

Susana Isabel Alves Sério

ESTUDO DE TRATAMENTOS PRÉVIOS PARA O
CONTROLO DE ACASTANHAMENTO DE CENOURA
SECADA

Dissertação

Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar



Fevereiro, 2014

Susana Isabel Alves Sério

ESTUDO DE TRATAMENTOS PRÉVIOS PARA O
CONTROLO DE ACASTANHAMENTO DE CENOURA
SECADA

Dissertação

Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar

Trabalho efetuado sob orientação de
Professora Doutora Raquel Guiné

Trabalho co-orientado por
Professora Doutora Paula Correia
Professora Doutora Maria João Barroca

Fevereiro, 2014



Dissertação apresentada à
Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu
para obtenção do grau de Mestre em
Qualidade e Tecnologia Alimentar.

As doutrinas expressas neste trabalho são da exclusiva responsabilidade do autor.

À MINHA FAMÍLIA.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não seria possível sem a colaboração de algumas pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização do mesmo. A todos quero prestar os meus sinceros agradecimentos.

À Professora Doutora Raquel Guiné pela orientação, tempo disponibilizado e apoio em todas as fases que levaram à concretização deste trabalho.

À Professora Doutora Maria João Barroca, pela atenção demonstrada e pela sua posição exigente e crítica de arguir as ideias apresentadas, facilitando, deste modo, alcançar os objetivos propostos.

À Professora Doutora Paula Correia, pela disponibilidade e apoio prestado ao longo do trabalho.

Ao Professor Doutor Fernando Gonçalves e ao Engenheiro Rui Coutinho, pela disponibilidade e pela preciosa ajuda demonstrada, sempre que a mesma era solicitada, ao longo de todo o trabalho experimental.

Aos colegas de laboratório e aos meus amigos, em especial à Rita Calado, que me acompanhou durante esta caminhada, pelo companheirismo, pela motivação, entre-ajuda e por todo o apoio.

Por fim, agradeço à minha família, nomeadamente aos meus pais, pelo esforço que fazem diariamente, para que seja possível dar continuidade aos meus estudos.

A todos, obrigada, uma vez mais, pela força que me transmitem para a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de compostos químicos como o ácido ascórbico e metabissulfito de sódio na inibição do acastanhamento em cenoura (*Daucus carota* L.), da variedade Nantes, sujeita a secagem, por convecção (60°C e 40°C). Por outro lado, estudou-se o efeito da aplicação de extratos naturais como os de chá verde e branco, aliados ao branqueamento, baseados na sua atividade antioxidante natural.

As amostras foram sujeitas a ácido ascórbico e metabissulfito de sódio nas concentrações de 0,25% (m/v) e 1% (m/v), durante 60 min e 90 min e foi efetuado um controlo em água destilada (sem agente anti-escurecimento) nos mesmos períodos de tempo mencionados anteriormente. Os testes de branqueamento foram pré-estabelecidos, através do teste da peroxidase para a determinação do binómio tempo-temperatura adequado a cada tratamento térmico.

Procedeu-se à análise das propriedades químicas (humidade, proteína, cinza, fibra bruta, açúcares, compostos fenólicos e atividade antioxidante), propriedades físicas (textura e cor), no estado fresco e após as secagens.

Quanto aos resultados obtidos, verificou-se que, de forma geral, a secagem a 60°C conduziu a alterações mais notórias nas propriedades químicas analisadas, nomeadamente ao nível das proteínas e dos açúcares redutores.

No que respeita à atividade antioxidante, as alterações foram pouco evidentes com o aumento da temperatura de secagem, porém comparativamente com a amostra em fresco, ocorreram perdas. Quanto ao teor de polifenóis totais, de forma geral, também ocorreram perdas, ocasionadas, possivelmente, por reações de acastanhamento enzimático.

Quanto à análise da cor a secagem a 40°C conduziu a maiores alterações em termos de luminosidade, sendo os tratamentos com infusões de chá os que se aproximaram mais à amostra em fresco. Em termos de diferença de cor total, a secagem a 40°C conduziu a maiores variações, sendo os pré-tratamentos térmicos os que registaram menores variações. Quanto ao índice de acastanhamento, a secagem a 40°C, apresentou resultados mais baixos, sendo os pré-tratamentos químicos aqueles que apresentaram os menores valores.

Em relação à textura, registaram-se valores semelhantes em termos de elasticidade e coevisidade mas uma diminuição significativa da dureza e da

mastigabilidade das amostras secadas quando comparadas com a amostra em fresco.

PALAVRAS-CHAVE: cenoura, pré-tratamentos, branqueamento, secagem, índice de acastanhamento, propriedades físico-químicas.

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the effect of chemical compounds such as ascorbic acid and sodium metabisulfite in inhibiting browning in carrot (*Daucus carota* L.), variety Nantes, subjected to drying by convection (60°C and 40°C) and as the application of natural extracts, including green tea and white allies bleaching, based on their natural antioxidant activity .

The samples were subjected to ascorbic acid and sodium metabisulfite at concentrations of 0,25% (w/v) and 1% (w/v) for 60 min and 90 min and was performed in distilled water control (no anti-browning agent) at the same time periods mentioned above. Bleaching tests were predetermined by testing the peroxidase to determine the appropriate time-temperature binomial each heat treatment.

Proceeded to the analysis of chemical properties (moisture, protein, ash, crude fiber, sugars, phenolic compounds and antioxidant activity), physical properties (texture and color), in the fresh state and after drying.

As far as results go, it was found that, generally, drying at 60°C led to the most obvious changes in the chemical analysis, especially in terms of proteins and reducing sugars. In relation to the antioxidant activity, the changes were less evident with increasing drying temperature, but compared with the fresh sample, there were losses. Relating to the content of total polyphenols, it was found that in some of the samples, there were some losses caused by, most likely, enzymatic browning reactions.

The analysis of the color drying at 40°C led to greater changes in luminance, and treatments with infusions of tea moved closer to the fresh sample. In terms of total color difference, drying at 40°C led to greater variations and the pre-heat treatment showed that the smaller variations. In the rate of browning, drying at 40°C showed lower results and the chemical pretreatments those with lower values.

Regarding the texture, there were similar values in terms of springiness and cohesiveness. In case of the hardness and chewiness it was found that the drying lead to significant changes when compared to a fresh sample.

KEYWORDS: carrot, pre-treatments, bleaching, drying, browning index, physico-chemical properties.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	II
ABSTRACT	IV
ÍNDICE GERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
I. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FAMÍLIA <i>APIACEAE</i>	4
2.2. ALTERAÇÕES GERAIS NO PÓS-CORTE DE HORTOFRUTÍCOLAS	8
2.3. A ATIVIDADE DA ÁGUA E A ESTABILIDADE DOS ALIMENTOS	11
2.4. SECAGEM DE ALIMENTOS.....	12
2.4.1. MÉTODOS DE SECAGEM.....	13
2.4.1.1 Secagem natural.....	13
2.4.1.2 Secagem artificial (Desidratação)	14
2.4.2. CURVAS TÍPICAS DE SECAGEM	15
2.4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A SECAGEM.....	17
2.4.3.1 Condições do processo	17
2.4.3.2 Natureza do produto alimentar	18
2.4.4. REAÇÕES E ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELA SECAGEM.....	19
2.4.4.1 Oxidação lipídica	20
2.4.4.2 Acastanhamento enzimático.....	21
2.4.4.3 Reações de Maillard	21
2.4.4.4 Alterações de textura.....	21
2.4.4.5 Alterações de sabor ou aroma.....	22
2.4.4.6 Alterações de cor.....	23
2.4.4.7 Alterações nutricionais.....	24
2.5. SECAGEM DE VEGETAIS	25
2.5.1. DIAGRAMA DE FABRICO DE VEGETAIS DESIDRATADOS.....	26
2.5.1.1 Mercado de produtos desidratados	27
2.6. REAÇÕES DE ACASTANHAMENTO	28
2.6.1. ACASTANHAMENTO NÃO ENZIMÁTICO	29
2.6.1.1 Controlo do acastanhamento não enzimático.....	30

