10)

Analisou-se igualmente, o comportamento da solução osmótica de sacarose ao longo do tempo para as duas proporções (R5 e R10), nomeadamente na variação do pH e TSS.

3.2.4.2. Ensaio principais.

Realizaram-se ensaios com uma proporção ponderal de maçã-solução de 1:5 e com duas concentrações de sacarose (40% e 50% m/m), para três temperaturas, 20°C-30°C-40°C e diferentes tempos de imersão (30, 60, 120, 240, 360 e 480 min).

Foram efetuados 36 ensaios, cuja codificação é apresentada no quadro 4. Todos os 36 ensaios foram executados em triplicado e as amostras também analisadas em triplicado.

Quadro 4. Codificação dos ensaios principais.

Variáveis		Codificação dos tratamentos					
		4020	4030	4040	5020	5030	5040
Concentração de sacarose (%)		40	40	40	50	50	50
Temperatura da solução (°C)		20	30	40	20	30	40
Tempo de imersão (min.)	30	●	●	●	●	●	●
	60	●	●	●	●	●	●
	120	●	●	●	●	●	●
	240	●	●	●	●	●	●
	360	●	●	●	●	●	●
	480	●	●	●	●	●	●

● 4020; ● 4030; ● 4040
● 5020; ● 5030; ● 5040

Foi analisada a influência da concentração da solução de sacarose e da temperatura ao longo do tempo de desidratação sobre as variáveis do processo de desidratação osmótica (PP; PA e GS).

Também foi analisado o comportamento da solução de sacarose ao longo de todos os tratamentos, nomeadamente o TSS e o pH.

3.3. Metodologia analítica.

Para cada tratamento, foram determinadas as propriedades físico-químicas da maçã fresca (*in natura*) e da maçã sujeita ao pré-tratamento, nomeadamente, %H, pH e

TSS ao longo dos vários tempos de imersão. Nos tratamentos com tempo de desidratação de 240 min (quatro horas), determinou-se a AT, AR e a textura (dureza).

Estudou-se o comportamento da solução osmótica para cada tratamento nomeadamente, pH e TSS da solução osmótica de sacarose fresca e ao fim de cada tempo de imersão.

3.3.1. Determinação do teor de humidade.

A humidade inicial (base húmida) foi determinada por gravimetria de acordo com a técnica descrita pela AOAC (1990). Na determinação do teor de humidade, foram retiradas duas fatias de maçã frescas (sem casca) pertencentes ao mesmo lote que foi sujeito ao processo de desidratação osmótica. Foram pesadas numa balança analítica (Mettler Toledo) e de seguida foram colocados numa estufa com circulação forçada de ar (*Dry Big - Selecta*) a (100 ± 1) °C durante 24 horas. Após esse período, as amostras foram transferidas para um exsicador até arrefecerem e serem pesadas. Repetiu-se a secagem na estufa, arrefecimento e pesagem até o peso constante. Através da massa inicial e final obtida da maçã fresca foi possível determinar a humidade inicial (%H_i). Recorrendo ao mesmo procedimento determinou-se o teor de humidade final das maçãs desidratadas (%H_f.) Todas as análises foram realizadas em triplicado.

3.3.2. Determinação de sólidos solúveis.

A determinação do teor de sólidos solúveis das maçãs frescas (TSS_i) e desidratadas (TSS_f) foi efetuado por refratometria, utilizando um refratómetro tipo *Abbe* (Atago, com termómetro digital), com escala de 0,0 a 95,0 °Brix. O equipamento foi devidamente calibrado com água destilada.

A determinação do teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}) e depois do processo de desidratação osmótica (TSS_{sf}) da solução de sacarose foi também determinado por refratometria.

Os resultados, após correção da temperatura para 20°C, foram expressos em °Brix. Todas as análises foram realizadas em triplicado.

3.3.3. Determinação do pH.

O pH das maçãs foi determinado pelo método potenciométrico. Na determinação do pH inicial das maçãs frescas (pH_i) foi utilizado um potenciômetro (*Startorius* PT10) com eletrodo de penetração, calibrado com as soluções padrão de pH 7 e pH 4.

Na determinação do pH final (pH_f) das maçãs pré tratadas (desidratadas), estas foram homogeneizadas por centrifugação (*Moulinex*) para obtenção de sumo e foi utilizado um potenciômetro (*Hanna*, HI255) com eletrodo de imersão, calibrado com as soluções padrão de pH 7 e pH 4.

O pH da solução osmótica inicial (pH_{si}) e o pH depois do processo de desidratação osmótica (pH_{sf}) foi também determinado com o eletrodo de imersão. Todas as análises foram realizadas em triplicado.

3.3.4. Determinação da acidez total.

A acidez total da maçã fresca (AT_i) e da maçã desidratada (AT_f), foi determinada por volumetria de ácido-base com indicador de fenolftaleína (Norma NP-1421, 1977). Os resultados são expressos em g de ácido málico/100 g de maçã. Todas as análises foram realizadas em triplicado.

3.3.5. Determinação de açúcares redutores.

Os açúcares redutores da maçã fresca (AR_i) e da maçã desidratada (AR_f) foram determinados pelo método espectrofotométrico do DNS (procedimento interno do Laboratório de Química da Escola Superior Agrária de Santarém). Este método utiliza um espectrofotômetro de absorção molecular de UV - Visível (*Hitachi-2001*) e baseia-se na oxidação do grupo carbonilo do açúcar redutor pelo reagente DNS (ácido 3,5-dinitrosalicato) e posterior determinação da luz absorvida no visível, a 540 nm (Laranjeira, C.M.C. 2010). A curva de calibração do espectrofotômetro é apresentada no anexo 5.

Todas as análises foram realizadas em triplicado. Os resultados são expressos em g/100 g de maçã.

3.3.6. Determinação da textura.

O texturómetro é um equipamento constituído por um dinamómetro, que fornece energia mecânica, a velocidade constante. Mede e regista num diagrama Força versus Tempo ou distância.

Os valores obtidos dependem do contacto das várias sondas com a amostra, efetuando ensaios de compressão, penetração, corte, flexão, punção, extrusão, entre outros (Lima, 2015).

Neste trabalho o parâmetro analisado foi a dureza, definida como a força necessária para provocar determinada deformação. Utilizou-se um texturómetro (*Stevens* modelo *QTS 25*), com dinamómetro *QTS Controller Stevens Mechtric*, controlado pelo *software TexturePro v2.0*. Foi calibrado e utilizou-se uma sonda cilíndrica adequada ao produto. O ensaio foi determinado nas condições operatórias apresentadas no quadro 5.

A dureza foi determinada para todos os tratamentos (40% e 50% em massa de sacarose; 20°C-30°C-50°C), mas apenas para quatro horas de tempo de desidratação. Também se determinou a dureza da maçã fresca. Para cada ensaio foram realizadas 10 medições.

Quadro 5. Parâmetros do ensaio da textura.

Parâmetros do Ensaio Textura	
<i>Target Test</i> (tipo de ensaio)	Flexão
Nº de ciclos de compressão	1
<i>Test speed</i> (velocidade do teste)	80 mm/min.
<i>Probe Type</i> (tipo de sonda)	TPB sonda cilíndrica base plana 1 mm
Tipo de gráfico	Força <i>versus</i> Tempo
<i>Trigger point</i>	0,01N
<i>Target Unit</i> (distância a percorrer)	6 mm
Temperatura	Ambiente
Nº de ensaios	10

4. Análise sensorial.

Foi efetuada avaliação sensorial a maçãs desidratadas osmoticamente, e secadas em estufa, para todos os tratamentos de desidratação osmótica, mas apenas com quatro horas de tempo de desidratação. As maçãs pré tratadas nestas condições foram secas numa estufa com circulação forçada de ar (*Selecta*) a (70 ± 1) °C, até peso constante com um teor de humidade de $(0,22 \pm 0,10)$ % (m/m). Ou seja, o painel de provadores não treinado avaliou 6 amostras de maçã desidratadas osmoticamente e secadas, e uma amostra de maçã secada ou seja sem tratamento osmótico (SDO).

Efectuou-se uma prova de ordenação, uma vez que o objetivo era a comparação de 7 amostras, incluindo a maçã fresca secada sem tratamento osmótico (SDO), referentes a cada atributo.

Foi explicado a cada provador todos os itens da folha de prova para que fossem facilmente compreendidos todos os atributos da respetiva folha de prova (ver anexo 4). Foi também salientado que antes de mastigar a maçã desidratada era conveniente deixar a mesma alguns segundos na boca para se proceder à sua rehidratação, de forma a uma melhor perceção dos atributos em análise.

Aos 28 provadores não treinados (docentes funcionários e alunos da ESAS) foi solicitado que atribuíssem pontuação às amostras codificadas de acordo com a intensidade dos seguintes atributos: aspeto visual, aroma, sabor, dureza e crocância. Foi atribuída uma escala de 1 a 7 de acordo com prova de ordenação preferencial (1 significa gosto menos e 7 significa gosto mais).

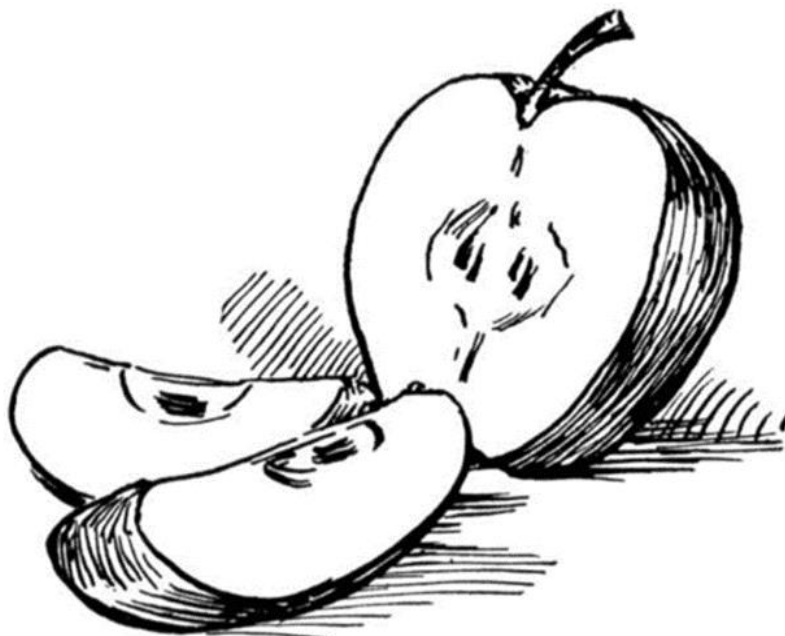
5. Análise e tratamento estatístico dos resultados.

Os resultados experimentais dos parâmetros da desidratação osmótica (PP; PA e GS) foram tratados utilizando o *software Statistica* versão 6.0, *Stat Soft, Inc*. O mesmo tratamento estatístico foi aplicado aos parâmetros físico-químicos (teor de humidade; teor de sólidos solúveis; pH; acidez total; açúcares redutores e dureza).

Realizou-se o teste paramétrico de análise de variância (ANOVA/MANOVA) com dois fatores (Tratamento e Tempo). Aplicou-se o teste de significância para verificar a homogeneidade para um nível de significância de 5% (cf. tabelas variância no anexo 6).

Para cada variável dependente foram calculados a média e o desvio padrão (*LS Mean*) e para cada tratamento aplicou-se o teste *Post Hoc de Tukey HSD* de comparação de médias para detetar a eventual existência de diferenças significativas entre grupos (anexo 6). Para letras diferentes em médias comparadas significa que há diferenças significativas ($p < 0,05$); letras iguais demonstram que não há diferenças significativas ($p > 0,05$).

CAPÍTULO IV - Apresentação e Discussão dos Resultados.



4. Apresentação e discussão dos resultados.

4.1. Caracterização da maçã fresca.

A caracterização da maçã fresca, nos parâmetros %H_i, pH_i e TSS_i, é determinante para servir de referência aos valores obtidos após os tratamentos de desidratação osmótica das maçãs com solução de sacarose.

Na figura 18, apresentam-se os valores médios e respetivos desvio padrão relativos a %H, pH, TSS, dos lotes de maçãs frescas sujeitas aos tratamentos de desidratação osmótica.

Verifica-se que o teor de humidade das maçãs frescas variou entre um máximo de 87,23% (m/m) e um mínimo de 84,46% (m/m). Estes valores são ligeiramente mais elevados do que os valores publicados pelo INSA (figura 5) em virtude de estes se referirem ao teor de humidade da maçã sem casca. No caso dos valores do pH referentes às maçãs frescas verificou-se que são ligeiramente mais elevados do que os publicados em alguma literatura consultada. Por analogia, os valores obtidos variaram entre um máximo de 4,75 e um mínimo de 3,80. Segundo Vieira *et al.* (2009), para a variedade “Gala” observaram-se valores entre 4,27 e 3,35.

Para o teor de sólidos solúveis a variação deu-se entre um máximo de 13,33 °Brix e um mínimo de 12,17 °Brix. Este parâmetro apresenta uma maior homogeneidade nos valores experimentais obtidos, em virtude da pré-seleção dos lotes de maçãs sujeitos ao processo de DO ter sido realizada com base numa triagem pelo teor de sólidos solúveis iniciais, no sentido de diminuir a dispersão de valores.

É de notar que nos parâmetros %H e pH se verificaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os lotes. Estes resultados podem ser explicados pelo facto de os ensaios se terem prolongado no tempo, iniciados em Janeiro e terminados em Junho.

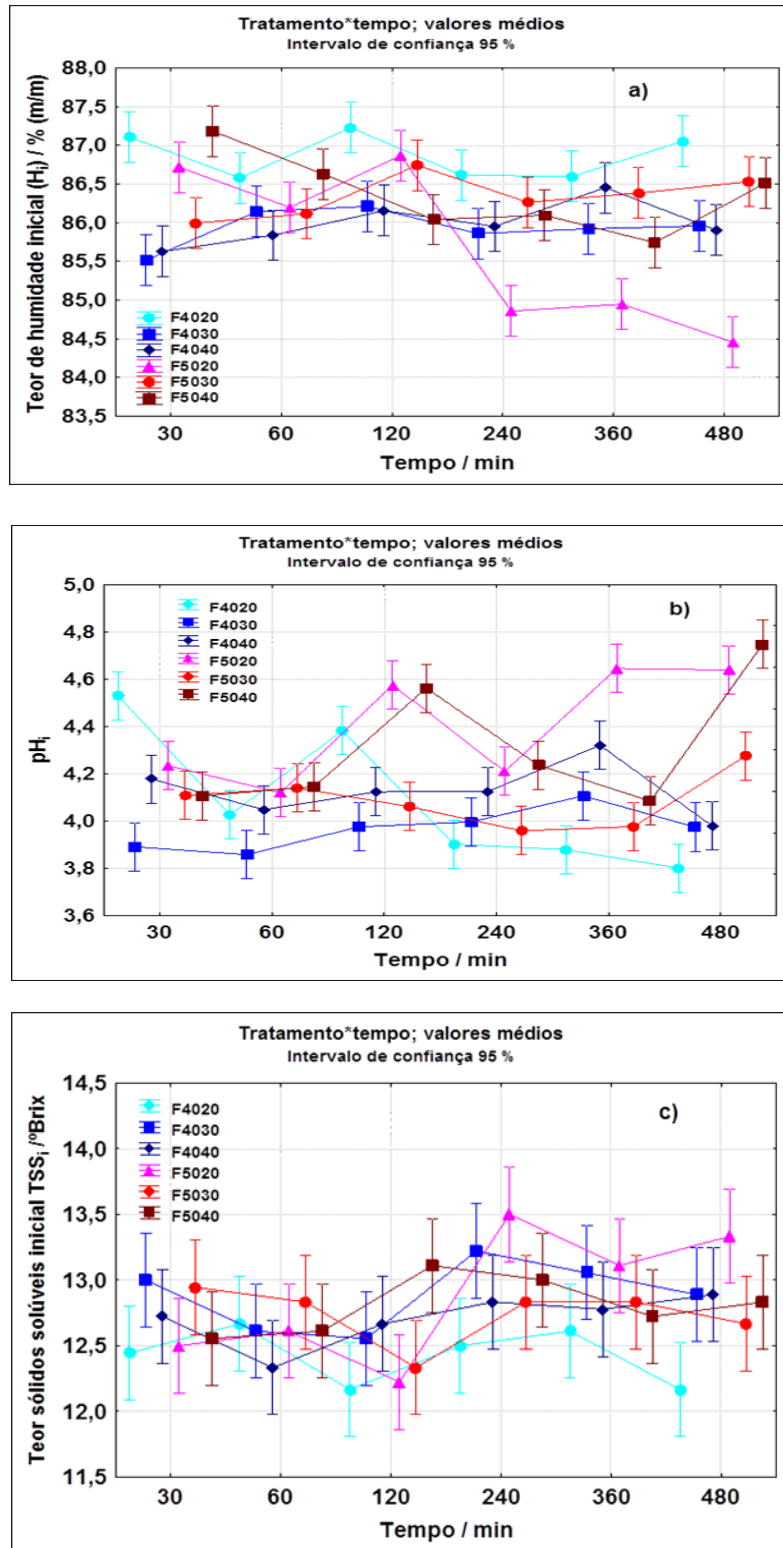


Figura 14. Valores iniciais para teor de humidade (a); teor de sólidos solúveis (b) e pH, (c) dos lotes de **maçã fresca** submetidos aos tratamentos de desidratação osmótica.

4.2. Ensaio preparatórios.

4.2.1. Parâmetros da desidratação osmótica.

No caso dos ensaios preparatórios realizados com uma solução de sacarose 40% (m/m) para uma temperatura de 20°C e duas proporções de massa de fruta e massa de solução (R5 e R10) determinaram-se: as perdas de peso, perdas de água e ganho de sólidos, com base nas medições experimentais das massas e do teor de humidade.

A perda de peso (PP) em relação ao inicial foi calculada segundo a equação 1 (pg. 27 e anexo 2). A perda de água (PA) em relação à massa inicial foi calculada segundo a equação 2 (pg. 27 e anexo 2) e o ganho de sólidos (GS) em relação à massa inicial foi calculado pela diferença entre as equações 2 e 1 (pg. 27 e anexo 2).

Nas figuras 15, 16, 17 e 18, apresentam-se o efeito das proporções 1:5 (R5) e 1:10 (R10) sobre os parâmetros do processo de desidratação (PP; PA; GS) ao longo do tempo, bem como sobre a humidade final das maçãs desidratadas para estas duas proporções estudadas.

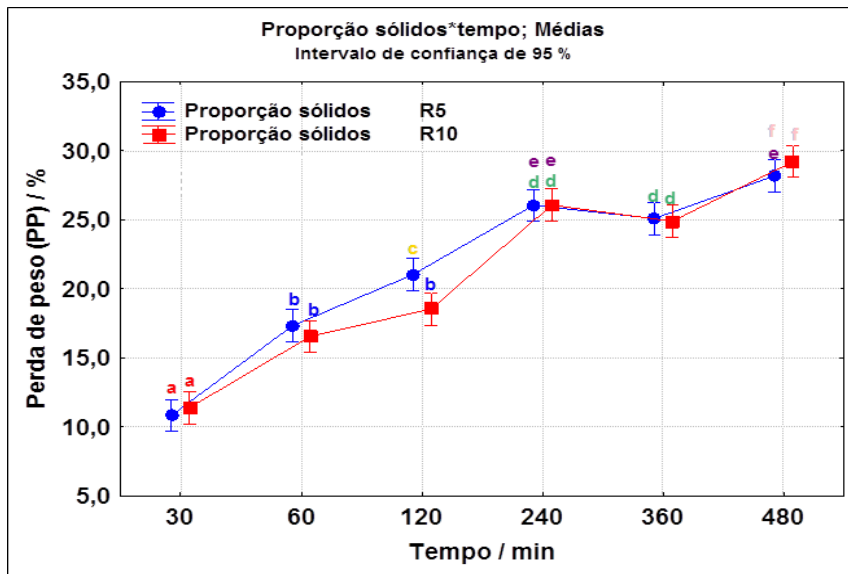


Figura 15. Cinética da perda de peso de **maçã desidratada** ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20°C para as proporções de 1:5 (**R5**) e 1:10 (**R10**).

Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

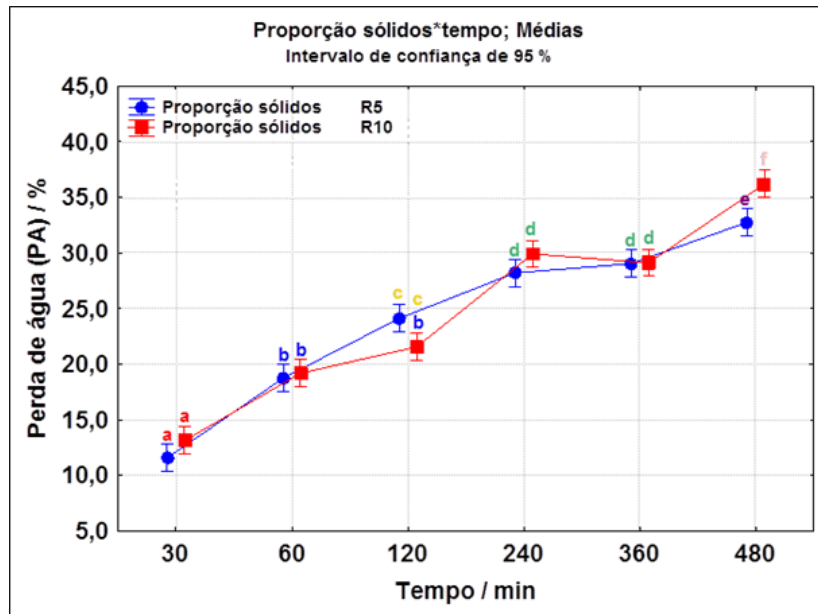


Figura 16. Cinética da perda de água de **maçã desidratada** ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20°C para as proporções de 1:5 (**R5**) e 1:10 (**R10**).

Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis.
Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

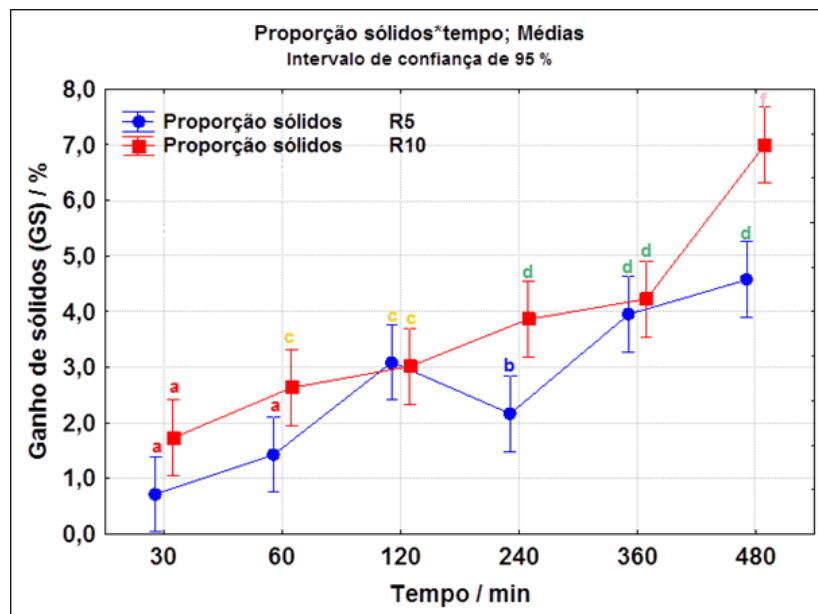


Figura 17. Cinética do ganho de sólidos de **maçã desidratada** ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20°C para as proporções de 1:5 (**R5**) e 1:10 (**R10**).

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis.
Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

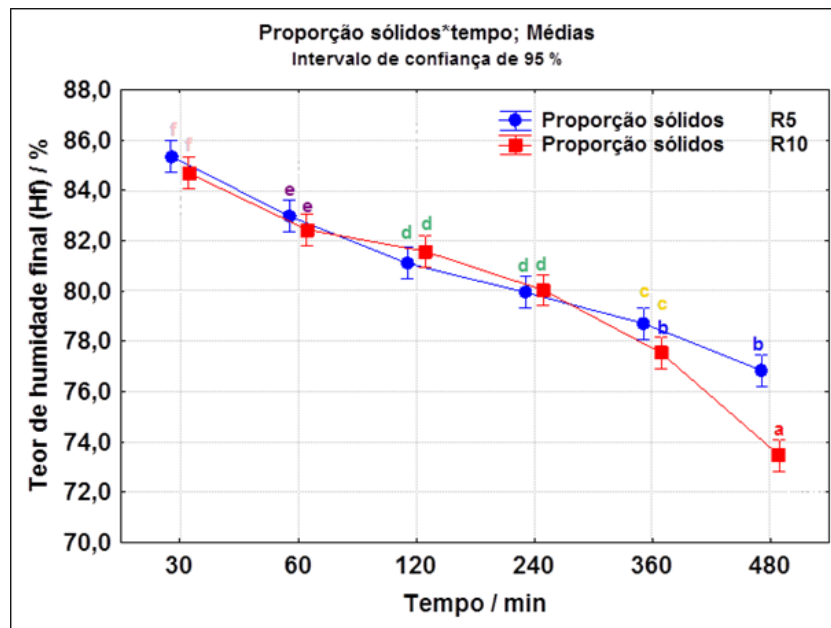


Figura 18. Teor de umidade final de **maçã desidratada** ao longo do tempo para o tratamento osmótico em solução de sacarose 40% a 20°C para as proporções de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis.
Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Verifica-se que a perda de peso, perda de água e ganho de sólidos aumentam ao longo do tempo de imersão e o teor de umidade da maçã desidratada diminui ao longo do tempo para as duas proporções. No entanto, através da análise estatística, de uma maneira geral pode-se verificar que não existem diferenças significativas nestes parâmetros para as duas proporções (R5 e R10). No caso dos valores do ganho de sólidos (figura 17) para o ensaio R10 verifica-se que estes são ligeiramente superiores aos valores do ganho de sólidos do ensaio R5, no entanto as diferenças não são significativas

Na figura 19 são apresentados a evolução da concentração da solução de sacarose (TSS/°Brix) e os valores de pH para as duas proporções R5 e R10, ao longo do processo de desidratação osmótica. Verifica-se que devido à transferência de massa da água proveniente da maçã, a concentração da solução de sacarose vai diminuindo ao longo do tempo para ambas as proporções. No caso da proporção R5 (1:5), partiu-se de uma concentração inicial da solução de sacarose de 40 °Brix; ao fim de 8 horas (480 min), diminuiu para 37,3 °Brix correspondendo a uma redução de 7,4%. No caso da proporção R10 (1:10), o fator de diluição da solução ao longo do tempo de desidratação não tem grande influência no teor da concentração final da solução de sacarose, apresentando esta, ao fim de 480 min o valor de 37,8 °Brix correspondendo a uma redução de 5,1%.

É possível concluir que para ambas as proporções, a variação da concentração da solução osmótica ao longo do tempo não apresenta uma diminuição muito acentuada.

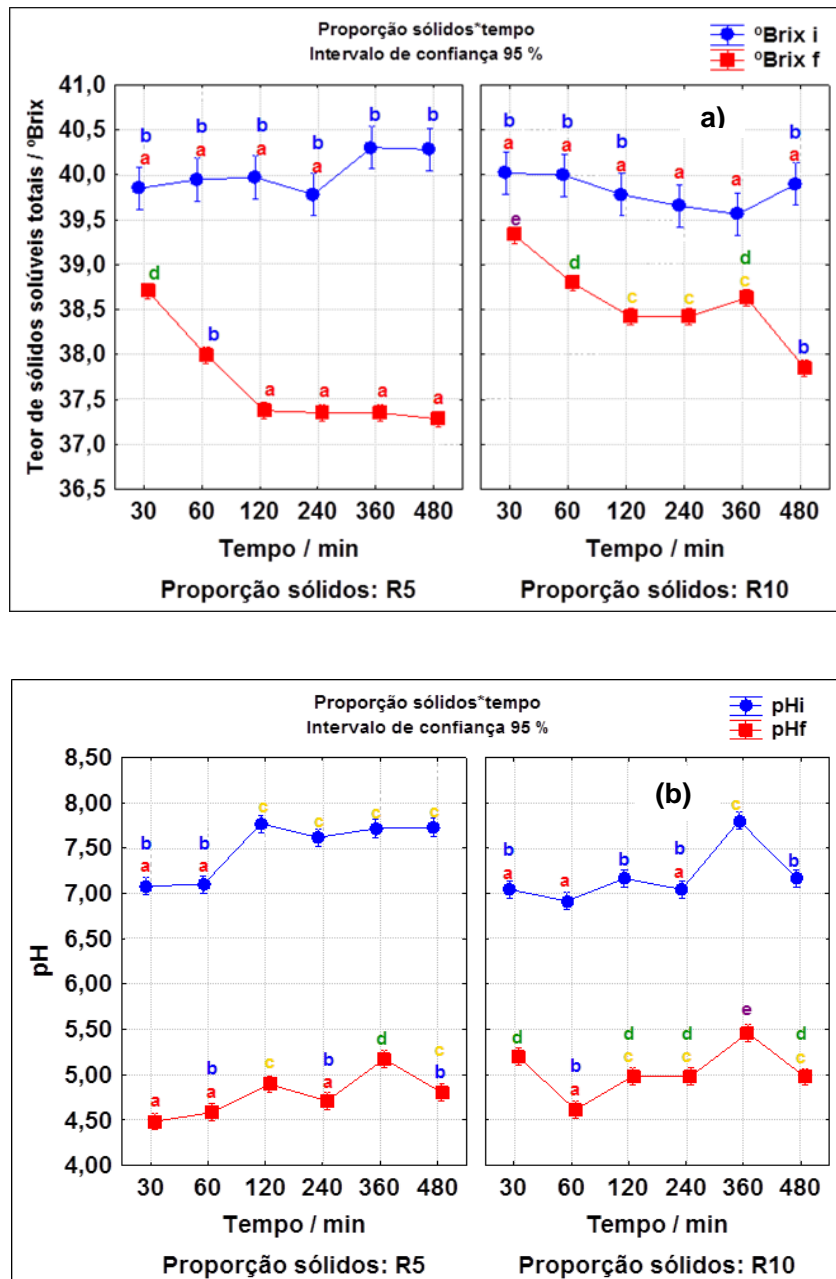


Figura 19. Evolução da concentração (a) e do pH (b) ao longo do tempo de imersão da **solução de sacarose** para uma proporção maçã/sacarose de 1:5 (R5) e 1:10 (R10).

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Relativamente à variação do pH da solução osmótica ao longo do processo de desidratação observa-se uma diminuição para ambas as proporções R5 e R10, baixando de pH 7 para valores na gama de pH 4,5 a 5. Isto pode ser devido à transferência dos ácidos orgânicos provenientes da maçã para a solução de sacarose. No entanto, não existem diferenças significativas entre os valores de pH para ambos os ensaios R5 e R10.

Com base nos resultados obtidos, é possível inferir que qualquer uma das proporções seria adequada para aplicar nos ensaios principais, pois ambas permitem controlar a concentração da solução de sacarose, dado que após 120 min de imersão, a concentração mantém-se constante facilitando, assim, a reposição da mesma.

Estes resultados estão de acordo com a literatura consultada (Mandalla *et al.*, 2004), em que, no caso da maçã *Red Delicious* em solução de glucose 30% (m/m) e solução de sacarose 45% (m/m), foi utilizada a razão 1:5 para evitar grandes alterações na concentração da solução.

4.3. Ensaio principais.

A partir dos resultados dos ensaios preliminares foi possível definir a proporção mais adequada para efetuar todos os tratamentos de desidratação osmótica para as maçãs.

A proporção ponderal de maçã e de solução a usar foi de 1:5, de forma a assegurar uma velocidade mais constante de troca de água/soluto.

Dalla *et al.* (2000) propuseram uma razão de 1:5 ou inferior, permitindo assim um melhor controlo da velocidade de diluição de forma a reduzir as diferenças de pressão osmótica entre a solução e a fruta durante o processo de desidratação osmótica.

4.3.1. Parâmetros da desidratação osmótica.

A evolução da transferência de massa em fatias de maçã submetidas ao processo de desidratação osmótica em solução de sacarose, é medida através da perda de peso (PP), perda de água (PA) e do ganho de sólidos (GS).

Os tratamentos com 40% e 50% (m/m) de sacarose foram efetuados para temperaturas de 20°C-30°C-40°C e tempos de desidratação de 30-60-120-240-360-480 min.

Nas figuras 20 e 21 apresentam-se os valores experimentais da transferência de massa, nomeadamente perda de peso (PP), perda de água (PA) para os tratamentos com 40% e 50% de sacarose.

Verifica-se que para ambos os tratamentos os valores médios de PP e PA aumentam ao longo do tempo de imersão e que no caso da perda de água (PA) os valores são sempre superiores à perda de peso (PP) devido à incorporação de sólidos na maçã (ganho de sólidos).

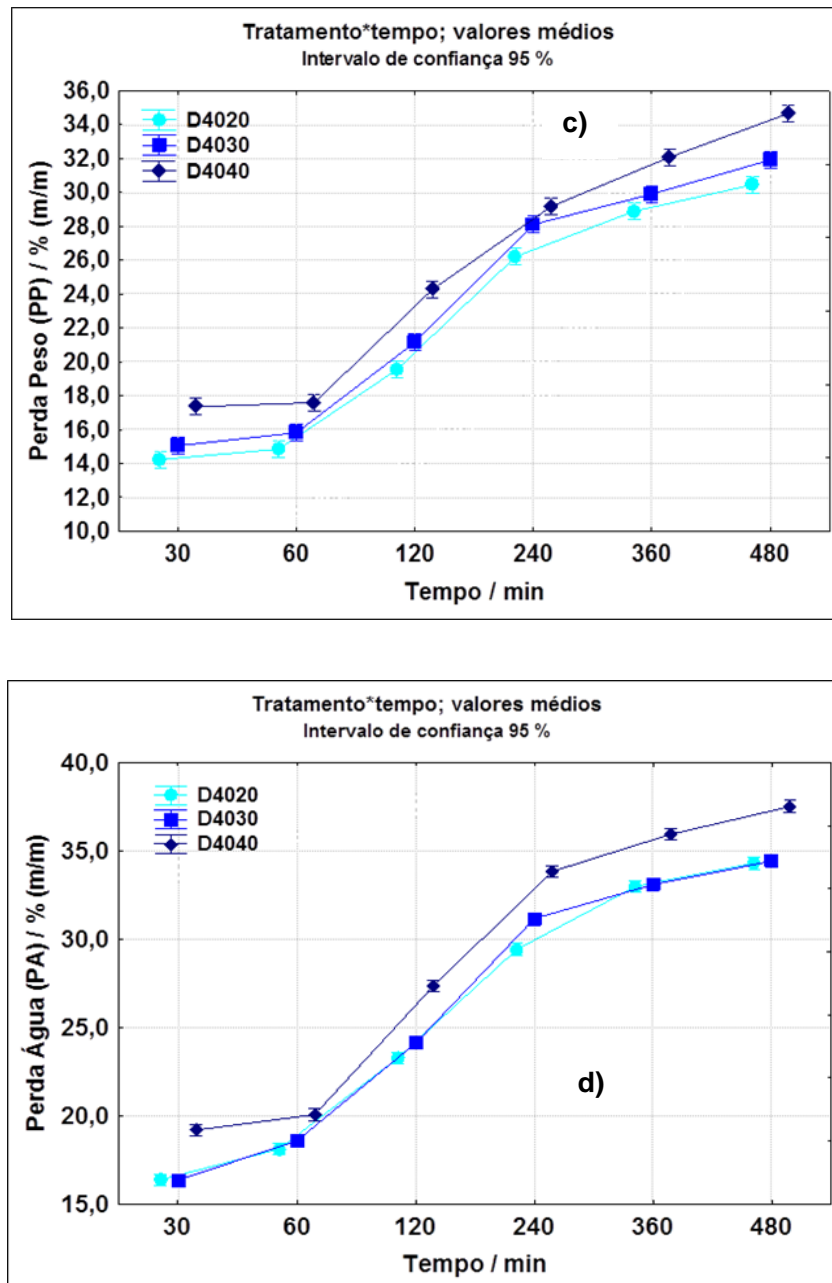


Figura 20. Cinética da perda de peso (c), perda de água (d) de maçã desidratada para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com sacarose 40%.

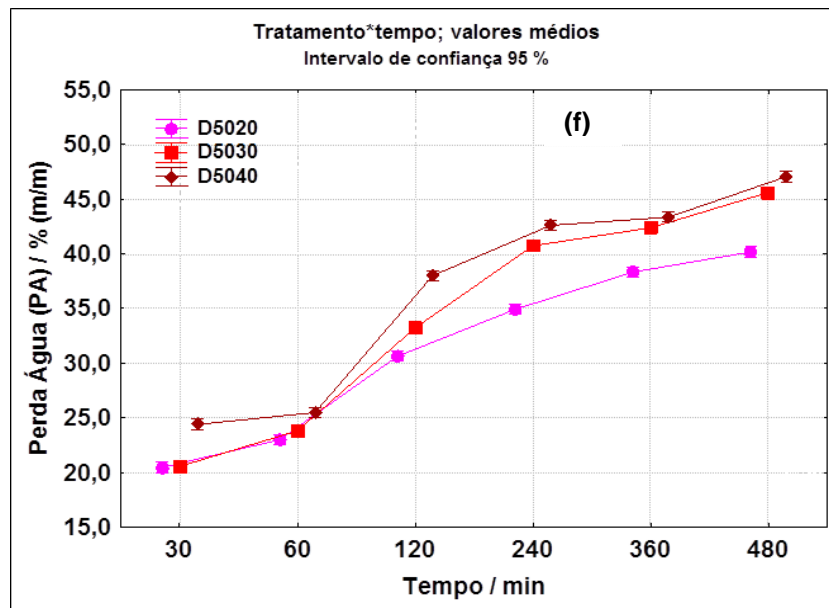
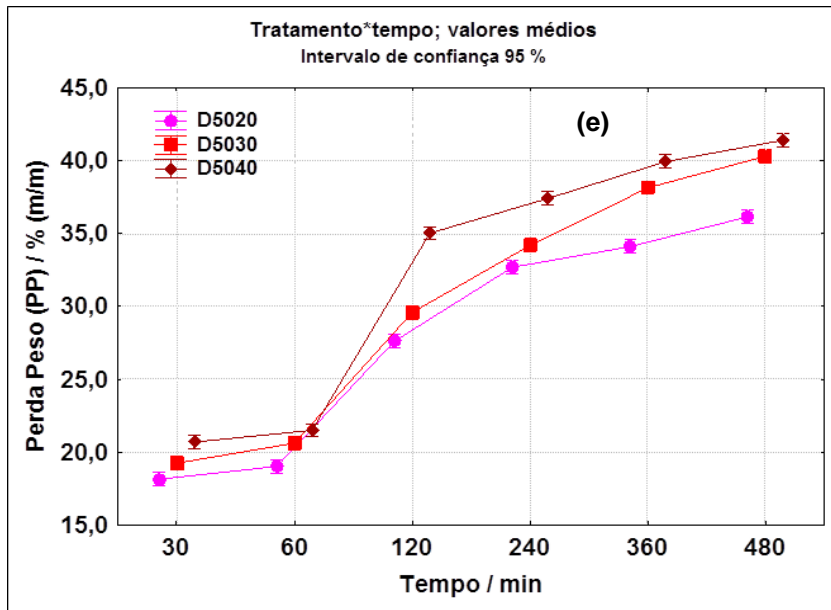


Figura 21. Cinética da perda de peso (e), perda de água (f) de **maçã desidratada** para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com sacarose 50%.

Verifica-se que no intervalo 30 a 240 min há alterações significativas para os parâmetros PP e PA, em ambos os tratamentos de desidratação osmótica. Observa-se um acentuado declive inicial (até 120 min) nas curvas experimentais, o que sugere uma elevada velocidade de transferência de massa nesta fase de desidratação. No intervalo de 240 a 480 min observa-se uma tendência para a estacionariedade, com a formação de um

patamar o que poderá indicar a aproximação da fase de equilíbrio (figura 20 e 21; cf. tabelas 5 e 6 no anexo 6).

Na sequência das observações anteriores verifica-se que a influência do tempo de imersão é mais significativa no intervalo de 30 a 240 min.

Com base nos dados experimentais verificou-se que a PP e a PA aumentam com a temperatura (figura 20 e 21). Por exemplo, no caso dos tratamentos 4020 (60 min) e 4030 (60 min), pelo facto de se aumentar a temperatura de 20°C para 30°C - ou seja, com um incremento de 10°C - origina-se apenas um aumento de 0,96% na PP; contudo, quando se duplica a temperatura, ou seja, no tratamento 4040 (60 min), o efeito na PP é de um aumento de 2,74% relativamente ao tratamento 4020 (60 min).

No caso do tratamento com solução de sacarose de 50% (m/m) o efeito da temperatura apresenta a mesma tendência. Por exemplo, no tratamento 5020 (60 min) um aumento de 10°C, ou seja, o tratamento 5030 (60 min) promove um aumento de 1,59% na PP e quando se aumenta para 40 °C, ou seja, o tratamento 5040 (60 min), o seu efeito é o de um aumento de 2,47% na PP relativamente ao tratamento 5020 (60 min).

Para o parâmetro PA observa-se também o mesmo efeito da temperatura. Pode-se assim concluir que só há diferenças significativas nos valores médios da perda de peso e da perda de água para a temperatura de 40°C, em ambos os tratamentos, ou seja, um incremento de 10°C na temperatura não é muito significativo, mas um incremento de 20°C já é significativo. Esta conclusão pode ser explicada com base no facto de ao aumentar a temperatura vai-se aumentar o coeficiente de difusão da água para a solução e também promover maior transferência de massa pela diminuição da viscosidade da solução osmótica.

O efeito da concentração de sacarose nos valores médios da PP é significativo. Da análise dos valores experimentais, verificou-se que os valores da PP aumentam significativamente com o aumento da concentração de sacarose (figura 20 e 21). Por exemplo, no caso do tratamento 4020 (60min), obteve-se um valor médio de 14,85% de perda de peso e quando se aumentou a concentração de sacarose para 50% (m/m), com o mesmo tempo de imersão, obteve-se um valor médio de 19,03 % de perda de peso, ou seja, houve um incremento de 4,18% na PP. Para o tratamento 4020 (120min) o valor médio da PP é 19,55% e no caso da concentração de 50% (m/m) de sacarose, o valor médio da PP é 27,62% ou seja, houve um incremento de 8,07% na PP (tabelas 5 e 7 no anexo 6).

O efeito da concentração de sacarose nos valores médios da PA também é significativo. Verificou-se que PA aumenta com a concentração de sacarose. No caso do tratamento 4020 (60min), obteve-se um valor médio de 18,12% de perda de água e para a concentração de sacarose de 50% (m/m), com o mesmo tempo de imersão, obteve-se um

valor médio de 22,99 % de perda de água, ou seja, houve um aumento de 4,87%. Para o tratamento 4020 (120min), obteve-se, para a perda de água, o valor médio de 23,27% e no caso da concentração de 50% (m/m) de sacarose, o valor médio da PA foi de 30,67%, ou seja, houve um aumento de 7,40% na PA (tabelas 5 e 7 no anexo 6).

Resumindo, um aumento na concentração de sacarose promove um aumento na perda de peso e também na perda de água devido à maior pressão osmótica da solução, ou seja, existe um maior gradiente de concentrações entre a maçã e a solução de sacarose, pelo que se pode considerar que a concentração da solução osmótica é o parâmetro fundamental neste processo de desidratação.