2.6.2. ACASTANHAMENTO ENZIMÁTICO	31
2.6.2.1 Enzimas responsáveis	32
2.6.2.2 Controlo do acastanhamento enzimático	37
III. OBJETIVOS	50
IV. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
4.1. AMOSTRAGEM	51
4.1.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	51
4.1.2. PRÉ-TRATAMENTOS	51
4.1.3. PROCESSOS DE SECAGEM	53
4.2. ANÁLISES QUÍMICAS	54
4.2.1. HUMIDADE.....	54
4.2.2. CINZA.....	55
4.2.3. PROTEÍNA	55
4.2.4. FIBRA BRUTA	57
4.2.5. AÇÚCARES REDUTORES	58
4.2.6. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	61
4.2.7. COMPOSTOS FENÓLICOS.....	63
4.3. ANÁLISES FÍSICAS.....	67
4.3.1. COR.....	67
4.3.2. TEXTURA.....	69
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	71
V. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	72
5.1. HUMIDADE	72
5.2. CINZA	73
5.3. PROTEÍNA.....	75
5.4. FIBRA BRUTA	77
5.5. AÇÚCARES	79
5.6. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	81
5.7. POLIFENÓIS TOTAIS.....	88
5.8. COR	94
5.9. TEXTURA	101
VI. CONCLUSÃO	108
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS	139

ANEXO A	140
ANEXO B	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de variedades de cenoura.	5
Figura 2: Aspeto exterior e interior da Cenoura (<i>Daucus carota</i> L.).	7
Figura 3: Dano a nível celular originado pela operação de corte.	8
Figura 4: Inter-relação entre as respostas do tecido vegetal ao ferimento (PAL – fenilalanina amónia liase; PPO – polifenoloxidase).	9
Figura 5: Influência da atividade de água na estabilidade dos alimentos.	11
Figura 6: Curvas típicas da velocidade, humidade e temperatura no produto, durante a secagem.	15
Figura 7: Processo de secagem onde se atinge o ponto de equilíbrio.	17
Figura 8: Aspeto de tomate desidratado.	20
Figura 9: Fluxograma geral para desidratação de hortaliças.	27
Figura 10: Cereais de pequeno-almoço com fruta desidratada.	27
Figura 11: Mercado mundial de desidratados.	28
Figura 12: Evolução da mudança de cor provocada pelo acastanhamento enzimático.	32
Figura 13: Grupo prostético da polifenoloxidase.	33
Figura 14: Representação da estrutura da ferriprotoporfirina.	35
Figura 15: Localização interna e externa de compostos fenólicos e das enzimas PPO e POD numa célula vegetal típica.	35
Figura 16: Reação de oxidação de compostos fenólicos catalisada pela polifenoloxidase.	43
Figura 17: Estrutura química do ácido ascórbico, desidroscórbico e dicetoglocónico.	44
Figura 18: Representação esquemática da produção do chá branco, verde, vermelho e preto.	47
Figura 19: Delineamento experimental dos vários tratamentos testados.	52
Figura 20: Diferença de volumes de tiosulfato de sódio 0,1N correspondentes à massa de açúcar redutor.	60
Figura 21: Estruturas químicas genéricas de classes de polifenóis.	64
Figura 22: Estruturas químicas de subclasses dos flavonoides.	64
Figura 23: Espaço de cor CIElab.	67
Figura 24: Coordenadas C* e h ^o	68
Figura 25: Ilustração de um perfil de Textura Instrumental de Análises (TPA).	69
Figura 26: Retas de calibração para quantificação da atividade antioxidante nas diferentes amostras.	82
Figura 27: Atividade antioxidante das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 60°C.	84
Figura 28: Atividade antioxidante das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 40°C.	85
Figura 29: Curva de calibração para quantificação dos compostos fenólicos nas diferentes amostras.	88

Figura 30: Compostos fenólicos das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 60°C.	90
Figura 31: Compostos fenólicos das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 40°C.	91
Figura 32: Quantificação dos compostos fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteus.....	93
Figura 33: Diferença de cor após as várias secagens.....	98
Figura 34: Valores de índice de acastanhamento das diferentes amostras.	99
Figura 35: Valores de dureza das diferentes amostras.	101
Figura 36: Valores de elasticidade das diferentes amostras.	103
Figura 37: Valores de mastigabilidade das diferentes amostras.	104
Figura 38: Valores de coesividade das diferentes amostras.	106
Figura 39: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com água destilada.	140
Figura 40: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com infusão de chá verde (2g/500mL).	141
Figura 41: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com infusão de chá branco (2g/500mL).	142

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição nutricional da cenoura em fresco (por 100g de parte edível).....	6
Tabela 2: Concentração média de α e β -caroteno em diferentes vegetais.	7
Tabela 3: Funções do branqueamento.....	40
Tabela 4: Principais representantes das classes de inibidores do acastanhamento enzimático.	41
Tabela 5: Codificação das amostras estudadas.....	53
Tabela 6: Valores do teor de humidade, na amostra em fresco e após as várias secagens.....	72
Tabela 7: Valores do teor de cinzas, na amostra em fresco e após as várias secagens.....	73
Tabela 8: Valores do teor de proteínas, na amostra em fresco e após as várias secagens.....	75
Tabela 9: Valores do teor de fibras, na amostra em fresco e após as várias secagens.....	77
Tabela 10: Resultados do teor de açúcares totais, redutores e não redutores. ...	79
Tabela 11: Percentagem de extração de compostos com atividade antioxidante.	82
Tabela 12: Percentagem de extração de compostos com atividade antioxidante.	83
Tabela 13: Percentagem de extração de compostos fenólicos para a secagem de 60°C.	89
Tabela 14: Percentagem de extração de compostos fenólicos para a secagem de 40°C.	89
Tabela 15: Parâmetros da cor relativos à amostra em fresco e sujeitas a secagem.	94
Tabela 16: Formulação das infusões testadas.	141

I. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O consumo de vegetais tem um efeito benéfico na saúde, uma vez que são uma excelente fonte de vitaminas, minerais e fibra, além de possuírem um baixo conteúdo calórico (Correia, 2004). Alimentos como, por exemplo, o pepino e a courgette sofrem alterações ao longo do tempo, surgindo a necessidade de recorrer a processos de conservação, como é o caso da secagem (Doymaz, 2007). A produção de vegetais desidratados desempenha um papel importante na indústria alimentar, aplicando-se, por exemplo, na produção de sopas instantâneas, molhos, pratos preparados, entre outros (Funebo & Ohlsson, 1998).

A secagem diminui consideravelmente a atividade da água do alimento, reduz a atividade microbiológica e minimiza as alterações físicas e químicas durante o seu armazenamento. Paralelamente, também proporciona uma redução substancial da massa e volume, minimizando os custos de armazenamento, embalagem e transporte (Sobukola *et al.*, 2007).

Durante a secagem ocorrem reações que podem resultar na perda de qualidade, perdas de nutrientes e particularmente deteriorações causadas por reações de acastanhamento. Estas reações podem ser consideradas desejáveis, quando melhoram a aparência e o sabor de um produto alimentar, como nos casos do café e da cerveja. No entanto, noutros casos tais como frutas, vegetais, alimentos congelados e desidratados, as reações de acastanhamento tornam-se indesejáveis, pois resultam em *off-flavours*, na redução do valor nutritivo, assim como na alteração de cores, pondo em causa a aceitabilidade dos mesmos (Eskin *et al.*, 1971). Estas alterações de cor podem estar relacionadas com a degradação de carotenoides, durante o processamento, os quais apresentam importantes propriedades antioxidantes (Gonçalves *et al.*, 2007).

Por parte dos consumidores, a cor é o principal fator considerado na seleção de alimentos (Kays, 1999). Assim sendo, torna-se imperativo o conhecimento de mecanismos e métodos de inibição destas reações de acastanhamento.

As reações de acastanhamento, que ocorrem durante a secagem, podem ser enzimáticas e não enzimáticas (Hernández *et al.*, 2007a). O

acastanhamento enzimático está relacionado com a oxidação de compostos fenólicos. Durante as operações de corte e descasque libertam-se diversos tipos de enzimas, que ficam em contacto com os substratos sobre os quais atuam (López-Gálvez *et al.*, 1996). O acastanhamento não enzimático ocorre sobretudo durante a operação da secagem e armazenamento prolongado de produtos (Lee, 1983).

O acastanhamento enzimático pode ser evitado ou reduzido mediante a aplicação de tratamentos apropriados (Chang *et al.*, 2000), como os métodos de pré-tratamento, tais como, o branqueamento e métodos químicos (Gupta *et al.*, 2002; Hossain & Bala, 2002).

Os pré-tratamentos permitem conservar algumas características do alimento como a cor, a textura, os componentes nutritivos e a capacidade de rehidratação. Desta forma, melhora a qualidade do produto e facilita a secagem (Sanjuán, 1998).

Os efeitos benéficos de diversas substâncias (ácido cítrico, ácido ascórbico e bissulfito de sódio) na reação de acastanhamento de compostos fenólicos em diferentes produtos, tais como: alfaces (Altunkaya & Gokmen, 2008), batatas (Limbo & Piergiovanni, 2006) e pêras (Arias *et al.*, 2007), são também bem conhecidos.

Trabalhos descritos por Arévalo-Pinedo & Murr (2006) ou Tunde-Akintunde & Ogunlakin (2010) referem-se à aplicação de pré-tratamento para a secagem de abóbora.

Por outro lado, compostos químicos como os sulfitos têm sido considerados um potencial perigo para a saúde, nomeadamente em asmáticos, pelo que tem surgido um interesse crescente na pesquisa de alternativas para estes compostos (Warner, 2000), aliado às preferências dos consumidores que exigem, agora, produtos mais naturais e com menos aditivos, como os antioxidantes naturais (Ramalho & Jorge, 2006).

O extrato de chá verde, por exemplo, é rico em polifenóis, que são antioxidantes naturais que podem ser utilizados como alternativas aos antioxidantes sintéticos (Cao, 1996).

A aplicação deste tipo de chá tem vindo a ser estudada devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Martin-Diana (2008) observou que o extrato de chá verde tem capacidade de conservante natural e pode

substituir agentes de desinfeção tradicionais, como o cloro. Constatou, ainda, que a aplicação de extrato de chá verde, em baixa concentração, produziu bons resultados em aspetos sensoriais e nutricionais comparativamente com o cloro em alface minimamente processada. No entanto, estudos realizados com aplicação deste chá em produtos secados são escassos na literatura.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FAMÍLIA APIACEAE

As *Apiaceae* (Apiáceas) ou *Umbelliferae* é uma grande família, composta por 3000 espécies distribuídas por 300 géneros (Moreno-Dorado *et al.*, 2000).

A sua distribuição é muito abrangente, sendo possível encontrar plantas desta família desde regiões tropicais a regiões temperadas.

As *Apiaceae* têm vindo a ser utilizadas pelo Homem desde as civilizações ancestrais, para alimentação, aromatização, como medicamentos e até como venenos (Judd *et al.*, 2002).

Das espécies com maior interesse agrícola salienta-se a cenoura (*Daucus carota* L.), o aipo (*Apium graveolens*) e um grupo importante de ervas com interesse culinário e medicinal, como a salsa (*Petroselinum crispum*), a angélica (*Angelica officinalis*) o aneto, endro ou funcho bastardo (*Anethum graveolens*), anis (*Pimpinella anisum*) e levístico (*Levisticum officinale*), entre outros (Judd *et al.*, 2002).

2.1.1 CENOURA (*DAUCUS CAROTA* L.)/ COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

A cenoura é uma raiz de uma planta bianual, da família *Apiaceae* (*Umbelliferae*) e do género *Daucus carota* L. (Renaud, 2003).

Esta é originária da Ásia Central e apresenta-se adaptada às mais variadas condições edafoclimáticas. A maioria das cenouras existentes no mercado são as familiares cor de laranja, no entanto, existem outras variedades em tons de amarelo claro e bege (Bird, 2001).

Na Figura 1, pode-se observar as diferentes variedades.

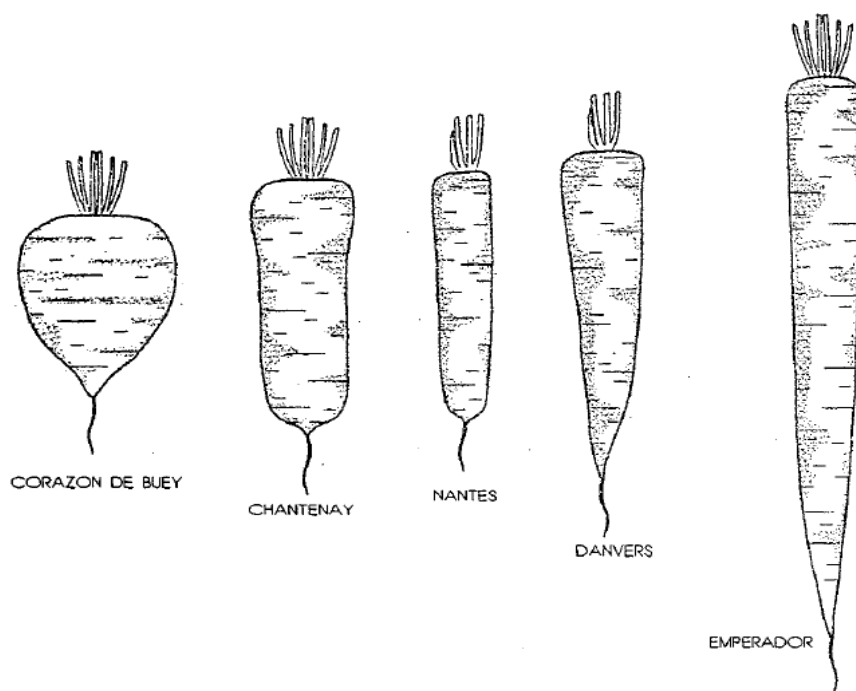


Figura 1: Tipos de variedades de cenoura.

A cenoura é bastante usada na alimentação humana e apresenta elevado valor nutricional. Além do consumo em fresco é utilizada como matéria-prima para indústrias processadoras de alimentos, que a comercializam na forma de minimamente processada (minicenouras, cubos, ralada, em rodelas) ou na forma de salada de legumes, alimentos infantis e sopas instantâneas (Filgueira, 2003).

A composição química da cenoura é variável e influenciada pelas condições de cultivo (sistema de produção, tipo de solo, clima) e por fatores genéticos (Chitarra & Carvalho, 1984).

A composição média da cenoura, em g/100g é: humidade: 88,20 a 95,55; proteínas: 0,44 a 1,33; lípidos: 0,19 a 0,50; cinzas: 0,30 a 0,99; hidratos de carbono: 3,51 a 9,70, sendo que 1,00 a 3,32 representam fibra alimentar. Relativamente a alguns minerais, a cenoura apresenta em mg/100g, uma composição média de 0,60 a 0,70 em ferro; 26,00 a 36,00 de fósforo e 26,00 a 37,00 de cálcio (Verzeletti *et al.*, 2010).

Na Tabela 1, apresenta-se a composição nutricional da cenoura no estado fresco.

Tabela 1: Composição nutricional da cenoura em fresco (por 100g de parte edível).

Componentes	Cenoura
Água (g)	92
Energia (kcal)	19
Proteína (g)	0,6
Gordura total (g)	0
Hidratos de carbono (g)	4,4
Fibra alimentar (g)	2,6
Cinza (g)	0,6
Sódio (mg)	58
Potássio (mg)	312
Cálcio (mg)	41
Fósforo (mg)	33
Magnésio (mg)	7,0
Ferro (mg)	0,7
Zinco (mg)	0,1
Vitamina A total em equivalentes de retinol (µg)	933
Caroteno (mg)	5600
Vitamina D (µg)	0
α-Tocoferol (mg)	0,5
Tiamina/ Vitamina B1 (mg)	0,05
Riboflavina/ Vitamina B2 (mg)	0,02
Niacina/ Vitamina B3 (mg)	0,9
Vitamina B6 (mg)	0,07
Vitamina B12 (µg)	0
Vitamina C (mg)	3
Folatos (µg)	28

Fonte: Martins *et al.* (2006).