Na figura 22 apresentam-se os valores médios experimentais do ganho de sólidos (GS) para os tratamentos de 40% e 50% em massa de sacarose. Os valores médios do ganho de sólidos são sempre menores do que a perda de peso e a perda de água, pois o ganho de sólidos ocorre através de um processo de permeação e difusão, contrariamente ao que sucede com a PA, onde a remoção de água é devida ao mecanismo de osmose, resultante do gradiente de concentrações entre a maçã e a solução de sacarose.

De uma maneira geral, verificou-se um ganho de sólidos crescente nos primeiros 120 minutos, em ambos os tratamentos, o que pode ser devido à maior diferença entre a pressão osmótica da solução e do fluido celular, bem como da pequena resistência à transferência de massa, nesta fase do processo.

No caso do tratamento com 40% (m/m) de sacarose, verificou-se um aumento sempre crescente do ganho de sólidos até 120 minutos. No tratamento com 50% (m/m) de sacarose, este aumento de ganho de sólidos verificou-se mais cedo, ao fim de 60 min, ou seja, o processo de transferência de massa é mais rápido para a concentração de 50% de sacarose, pois atinge a gama de valores de GS entre 3 a 4 % para esse intervalo de tempo, comparativamente ao tratamento a 40 % que só atinge essa gama de GS ao fim dos 120 min. Estas conclusões podem ser também confirmadas pela inclinação das curvas experimentais do GS em função do tempo de imersão (figura 22). A partir dos 240 min, os valores do GS em ambos os tratamentos mostram-se aproximadamente estacionários ou seja, a tender para a fase de equilíbrio como se pode observar na figura 22 e nas respetivas tabelas 5 e 7 (anexo 6)

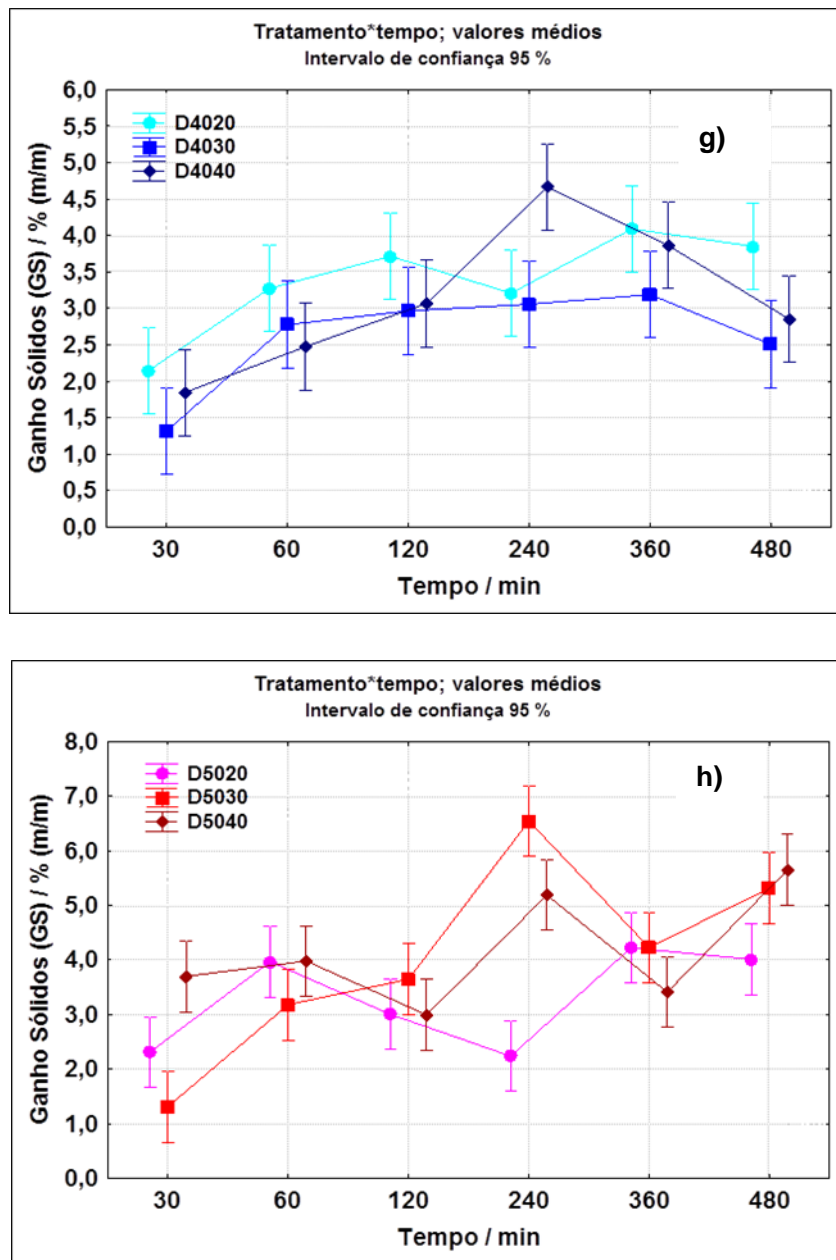


Figura 22. Cinética do ganho de sólidos de **maçã desidratada** para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com 40% **(g)** e 50% **(h)** de sacarose.

Em relação ao efeito da temperatura para o GS, em qualquer concentração de sacarose, estudada, verificou-se que não existem diferenças significativas para os valores médios do GS com o aumento da temperatura. Em geral o ganho de sólidos é afetado pela temperatura da solução, pois quando esta aumenta podem surgir alterações na permeabilidade da parede celular, originando alterações na sua seletividade aos solutos existentes na solução. Segundo Rastogi, *et al.* (2002), um aumento na temperatura vai

influenciar a viscosidade da solução, ou seja, esta vai diminuir, favorecendo assim a difusão do soluto para o interior da maçã.

Em relação ao ganho de sólidos (GS), seria de esperar que este aumentasse com a temperatura e com a concentração de sacarose, pois o aumento da temperatura diminui a viscosidade, logo aumenta o coeficiente de difusão da sacarose para a maçã com o consequente aumento do ganho de sólidos. No entanto, em ambos os tratamentos este efeito da variável temperatura e concentração não se verificou, possivelmente porque os ensaios foram realizados sem agitação da solução osmótica e a partir de maiores tempos de imersão, poder-se-á ter depositado uma película de sacarose sobre a superfície da maçã, impedindo a entrada de solutos, mas não a saída de água. Outro aspecto a realçar é que a gama de temperaturas utilizada não foi muito elevada.

Os resultados experimentais obtidos estão de acordo com um dos objetivos principais da desidratação osmótica, que é atingir maiores perda de água e pequenas incorporações de sólidos. Segundo Lenart *et al.* (1996), o pré-tratamento osmótico deve ser realizado por um pequeno período de tempo, suficiente para atingir taxas de redução de água elevadas e ganhos de sólidos baixos, para que as características da fruta, (cor, textura e sabor) possam ser preservadas, e não se afastem demasiado do sabor da fruta fresca. Por outro lado, quanto maior a perda de água, menor a a_w da maçã e maior a vida de prateleira, com a consequente redução de possíveis contaminações microbiológicas.

4.3.2. Propriedades físico-químicas da maçã desidratada.

4.3.2.1. Teor de humidade.

Na figura 23 apresenta-se a variação do teor de humidade final da maçã para os tratamentos com 40% e 50% (m/m) de sacarose, a diferentes temperaturas ao longo do tempo de imersão. Verifica-se que o teor de humidade final da maçã diminui ao longo do tempo de imersão. Observa-se também que o aumento da temperatura não teve um efeito muito significativo no teor de humidade final.

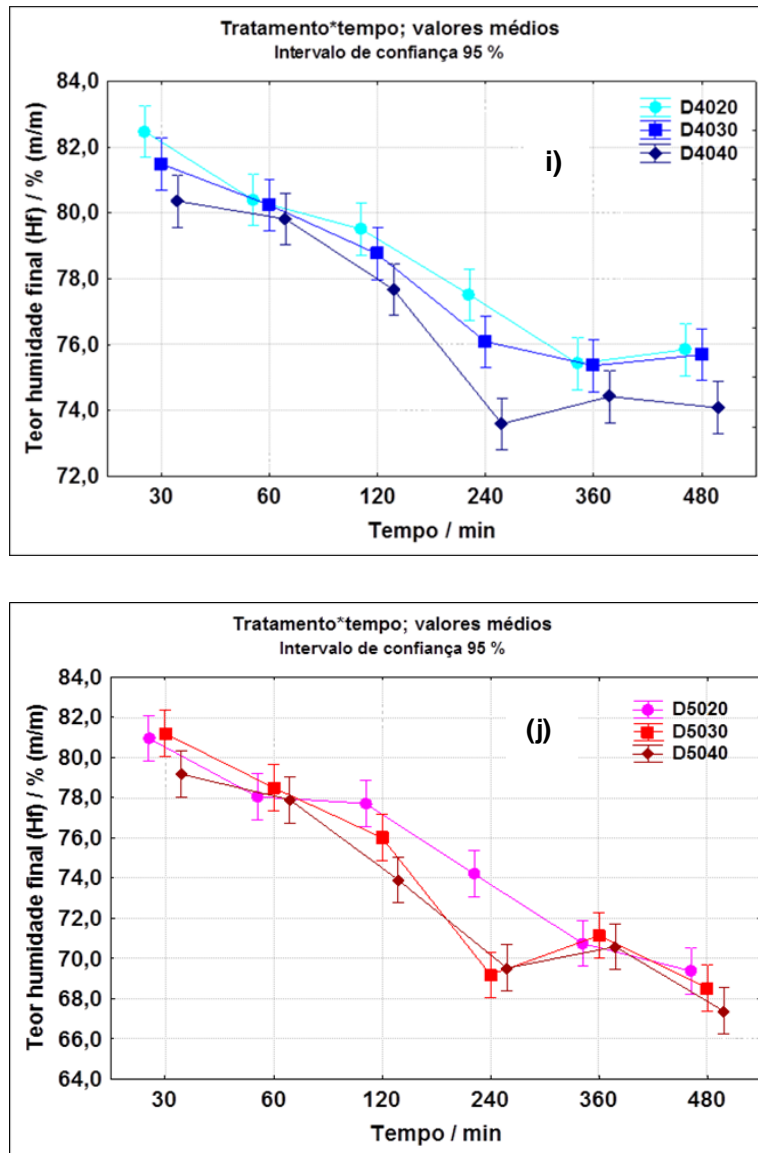


Figura 23. Teor de humidade final de **maçã desidratada** com 40% **(i)** e 50% **(j)** de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.

É de realçar que o teor de humidade final diminui de forma acentuada - qualquer que seja a concentração ou a temperatura da solução de sacarose - até ao tempo de imersão de 240 minutos, após esse tempo os valores mantêm-se de uma forma geral, mais ou menos constantes.

A maior variação no teor de humidade final verifica-se no intervalo de tempo de 30 a 240 min, em concordância com a tendência já apresentada na perda de peso e na perda de água.

4.3.2.2. Teor de sólidos solúveis.

Os dados experimentais do teor de sólidos finais (TSS_f) da maçã indicam um aumento acentuado até aos 240 minutos de tempo de imersão, para ambos os tratamentos de desidratação osmótica (figura 24 e 25).

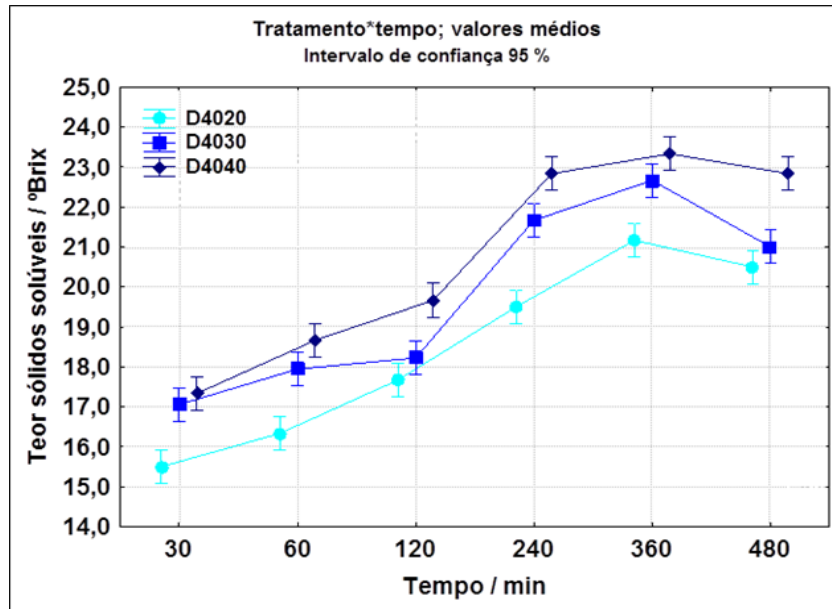


Figura 24. Variação do teor de sólidos solúveis de **maçã desidratada** para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com de 40% de sacarose.

Numa primeira fase, que compreende o intervalo de 30 a 240 minutos de tempo de imersão, o TSS aumenta rapidamente. Enquanto que na segunda fase (tempo de imersão superior a 240 minutos) a transferência de massa não é tão significativa.

No início do processo de desidratação osmótica, a presença de uma concentração elevada de sacarose e um gradiente elevado, origina uma rápida transferência de massa (água sai e os solutos entram) e após 240 minutos, esta transferência de massa vai diminuindo até eventualmente se atingir o equilíbrio para ambos os tratamentos (figura 24 e 25).

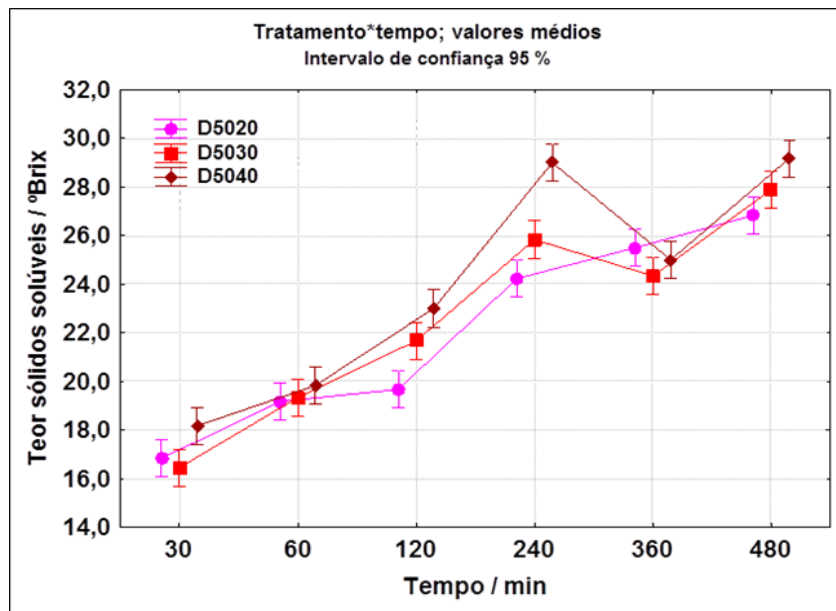


Figura 25. Variação do teor de sólidos solúveis de **maçã desidratada** para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão no tratamento com de 50% de sacarose.

A variação do teor de sólidos (TSS_f) com a concentração de sacarose da solução osmótica é significativa (figura 24 e 25 e tabelas 6 e 8 do anexo 6), verificando-se que aquele teor aumenta com o aumento da concentração de sacarose.

Em relação ao efeito da temperatura em ambos os tratamentos, não se verificaram diferenças significativas no teor de sólidos, com exceção do tratamento 4020, eventualmente devido à natureza cinética deste processo, onde se conjugam os efeitos concentração (mais baixa) e temperatura (ambiente.)

4.3.2.3. pH.

Na figura 26 apresenta-se a variação do pH final da maçã para as diferentes temperaturas nos tratamentos de 40% e 50% (m/m) de sacarose ao longo do tempo de imersão na solução osmótica.

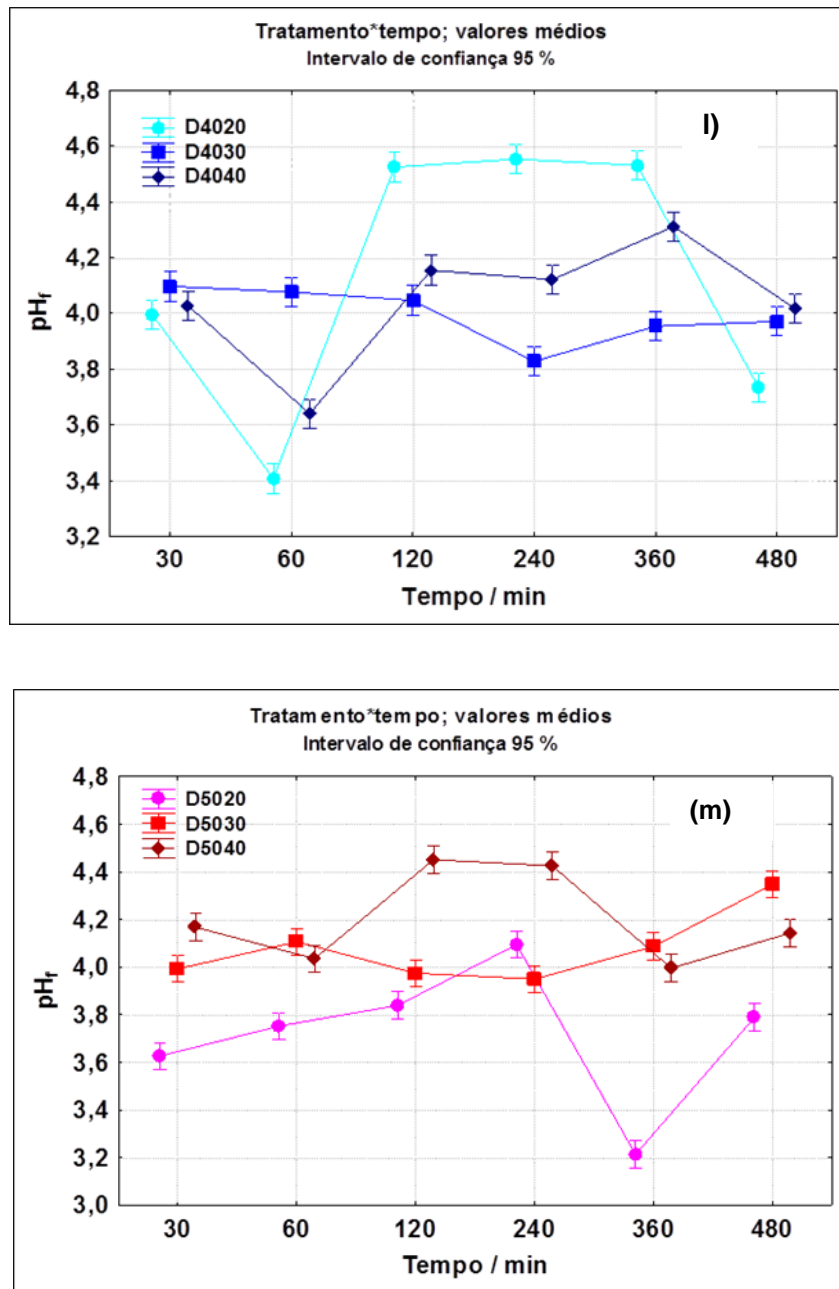


Figura 26. Variação do pH de **maçã desidratada** com 40% **(l)** e 50% **(m)** em massa de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.

Em relação aos valores de pH final da maçã desidratada para ambos os tratamentos, não se verificaram variações muito significativas ao longo do tempo de imersão, pois considerando que o pH inicial da maçã fresca apresentou um valor médio de 4,18, com um máximo de 4,75 e um mínimo de 3,86, os valores obtidos após a desidratação osmótica não se afastaram muito do pH inicial, nomeadamente para os tratamentos 4030 e 5030, cujos valores médios de pH são praticamente constantes ao longo do tempo de

imersão. De todos os parâmetros estudados para caracterização das maçãs após a desidratação osmótica, o pH não é uma variável muito relevante, pois o fluxo de ácidos orgânicos da maçã para a solução osmótica é menos importante no processo de transferência de massa (Lenart,1996; Torreggiani,1993; Raoult-Wack,1994).

4.4. Parâmetros da maçã desidratada *versus* maçã fresca.

4.4.1. Açúcares redutores.

Os açúcares contribuem significativamente para a qualidade organolética da maçã e são determinantes para tornar o fruto com paladar agradável, conferindo-lhe o sabor doce (Wu *et al.*, 2007). São os açúcares e a sua relação com o teor de acidez, que caracterizam grande parte das características sensoriais que se reconhecem na maçã.

Na figura 27 apresentam-se os valores experimentais dos açúcares redutores da maçã fresca e desidratada, para os vários tratamentos, ao fim de quatro horas de imersão.

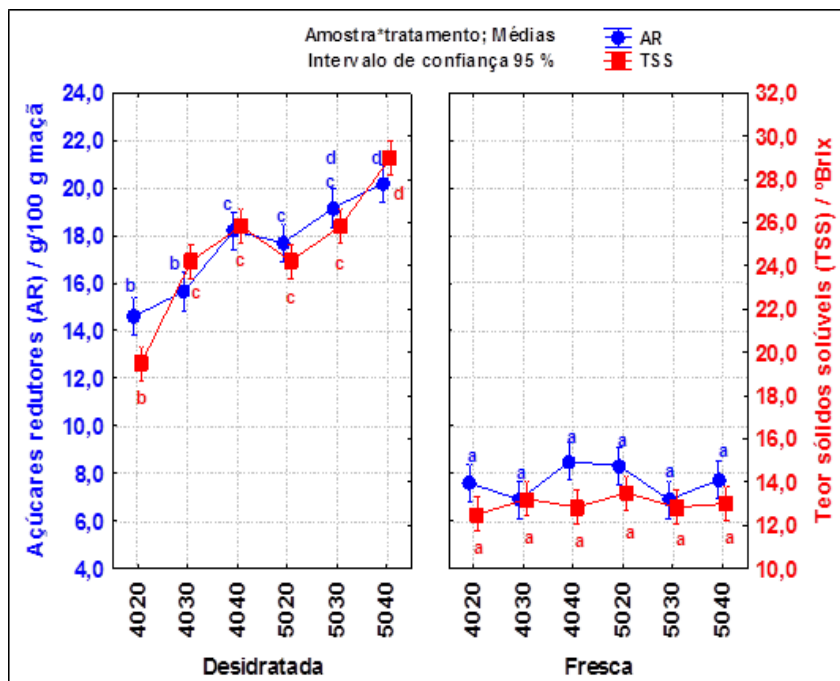


Figura 27. Açúcares redutores *versus* teor de sólidos solúveis de **maçã desidratada** e **maçã fresca** ao longo de quatro horas para o tratamento com 40% e 50% de sacarose.