Do ponto de vista nutricional, a cenoura, é das principais fontes vegetais de vitaminas e minerais, rica principalmente em retinol (vitamina A), α-caroteno e β-caroteno.

Alguns trabalhos como os de Bao & Chang (1994) relatam ser a cenoura o alimento com maior teor de β-caroteno, que possui uma elevada actividade vitamínica A, ou seja, maior capacidade de ser convertido em vitamina A.

A Tabela 2, apresenta a concentração média de α e β -caroteno em diferentes vegetais.

Tabela 2: Concentração média de α e β -caroteno em diferentes vegetais.

Vegetais	β -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	α -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
Brócolos	4	-
Cenoura	7,900	3,700
Aspargo	449	9
Alface	1,900	1
Tomate	520	-
Abóbora	3,100	3,800

Fonte: Mahan & Escott-Stump (1996).

Os carotenoides vegetais apresentam benefícios à saúde, uma vez que todos apresentam atividade pró-vitamina A, cujas funções no organismo estão relacionadas com a visão, com o crescimento ósseo e com a diferenciação dos tecidos (Campos, 2006). Por outro lado, apresentam propriedades antioxidantes, importantes na ação protetora contra o cancro e doenças cardiovasculares. No entanto, ainda existem controvérsias sobre este assunto (Rosa, 2010).

Além disso, os carotenoides são responsáveis pela cor laranja nos vegetais, como é o caso da cenoura (Figura 2), e a intensidade de cor é considerado um indicador confiável de maior valor nutritivo (Gonçalves *et al.*, 2010). A cenoura apresenta, ainda, a fibra pectato de cálcio, que atua na diminuição da taxa de colesterol (*World Carrot Museum*, 2004).



Figura 2: Aspeto exterior e interior da Cenoura (*Daucus carota* L.).

2.2. ALTERAÇÕES GERAIS NO PÓS-CORTE DE HORTOFRUTÍCOLAS

O êxito comercial das empresas produtoras e de comercialização passa pela qualidade dos produtos. Durante o processamento, as reações de degradação induzidas pelo corte, conduz à redução do tempo de vida útil do produto.

Os processos aos quais são submetidos os alimentos, provocam danos na integridade das células e modificação do seu metabolismo (Xu *et al.*, 2003; Vargas *et al.*, 2007), tal como aceleração de reações enzimáticas, com a consequente deterioração das características sensoriais desejáveis e perda de nutrientes bem como o desenvolvimento de microrganismos (; Rodrigues, 2003; Hernández *et al.*, 2007b).

Na Figura 3, ilustra-se as alterações provocadas pelo corte de uma célula vegetal.

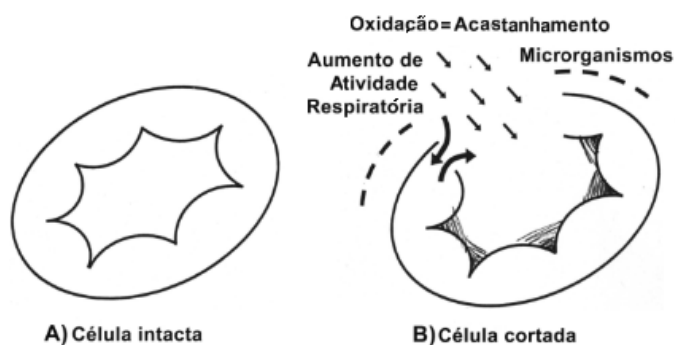


Figura 3: Dano a nível celular originado pela operação de corte.
Fonte: Wiley (1994).

Após o corte/abrasão, as células vegetais danificadas produzem um sinal de lesão que se propaga às células adjacentes e induz uma série de respostas, as quais são geralmente prejudiciais para a manutenção da qualidade destes produtos (Saltveit, 2000). Existem várias respostas e interações que podem ocorrer durante e após o processamento dos hortofrutícolas. Na Figura 4, estão ilustradas algumas dessas interações e referem-se ao pós-corte dos produtos hortofrutícolas.

Segundo Saltveit (2000), com o corte, o metabolismo dos compostos fenólicos altera-se. Por um lado esta alteração ocorre por oxidação dos compostos fenólicos existentes, que no pós-corte entram em contacto com enzimas endógenas (PPO-polifenoloxidase); por outro lado, verifica-se a ativação

da enzima PAL (fenilalanina amónia liase), conduzindo a acastanhamentos mais pronunciados (Empís & Moldão-Martins, 2000). O aumento da atividade enzimática da PAL, PPO e POD (peroxidase) é uma resposta ao stress sofrido pelos tecidos durante o corte, o que leva a uma diminuição da vida útil.

A inevitável aceleração da deterioração nos produtos descascados e cortados resulta da rutura celular e traduz-se em alterações fisiológicas e bioquímicas e no aumento da vulnerabilidade ao ataque microbiano que, no seu conjunto, se refletem na degradação da cor, da textura, do aroma, na perda de massa e de valor nutricional (Saltveit, 1997; Toivonen & Deell, 2002).

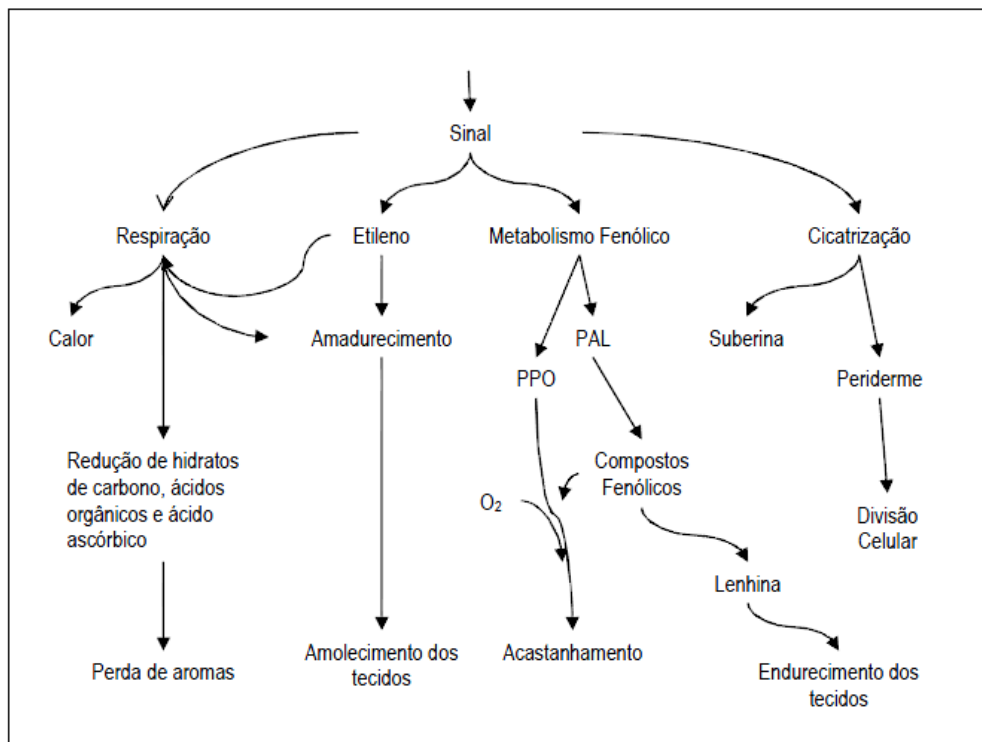


Figura 4: Inter-relação entre as respostas do tecido vegetal ao ferimento (PAL – fenilalanina amónia liase; PPO – polifenoloxidase).
Fonte: Saltveit (2000).

Das alterações fisiológicas e bioquímicas, derivadas do metabolismo de corte, destacam-se o aumento do metabolismo respiratório (; Barry-Ryan & O'Beirne, 2000; Fonseca, 2002; Surjadinata & Cisneros-Zevallos, 2003) e as alterações ao nível do metabolismo dos compostos fenólicos (Tomás-Barberán & Espín, 2001).

A respiração é um processo metabólico fundamental no tecido vivo, podendo descrever-se como a degradação oxidativa de substâncias mais complexas, normalmente presentes nas células, como o amido, os açúcares e os

ácidos orgânicos em moléculas mais simples, como o CO₂ e a água com a libertação de energia (Wills, 1998).

A taxa de respiração, em produtos vegetais, representa um bom indicador da atividade metabólica e além disso é um parâmetro eficaz para a previsão da vida útil (Glenn *et al.*, 1988), dado que é inversamente proporcional à capacidade de conservação dos mesmos (Martins, 2000).

A fruta cortada, por exemplo, apresenta uma respiração diferente da fruta inteira durante o armazenamento, devido à resposta fisiológica ao dano sofrido por causa do corte (Wiley, 1994).

Diversos estudos revelaram que o corte durante a preparação provoca um aumento da taxa de respiração 3 a 5 vezes maior do que o produto que lhe deu origem (Wiley, 1994; Sigrist, 2002) tornando os produtos minimamente processados muito perecíveis (Roura *et al.*, 2000).

Estas operações, portanto, levam ao aumento na taxa respiratória, na produção de etileno, uma acelerada senescência e um maior acastanhamento enzimático (Watada *et al.*, 1990).

Como referido anteriormente, após o corte de hortofrutícolas verifica-se também um aumento da síntese e da atividade das principais enzimas reguladoras do metabolismo fenólico: fenilalanina amónia liase (PAL; EC 4.3.1.5), a polifenoloxidase (PPO; EC 1.14.18.1) e a peroxidase (POD; EC 1.11.1.7) induzindo alterações nos compostos fenólicos presentes no produto (Tomás-Barberán & Espín, 2001; Martin-Diana *et al.*, 2005 a,b; Toivonen & Brummell, 2008).

O acastanhamento enzimático não ocorre nas células intactas, pois os compostos fenólicos presentes nos vacúolos celulares estão separados da PPO que se encontra no citoplasma. A ação da PPO conduz à alteração das propriedades organoléticas e visuais, assim como à redução do valor nutricional (Tomás-Barberán & Espín, 2001).

2.3. A ATIVIDADE DA ÁGUA E A ESTABILIDADE DOS ALIMENTOS

Nos alimentos, a água é um dos componentes mais importantes, pois afeta as suas propriedades físicas, bem como a composição química do alimento (Park, 2001a). Assim, o principal fator que afeta a estabilidade de um alimento não é o teor de humidade, mas sim a disponibilidade da água para o crescimento de microorganismos e reações químicas (Van Den Berg & Bruin, 1981), conforme ilustrado na Figura 5.

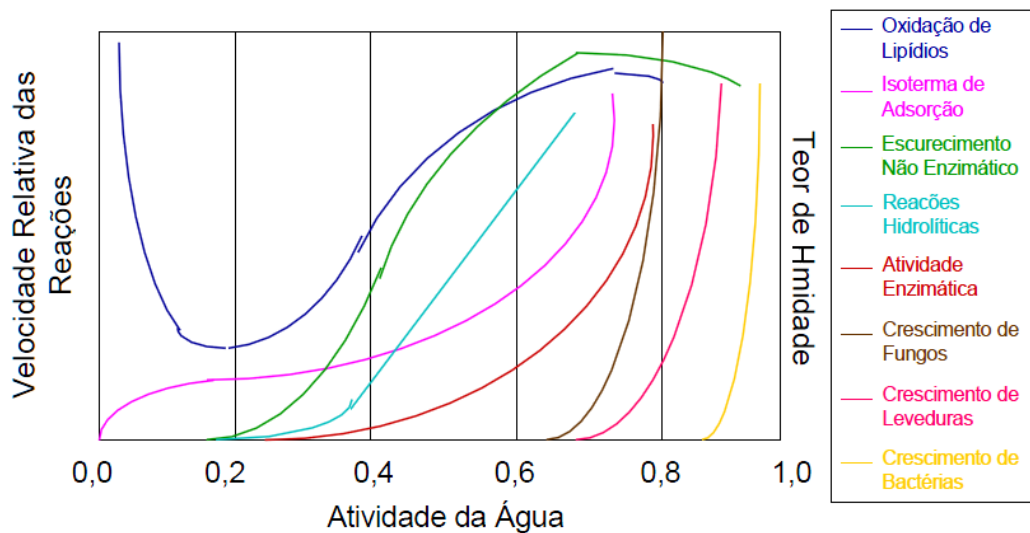


Figura 5: Influência da atividade de água na estabilidade dos alimentos.
Fonte: Van Den Berg & Bruin (1981).

Nos alimentos a água existe sob duas formas: água livre e água ligada (Karmas, 1980). A água livre está fracamente ligada ao substrato e funciona como solvente, permitindo o crescimento de microorganismos, de reações químicas, sendo eliminada com facilidade, ao contrário da água ligada que se encontra fortemente ligada ao substrato e é mais difícil de ser eliminada, não sendo usada como solvente, nem permitindo o crescimento de microorganismos (Isengard, 2001).

A atividade da água (a_w), que expressa o teor de água livre do alimento, é definida pela razão entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura (Park, 2001a). Esta é uma medida qualitativa que possibilita avaliar a disponibilidade de água livre que é suscetível a diversas reações, enquanto que o teor de humidade é uma medida meramente quantitativa, medindo a percentagem em massa, de toda a água presente no alimento, tanto livre como ligada (Scott, 1957).

2.4. SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem é provavelmente o método mais antigo de preservar alimentos. Antigas civilizações preservavam carne, peixes, frutos e vegetais, utilizando técnicas de secagem ao sol (Brennan, 1994).

Diversos autores utilizam a palavra “secagem” para descrever o processo natural de remoção de água por exposição ao sol (Brennan, 1994) e “desidratação” como a secagem artificial sob condições controladas (Potter & Hotchkiss, 1998).

Este processo consiste na remoção de água do alimento até ao nível em que a contaminação microbiológica e as reações de deterioração são minimizadas (Krokida *et al.*, 2003). Baseia-se na redução da atividade da água do alimento, com conseqüente inibição do crescimento microbiano, atividade enzimática, oxidação de lípidos e acastanhamento não-enzimático (Barruffaldi & Oliveira, 1998).

A humidade é um fator fundamental ao crescimento e desenvolvimento dos microrganismos. Dessa forma, ao diminuir significativamente o seu conteúdo, através da secagem, reduz-se drasticamente a atividade metabólica dos microrganismos (Gava, 2002).

Atualmente a secagem é considerada não só como um processo de conservação, mas também como um método para adicionar valor a alimentos, como é o caso da secagem de frutos e vegetais. Diversos alimentos podem ser obtidos a partir destes, como os produtos de padaria, de confeitaria e laticínios, sopas, purés, entre outros (Ramos *et al.*, 2002).

O processo de secagem apresenta inúmeras vantagens, das quais se destaca a facilidade na conservação do produto, a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, a proteção contra a degradação enzimática e oxidativa, a redução do peso e volume, os menores custos de transporte e armazenamento, a economia de energia e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (Park, 2001b).

No entanto, o uso de calor durante secagem conduz à perda de qualidade e do valor nutricional do alimento. Para minimizar estas perdas as condições de operação do processo devem ser otimizadas para cada alimento (Marcinkowski, 2006).

A qualidade do produto secado depende das condições de secagem, mas também de outras operações realizadas antes e depois da secagem (Negi & Roy, 2001). Por exemplo, o branqueamento, antes da secagem, promove a inativação enzimática, caso contrário poderia conduzir à formação de cores e sabores não desejáveis (Mazza, 1983). O branqueamento antes da secagem também foi relatado para aumentar a estabilidade de carotenoides durante o armazenamento.

2.4.1. MÉTODOS DE SECAGEM

A remoção de água dos alimentos pode ser feita mediante secagem natural (por exposição ao sol) ou artificial (câmara convectiva, secagem em túnel, liofilização, entre outras) (Lidon *et al.*, 2008).