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Para a maçã fresca verifica-se que não há diferenças significativas para os teores de açúcares redutores e para o teor de sólidos solúveis dos vários lotes utilizados nos diversos tratamentos de desidratação, o que confirma que os lotes de maçãs foram homogêneos e com um estado de maturação muito semelhante.

Após os tratamentos de desidratação osmótica, verificou-se um aumento nos teores de açúcares redutores (AR) em relação à maçã fresca. Este facto deve-se em parte à perda de água durante o processo, tendo como consequência a concentração dos nutrientes.

Em relação às maçãs desidratadas observa-se um aumento dos açúcares redutores com o aumento da concentração da solução de sacarose e também da temperatura, devido à transferência de massa da sacarose para a fruta e possivelmente à hidrólise da sacarose.

Verifica-se também que a um aumento do teor de sólidos solúveis (TSS) ao longo dos tratamentos corresponde um aumento dos açúcares redutores (figura 27).

Na maçã desidratada o TSS e o AR aumentam em todos os tratamentos, verificando-se que não existem diferenças significativas entre os tratamentos 4020 e 4030 bem como nos tratamentos 5020 e 5030.

4.4.2. Acidez total.

A acidez total, é um dos parâmetros mais importantes na avaliação sensorial de maçãs, dado que permite prever com algum rigor o sabor ácido e o aroma dos frutos (Petkovšek *et al.*, 2007). Em geral a maçã fresca apresenta teores de acidez relativamente elevados, de 0,13 a 1,67 g ácido málico/100 g de peso fresco (Vieira *et al.*, 2009)

Os valores médios experimentais da acidez total (AT) da maçã fresca e desidratada para os vários tratamentos, com um tempo de imersão de quatro horas, são apresentados na figura 28.

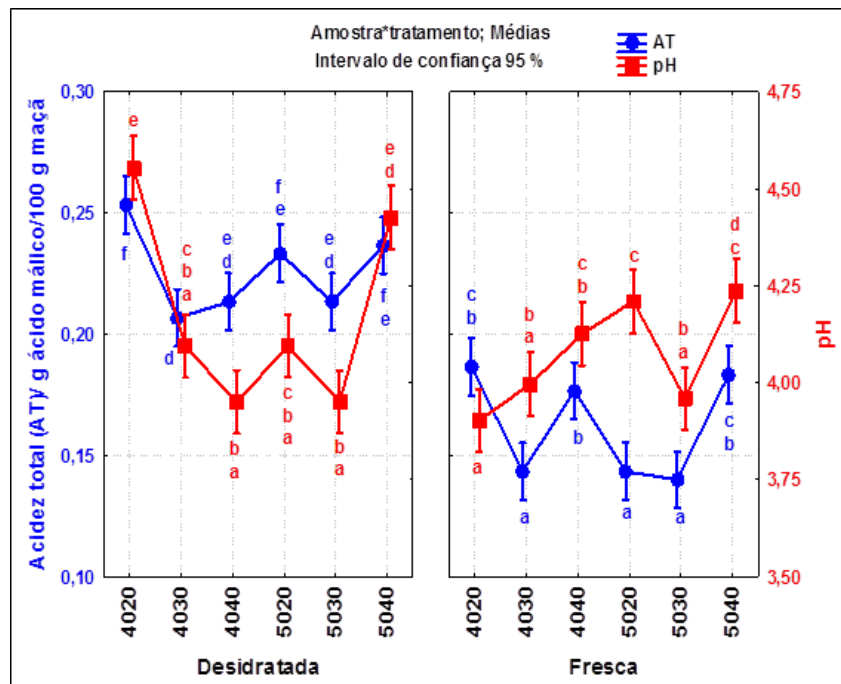


Figura 28. Acidez total versus pH de maçã desidratada e maçã fresca ao longo de quatro horas para o tratamento com 40% e 50% de sacarose. (Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Observou-se que a maçã fresca apresentou uma acidez total entre 0,14 e 0,19 g de málico/100 g de maçã. Estes valores são ligeiramente menores do que os obtidos por Franco (2011), que obteve para a maçã *Royal Gala* (proveniente de Torres Vedras) um valor de acidez total de 0,54 g de málico /100g (b.h.), o que pode ser explicado pelo facto de a acidez variar consideravelmente entre as diversas variedades, nomeadamente pelo seu estado de maturação e proveniência geográfica.

Após os tratamentos de desidratação osmótica verificou-se um ligeiro aumento na acidez total em relação às maçãs frescas, variando de 0,21 a 0,25 g de málico/100 g de maçã. Este facto deve-se em parte à perda de água durante o processo, tendo como consequência a concentração dos nutrientes, e também, pelo facto das membranas plasmáticas terem mantido a sua característica de semi permeabilidade, retendo parte dos ácidos orgânicos. Caso as estruturas estivessem totalmente destruídas, não haveria a presença de ácido málico e a solução de sacarose ocuparia todos os espaços do tecido celular da maçã (Rodrigues, 2003).

Em relação aos valores pH, como se referiu, não se verificaram variações muito significativas para as concentrações 40% e 50% (m/m) de sacarose. Este facto pode ser explicado considerando que na desidratação osmótica, o fluxo de solutos (ácidos

orgânicos) da maçã para a solução de sacarose seja menos relevante na transferência de massa (Lenart, 1996; Torreggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994).

4.4.3. Textura.

A textura é reconhecida como um dos mais importantes atributos de qualidade em frutas. A redução do conteúdo de água na fruta, durante a desidratação osmótica, provoca alterações nas propriedades mecânicas.

Nas frutas as propriedades mecânicas estão relacionadas com as características da textura e sensoriais, as quais estão intimamente ligadas à estrutura celular. A firmeza da parede celular está relacionada com a composição em pectina que promove a adesão das células entre si. Além de variar de acordo com o grau de maturação da fruta, a pectina é bastante sensível ao calor, podendo alterar a sua composição na lamela média, conforme a intensidade do processo de desidratação osmótica ou secagem (Lewicki, *et al.*, 2000). A desidratação osmótica altera a textura dos frutos tornando-os mais macios e origina menor redução de dimensões durante a secagem, devido à impregnação do soluto desidratante durante o processo.

Consoante as condições dos tratamentos utilizadas, foram analisadas as alterações da textura apenas para as amostras correspondentes a quatro horas de tempo de imersão. Os resultados experimentais da dureza da maçã fresca e desidratada são apresentados na figura 29.

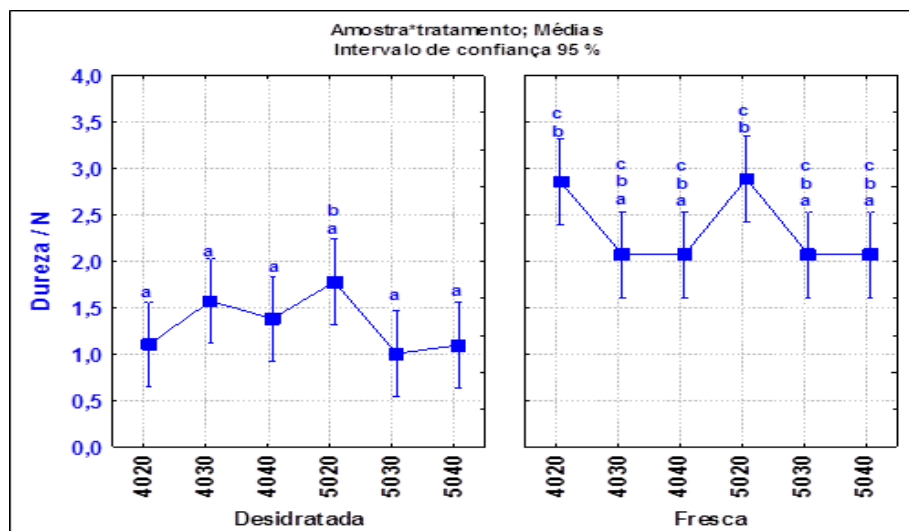


Figura 29. Comportamento da dureza de **maçã desidratada versus maçã fresca** para o tratamento de 40% e 50% de sacarose ao longo de quatro horas de imersão.

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Observa-se que a maçã fresca não apresenta diferenças significativas na dureza, o que confirma a sua homogeneidade.

Em relação à maçã desidratada, verifica-se que a dureza diminui com o pré-tratamento, mas não apresenta diferenças significativas entre tratamentos. Estes resultados são confirmados pelo estudo (Weis *et al.*, 2004) em maçãs e bananas em solução de sacarose 47°Brix a 30°C que observou uma diminuição da dureza em relação ao produto fresco e pelo contrário, a elasticidade e mastigabilidade aumentaram.

4.5. Propriedades físico-químicas da solução de sacarose.

4.5.1. Teor de sólidos solúveis.

Durante o processo de desidratação osmótica, devido à transferência de massa, também ocorrem variações nas propriedades físico químicas da solução de sacarose

Na figura 30 apresenta-se a evolução do teor de sólidos solúveis inicial e final da solução de sacarose para ambos os tratamentos, para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de desidratação.

Verificou-se que uma variação na concentração final da solução de sacarose ao longo do tempo de imersão, independentemente da concentração inicial (40% ou 50%), não é significativa, como seria de esperar. Para uma concentração inicial (TSS_{si}) de 40% (m/m) de sacarose, ao fim de 8 horas (480 min) de desidratação osmótica verificou-se uma redução de 7,5% na concentração da solução. No caso da concentração inicial (TSS_{si}) de 50% (m/m) de sacarose houve uma redução de 8,0% na concentração final da solução.

Resumindo, a redução na concentração final da solução de sacarose ao longo do tempo de imersão é semelhante para os dois tratamentos (40% ou 50%).

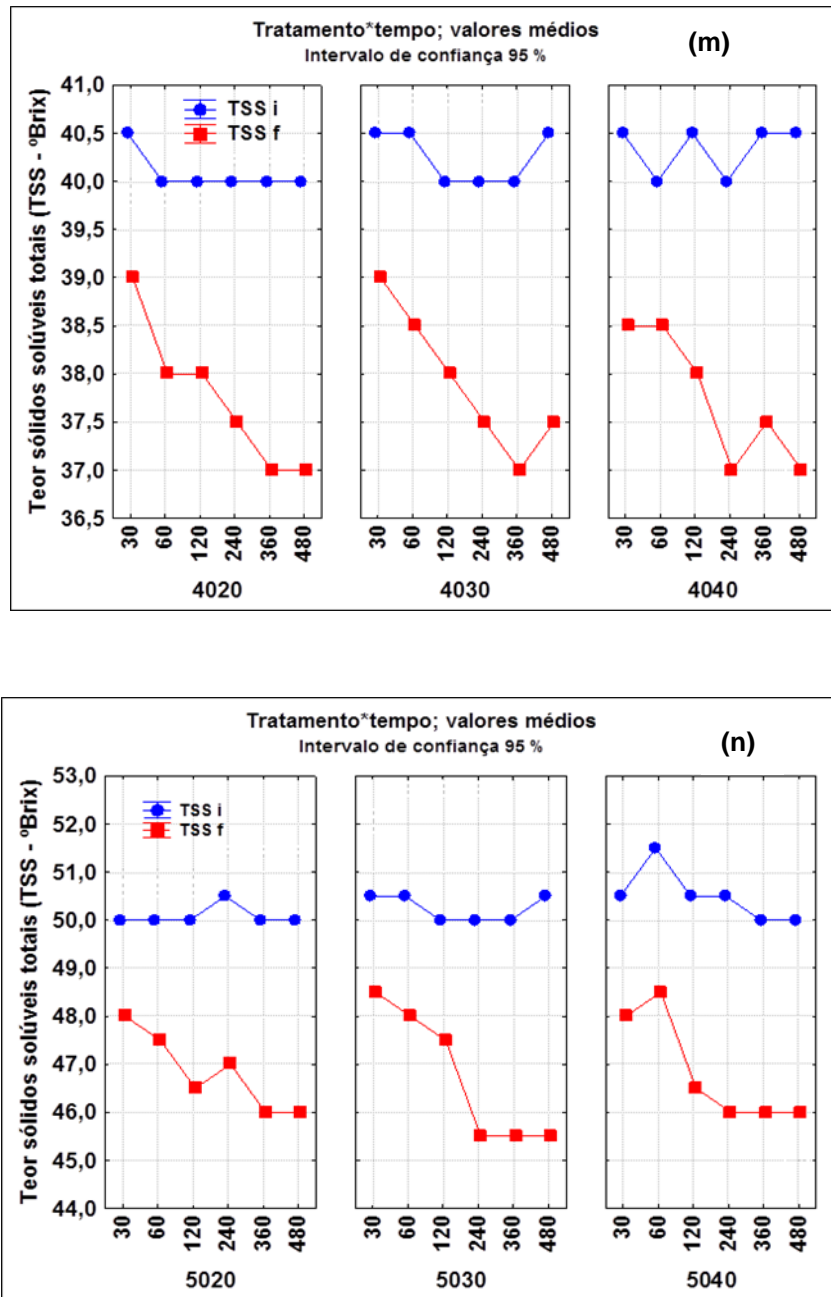


Figura 30. Variação do teor de sólidos solúveis da **solução de sacarose 40% (m)** e 50% **(n)** para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.

4.5.2. pH.

Na figura 31 e 32 apresentam-se a variação do pH da solução de sacarose para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C em ambos os tratamentos, ao longo do tempo de imersão.

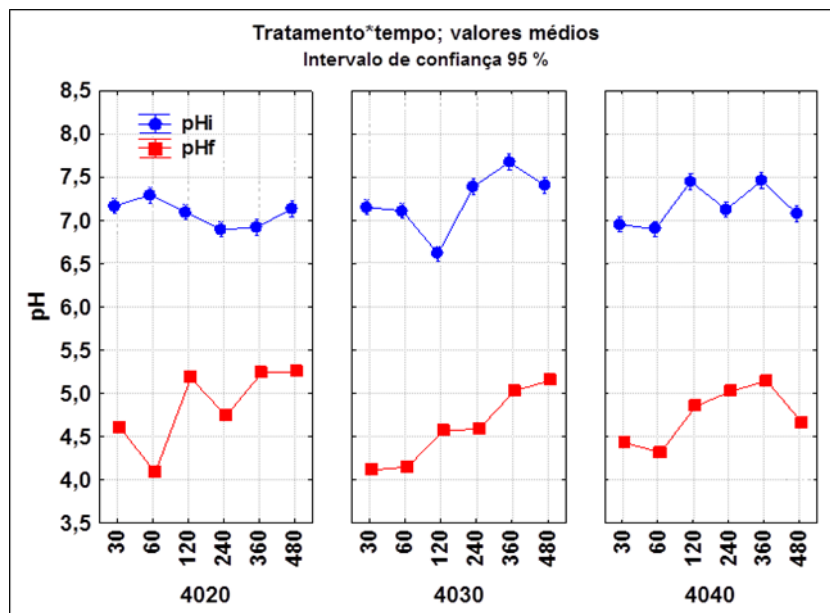


Figura 31. Variação do pH da solução de sacarose 40% para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.

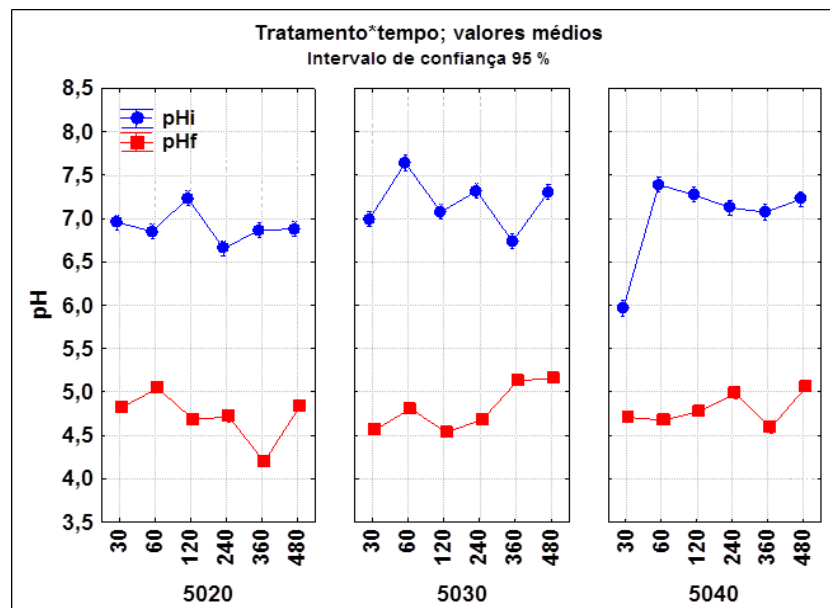


Figura 32. Variação do pH da solução de sacarose 50% para as temperaturas de 20°C-30°C-40°C ao longo do tempo de imersão.

Tendo em conta que o pH inicial da solução de sacarose apresenta um valor médio de 7,16 (tabelas 9 e 11 no anexo 6) a variação do pH final ao longo do tempo de desidratação apresenta diminuições significativas para ambas as soluções de sacarose. Este fato pode ser explicado pela transferência de ácidos orgânicos da maçã para a

solução osmótica. A redução do pH foi mencionada por Marco Dalla Rosa *et al.* (2000) e está de acordo com Raoult-Wack *et al.* (1994), que apontam perdas de compostos solúveis por parte das frutas na desidratação osmótica, tais como ácidos, pigmentos e vitaminas.

4.6. Análise sensorial.

É imprescindível o desenvolvimento e fabrico de produtos que sejam do agrado do consumidor, logo o conhecimento das características requeridas pelos consumidores é uma das aplicações mais importantes no desenvolvimento de novos produtos.

Os resultados da prova sensorial são apresentados no quadro 6 e ilustram as pontuações atribuídas pelos provadores para cada atributo sensorial das amostras.

Em relação ao desempenho sensorial dos produtos, podem ser feitas algumas considerações com base na pontuação de preferência dos atributos sensoriais (quadro 6).

No caso do aspeto visual, as amostras mais pontuadas correspondem ao tratamento 5020 e ao tratamento 4040. As amostras com pontuação mais baixa correspondem à maçã sem tratamento osmótico (SDO).

Quadro 6. Pontuação de preferência de maçã desidratada com pré-tratamento *versus* maçã desidratada sem pré-tratamento.

Atributo	Tratamento						
	SDO	4020	4030	4040	5020	5030	5040
Aspeto visual	1	4	3	6	7	2	5
Aroma	1	3	6	5	7	4	2
Sabor	1	5	4	7	6	3	2
Dureza	1	2	3	4	7	6	6
Crocância	1	2	3	6	7	5	4

Para o atributo aroma os tratamentos 4030, 4040 e 5020 foram também os que obtiveram pontuação mais elevada e a maçã sem tratamento osmótico não foi muito apreciada pelos provadores.

Quanto ao sabor, o painel de provadores atribuiu a pontuação mais elevada ao tratamento 4040 e ao tratamento 5020. Aqui mais uma vez a maçã sem tratamento osmótico obteve a menor pontuação.

Em relação à análise sensorial de textura (dureza e crocância) foi atribuído a pontuação mais elevada ao tratamento 5020. Como já aconteceu com os outros atributos foi atribuída à maçã SDO a menor pontuação no atributo da dureza e crocância.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que todos os provadores foram unânimes em preferirem as maçãs desidratadas em detrimento da maçã SDO.

Importa mencionar a elevada aceitação das maçãs produzidas no tratamento 5020 em todos os atributos sensoriais por este conjunto de provadores. A maçã obtida com o tratamento 4040 foi a segunda em termos de preferência.

No perfil sensorial (figura 33) pode-se observar que a maçã do tratamento 5020 tem a pontuação máxima para o aspeto visual, aroma, dureza, crocância e sabor. Logo a seguir na preferência dos provadores vem a maçã sujeita ao tratamento 4040.

Os melhores resultados sensoriais obtidos estão em concordância com aqueles obtidos para a perda de água nas maçãs tratadas osmoticamente que correspondem à concentração de 40% e 50 % (m/m) de sacarose e temperatura de 40°C e 20°C (tratamento 5020 e 4040), cujos valores médios a 240 min são muito semelhantes, no caso 33,84% e 34,93% (tabela 7 e 5) respectivamente, podendo-se colocar a hipótese de ser considerada a gama ótima de processo.