2.4.1.1 *Secagem natural*

O método de secagem natural consiste na exposição do produto ao sol ou à sombra, num ambiente seco, para que parte da água seja removida por evaporação, usando energia solar e eólica (Carâmbula, 1981).

Este método apresenta algumas vantagens como baixo custo de instalação, não exige conhecimentos técnicos, usa energia limpa, barata, não deixa resíduos na natureza, baixo risco de danificação mecânica, entre outros.

Por outro lado, apresenta alguns inconvenientes que limitam a sua aplicação, pois é um processo lento, totalmente dependente das condições meteorológicas (humidade relativa do ar, temperatura local), exige uma mão de obra exclusiva e em quantidade para as operações de revolvimento do produto, entre outros (Carvalho & Nakagawa, 1983).

Apresentam, ainda, riscos devido ao ataque de insetos e fungos que produzem fitotoxinas. Além disso, o teor final de humidade pode não diminuir para níveis que garanta a conservação do mesmo. Desta forma, podem ocorrer diversas reações de deterioração durante a secagem ou armazenamento, assim como reações enzimáticas e/ou de oxidação (Arthey & Ashurst, 1996).

2.4.1.2 Secagem artificial (Desidratação)

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos métodos alternativos relativamente à secagem natural, nomeadamente as câmaras de secagem sob condições controladas (Serratosa *et al.*, 2008).

O método de secagem artificial caracteriza-se pela possibilidade de modificação e controlo das propriedades físicas: temperatura e fluxo do ar de secagem (Peske, 1991). O princípio consiste em submeter o produto à ação de uma corrente de ar através de estruturas especiais que possibilitam a secagem de volumes maiores num curto período de tempo, independentemente das condições meteorológicas (Maia, 1995).

A desidratação apresenta vantagens em relação à secagem natural como a redução da mão de obra e a maior rapidez na remoção de água do produto, evitando ações metabólicas e minimizando a ação de fungos e insetos, entre outros.

Por outro lado, apresenta alguns inconvenientes, como o elevado custo de aquisição de equipamentos e instalações, processo dispendioso em termos de energia calorífica (para aquecimento de ar) e/ou mecânica (movimentação do ar de secagem), exigência de mão de obra qualificada tecnicamente (Biagi *et al.*, 1992).

Apesar de existirem muitos métodos alternativos de secagem de frutas e vegetais frescos na indústria alimentar o mais comumente utilizado é a secagem por convecção (Guiné & Barroca, 2012). No entanto, dependendo das condições processuais, tais como a temperatura ou o tempo de secagem podem ocorrer perdas de alguns nutrientes.

Na secagem com ar quente, a vaporização da água ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, ocasionando a transferência de massa de água para o ar, na forma de vapor de água (Park, 2001a). Durante a secagem, a água livre é transportada do interior do sólido e evapora-se à superfície do material. Os mecanismos mais importantes envolvidos no transporte da água são a difusão líquida, a difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. A energia envolvida no processo de secagem será correspondente ao calor latente de vaporização (Park, 2001a; Park 2001b).

A cinética de secagem é um assunto amplamente descrito na literatura para diferentes produtos e mostra que, dentre as variáveis que determinam o processo destaca-se a temperatura e a velocidade do ar de secagem (Queiroz & Nebra, 2001; Demirel & Turhan, 2003; Krokida *et al.*, 2003; Lahsasni *et al.*, 2004; Giraldo-Zuniga *et al.*, 2006; Corrêa *et al.*, 2007; Nagle *et al.*, 2008; Kaya *et al.*, 2008).

Segundo Aversa *et al.* (2007), a secagem convectiva forçada com ar apresenta valores típicos de temperatura do ar que variam entre 40°C e 80°C, enquanto que a velocidade do ar normalmente opera de 0,5 a 5 m/s, alcançando em alguns casos, o valor de 10 m/s. O tempo de secagem depende desses e de outros parâmetros, podendo atingir cerca de 20 horas.

2.4.2. CURVAS TÍPICAS DE SECAGEM

Os produtos biológicos são muito diferentes entre si, devido à sua composição, estrutura e às suas dimensões. As condições de secagem são muito diversas, de acordo com as propriedades do ar de secagem e a forma como se faz o contacto ar-produto. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é um fenómeno comum a qualquer condição de secagem (Silva, 2007).

O processo de secagem, fundamentado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 6.

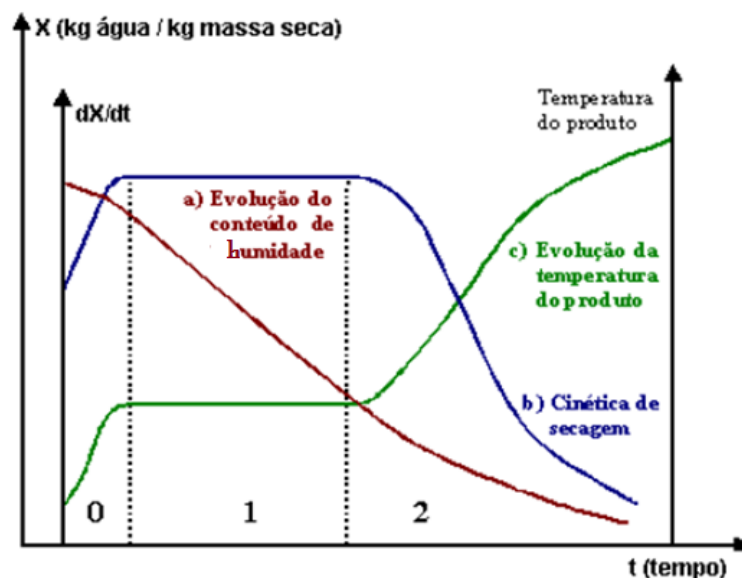


Figura 6: Curvas típicas da velocidade, humidade e temperatura no produto, durante a secagem. Fonte: Carvalho (2007).

A curva (a) representa o teor de água do produto durante a secagem, ou seja, o conteúdo de humidade do produto (X), em função do tempo de secagem (t).

A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto (dX/dt) ao longo do tempo (t).

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem.

O período designado na Figura 4 por zero representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água.

O primeiro período caracteriza-se por uma velocidade constante de secagem, sendo a água evaporada a livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver água suficiente na superfície do produto para acompanhar a evaporação, a velocidade de secagem mantém-se constante.

No segundo período, a velocidade de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se a transferência de massa. O fator limitante nessa fase é a migração da água do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem.

Quando o produto atinge o ponto de humidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo termina (Carvalho, 2007). A humidade de equilíbrio é a humidade final, que o produto pode atingir se o processo for conduzido num longo período de tempo. Numa determinada humidade relativa, na condição de equilíbrio com o ambiente, o material não perde nem ganha água, isto ocorre quando a pressão de vapor de água na superfície do material se iguala à pressão de vapor de água do ar do meio envolvente (Park, 2001a).

As informações acerca da humidade de equilíbrio são importantes no processamento e armazenamento dos alimentos, na medida em que condicionam o grau de conservação do produto.

Na Figura 7, pode observar-se a evolução da massa do produto durante o processo de secagem até se atingir o ponto de equilíbrio (massa constante).

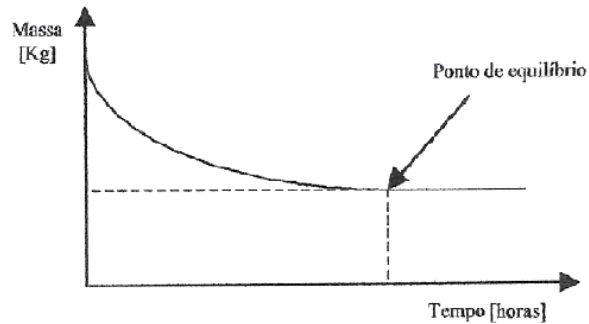


Figura 7: Processo de secagem onde se atinge o ponto de equilíbrio.
Fonte: Dias (2008).

Este ponto é atingido quando a pressão parcial de vapor no produto é igual à do meio envolvente.

2.4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A SECAGEM

Os principais fatores que controlam a velocidade de secagem podem ser agrupados em condições do processo (tipo de secador e condições de operação) ou natureza do alimento submetido ao processo (Heldman & Hartel, 1997).

2.4.3.1 Condições do processo

Os fatores que influenciam a velocidade de secagem relativamente às condições do processo são: a temperatura, a velocidade, a humidade relativa do ar de secagem e a pressão do sistema.

a) Temperatura: a velocidade de secagem aumenta com o aumento da temperatura. Durante a secagem, na fase de velocidade constante, a temperatura aumenta a transferência de calor do ar para a superfície do sólido. Paralelamente, o aumento da temperatura diminui a humidade relativa do ar, pelo que o gradiente de humidade entre a superfície do produto e o ar aumenta, facilitando a secagem.

Na fase decrescente, a temperatura está relacionada com a migração da água interna, pois quanto mais quente o ar, maior é a facilidade de migração das moléculas de água no interior do produto.

Porém, o uso de altas temperaturas pode causar mudanças químicas e físicas indesejáveis ao produto, além de provocar o ressecamento e

endurecimento excessivo da superfície. Assim, deve-se ter em conta o limite aceite para cada produto.

b) Velocidade do ar: o ar de secagem ao atingir a superfície do produto a ser desidratado influencia diretamente a velocidade de transferência de água da superfície para o ar de secagem. Um aumento na velocidade do ar causa um aumento na velocidade de transferência de massa por convecção.

c) Humidade relativa: o teor da humidade relativa, presente no ar de secagem, afeta diretamente a força motriz do processo, ou seja, o gradiente de humidade existente entre a superfície do produto e o ar de secagem.

Quanto maior a humidade relativa do ar utilizado no processo, menor será o gradiente de humidade e, por consequência, mais lenta será a secagem.

d) Pressão: este parâmetro influencia a relação de equilíbrio da água e, desta forma, pode influenciar o processo de secagem. Quando este se dá sob vácuo, a pressão de vapor do ar é reduzida, acelerando a secagem.

2.4.3.2 Natureza do produto alimentar

Os fatores que afetam a velocidade de secagem relacionados com a natureza do produto são: a área superficial, a orientação dos constituintes, a estrutura celular e tipo e a concentração dos solutos.

a) Área superficial: a distância que as moléculas de água devem percorrer no interior de um alimento determina o quão rápido será a secagem, ou seja, quanto menor a distância que as moléculas de água têm de percorrer e quanto maior a área da superfície que entra em contacto com o ar de secagem, a fim de atingir a superfície, mais rapidamente se dará a secagem.

Desta forma, ao efetuar a secagem de um produto em unidades menores (fatiado, por exemplo), permitirá uma secagem mais rápida, que secá-lo por inteiro (Heldman & Hartel, 2000).

b) Orientação dos constituintes: a orientação das microestruturas existentes no interior do alimento afeta a movimentação da humidade no interior do produto submetido ao processo de secagem. Por exemplo, a estrutura fibrosa de aipo provoca uma secagem mais rápida ao longo do comprimento de toda a estrutura da célula. Um outro comportamento semelhante ocorre em carnes, devido aos fios de proteína (Heldman & Hartel, 2000).

c) Estrutura celular: na maioria dos alimentos, uma parte da água está presente no interior das células, enquanto que a restante água encontra-se na parte externa, nos espaços intercelulares. Esta porção é mais facilmente removida durante a secagem, pois a remoção da água contida no interior das células, apresenta uma resistência adicional, ou seja, depende da migração das moléculas de água através da membrana celular. Quando as estruturas celulares são rompidas, a secagem é facilitada, no entanto, o dano pode resultar num produto secado inaceitável.

d) Tipo e concentração dos solutos: o tipo e a concentração dos solutos presentes no alimento determinam a mobilidade das moléculas de água durante a secagem, uma vez que os componentes do alimento podem impedir a movimentação das mesmas no interior do produto. Solutos presentes, tais como açúcares, amido, sais e/ou proteínas, interagem com as moléculas de água, podendo inibir a sua movimentação, pois há um aumento da viscosidade e uma diminuição da atividade da água, reduzindo, assim, a velocidade de secagem (Geankopolis, 1993; Heldman & Hartel, 2000).

2.4.4. REAÇÕES E ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELA SECAGEM

Durante a secagem, as condições do processo como a temperatura e a velocidade do ar influenciam as degradações que o produto possa sofrer. Muitas reações físico-químicas são ativadas pela temperatura e em consequência, a secagem provoca a aceleração das mesmas (Casp & Abril, 1999).

Durante o processo, a água livre e os compostos solúveis ascendem até à superfície do alimento. Esta movimentação é dificultada pelas paredes celulares, contribuindo para a retração do produto (Figura 8).



Figura 8: Aspeto de tomate desidratado.

A perda de água durante um processo de secagem origina uma redução no tamanho do tecido celular (retração), que pode ser muito intensiva, de acordo com o método de secagem aplicado (Krokida & Maroulis, 1997) e pelas condições do processo.

As principais reações de natureza química que ocorrem durante a secagem são a oxidação lipídica, a atividade enzimática e as reações de Maillard.

2.4.4.1 Oxidação lipídica

Esta reação é responsável pelo aparecimento de ranço, originando mau sabor, perda de vitaminas lipossolúveis e pigmentos, especialmente em produtos desidratados (Casp & Abril, 1999).

As condições que limitam a ocorrência destas reações, durante a secagem, são:

- Elevadas temperaturas de secagem (a formação de crosta e o acastanhamento não enzimático são fatores limitantes);
- Secagem ao abrigo da luz;
- Atividade da água do produto entre 0,2 a 0,5.

A eliminação de oxigénio do alimento pode reduzir a oxidação, uma vez que esta reação está intimamente relacionada com a porosidade do produto. Por exemplo, os produtos liofilizados são mais suscetíveis de oxidarem por serem mais porosos. A redução do nível de oxigénio, durante o processamento e armazenamento, é necessária para a prevenção destas reações.

A aplicação de algum pré-tratamento com antioxidantes ou sequestradores pode ser uma alternativa (Casp & Abril, 1999).

2.4.4.2 Acastanhamento enzimático

A atividade enzimática pode surgir de enzimas endógenas presentes de forma natural na matéria-prima ou de enzimas termorresistentes procedentes de microrganismos. Se estas enzimas não são inativadas pelo calor podem produzir reações enzimáticas em alimentos com baixo conteúdo em água.

A atividade da água no produto inferior a 0,4 limita a atividade enzimática. No entanto este acastanhamento pode ocorrer muito rapidamente em alguns produtos. Por esta razão, é conveniente aplicar um pré-tratamento que permita minimizar estas reações, como é o caso do branqueamento ou a sulfitação (Casp & Abril, 1999).

2.4.4.3 Reações de Maillard

Os produtos mais afetados pelas reações de Maillard (acastanhamento não enzimático) são as frutas e os produtos cárnicos, podendo também ocorrer em alguns produtos láteos.

Esta reação pode aparecer também durante o armazenamento, por esta razão, é importante, particularmente em frutos, a aplicação de anidrido sulfuroso antes ou depois da secagem, para impedir estas reações (Casp & Abril, 1999).

Durante a secagem e o armazenamento do produto ocorrem outras alterações que reduzem a qualidade do mesmo quando comparada com a do produto em fresco. As alterações mais evidentes são ao nível da textura, sabor ou aroma, embora as alterações quer ao nível da cor quer ao nível nutricional, também sejam significativas em alguns alimentos (Gava, 2007).

2.4.4.4 Alterações de textura

As propriedades de textura são influenciadas, principalmente, pelos teores de humidade e gordura, pelos tipos e quantidade de hidratos de carbono estruturais (celulose, amido, materiais pécticos) e pelas proteínas do alimento. As modificações na textura são provocadas pela perda de humidade ou gordura, formação ou quebra de emulsões e géis, hidrólise de hidratos de carbono e

hidrólise ou coagulação de proteínas (Fellows, 2000). No caso da textura em frutas secadas, por exemplo, esta é afetada por diversos fatores como a sua natureza, os pré-tratamentos (branqueamento) e o descasque.