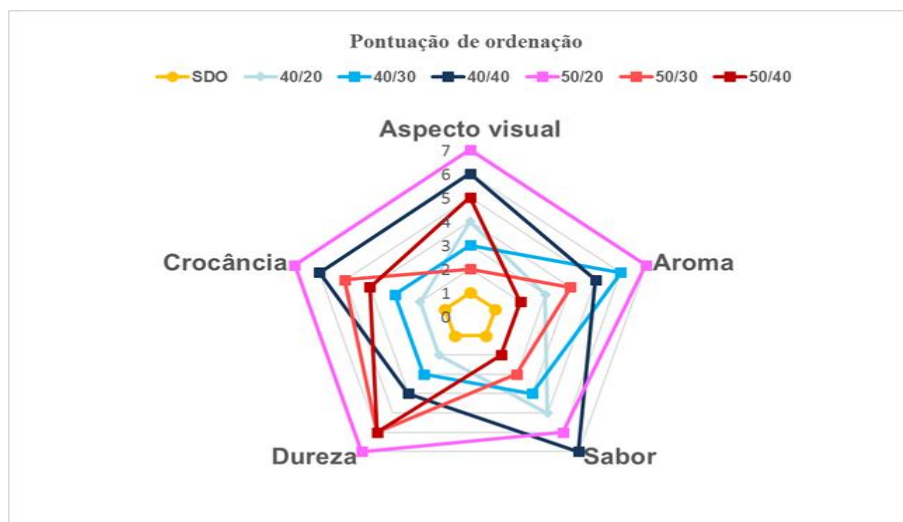
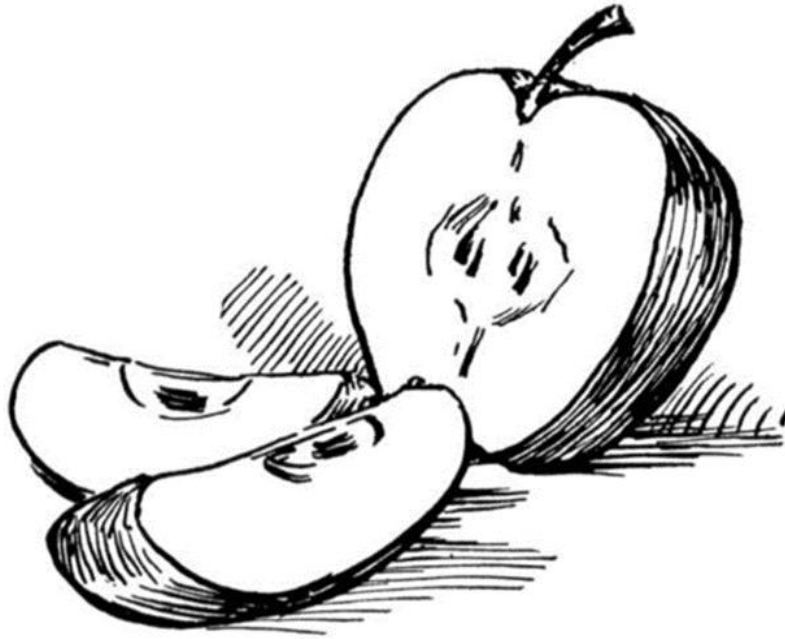


Figura 33. Perfil sensorial de maçã pré tratada e seca.

Em todos os atributos a pontuação mais baixa foi para a maçã SDO. Em relação ao aspeto visual estas maçãs apresentavam uma cor mais escura do que as maçãs pré tratadas com sacarose devido à proteção que a solução osmótica exerce sobre a superfície da maçã, impedindo a ação da enzima polifenoloxidase, responsável pelo escurecimento na presença de oxigénio. Outro facto foi as maçãs pré tratadas terem apresentado menor redução de dimensões do que a maçã SDO.

CAPÍTULO V – Conclusões Finais.



5. Conclusões finais.

Relativamente aos ensaios preparatórios a análise estatística permitiu inferir que não existiam diferenças significativas nos valores médios dos parâmetros PP, PA e GS para as duas proporções estudadas. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que qualquer uma das proporções R5 ou R10 seria adequada para aplicar nos ensaios principais, pois ambas permitem controlar a concentração da solução de sacarose, uma vez que após 120 min de imersão a redução da concentração da solução inicial mantém-se constante facilitando assim a reposição da mesma.

Para a proporção R5, a concentração inicial da solução de 40%(m/m) ao fim de 8 horas diminuiu para 37,3%, correspondendo a uma redução de 7,4%. No caso da proporção R10, não se verificou uma influência tão grande na diluição da solução osmótica, dado que para a mesma concentração inicial de sacarose, ao fim de 8 horas, o seu valor baixou para 37,8%, ou seja, deu-se uma redução de 5,1%. Conclui-se que para ambas as proporções a concentração da solução de sacarose ao longo do tempo não apresentou diminuições muito significativas, pelo que a proporção ponderal de maçã e solução selecionada foi de 1:5 (R5). Pretendeu-se, assim, evitar alterações significativas na concentração da solução durante o processo, assegurar uma velocidade aproximadamente constante de troca de água/soluto e também, por razões económicas.

Nos ensaios principais, conforme foi mencionado na discussão dos resultados, verificou-se que para ambos os tratamentos, os valores médios de PP e PA aumentam ao longo do tempo de imersão e que no caso da perda de água (PA), os valores são sempre superiores à perda de peso (PP), devido à incorporação de sólidos na maçã (GS). Para o intervalo de 30 a 240 min existem alterações significativas para os parâmetros de PP e PA em ambos os tratamentos, devido à elevada transferência de massa neste período de desidratação. Para o intervalo de 240 a 480 min observou-se uma tendência para o equilíbrio. Pode-se concluir que a influência do tempo de imersão nos valores médios de PP e PA é significativa no intervalo entre 30 a 240 min.

Em relação ao efeito da temperatura, verificou-se um aumento dos valores de PP e PA. O efeito da concentração da solução de sacarose nos valores médios de PP e PA é significativa. Verificou-se um aumento no PP e PA com o aumento da concentração de sacarose, ou seja, uma concentração mais elevada de sacarose na solução osmótica, promove um aumento da perda de peso e perda de água, devido ao maior gradiente de concentração entre a maçã e a solução.

Em relação ao GS, verificou-se que não existem diferenças significativas com o aumento da temperatura, para ambos os tratamentos. Para o tratamento com 40%(m/m) de sacarose, verificou-se um aumento crescente do ganho de sólidos até aos 120 minutos. No caso do tratamento com 50% (m/m) de sacarose, o processo de transferência de massa é mais rápido, uma vez que, este aumento no ganho de sólidos verificou-se mais cedo, ou seja, ao fim de 60 minutos.

Ao longo do pré-tratamento de desidratação osmótica as maçãs sofrem alterações químicas e físicas. Em relação ao teor de humidade final da maçã desidratada, verificou-se que este diminui ao longo do tempo de imersão em ambos os tratamentos. O teor de humidade final diminuiu de forma acentuada qualquer que seja a concentração ou a temperatura da solução de sacarose até ao tempo de imersão de 240 minutos; posteriormente, os valores de teor de humidade mantêm-se de uma forma geral estacionários. A partir do tempo de desidratação de 240 minutos pode estar a acontecer que o processo esteja a evoluir para o equilíbrio, sugerindo que o tempo de imersão de 240 minutos é suficiente para a desidratação de maçã para ambos os tratamentos.

Em relação ao efeito da temperatura no teor de sólidos final da maçã desidratada não existem diferenças significativas para ambos os tratamentos.

O pH da maçã desidratada em ambos os tratamentos, ao longo do tempo de imersão não apresentou variações muito significativas.

Em relação ao teor de açúcares redutores da maçã desidratada verificou-se um aumento em relação à maçã fresca. Verificou-se também que a um aumento do teor de sólidos solúveis finais na maçã desidratada corresponde um aumento nos açúcares redutores.

No parâmetro acidez total, para ambos os tratamentos, verificou-se um ligeiro aumento na maçã desidratada em relação à maçã fresca.

Observou-se uma diminuição na dureza da maçã desidratada em relação à maçã fresca, no entanto, não houve diferenças significativas entre tratamentos.

Observaram-se alterações nas propriedades físico químicas da solução de sacarose ao longo do processo de desidratação osmótica, devido à transferência de massa. Ocorreram diminuições significativas nos valores médios de pH, com a conseqüente acidificação das soluções, para ambas as soluções de sacarose, ao longo do tempo de desidratação. Verificou-se também para ambos os tratamentos uma diminuição da concentração da solução de sacarose entre o intervalo de 30 a 240 minutos, mas a partir de 240 minutos esta redução manteve-se constante.

Em relação às provas sensoriais, todos os provadores foram unânimes na preferência da maçã desidratada em detrimento da maçã sem pré-tratamento, sendo uma indicação clara que a desidratação osmótica permite que as características da fruta

desidratada não se afastam demasiado do sabor da fruta fresca, pelo que se pode considerar esta tecnologia um processo promissor de pré-tratamento a aplicar antes da secagem.

É importante salientar a elevada preferência dos provadores nas maçãs sujeitas ao tratamento 5020 em todos os atributos sensoriais. A maçã desidratada obtida com o tratamento 4040 foi a segunda em termos de preferência.

Os melhores resultados sensoriais para o tratamento 5020 e 4040 estão em concordância com os resultados obtidos para a elevada perda de água e perda de peso nas maçãs tratadas com a solução de sacarose 50% (m/m) e temperatura de 20°C, bem como a solução de sacarose 40% (m/m) e temperatura de 40°C, podendo ser apontadas como as melhores condições do processo.

Finalmente é de salientar que a desidratação osmótica da maçã *Royal Gala* seguida de secagem permite tornar este produto mais aceitável do que a maçã sem pré-tratamento, contribuindo assim para a sua valorização.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Realização de ensaios microbiológicos à maçã desidratada osmoticamente para comprovar a sua estabilidade microbiológica.
- Realização de testes de cor para estudar as alterações de cor da maçã desidratada osmoticamente.
- Analisar a atividade de água da maçã (e eventualmente da solução osmótica) ao longo do processo de desidratação osmótica.
- Analisar os solutos solúveis que migram para a solução osmótica.
- Estudar a cinética da desidratação osmótica e a influência na transferência de massa com introdução de agitação na solução osmótica.
- Estudar o número de ciclos possíveis para a reutilização da solução osmótica.
- Estudos com outros possíveis edulcorantes para o pré-tratamento osmótico, o que possibilitaria o consumo por diabéticos e pessoas em dietas restritivas de açúcar.
- Aplicação de maçã desidratada em produtos de panificação (pão; bolos), na indústria de laticínios (yogurtes), na produção de compotas, no fabrico de barras de cereais e analisar a aceitação desses novos produtos.
- Estudar a combinação dos métodos de desidratação osmótica e secagem convectiva.

- Estudar a desidratação osmótica associada a outras tecnologias emergentes como alta pressão hidrostática, desidratação a vácuo, aplicação de ultrassons e micro-ondas.
- Estudar o tipo de embalagem e atmosfera modificada mais adequada para garantir a qualidade final da maçã desidratada.
- Estudos de tempo de vida útil da maçã desidratada.

CAPÍTULO VI – Referências Bibliográficas.



6.Referências Bibliográficas.

- AOAC, (1990).** *Official methods of analysis. Agricultural chemicals, contaminants, drugs.* Volume 1, 15th Ed. Association of Official Analytical Chemist, Arlington.
- Aguilera, J. M., Stanley, D. W. (1990).** *Microstructural Principles of Food Processing & Engineering.* London: Elsevier Applied Science. 343 p.
- Alzamora, S. M., Gerschenson, L. N.,Vidales S. L., Nieto A. (2000).** *Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation.* Food Engineering. Edited by P. Fito, E. Ortega-Rodríguez, G. V. Barbosa-Cánovas, 416 p.
- Apaza, C. A. S. (2007).** *Deshidratación Osmótica de Alimentos.* Boletim de Divulgação Tecnológica Agroindustrial, v 1.
- Azuara, E.; Cortés, R.; Garcia, H. S.; Silystrom M. (1992).** *Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law.* International Journal of Food Science and Technology, v. 27, p. 409-418, 1992.
- Azuara, E., Garcia H.S., Berstain, C. I. (1996).** *Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples.* Food Research International, v. 29; n. 2; p. 195 - 199.
- Babbar, N., Oberoi, H., Uppal, D., & Patil, R. (2011).** *Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues.* Food Research International, 44:391 - 396.
- Baroni, A., Hubinger M. (2000).** *Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions.* Dehydration Processes, 1274 - 1278.
- Beristain, C. I., Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S. (1990).** *Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings.* International Journal of Food Science and Technology. v. 25, p. 576 - 582.
- Bianchi, M., Milisenda, P., Guarnaschelli, A., Mascheroni, R. H. (2009).** *Modelado y simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas.* Ingeniería alimentaria (83), p. 52 - 60.
- Bolin, H. R., Huksoll, C. C., Jacson, R., NG, K. C. (1983).** *Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality.* Journal of Food Science, v.48 n.5; p.202 - 205.
- Boyer, J., Liu, R. (2004).** *Apple phytochemicals and their health benefits.* Nutrition Journal, 3:p.1 - 15.
- Cavaco, M., Jordão, P. & Sousa, R., (2006).** *Produção Integrada da Cultura de Pomóideas.* Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Direcção-Geral de Protecção das Culturas, Oeiras, 167 pp.
- Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Savatović, S., Mandić, A., Tumbas, V. (2008).** *Assessment of polyphenolic content and in vitro antiradical characteristics of apple pomace.* Food Chemistry, 109: p.340 - 347.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Chen, X. D. e Mujumdar, A. S. (2008).** *Drying Technologies in Food Processing*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd. pp. 1 - 109.
- Chinnici, F., Bendini, A., Gaiani, A., Riponi, C. (2004b).** *Radical scavenging activities of peels and pulps from cv. Golden Delicious apples as related to their phenolic composition*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52, p. 4684 - 4689.
- Codex Standard for Apples. (2010).** Codex Stan 299-2010. Disponível, <http://www.codexalimentarius.net>. Acesso em 27 de janeiro 2016.
- Dalla Rosa M., Giroux F. (2000).** *Osmotic treatment and problems related to the solution management*. Journal of Food Engineering, 49, 75 - 270.
- E. J. (2005).** *Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: Avaliação de um estudo osmótico semi-contínuo, da secagem e da qualidade*. Tese (Doutoramento), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.
- FAOSTAT. (2016).** Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> Acesso em 25 de Fevereiro de 2016.
- Feliciano, R., Antunes C., Ramos, A., Serra, A., Figueira, M., Duarte, C., Carvalho, A., Bronze, M. (2010).** *Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1 – Nutritional, phytochemical and sensory evaluation*. Journal of Functional Foods, n. 2; p. 35 - 45.
- Ferreira, D. (2003).** *Estudo das Transformações Bioquímicas e Químicas da Pera de S. Bartolomeu Durante o Processo de Secagem - Recurso Endógeno da Região*. Departamento de Química, vol. Doutoramento. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Fito, P. (1994).** *Modelling of vacuum osmotic dehydration of food*. Journal of Food Engineering, 22 (1 - 4), 313 - 328.
- Franco, M., L. (2011).** Características físico-químicas. Propriedades funcionais e perfil de compostos fenólicos de 17 variedades de maçãs portuguesas. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Qualidade Alimentar. Universidade Nova de Lisboa.
- FSTA (2015).** Food Science and Technology Abstracts.
- García-Martínez E., Ruiz-Díaz G., Martínez-Monzó J., Camacho M. M., Martínez-Navarrete N., Chiralt A. (2002).** *Jam manufacture with osmodehydrated fruit*. Food Research International, 35 301 - 306.
- Giangiacomo, R. Torreggiani D., Abbo E. (1987).** *Osmotic dehydrated of fruit, Part I-Sugar Exchange*. Journal of Food Processing and Preservation n.11; p.183 - 195.
- Globalagrinar, (2016).** Ficha de internacionalização da maçã. Gabinete de planeamento e políticas. Disponível:<http://www.gpp.pt/GlobalAgriMar/informacao/docs/Produtos/Fichas/2012S2MacaFI.pdf>. Acesso em 25 de Fevereiro de 2016.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Gomes, A. T., Cereda, M. P., Vilapoux, O. (2007).** Desidratação Osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 3, (3), 212 - 226.
- GPP (2007a.).** Sub-fileira: Maçã, Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 17pp.
- GPPAA - Gabinete de Planeamento e Política Agroalimentar, Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e Pescas, (2006).** Anuário 2006 - Vegetal - Crop Production Yearbook. Nº 7427/96, Lisboa. Acesso 25.02.2016.
- Hampson, C. R., Kemp, H. (2003).** *Characteristics of important commercial apples cultivares*, In: Ferree, D. C. & Warrington, I. J. (Eds.) *Apples, botany, production and uses*. CABI Publishers, Cambridge, MA, EUA, p.61 - 90.
- Henríquez, C.; Speisky, H.; Chiffelle, I.; Valenzuela, T.; Araya, M.; Simpson, R.; Almonacid, S. (2010).** *Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary*. *Journal of Food Science*, Chicago, n. 6, v.75, p.H172 – H181.
- INE (Instituto Nacional e Estatística). (2016).** Consumo humano de frutos *per capita* (kg/hab.) por espécie frutícola (balanços e mercado). Instituto Nacional de Estatística, in http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000163&contexto=bd&selTab=tab2.
- INSA (Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge). (2006).** Tabela da composição de alimentos. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa, ISBN: 972-8643-19-5, 355 pp. Disponível em <https://insa.foodcase.ch/foodcomp/pdf?731>.
- Khanizadeh, S., Tsao, R., Rekika, D., Yang, R., Deell, J. (2007b).** *Phenolic composition and antioxidant activity of selected apple genotypes*. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 5(1):61 - 66, ISSN: 1459 - 0255.
- Kowalska, H., Lenart, A. (2001).** *Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables*. *Journal of Food Engineering*, n.49, p.137-140.
- Krokida M. K., Oreopolou V., Maroulis Z. B., Marinos-Kouris D., (2001).** *Deep fat frying of potato strips-quality issues*. *Drying Technology*, 19 (5) 879 - 935.
- Labuza, T. P. (1970).** Properties of water as related to the keeping quality of foods. In *proceedings of the third Intern. Conf. Food Sci. and Technol. SOS 70*. Institute of Food Technologists. Washington.
- Labuza, T. P. (1980).** *The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration*. *Food Technology*, 4, 36 - 41, 59.
- Laranjeira, C. M. C., (2010).** Determinação dos açúcares redutores. Método espectrofotométrico do DNS. Procedimento interno da Escola Superior Agrícola de Santarém (ESAS).

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Lazarides, H. N. (1994).** *Osmotic preconcentration developments and prospects. In minimal processing of foods and process optimization.* Edited by Singh R. and Oliveira F., CRC PRESS, London, p. 73 - 85.
- Lazarides, H. N., Mavroudis, N. (1996).** *Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium.* Journal of Food Engineering, 30, 61 - 74.
- Leccese, A., Bartolini, S. & Viti, R. (2009).** *Antioxidant properties of peel and flesh in "GoldRush" and "Fiorina" scab-resistant apple (Malus domestica) cultivars,* New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, n.37(1), p.71 - 78.
- Lemos, N.Fernandes, F., Costa, D. & Correia, H. (2009).** Estudo comparativo de diferentes grupos de variedades de macieiras. Revista Millenium, 37. In <http://www.ipv.pt/millenium/Millenium37/10.pdf>.
- Lenart A., (1996).** *Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application.* Drying Technology, v.14, p.391 - 413.
- Lenart A., Flink J. M. (1984).** *Osmotic concentration of potato. Criteria for the end point of osmosis process.* J. Food Technology 19, p. 45 - 60.
- Lenart, A., Piotrowski, D. (2001).** *Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films.* Drying Technology., v.19, n.5, p. 849 - 877.
- Lerici, C., Pinnavaia G., Rosa M. D. and Bartolucci L. (1985).** *Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality.* Journal of Food Science, 50: p.1217 - 1219.
- Lewicki, P.P., Lenart, A. (1995).** Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In A.S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial drying, Vol. I (2nd Ed.)* (pp. 691-713). Marcel Dekker Inc.: New York. revisar año. Caps 1.1 y 1.2.
- Lewick, P. P., Lukaszuk, A. (2000).** *Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying.* Journal of Food Engineering, v. 45, p. 119 - 126.
- Lewicki, P. P., Duszczuk, E. (1998).** *Color change of selected vegetables during convective air drying.* International Journal of Food Properties, 1 (3), 263 - 273.
- Lima, M. G. (2009).** Textos de apoio da unidade curricular de Nutrição Humana e Qualidade Alimentar. Análise Sensorial. Escola Superior Agrária de Santarém – Instituto Politécnico de Santarém.
- Lima, M. G. (2015).** Textos de apoio da unidade curricular de Análise Sensorial; Tecnologia Alimentar. Nutrição Humana e Qualidade Alimentar. Escola Superior Agrária de Santarém – Instituto Politécnico de Santarém.
- Lopéz, L. (2006).** *Characterization and modelling of structural changes in fruits and vegetable tissue, submitted to dehydration processes.* Departamento de Engenharia Química, vol. Doutorado. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Maltini E., Torregiani D., Venir E., Bertolo G. (2003).** *Water activity and the preservation of plant foods.* Food Chemistry, v. 82, p. 79 - 86.
- Mandala I. G., Anagnostaras, E. F, Oikonomou C. K. (2004).** *Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristic.* Journal of Food Engineering 69 (2005) 307 – 316.
- Martins, M. M., Empis, J. (2000).** Produtos hortofrutícolas frescos ou minimamente processados. Processamentos Mínimos, 1ª Edição, Sociedade Portuguesa de Inovação, Lisboa, 101 pp.
- Matuska, M., Lenart, A., Lazarides, H. N. (2006).** *On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake.* Journal of Food Engineering, 72, 85 - 91.
- Mauro, M. A., Tavares, D. Q., Menegalli, F. C. (2003).** *Behavior of plant tissue in osmotic solutions.* Journal of Food Engineering. 56: p. 1 - 15.
- Moy J., Lau N., Dollar A. (1978).** *Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits.* J. Food Proc. Preserv., 2, p. 131.
- Mujica-Paz, H.; Valdez-Fragoso, A.; Lopez-Malo, A.; Palou, E.; Welti-Chanes, J. (2003).** *Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure.* Journal of Food Engineering, v.56, p.307-314, 2003.
- Nieto, A. B.; Salvatori, D. M.; Castro, M. A.; Alzamora, S. M. (2004).** *Structural changes in Apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features.* Journal of Food Engineering, v. 61, p. 269 - 278.
- Nobel, P. S. (1991).** *Physicochemical and Environmental Plant Physiology.* San Diego: Academic Press, Inc. p. 635. Fourth Edition 2009.
- Norma NP-1421, (1977).** Determinação da acidez de géneros alimentícios derivados de frutos e de produtos hortícolas. Instituto Português da Qualidade.
- Pani, P.; Leva, A. A.; Riva, M.; Maestrelli, A. ; Torregiani, D. (2008).** *Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices.* Journal of Food Engineering, v. 86, p.105 - 112.
- Pereira, C. O. (2005).** *Selected quality attributes of dried foods.* Drying Technology, 23, 717 - 730.
- Pereira, L. M.; Ferrari, C. C.; Mastrantoni, D. S.; Rodrigues, A. C. C.; Hubinger, M. D. (2006).** *Kinetic aspects, texture, and colour evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration.* Drying Technology, v. 24, p. 475 - 484.
- Petkovšek M. M., Štampar, F., & Veberič, R. (2007).** *Parameters of inner quality of the apple scab resistant and susceptible apple cultivars (Malus domestica Borkh.).* Scientia Horticulturae, 114: 37 - 44.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Pombeiro, A. J. L. O. (1983).** Técnicas e operações unitárias em química laboratorial. Parte II. Operações de transferência de massa. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa p.154 – 179.
- Ponting, J. D., G. G Warrers, R. R. Forrey, R. Jackson and W. L. Stanley (1966).** *Osmotic dehydration of fruits.* Food Technology, p. 1365 - 1368.
- Pokharkar, S. M.; Prasad, S.; Das, H. (1997).** *A model for osmotic concentration of bananas slices.* Journal of Food Science and Technology, 34(3): 230 - 232.
- Ponting, J. D., (1976).** *Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and applications.* Process Biochemistry, 8: p.18 - 20.
- Quiles, A., Hernando, I., Perez-Munuera, I., Larrea, V., Liorca, E., Lluch, M. A. (2005).** *Polyphenoloxidase (PPO) activity and osmotic dehydration in Granny Smith apple.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 85, 1017 - 1020.
- Raoult-Wack A. L., Rios G, Saurel R, Giroux F, Guilbert S. (1994).** *Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration).* Food Research International 27(2): p. 207.
- Rastogi N., Raghavarao K. (2004).** *Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple considering Fickian diffusion in cubical configuration.* Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 37 (1), p. 43 - 47.
- Rastogi N., Raghavarao K., Niranjana K. Y Knorr D. (2002).** *Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer.* Trends in Food Science and Technology, 13, p. 48 - 59.
- Richardson, T., Hyslop, D. B. (1985).** *Enzymes.* In O.R. Fennema (Ed.) *Food Chemistry* (2nd Ed.). Marcel Dekker, Inc.: New York.
- Roble-Manzanares A., Garcia-Barrón S. E., Morales-Castro J., Ochoa-Martínez L. A. (2004).** *Development of a new product from quince (Cydonia oblonga Mill) by means of combined dehydration methods,* Proceedings from IFT Annual Meeting, July 12 - 16, Las Vegas, Nevada, USA.
- Rodrigues, E. A., (2003).** Desidratação osmótica e secagem de maçã. Comportamento do tecido celular em solução osmótica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Alimentar- Universidade-Estadual Paulista. Brasil.
- Rosenthal, A. (1999).** *Measurement and Perception. Food Texture.* Gaithersburg: Aspen Sanjinéz-Argandoña.
- Santos, P. S. (2009).** Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na avaliação de alguns atributos de qualidade em Pera Rocha e Maçã Gala. Universidade Técnica de Lisboa.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Saurel R., Raoult- Wacck A. L., Ríos G., Guilbert S. (1994).** *Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple II frozen plant tissue.* International Journal of Food Science and Technology, 29, p. 543 - 550.
- Saurel, R.; Raoult-Wack, A. L.; Rios, G.; Guilbert, S. (1994).** *Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I. Fresh plant tissue.* International Journal of Food Science and Technology, v. 29, n. 5, p. 531 - 542, 1994.
- Scott, W. J. (1957).** *Water relations of food spoilage microorganisms.* Advances in Food Research, 7, 83.
- Sereno, A. M. (2001).** *Mass transfer coeficientes during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt.* Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, University of Porto. Journal of Food Engineering v. 47, p. 43 - 49.
- Shi, J., Le Maguer, M. (2002).** *Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modeling aspects.* Food Reviews International, 18 (4), 305 - 335.
- Shi, X. Q., Fito, P., Chiralt, A. (1995).** *Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits.* Food Research International, 28 (5), 445 - 454.
- Shi, X. Q., Fito. P. (1993).** *Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits.* Drying Technology, v.11, n.6, 1429 - 1442.
- Singh, B.; Kumar, A.; Gupta, A.K. (2007).** *Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes.* Journal of Food Engineering v.79, p.471-480.
- Singh, B., Panesar, P. S., Nandas, V. y Kennedy J. F. (2010).** *Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions.* Food Chemistry 123, p. 590 - 600.
- Spanos, A., Wrolstad, E. (1992).** *Phenolics of apple, pear, and white grape juices and their changes with processing and storage. A review* Journal of Agriculture and Food Chemistry, 40: 1478 - 1487.
- Taiwo, K. A., Angersbach, A., Ade-Omowaye, B. I. O., Knorr, D. (2001).** *Effects of pretreatments on the diffusion kinetics and some quality parameters of osmotically dehydrated apple slices.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49 (6), 2804 - 2811.
- Torreggiani, D. (1993).** *Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing.* Food Research International, v. 26, p. 59 - 68.
- Torreggiani, D., Bertolo, G. (2001).** *Osmotic treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects.* Journal of Food Engineering, Oxford, v. 49, n. 2, p. 247 - 256.
- Uddin M. B., Islam N. (1985).** *Development of shelf-stable pineapple products by different methods of drying.* J. Inst. Engrs. Bangladesh 13 p. 5 - 13.

CAPÍTULO VI - Referências Bibliográficas.

- Valdez-Fragoso, A., Mujica-Paz H., Giroux F., Welte-Chanes, J. (2002).** *Pilot plant for osmotic dehydration of fruits: Design and evaluation. Journal of Food Processing and Engineering*, 25, 189 - 199.
- Van der Sluis, A., Dekker, M., Jager, A., Jogen, W. (2001).** *Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions. Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49: p. 3606 - 3613.
- Veberic, R., Trobec, M., Herbinger, K., Hofer, M., Grill, D., Stampar, F. (2005).** *Phenolic compounds in some apple (*Malus domestica* Borkh) cultivars of organic and integrated production. Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: p.1687 - 1694.
- Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., Garcia-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R. and Di Scala, K. (2012).** *Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. Food Chem.* 132, 51–59.
- Vieira, F., Borges, G., Copetti, C., Amboni, R., Denardi F., Fett, R. (2009).** *Physico-chemical and antioxidant properties of six apple cultivars (*Malus domestica* Borkh) grown in southern Brazil. Scientia Horticulturae*, 122: p. 421 - 425.
- WAPA (2015).** The World apple and pear Association. World data report. Disponível em http://www.wapa-association.org/asp/page_1.asp?doc_id=446.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. Joyce, D. (2007).** *Postharvest*, 5th edition, CABI, Australia, 227 pp.
- Wolfe, K., Wu, X., Liu, R. H. (2003b).** *Antioxidant activity of apple peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 609 - 614.

ANEXOS.



Anexo 1.**1.1. Norma de comercialização da maçã fresca.****Quadro 7.** Legislação em vigor para a comercialização da maçã fresca.

Produto	Legislação em Vigor
Maçãs	Regulamento (CE) N° 85/2004 (Jornal Oficial L13 de 02.01.2004, p.3-18). Alterado por Regulamento (CE) N°907/2004 (JO L 163 30.4.2004, p. 50).
I. Definição do Produto	Maçãs das variedades (cultivares) de <i>Malus doméstica Borkh</i> , que se destinem a ser apresentadas ao consumidor no estado fresco, com exclusão das maçãs destinadas a transformação industrial.
II. Disposições relativas à qualidade	Depois de acondicionadas e embaladas, as maçãs devem ter sido cuidadosamente colhidas e apresentar-se inteiras, sãs, limpas, isentas de parasitas e de ataques de parasitas, isentas de humidades exteriores anormais e de odores e /ou sabores estranhos. As maçãs são classificadas em três categorias: Categoria "Extra" Categoria I Categoria II
III. Disposições relativas à calibragem	O calibre pode ser determinado: 1. Pelo diâmetro máximo da seção equatorial, sendo exigido um diâmetro mínimo para todas as categorias: Extra: 65 mm Categoria I: 60 mm Categoria II: 60 mm 2. Pelo peso, sendo exigido um peso mínimo para todas as categorias: Extra: 110 g Categoria I: 90 g Categoria II: 90 g Não é fixada nenhuma regra de homogeneidade de calibre para os frutos de categoria II apresentados a granel na embalagem ou na embalagem de venda.
IV. Disposições relativas às tolerâncias	Em cada embalagem são admitidas tolerâncias de qualidade e de calibre no que respeita a produtos que não satisfazem os requisitos da categoria indicada;
V. Disposições relativas à apresentação	O conteúdo de cada embalagem deve ser homogéneo e comportar apenas maçãs da mesma origem, variedade qualidade, calibre (em caso de calibragem) e estado de maturação; As maçãs devem ser acondicionadas de modo a ficarem convenientemente protegidas; Os frutos de categoria "Extra" devem apresentar-se embalados em camadas ordenadas.
VI. Disposições relativas à marcação	Cada embalagem deve apresentar as seguintes indicações: 1. Identificação; 2. Natureza do Produto; 3. Origem do Produto; 4. Características comerciais; 5. Marca oficial de controlo (facultativa).

Adaptado de (Codex Standard for Apples, 2010).

Anexo 2.

2.2. Protocolo experimental da desidratação osmótica.

2.2.1. Material e Métodos.

Matéria prima.

Utilizou-se maçãs da variedade *Royal Gala*, cedidas pela Empresa Copa-Cooperativa Horto Fruticultores, situada em Alcobaça.

A solução osmótica foi a sacarose (açúcar de grau alimentar). As concentrações das soluções a preparar são em massa por massa (m/m). As soluções são preparadas com água de qualidade laboratorial (Milli-Q), ligeiramente aquecida e a sua dissolução e homogeneização é feita num agitador magnético.

Equipamentos.

- Incubadora Agimatic - Selecta (0 – 80) °C, para manter a temperatura constante;
- Balança digital centesimal Cobos, DC – 3600 – SX (2000.± 0,01) g;
- Balança de precisão Mettler Toledo (200 ±0,0001) g;
- Agitador magnético Agimatic-Selecta, com placa de aquecimento;
- Estufa com circulação forçada de ar Dry Big Selecta com a gama de temperatura de 0°C a 180°C;
- Potenciómetro com eléctrodo tipo penetração (Startorius PT10), calibrado com as soluções padrão de pH 7 e pH 4;
- Centrifugadora Moulinex;
- Potenciómetro com eléctrodo tipo de imersão (Hanna, HI255), calibrado com as soluções padrão de pH 7 e pH 4;
- Refratómetro tipo Abbe (Atago), com escala de 0,0 a 95,0 °Brix com termómetro digital.

2.2.2. Métodos.

Colheita, seleção e armazenamento da maçã.

A variedade de maçã selecionada foi a *Royal Gala*, cedida pela Empresa Copa-Cooperativa Horto Fruticultores, situada em Alcobaça. As maçãs foram acondicionadas em caixas plásticas e armazenadas sob refrigeração à temperatura de (5,0±0,5) °C.

Preparação das maçãs.

As maçãs antes de cada ensaio experimental são retiradas da camara frigorífica e mantidas à temperatura ambiente. Foram selecionadas pela cor, ausência de danos físicos e estado de maturação (11 a 13°Brix).

As etapas de preparação são:

- Pré-lavagem das maçãs em água corrente para remoção de sujidade superficial;
- Descasque manual e retirada do caroço;
- Proceder ao corte em fatias de 2 a 3 maçãs frescas por cada ensaio, segundo o seu eixo transversal com equipamento próprio de corte de fatias circulares com espessura $3,95 \pm 0,45$ mm. Em seguida cortar manualmente as fatias circulares em meia-lua;
- Pesas 100 g de fatias para cada tratamento de desidratação osmótica (ensaios em triplicado);

Para cada tratamento, retiram-se do lote amostras de maçã fresca para determinação dos parâmetros físico-químicos nomeadamente teor de humidade, TSS, pH, AT, AR e textura, sendo consideradas como o tempo 0 (zero) de desidratação osmótica.

2.2.3. Desidratação osmótica.

A solução osmótica foi preparada com sacarose e água destilada nas concentrações de trabalho, conforme o quadro 8.

Quadro 8. Preparação das soluções de sacarose.

Solução de sacarose (m/m)	Peso de sacarose (g)	Peso de água (g)	Peso total (g)
Solução A (40%)	400	600	1000
Solução B (50%)	500	500	1000

Para cada tratamento pesar 100 g de maçãs em fatias. Colocar num copo de vidro (1000 mL) a quantidade de solução de sacarose, de acordo com a proporção de maçã/sacarose previamente fixada (quadro 9).

Quadro 9. Proporção de maçã e solução de sacarose.

Solução sacarose	Proporção 1:5 (m/m)		Proporção 1:10 (m/m)	
	Peso maçã (g)	Peso solução (g)	Peso maçã (g)	Peso solução (g)
Solução A (40%)	100	500	100	1000
Solução B (50%)	100	500	100	1000

Exemplo, se a proporção de maçã/solução for 1:5, então para 100g de maçã temos de usar 500 g da solução de sacarose (solução A ou solução B) preparada conforme o quadro 8.

Fazer ensaios em triplicado para cada concentração de solução osmótica (40% e 50%) ao longo de cada temperatura (20°C-40°C-50°C) e durante os tempos de imersão (30-60-120-240-360-480 min). Usar para cada tratamento sempre solução de sacarose fresca (não reutilizada).

Da solução osmótica (quadro 8), para cada concentração, tempo e temperatura retirar uma amostra para analisar o pH inicial (pH_{si}) e o teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}). Registe os valores.

Colocar cada solução (ensaios em triplicado) na incubadora à temperatura do ensaio, para que as soluções permaneçam à temperatura de trabalho no instante $t = 0$ min.

Colocar as maçãs em fatias dentro da solução de sacarose à temperatura de trabalho e para que as maçãs permaneçam imersas na solução, colocar o disco de PVC perfurado sobre as maçãs.

Colocar novamente dentro da incubadora à temperatura do ensaio. Após decorrido o tempo de imersão para cada concentração de solução e temperatura retirar os copos de vidro da Incubadora.

Drenar as fatias de maçã para um escurridor, lavar rapidamente com água destilada, para retirar o filme de açúcar formado na superfície e dispor as fatias sobre um papel absorvente para retirar o excesso de água. É importante usar sempre o mesmo tipo de

papel absorvente para que a capacidade de absorção seja constante durante todos os ensaios.

Pesar as fatias de maçã desidratadas. Registrar o seu valor.

Retirar amostras das maçãs desidratadas de cada tratamento para posterior análise dos parâmetros físico-químicos (%H, TSS, pH, AT, AR e dureza).

Da solução osmótica, para cada concentração, tempo e temperatura retirar uma amostra no final de cada ensaio de desidratação osmótica para analisar o teor de sólidos solúveis final (TSS_{sf}) e o pH final (pH_{sf}). Registrar o seu valor.

2.2.4. Cálculos.

Para os intervalos de tempo definido no processo de desidratação osmótica, determinar os parâmetros de perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), expressos em percentagem através das equações 1, 2, e 3, respetivamente:

$$PP(\%) = \frac{(P_0 - P_f)}{P_0} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

$$PA(\%) = \frac{(P_0 \times H_i) - (P_f \times H_f)}{P_0} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

$$GS(\%) = PA - PP \quad \text{Equação (3)}$$

em que:

PP (%) - perda de peso das fatias desidratadas.

PA (%) - perda de água das fatias desidratadas.

GS (%) - ganho de sólidos das fatias desidratadas.

P_0 (g) - peso inicial das fatias desidratadas (tempo=0).

P_f (g) - peso final das fatias desidratadas (tempo=t).

H_i (%) – teor de humidade inicial das fatias (tempo=0).

H_f (%) – teor de humidade final das fatias desidratadas (tempo=t).

Observações:



Disco Perfurado de PVC.

Anexo 3.

3.1. Gráficos experimentais da textura.

3.1.1. Maçã fresca.

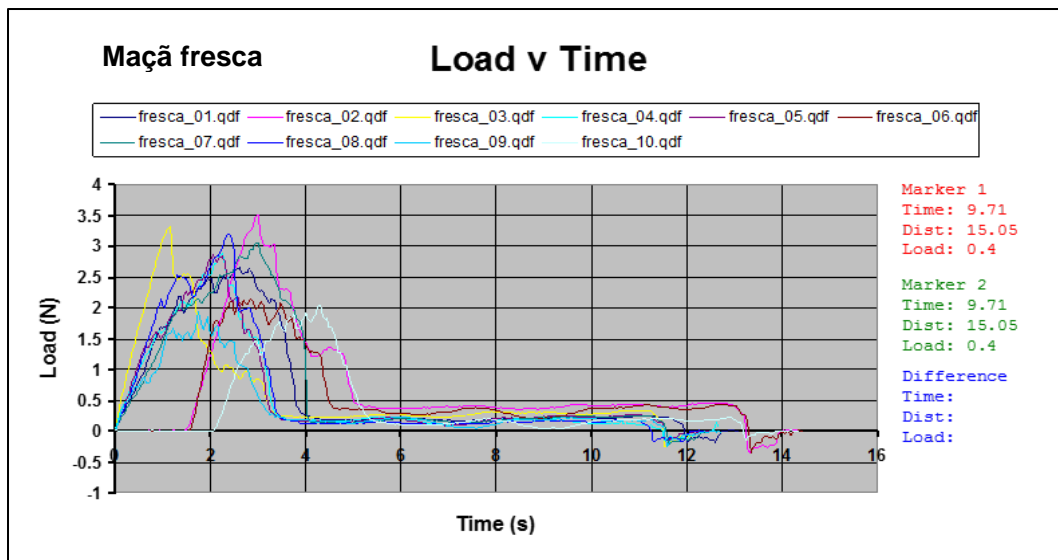


Figura 34. Texturograma da maçã fresca.

3.1.2. Maçã desidratada com 40% (m/m) de sacarose.

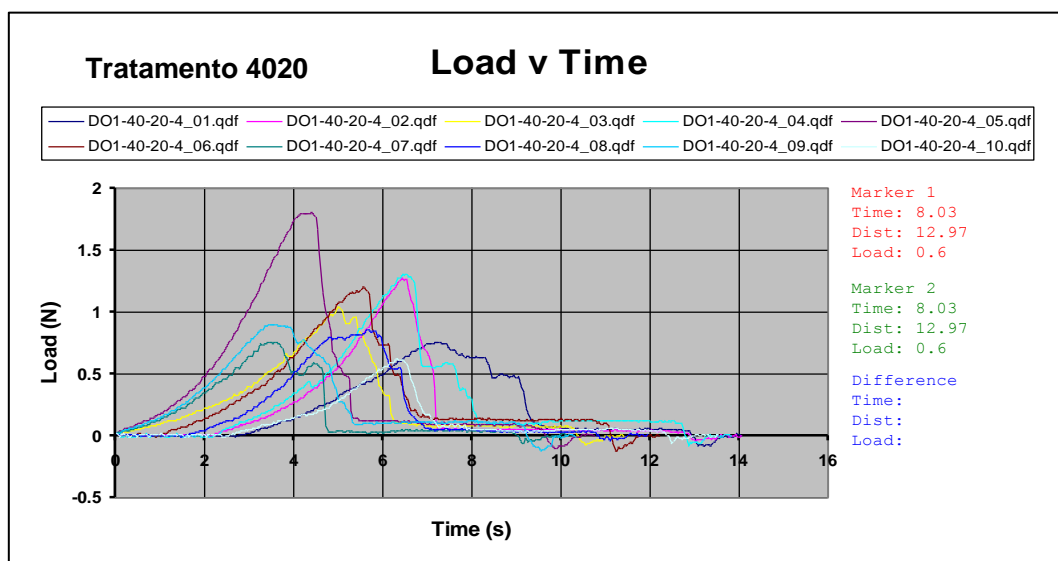


Figura 35. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 20°C; 4 horas.

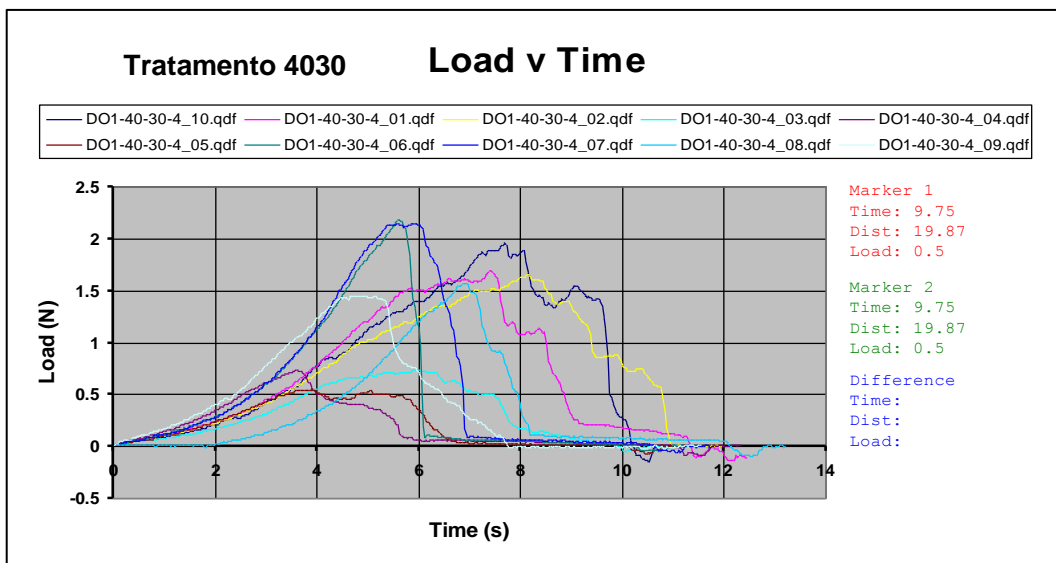


Figura 36. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 30°C; 4 horas.

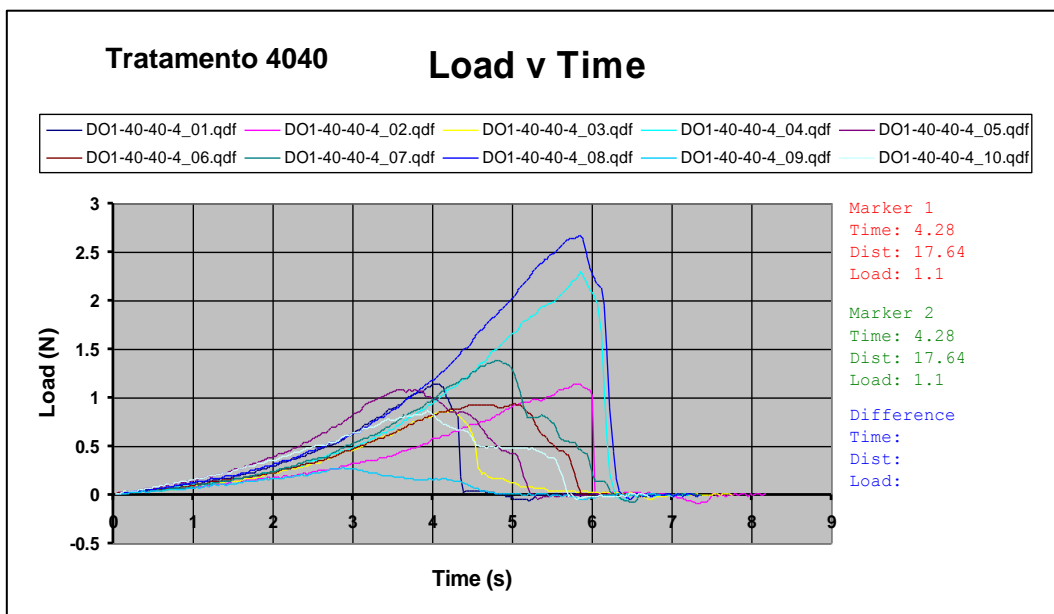


Figura 37. Texturograma de maçã desidratada, com 40% sacarose; 40°C; 4 horas.

3.1.3. Maçã desidratada com 50% (m/m) de sacarose.

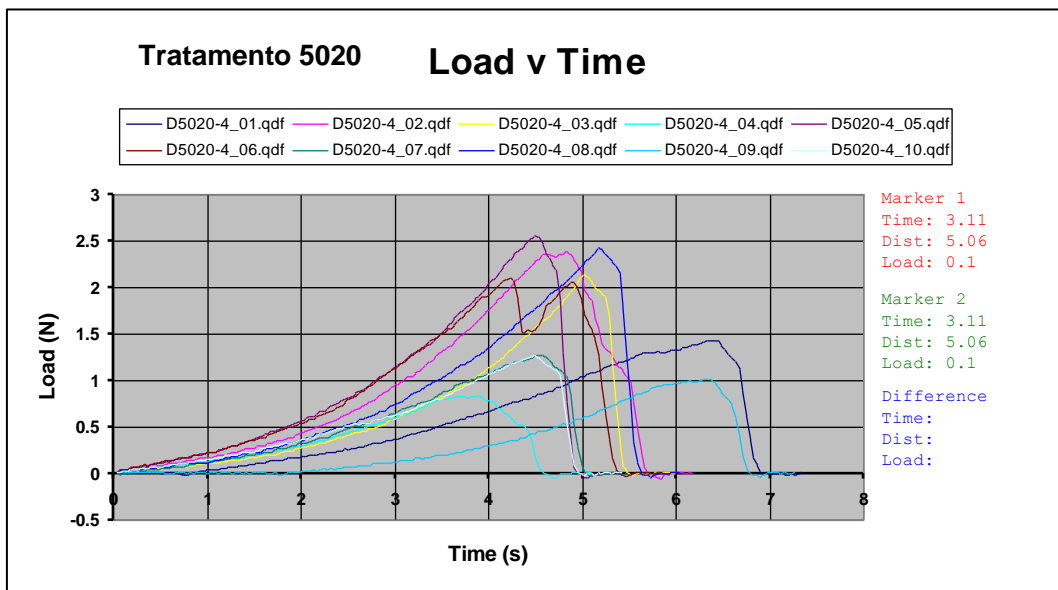


Figura 38. Texturograma da maçã desidratada, com 50% sacarose; 20°C; 4 horas.

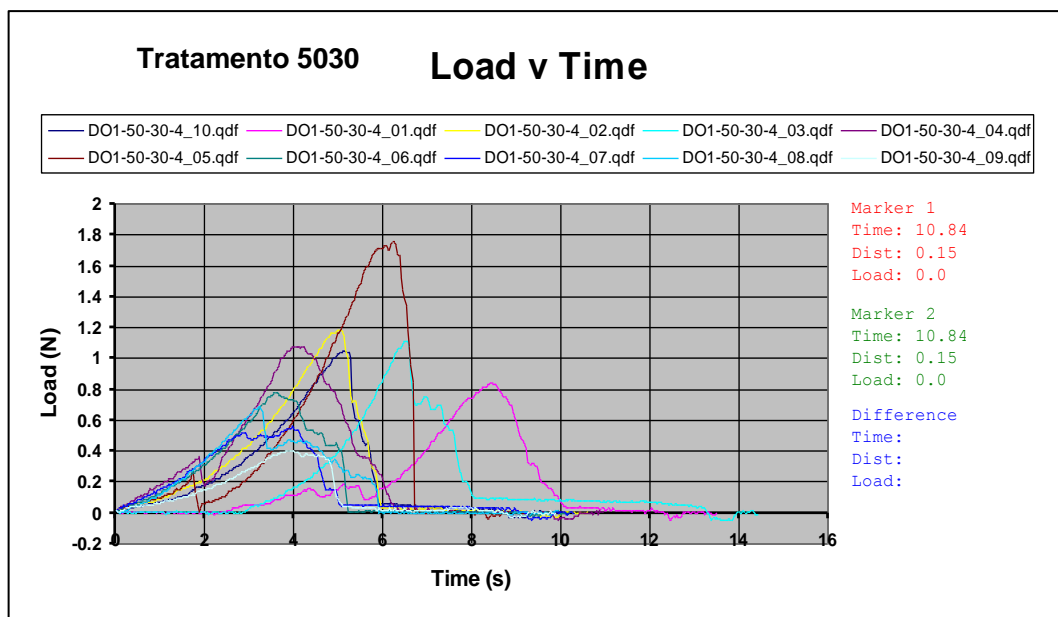


Figura 39. Texturograma de maçã desidratada, 50% sacarose; 30°C; 4 horas.

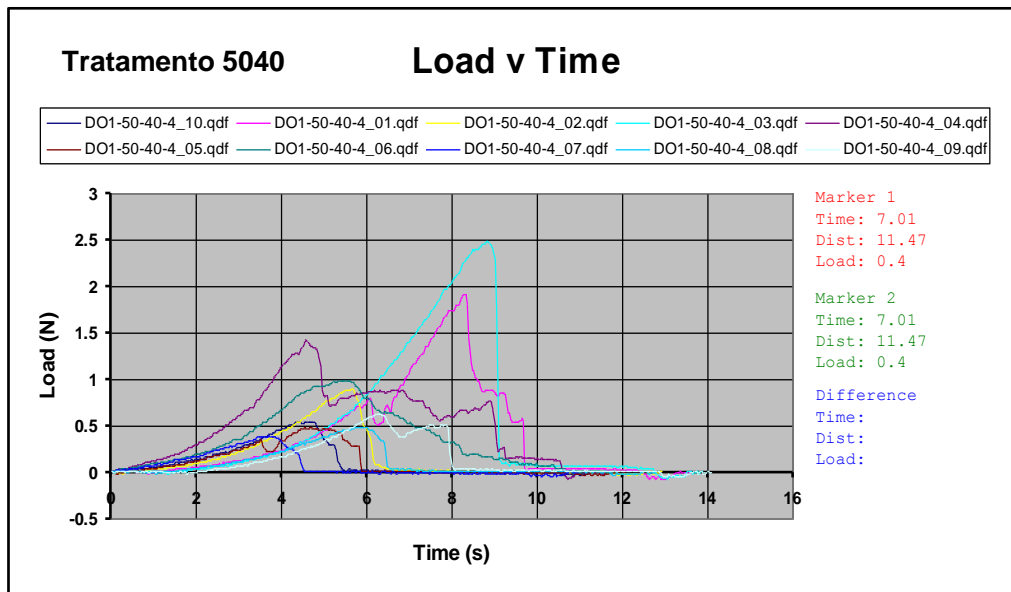


Figura 40. Texturograma de maçã desidratada, com 50% sacarose; 40°C, 4 horas.

Anexo 4.

4.1. Folha de Prova.

ANÁLISE SENSORIAL AFETIVA

FOLHA DE PROVA

Produto: Maçã *Royal Gala*.

Aprecie individualmente cada protótipo de maçã desidratada, nos atributos que a seguir se indicam:

1. Aspetto Visual - visualize o aspeto global da maçã desidratada.

Prova de pontuação (**não pode** repetir pontuações).

M_41	S_57	Z_61	W_23
1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7
R_55	V_29	T_33	
1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	

1-Gosto menos 7-Gosto mais

2. Aroma - aprecie o aroma da maçã desidratada.

Prova de pontuação (**não pode** repetir pontuações).

M_41	S_57	Z_61	W_23
1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7
R_55	V_29	T_33	
1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	

1-Gosto menos 7-Gosto mais

3. Sabor - aprecie o sabor da maçã desidratada.Prova de pontuação (**não pode** repetir pontuações).

M_41 1 2 3 4 5 6 7	S_57 1 2 3 4 5 6 7	Z_61 1 2 3 4 5 6 7	W_23 1 2 3 4 5 6 7
R_55 1 2 3 4 5 6 7	V_29 1 2 3 4 5 6 7	T_33 1 2 3 4 5 6 7	

1-Gosto menos 7-Gosto mais

4. Textura - aprecie a dureza da maçã desidratada.Prova de pontuação (**não pode** repetir pontuações).

M_41 1 2 3 4 5 6 7	S_57 1 2 3 4 5 6 7	Z_61 1 2 3 4 5 6 7	W_23 1 2 3 4 5 6 7
R_55 1 2 3 4 5 6 7	V_29 1 2 3 4 5 6 7	T_33 1 2 3 4 5 6 7	

1-Gosto menos 7-Gosto mais

5. Crocância - aprecie a crocância da maçã desidratada.Prova de pontuação (**não pode** repetir pontuações).

M_41 1 2 3 4 5 6 7	S_57 1 2 3 4 5 6 7	Z_61 1 2 3 4 5 6 7	W_23 1 2 3 4 5 6 7
R_55 1 2 3 4 5 6 7	V_29 1 2 3 4 5 6 7	T_33 1 2 3 4 5 6 7	

1-Gosto menos 7-Gosto mais

Outros sabores: **sim/não**

Se detetou, qual ou quais? _____

Sugestões:

Anexo 5.

5.1. Determinação dos açúcares redutores.

No quadro 10 apresentam-se as concentrações e respectivas leituras de absorvência dos padrões de calibração usados na determinação dos açúcares redutores para a maçã fresca e para a maçã desidratada ao fim de quatro horas de imersão para todos os tratamentos.

Quadro 10. Leituras de absorvência e respectivas concentrações dos padrões.

Calibração do Espectrofotômetro		
Padrão	Absorvência(nm)	Concentração (mg/L)
1	0,004	0,060
2	0,011	0,120
3	0,039	0,240
4	0,095	0,480
5	0,188	0,720
6	0,321	1,200
7	0,402	1,500

A figura 41 apresenta a curva de calibração utilizada nos cálculos dos açúcares redutores para a maçã fresca e maçã desidratada.

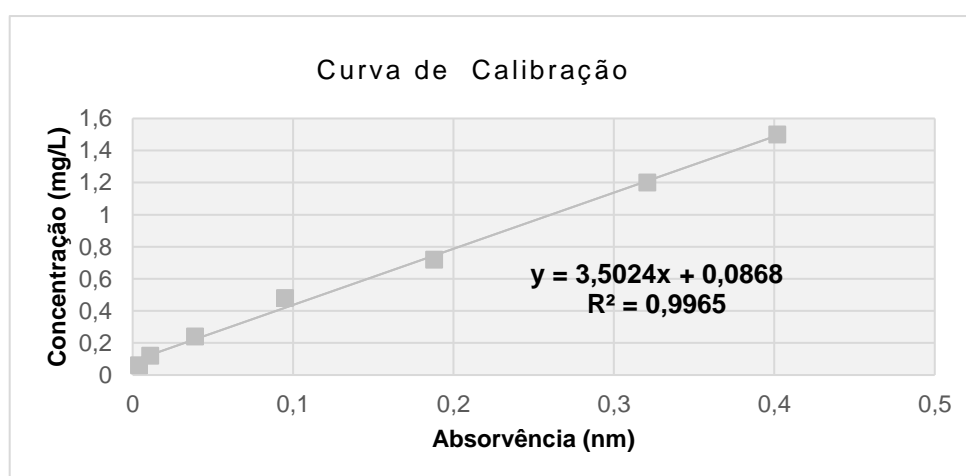


Figura 41. Curva de calibração para a determinação dos açúcares redutores.

Anexo 6.

6.1. Tratamento estatístico.

6.1.1. Caracterização da maçã fresca.

Quadro 11. Teste de significância multivariada de Wilks, para as variáveis H_i ; TSS_i ; de maçã fresca “*Royal Gala*” para todos os tratamentos.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000026	3727235	3	286,000	0,00
Tratamento	Wilks	0,276257	31	15	789,922	0,00
Tempo	Wilks	0,633401	9	15	789,922	0,00
Tratamento*tempo	Wilks	0,202411	8	75	855,831	0,00

Tabela 1. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da caracterização de maçã fresca “*Royal Gala*” utilizada no tratamento com 40% de sacarose.

Tratamento	Tempo (min.)	H_i % (m/m)		TSS_i (°Brix)		pH_i	
		média $\pm\sigma_{n-1}$		média $\pm\sigma_{n-1}$		média $\pm\sigma_{n-1}$	
4020	30	87,11 ^c	0,45	12,44 ^{ab}	0,39	4,53 ^h	0,23
	60	86,58 ^{bc}	0,46	12,67 ^{ab}	0,50	4,03 ^{abcde}	0,03
	120	87,23 ^c	0,47	12,17 ^a	0,66	4,38 ^{gh}	0,10
	240	86,62 ^{bc}	0,59	12,50 ^{ab}	0,75	3,90 ^{abcd}	0,14
	360	86,60 ^{bc}	0,81	12,61 ^{ab}	0,70	3,88 ^{abc}	0,11
	480	87,05 ^c	0,44	12,17 ^a	0,25	3,80 ^{ab}	0,04
4030	30	85,51 ^a	0,29	13,00 ^{ab}	0,61	3,89 ^{abcd}	0,13
	60	86,14 ^{ab}	0,53	12,61 ^{ab}	0,49	3,86 ^{ab}	0,05
	120	86,21 ^{ab}	0,62	12,56 ^{ab}	0,39	3,98 ^{abcde}	0,18
	240	85,86 ^{ab}	0,19	13,22 ^b	0,36	4,00 ^{abcde}	0,17
	360	85,92 ^{ab}	0,26	13,06 ^{ab}	0,63	4,11 ^{cdef}	0,16
	480	85,96 ^{ab}	0,64	12,89 ^{ab}	0,70	3,97 ^{abcde}	0,13
4040	30	85,63 ^a	0,39	12,72 ^{ab}	0,62	4,18 ^{efg}	0,15
	60	85,84 ^{ab}	0,43	12,33 ^{ab}	0,43	4,05 ^{bcde}	0,15
	120	86,15 ^{ab}	0,28	12,67 ^{ab}	0,61	4,12 ^{def}	0,14
	240	85,95 ^{ab}	0,43	12,83 ^{ab}	0,71	4,13 ^{def}	0,07
	360	86,45 ^{bc}	0,36	12,78 ^{ab}	0,36	4,32 ^{fgh}	0,25
	480	86,53 ^{ab}	0,51	12,89 ^{ab}	0,55	3,98 ^{abcde}	0,13

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Tabela 2. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da caracterização de **maçã fresca** "Royal Gala" utilizada no tratamento com 50% sacarose.

Tratamento	Tempo (min.)	Hi % (m/m)		TSSi (°Brix)		pHi	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
5020	30	86,72 ^{def}	0,50	12,50 ^{abc}	0,35	4,23 ^{bc}	0,08
	60	86,20 ^{cde}	0,38	12,61 ^{abc}	0,60	4,12 ^{abc}	0,22
	120	86,87 ^{ef}	0,30	12,22 ^a	0,26	4,58 ^d	0,04
	240	84,86 ^a	0,51	13,50 ^d	0,00	4,21 ^{abc}	0,03
	360	84,95 ^{ab}	0,77	13,11 ^{bcd}	0,42	4,65 ^d	0,04
	480	84,46 ^a	0,37	13,33 ^{cd}	0,25	4,64 ^d	0,06
5030	30	85,99 ^{cd}	0,80	12,94 ^{abcd}	0,58	4,11 ^{abc}	0,19
	60	86,12 ^{cde}	0,66	12,83 ^{abcd}	0,50	4,14 ^{abc}	0,25
	120	86,74 ^{def}	0,72	12,33 ^{ab}	0,50	4,06 ^{abc}	0,19
	240	86,26 ^{cde}	0,66	12,83 ^{abcd}	0,50	3,96 ^a	0,27
	360	86,38 ^{cdef}	0,40	12,83 ^{abcd}	0,61	3,98 ^{ab}	0,09
	480	86,53 ^{cdef}	0,53	12,67 ^{abcd}	0,50	4,28 ^c	0,14
5040	30	87,18 ^f	0,50	12,56 ^{abc}	0,98	4,11 ^{abc}	0,15
	60	86,63 ^{def}	0,37	12,61 ^{abc}	0,49	4,15 ^{abc}	0,31
	120	86,04 ^{cde}	0,35	13,11 ^{bcd}	0,49	4,56 ^d	0,22
	240	86,10 ^{cde}	0,26	13,00 ^{abcd}	0,35	4,24 ^{bc}	0,11
	360	85,74 ^{bc}	0,24	12,72 ^{abcd}	0,87	4,08 ^{abc}	0,10
	480	86,51 ^{cdef}	0,49	12,83 ^{abcd}	0,56	4,75 ^d	0,12

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

6.2. Ensaios preparatórios.

6.2.1. Desidratação osmótica.

Quadro 12. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis H_f; PP; PA; GS para as duas proporções R5 e R10.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000011	693285,7	3	22,00000	0,000000
Proporção sólidos	Wilks	0,341916	14,1	3	22,00000	0,000024
Tempo	Wilks	0,001314	41,0	15	61,13371	0,000000
Proporção sólidos*tempo	Wilks	0,114397	4,9	15	61,13371	0,000004

Tabela 3. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão dos parâmetros da desidratação osmótica, perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e teor de umidade final de **maçã desidratada** nas proporções R5 e R10.

Proporção Sólidos	Tempo (min.)	H _f %		PP %		PA %		GS %	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
R5	30	85,37 ^f	0,40	10,85 ^a	0,14	11,57 ^a	0,29	0,72 ^a	0,32
	60	82,97 ^e	0,27	17,33 ^b	1,24	18,76 ^b	1,11	1,43 ^a	0,25
	120	81,10 ^d	0,67	21,04 ^c	1,08	24,13 ^c	1,03	3,09 ^c	0,14
	240	79,94 ^d	0,63	26,06 ^{de}	0,87	28,22 ^d	1,02	2,16 ^b	0,40
	360	78,71 ^c	0,49	25,10 ^d	0,42	29,05 ^d	0,44	3,95 ^d	0,44
	480	76,84 ^b	0,14	28,19 ^{ef}	0,90	32,76 ^e	0,86	4,57 ^d	0,83
R10	30	84,68 ^f	0,67	11,40 ^a	0,46	13,13 ^a	1,04	1,73 ^a	0,76
	60	82,44 ^e	0,54	16,57 ^b	1,32	19,20 ^b	0,99	2,63 ^c	0,73
	120	81,57 ^d	0,63	18,55 ^b	1,86	21,56 ^{bc}	2,00	3,02 ^c	0,33
	240	80,03 ^d	0,19	26,07 ^{de}	0,34	29,93 ^d	0,85	3,86 ^d	0,72
	360	77,53 ^{bc}	0,59	24,90 ^d	0,66	29,12 ^d	0,37	4,23 ^d	0,69
	480	73,46 ^a	0,66	29,22 ^f	0,94	36,22 ^f	1,16	7,00 ^f	0,66

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras há diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

6.2.1. Solução osmótica.

Quadro 13. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si}; pH_{sf}; TSS_{si}; TSS_{sf} da **solução de sacarose** 40% a 20°C para as proporções R5 e R10.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000002	2963579	4	21,00000	0,00
Proporção sólidos	Wilks	0,016682	309	4	21,00000	0,00
tempo	Wilks	0,000339	36	20	70,59899	0,00
Proporção sólidos*tempo	Wilks	0,005153	14	20	70,59899	0,00

Tabela 4. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}), pH final (pH_{sf}), teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}), teor de sólido solúvel final (TSF) da **solução de sacarose** 20% nas proporções R5 e R10.

Proporção sólidos	Tempo (min.)	pH _{si}		pH _{sf}		TSS _{si} °Brix		TSS _{sf} °Brix	
		média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}	média±σ _{n-1}
R5	30	7,08 ^{ab}	0,02	4,48 ^a	0,03	39,85 ^{ab}	0,00	38,70 ^d	0,00
	60	7,10 ^{ab}	0,03	4,58 ^{ab}	0,03	39,95 ^{ab}	0,29	37,99 ^b	0,25
	120	7,77 ^c	0,13	4,89 ^c	0,04	39,97 ^{ab}	0,27	37,37 ^a	0,04
	240	7,62 ^c	0,10	4,71 ^{ab}	0,05	39,78 ^{ab}	0,00	37,35 ^a	0,00
	360	7,71 ^c	0,04	5,17 ^d	0,04	40,30 ^b	0,04	37,35 ^a	0,00
	480	7,73 ^c	0,11	4,80 ^{bc}	0,04	40,28 ^b	0,00	37,28 ^a	0,00
R10	30	7,04 ^{ab}	0,03	5,20 ^d	0,02	40,02 ^{ab}	0,25	39,33 ^e	0,04
	60	6,91 ^a	0,11	4,61 ^{ab}	0,16	39,99 ^{ab}	0,37	38,80 ^d	0,04
	120	7,16 ^b	0,03	4,98 ^{cd}	0,14	39,78 ^{ab}	0,00	38,42 ^c	0,00
	240	7,04 ^{ab}	0,07	4,98 ^{cd}	0,01	39,65 ^a	0,04	38,42 ^c	0,00
	360	7,80 ^c	0,12	5,46 ^e	0,11	39,56 ^a	0,07	38,63 ^{cd}	0,00
	480	7,16 ^b	0,06	4,97 ^{cd}	0,09	39,90 ^{ab}	0,34	37,85 ^b	0,00

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

6.3. Ensaios principais.

6.3.1. Desidratação osmótica.

Quadro 14. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis Hr; pHr; TSSr; TSSsf; PP; PA; GS, de **maçã desidratada** para o tratamento com 40% (m/m) de sacarose.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000064	306037	7	138,000	0,00
Tratamento	Wilks	0,016773	133	14	276,000	0,00
Tempo	Wilks	0,000128	124	35	582,943	0,00
Tratamento*tempo	Wilks	0,018736	11	70	811,488	0,00

Tabela 5. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da PP; PA; GS de **maçã desidratada** para o tratamento com 40% (m/m) de sacarose.

Tratamento	Tempo (Min.)	Perda peso (PP) %		Perda água (PA) %		Ganho sólidos(GS) %	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
4020	30	14,23 ^a	0,36	16,38 ^a	0,14	2,15 ^{ab}	0,49
	60	14,85 ^{ab}	0,36	18,12 ^b	0,42	3,27 ^{bcde}	0,12
	120	19,55 ^d	0,21	23,27 ^e	0,23	3,72 ^{cde}	0,44
	240	26,21 ^g	0,57	29,42 ^g	1,01	3,21 ^{bcde}	0,68
	360	28,89 ^{hi}	1,34	32,98 ⁱ	0,68	4,09 ^{de}	1,51
	480	30,45 ^j	0,66	34,30 ^k	0,56	3,85 ^{cde}	0,83
4030	30	15,05 ^{ab}	0,03	16,37 ^a	0,26	1,32 ^a	0,31
	60	15,81 ^b	0,30	18,59 ^c	0,33	2,78 ^{bcd}	0,52
	120	21,15 ^e	0,02	24,11 ^e	0,92	2,97 ^{bcd}	0,90
	240	28,11 ^h	0,59	31,16 ^{gh}	0,36	3,06 ^{bcd}	0,96
	360	29,90 ^{ij}	0,35	33,10 ^{ij}	0,41	3,19 ^{bcde}	0,73
	480	31,92 ^k	0,48	34,42 ^k	0,22	2,51 ^{abc}	0,68
4040	30	17,35 ^c	0,34	19,20 ^c	0,37	1,85 ^{ab}	0,52
	60	17,59 ^c	0,14	20,07 ^d	0,39	2,48 ^{abc}	0,12
	120	24,28 ^f	1,08	27,35 ^f	0,89	3,07 ^{bcd}	0,80
	240	29,17 ^{hi}	0,23	33,84 ^{jk}	0,29	4,66 ^e	0,91
	360	32,08 ^k	0,06	35,94 ^l	0,35	3,86 ^{cde}	2,07
	480	34,65 ^l	0,16	37,51 ^m	0,23	2,85 ^{bcd}	1,29

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Tabela 6. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de humidade final (H_f); teor de sólidos solúveis finais (TSS_f); pH final (pH_f) de **maçã desidratada** para o tratamento com 40% (m/m) de sacarose.

Tratamento	Tempo (min.)	H _f %		TSS _f °Brix		pH _f	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
4020	30	82,47 ^j	0,41	15,50 ^a	0,00	4,00 ^{efg}	0,11
	60	80,39 ^{hi}	0,82	16,33 ^{ab}	0,50	3,41 ^a	0,03
	120	79,50 ^{gh}	0,52	17,67 ^{cde}	0,25	4,52 ^j	0,08
	240	77,51 ^{def}	1,78	19,50 ^{fg}	0,00	4,55 ^j	0,05
	360	75,42 ^{abc}	1,80	21,17 ^{hi}	0,50	4,53 ^j	0,07
	480	75,85 ^{bcde}	0,85	20,50 ^{gh}	0,43	3,73 ^{bc}	0,08
4030	30	81,48 ^{ij}	0,59	17,06 ^{bc}	0,68	4,10 ^{fgh}	0,06
	60	80,24 ^{hi}	0,68	17,94 ^{cde}	0,46	4,08 ^{efgh}	0,09
	120	78,75 ^{fgh}	0,89	18,22 ^{de}	0,26	4,05 ^{efgh}	0,13
	240	76,09 ^{cde}	1,22	21,67 ^{ij}	0,25	3,83 ^{cd}	0,09
	360	75,36 ^{abc}	1,19	22,67 ^{jk}	0,25	3,95 ^{de}	0,10
	480	75,69 ^{bcd}	1,02	21,00 ^{hi}	0,75	3,97 ^{ef}	0,02
4040	30	80,36 ^{hi}	0,41	17,33 ^{bcd}	0,25	4,03 ^{efgh}	0,06
	60	79,81 ^{hi}	0,55	18,67 ^{ef}	0,66	3,64 ^b	0,12
	120	77,67 ^{efg}	1,29	19,67 ^{fg}	0,25	4,15 ^h	0,07
	240	73,59 ^a	1,51	22,83 ^k	1,32	4,12 ^{gh}	0,09
	360	74,42 ^{abc}	2,42	23,33 ^k	1,09	4,31 ⁱ	0,10
	480	74,08 ^{ab}	1,32	22,83 ^k	1,25	4,02 ^{efg}	0,03

Quadro 15. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis H_f; pH_f; TSS_f; TSS_{sf}; PP; PA; GS, de **maçã desidratada** para o tratamento com 50% (m/m) de sacarose.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000000	52562983	8	137,000	0,00
Tratamento	Wilks	0,024709	92	16	274,000	0,00
Tempo	Wilks	0,000274	83	40	599,964	0,00
Tratamento*tempo	Wilks	0,009142	12	80	877,491	0,00

Tabela 7. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão para PP; PA; GS de **maçã desidratada** para o tratamento com 50% (m/m) de sacarose.

Tratamento	Tempo (min.)	Perda peso (PP) %		Perda água (PA) %		Ganho sólidos (GS) %	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
5020	30	18,14 ^a	0,08	20,45 ^a	0,80	2,31 ^{ab}	0,87
	60	19,03 ^a	0,17	22,99 ^b	0,41	3,97 ^{cde}	0,52
	120	27,62 ^c	0,51	30,62 ^e	0,16	3,00 ^{bc}	0,59
	240	32,69 ^e	1,49	34,93 ^g	0,22	2,24 ^{ab}	1,43
	360	34,10 ^f	0,57	38,33 ^h	0,43	4,22 ^{cdef}	0,97
	480	36,15 ^g	0,07	40,16 ⁱ	0,21	4,01 ^{cde}	0,28
5030	30	19,24 ^a	0,34	20,55 ^a	0,56	1,31 ^a	0,38
	60	20,62 ^b	0,14	23,80 ^{bc}	0,73	3,18 ^{bc}	0,62
	120	29,59 ^d	1,08	33,23 ^f	0,37	3,65 ^{bcd}	0,71
	240	34,19 ^f	0,23	40,73 ⁱ	1,03	6,54 ^g	0,91
	360	38,15 ^h	0,06	42,37 ^j	0,39	4,23 ^{cdef}	0,45
	480	40,30 ^{ij}	0,16	45,62 ^k	1,87	5,32 ^{efg}	1,77
5040	30	20,70 ^b	0,30	24,39 ^{cd}	0,42	3,70 ^{bcd}	0,41
	60	21,50 ^b	0,11	25,48 ^d	0,97	3,98 ^{cde}	0,93
	120	35,02 ^{fg}	0,28	38,01 ^h	0,85	2,99 ^{bc}	0,70
	240	37,40 ^h	1,26	42,59 ^j	0,26	5,19 ^{defg}	1,46
	360	39,93 ⁱ	0,12	43,34 ^j	0,25	3,41 ^{bc}	0,36
	480	41,40 ^j	1,61	47,05 ^l	0,48	5,65 ^{fg}	2,00

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Tabela 8. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de humidade final (Hf); teor de sólidos solúveis final (TSSf); pH final (pHf) de **maçã desidratada** para o tratamento com 50% (m/m) de sacarose.

Tratamento	Tempo (min.)	Hf %		TSSf °Brix		pHf	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
5020	30	80,95 ^g	0,66	16,83 ^a	0,50	3,63 ^b	0,10
	60	78,05 ^{ef}	0,80	19,17 ^b	0,25	3,75 ^{bc}	0,10
	120	77,71 ^{ef}	1,10	19,67 ^b	0,25	3,84 ^{cd}	0,03
	240	74,20 ^d	1,61	24,22 ^{ef}	2,46	4,09 ^{fg}	0,08
	360	70,75 ^b	0,97	25,50 ^{fg}	0,43	3,21 ^a	0,04
	480	69,37 ^{ab}	1,47	26,83 ^{gh}	0,25	3,79 ^c	0,02
5030	30	81,19 ^g	0,74	16,44 ^a	0,39	3,99 ^{ef}	0,16
	60	78,50 ^{efg}	1,37	19,33 ^b	0,25	4,11 ^{fg}	0,08
	120	76,01 ^{de}	1,30	21,67 ^{cd}	1,52	3,97 ^{def}	0,03
	240	69,18 ^{ab}	3,70	25,83 ^{fg}	0,66	3,95 ^{de}	0,11
	360	71,15 ^{bc}	1,20	24,33 ^{ef}	0,66	4,09 ^{efg}	0,05
	480	68,52 ^{ab}	3,12	27,89 ^{hi}	2,13	4,35 ^h	0,05
5040	30	79,18 ^{fg}	0,97	18,17 ^{ab}	0,66	4,17 ^g	0,16
	60	77,90 ^{ef}	1,23	19,83 ^{bc}	0,50	4,04 ^{efg}	0,09
	120	73,91 ^{cd}	1,51	23,00 ^{de}	0,75	4,45 ^h	0,09
	240	69,53 ^{ab}	2,11	29,00 ⁱ	1,56	4,43 ^h	0,09
	360	70,59 ^b	1,84	25,00 ^{fg}	0,00	4,00 ^{ef}	0,05
	480	67,39 ^a	2,27	29,17 ⁱ	2,50	4,14 ^g	0,05

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

6.3.2. Solução osmótica.

Quadro 16. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si}; pH_{sf}; TSS_{si}; TSS_{sf} da **solução de sacarose 40% (m/m)** para os tratamentos 4020; 4030; 4040.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000153	468393,6	2	143	0,00
Tratamento	Wilks	0,333832	52,2	4	286	0,00
Tempo	Wilks	0,036894	120,3	10	286	0,00
Tratamento*tempo	Wilks	0,047286	51,5	20	286	0,00

Tabela 9. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}) e pH final (pH_{sf}) da **solução de sacarose 40% (m/m)** para os tratamentos 4020; 4030; 4040.

Tratamento	Tempo (min.)	pH _{si}		pH _{sf}	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
4020	30	7,17 ^c	0,04	4,60 ^{cd}	0,03
	60	7,29 ^{cd}	0,04	4,08 ^a	0,04
	120	7,10 ^{bc}	0,04	5,18 ^g	0,13
	240	6,90 ^b	0,13	4,74 ^{de}	0,08
	360	6,92 ^b	0,05	5,23 ^g	0,06
	480	7,13 ^c	0,02	5,25 ^g	0,05
4030	30	7,15 ^c	0,04	4,11 ^a	0,02
	60	7,11 ^{bc}	0,02	4,15 ^a	0,08
	120	6,62 ^a	0,08	4,57 ^c	0,09
	240	7,39 ^d	0,03	4,59 ^c	0,04
	360	7,67 ^e	0,07	5,03 ^f	0,13
	480	7,41 ^d	0,19	5,15 ^{fg}	0,03
4040	30	6,96 ^b	0,11	4,43 ^b	0,08
	60	6,90 ^b	0,07	4,32 ^b	0,12
	120	7,45 ^d	0,16	4,85 ^e	0,04
	240	7,13 ^c	0,21	5,02 ^f	0,16
	360	7,46 ^d	0,29	5,14 ^{fg}	0,05
	480	7,08 ^{bc}	0,29	4,65 ^{cd}	0,06

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Tabela 10. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}) e do teor de sólidos solúveis final (TSS_{sf}) da **solução de sacarose 40% (m/m)** para os tratamentos 4020; 4030; 4040.

Tratamento	Tempo (min.)	TSS _{si} °Brix		TSS _{sf} °Brix	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
4020	30	40,50	0,00	39,00	0,00
	60	40,00	0,00	38,00	0,00
	120	40,00	0,00	38,00	0,00
	240	40,00	0,00	37,50	0,00
	360	40,00	0,00	37,00	0,00
	480	40,00	0,00	37,00	0,00
4030	30	40,50	0,00	39,00	0,00
	60	40,50	0,00	38,50	0,00
	120	40,00	0,00	38,00	0,00
	240	40,00	0,00	37,50	0,00
	360	40,00	0,00	37,00	0,00
	480	40,50	0,00	37,50	0,00
4040	30	40,50	0,00	38,50	0,00
	60	40,00	0,00	38,50	0,00
	120	40,50	0,00	38,00	0,00
	240	40,00	0,00	37,00	0,00
	360	40,50	0,00	37,50	0,00
	480	40,50	0,00	37,00	0,00

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Quadro 17. Teste de significância multivariada de Wilks para as variáveis pH_{si}; pH_{sf}; TSS_{si}; TSS_{sf} da **solução de sacarose 50% (m/m)** para os tratamentos 5020; 5030; 5040.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000182	393691,3	2	143	0,00
Tratamento	Wilks	0,493946	30,2	4	286	0,00
Tempo	Wilks	0,078983	73,2	10	286	0,00
Tratamento*tempo	Wilks	0,028318	70,7	20	286	0,00

Tabela 11. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do pH inicial (pH_{si}) e pH final (pH_{sf}) da **solução de sacarose 50% (m/m)** para os tratamentos 5020; 5030; 5040.

Tratamento	Tempo (min.)	pH _{si}		pH _{sf}	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
5020	30	6,95 ^{cd}	0,02	4,82 ^d	0,04
	60	6,85 ^{bc}	0,02	5,04 ^{ef}	0,08
	120	7,23 ^{ef}	0,02	4,68 ^{cd}	0,04
	240	6,65 ^b	0,02	4,71 ^{cd}	0,13
	360	6,86 ^{bc}	0,01	4,20 ^a	0,05
	480	6,88 ^c	0,01	4,84 ^d	0,04
5030	30	6,99 ^{cd}	0,03	4,56 ^b	0,04
	60	7,64 ^g	0,03	4,81 ^d	0,08
	120	7,07 ^{de}	0,01	4,54 ^b	0,03
	240	7,32 ^f	0,06	4,68 ^{bc}	0,12
	360	6,73 ^b	0,11	5,13 ^f	0,05
	480	7,30 ^f	0,02	5,16 ^f	0,06
5040	30	5,96 ^a	0,01	4,71 ^{cd}	0,09
	60	7,39 ^f	0,03	4,67 ^{bc}	0,15
	120	7,27 ^{ef}	0,01	4,78 ^d	0,10
	240	7,12 ^{de}	0,10	4,98 ^e	0,09
	360	7,07 ^{de}	0,05	4,59 ^{bc}	0,16
	480	7,22 ^{ef}	0,01	5,06 ^{ef}	0,08

(Se p > 0,05 letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se p < 0,05 letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

Tabela 12. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão do teor de sólidos solúveis inicial (TSS_{si}) e do teor de sólidos solúveis final (TSS_{sf}) da **solução de sacarose 50% (m/m)** para os tratamentos 5020; 5030; 5040.

Tratamento	Tempo (min.)	TSS _{si} °Brix		TSS _{sf} °Brix	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
5020	30	50,00	0,00	48,00	0,00
	60	50,00	0,00	47,50	0,00
	120	50,00	0,00	46,50	0,00
	240	50,50	0,00	47,00	0,00
	360	50,00	0,00	46,00	0,00
	480	50,00	0,00	46,00	0,00
5030	30	50,50	0,00	48,50	0,00
	60	50,50	0,00	48,00	0,00
	120	50,00	0,00	47,50	0,00
	240	50,00	0,00	45,50	0,00
	360	50,00	0,00	45,50	0,00
	480	50,50	0,00	45,50	0,00
5040	30	50,50	0,00	48,00	0,00
	60	51,50	0,00	48,50	0,00
	120	50,50	0,00	46,50	0,00
	240	50,50	0,00	46,00	0,00
	360	50,00	0,00	46,00	0,00
	480	50,00	0,00	46,00	0,00

(Se $p > 0,05$ letras iguais não há diferenças significativas entre os valores das variáveis. Se $p < 0,05$ letras diferentes há diferenças significativas entre os valores das variáveis).

6.4. Propriedades físico químicas da maçã desidratada *versus* maçã fresca.

Quadro 18. Teste significância multivariada de Wilks para AR; TSS; AT; pH de **maçã desidratada** *versus* **maçã fresca** com quatro horas de imersão.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000219	69294,95	6	91	0,00
Amostra	Wilks	0,037437	15,54	30	366	0,00
Tratamento	Wilks	0,013339	1121,87	6	91	0,00
Amostra*tratamento	Wilks	0,070661	11,46	30	366	0,00

Tabela 13. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão dos açúcares redutores (AR) e teor de sólidos solúveis (TSS) de **maçã desidratada** *versus* **maçã fresca** com quatro horas de imersão.

Tratamento	Ensaio	AR g/100 g maçã		TSS °Brix	
		média±σ _{n-1}		média±σ _{n-1}	
Desidratadas	4020	14,61 ^b	1,92	19,50 ^b	0,00
	4030	15,64 ^b	0,31	24,22 ^c	2,46
	4040	18,20 ^c	0,44	25,83 ^c	0,66
	5020	17,70 ^c	1,55	24,22 ^c	0,66
	5030	19,16 ^{cd}	0,56	25,83 ^c	2,46
	5040	20,20 ^d	0,81	29,00 ^d	1,56
Frescas	4020	7,59 ^a	0,38	12,50 ^a	0,75
	4030	6,89 ^a	1,55	13,22 ^a	0,36
	4040	8,50 ^a	0,98	12,83 ^a	0,71
	5020	8,32 ^a	1,07	13,50 ^a	0,00
	5030	6,89 ^a	1,55	12,83 ^a	0,50
	5040	7,72 ^a	1,71	13,00 ^a	0,35

Tabela 14. Valores médios experimentais e respectivos desvio padrão da acidez total (AT) e pH de **maçã desidratada versus maçã fresca** com quatro horas de imersão.

Tratamento	Ensaio	ATi g ácido málico/100g maçã		pH	
		média $\pm\sigma_{n-1}$		média $\pm\sigma_{n-1}$	
Desidratadas	4020	0,25 ^f	0,04	4,55 ^e	0,05
	4030	0,21 ^{dc}	0,01	4,09 ^{abc}	0,08
	4040	0,21 ^{de}	0,01	3,95 ^{ab}	0,11
	5020	0,23 ^{ef}	0,02	4,09 ^{abc}	0,08
	5030	0,21 ^{de}	0,01	3,95 ^{ab}	0,11
	5040	0,24 ^{ef}	0,00	4,43 ^{de}	0,09
Frescas	4020	0,19 ^{bc}	0,01	3,90 ^a	0,14
	4030	0,14 ^a	0,02	4,00 ^{ab}	0,17
	4040	0,18 ^b	0,01	4,13 ^{bc}	0,07
	5020	0,14 ^a	0,02	4,21 ^c	0,03
	5030	0,14 ^a	0,02	3,96 ^{ab}	0,27
	5040	0,18 ^{bc}	0,01	4,24 ^{cd}	0,11

Quadro 19. Teste significância multivariada de Wilks da dureza de **maçã desidratada** versus **maçã fresca** com quatro horas de imersão.

	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,003438	13767,64	2	95	0,000000
Proporção sólidos	Wilks	0,317541	14,72	10	190	0,000000
Tempo	Wilks	0,034242	1339,69	2	95	0,000000
Proporção sólidos*tempo	Wilks	0,373334	12,10	10	190	0,000000

Tabela 15. Valores médios e respectivos desvio padrão da dureza de **maçã desidratada** versus **maçã fresca** com quatro horas de imersão.

Tratamento	Ensaio	Dureza (N)	
		média $\pm\sigma_{n-1}$	
Desidratada	4020	1,10 ^a	0,34
	4030	1,57 ^a	0,53
	4040	1,38 ^a	0,65
	5020	1,78 ^{ab}	0,67
	5030	1,00 ^a	0,35
	5040	1,10 ^a	0,71
Frescas	4020	2,85 ^{bc}	0,50
	4030	2,07 ^{abc}	0,92
	4040	2,07 ^{abc}	0,92
	5020	2,89 ^{bc}	0,49
	5030	2,07 ^{abc}	0,92
	5040	2,07 ^{abc}	0,92

6.5. Análise Sensorial.

Quadro 20. Pontuação de ordenação dos atributos da análise sensorial para **maçã desidratada** com pré-tratamento versus **maçã desidratada** sem pré-tratamento.

Atributos	Maçã sem tratamento	Tratamentos					
	SDO	4020	4030	4040	5020	5030	5040
Aspeto visual	2,81	3,96	3,67	5,04	5,11	3,30	4,07
Aroma	3,13	3,79	4,21	3,96	4,38	3,88	3,54
Sabor	2,11	4,37	4,33	4,70	4,63	4,15	3,85
Dureza	1,63	3,74	4,30	4,33	4,96	4,52	4,52
Crocância	1,44	3,89	4,22	4,74	5,07	4,37	4,26