A textura é a característica mais afetada pela ação do calor, devido às altas temperaturas que provocam alterações físicas e químicas na superfície do alimento (Camargo, 2006).

A velocidade e a temperatura de secagem influenciam a textura dos alimentos (Spoto, 2006), sendo que, geralmente, quando a secagem é rápida e a altas temperaturas provoca maiores alterações na textura do que a secagem moderada e a baixas temperaturas (Fellows, 1994; Cañizares *et al.*, 2007). Isto porque, à medida que a água é removida durante a secagem, os solutos movimentam-se do interior do alimento para a superfície. Na superfície, estes formam uma crosta impermeável e rija, devido às altas temperaturas que ocasionam mudanças físico-químicas nos solutos da superfície de certos alimentos (Fellows, 2000; Cañizares *et al.*, 2007; Gava *et al.*, 2009). Este fenómeno, conhecido como endurecimento superficial, reduz a velocidade de secagem, resultando num alimento com uma superfície seca e um interior húmido (Fellows, 2000; Spoto, 2006).

Uma secagem rápida resulta em produtos finais rígidos, com mais volume e crosta na superfície (Potter & Hotchkiss, 1998). Por outro lado, velocidades de secagem lentas resultam em produtos mais densos e uniformes (Brennan, 1994) com uma reduzida taxa de rehidratação (Karathanos *etal.*, 1996).

2.4.4.5 Alterações de sabor ou aroma

Ao longo da secagem, ocorre perda de *flavour*, uma vez que, ao evaporar-se a água do produto há um arraste de quase todos os componentes voláteis do alimento fresco. Estes componentes apresentam pontos de ebulição inferiores ao da água, portanto, existe perda dos mesmos durante a secagem (Casp & Abril, 1999). O grau de perda de compostos voláteis é influenciado não só pela temperatura e teor de humidade do alimento mas também pela sua pressão de vapor e solubilidade no vapor de água (Fellows, 2000; Cañizares *et al.*, 2007). Um adequado controlo das condições de secagem, permite reduzir estas perdas. Alimentos com características aromáticas muito próprias, como as especiarias e

as ervas aromáticas, devem ser desidratados a temperaturas mais baixas (Mazza & LeMaguer, 1980).

Outra causa importante que leva à perda de aromas devido à secagem é a oxidação de pigmentos, vitaminas e lípidos durante o armazenamento. Estas oxidações ocorrem devido à presença de oxigénio, como consequência da estrutura porosa que se desenvolve durante a secagem. A velocidade de deterioração destes componentes depende da actividade da água do alimento e da temperatura de armazenamento. Estas alterações podem reduzir-se através do embalamento a vácuo ou em atmosfera modificada, armazenamento a baixas temperaturas e ao abrigo da luz, redução do seu conteúdo em água, adição de antioxidantes ou preservando os antioxidantes naturais durante o processo (Fellows, 1994).

2.4.4.6 Alterações de cor

A cor é um dos parâmetros de qualidade mais importante em produtos desidratados. As mudanças de cor devem-se à concentração de pigmentos ou à degradação dos mesmos durante o processamento (Mayor *et al.*, 2005), pois estes sofrem efeitos negativos por causa da mudança na superfície do alimento e da aplicação de calor (Camargo, 2006).

Adicionalmente, as reações de acastanhamento induzem a mudanças na coloração destes produtos. No caso da desidratação de frutas, o acastanhamento enzimático é uma das principais causas da deterioração da cor (Bolin & Steele, 1987). As alterações químicas dos carotenoides e da clorofila são ocasionadas pelo calor e pela oxidação durante a secagem (Fellows, 2000; Spoto 2006). Geralmente, quanto mais tempo durar o processo de secagem e mais elevada for a temperatura, maiores são as perdas destes pigmentos (Fellows, 1994). Por outro lado, a oxidação e a atividade residual da enzima polifenoloxidase causa o acastanhamento durante o armazenamento (Fellows, 2000). Este pode evitar-se através do branqueamento e do tratamento com ácido ascórbico e anidrido sulfuroso (Fellows, 1994).

O acastanhamento devido às reações de Maillard em produtos à base de frutas depende da atividade da água e da temperatura de armazenamento, aumentando progressivamente com o aumento da temperatura de secagem,

quando a humidade excede 4 a 5% e com a temperatura de armazenamento acima de 38°C (Spoto, 2006).

2.4.4.7 Alterações nutricionais

O principal problema que ocorre com a secagem de alimentos é a possibilidade de perda, mesmo que parcial, de determinados nutrientes, particularmente os suscetíveis ao calor. É o caso das vitaminas, sendo que algumas são mais sensíveis que outras. A riboflavina é ligeiramente sensível, mas as perdas são pequenas. A tiamina é sensível ao calor e destruída pelos tratamentos com enxofre. A vitamina C também é sensível ao calor e à oxidação, assim como o caroteno. Recomenda-se, frequentemente, a aplicação de ácido ascórbico para equilibrar o teor de vitamina C que, eventualmente se venha a perder durante o tratamento, assim como, para a prevenção da oxidação. As vitaminas lipossolúveis são mais estáveis ao calor e à oxidação (Silva, 2000; Ornellas, 2001).

Silva (2000) observou ainda que a perda do valor biológico das proteínas depende dos métodos de secagem. Para preservar as gorduras contra os efeitos negativos das altas temperaturas, recomenda-se a utilização de antioxidantes para inibir as reações de oxidação dos ácidos gordos. Os hidratos de carbono não são muito afetados, embora a concentração dos mesmos, por exemplo em frutas, possa levar a problemas de sobre-escurecimento (Gava, 2007).

Por outro lado, a secagem também pode levar a perdas ao nível de alguns compostos de importância funcional, como é o caso dos compostos fenólicos que apresentam propriedades antioxidantes (Maskan, 200; Mayor *et al.*, 2005).

Durante a secagem de qualquer alimento, deve ter-se em atenção a manutenção da qualidade do produto, como o sabor, a textura, o valor nutritivo e, em especial, a cor, uma vez que, é a característica de maior apelo ao consumidor (Romero-Peña & Kieckbusch, 2003).

2.5. SECAGEM DE VEGETAIS

O primeiro grande impulso ao desenvolvimento da indústria da secagem de vegetais ocorreu na primeira Guerra Mundial, solucionando muitos problemas referentes ao transporte e ao armazenamento de vegetais, carnes e sopas. No entanto, os produtos enviados às forças americanas na Europa eram considerados rijos. Porém, durante a Segunda Guerra Mundial, com a introdução da tecnologia do processamento por branqueamento antes da desidratação, os vegetais desidratados consumidos pelos exércitos alemães e aliados, eram de uma qualidade muito superior (Greensmith, 1998).

Quando se fala em alimentação saudável é comum a recomendação para ingerir alimentos ricos em fibras, pobre em gordura e, preferencialmente, rica em frutas e verduras (Santos *et al.*, 2002).

Os vegetais em fresco apresentam uma vida de prateleira curta, sendo que esta compreende o período de tempo decorrido entre a produção e o consumo de um produto alimentício (Pereira *et al.*, 2004).

As abóboras, por exemplo, são muito sensíveis à contaminação microbiológica, e, portanto, torna-se necessário secar ou congelá-las por forma a que a sua vida de prateleira possa ser expandida (Doymaz, 2007).

O mercado de vegetais tem vindo a estruturar-se em diversos segmentos, apresentando novas tendências de consumo e expansão de novos mercados. Atualmente pode encontrar-se no mercado, além dos tradicionais produtos em fresco, produtos orgânicos, minimamente processados, congelados, ultracongelados, conservas, enlatados, desidratados e liofilizados (Vilela & Henz, 2000).

Relativamente à beringela, por exemplo, a secagem torna-se uma alternativa para reduzir as perdas pós-colheita e diversificar o seu uso, como a sua transformação em farinhas, podendo ser aplicada na panificação (Perez & Germani, 2004).

Pereira *et al.* (2006) observam que o tomate secado pode ser uma via para o aproveitamento do excedente de produção, sendo a matéria-prima para a obtenção de tomate em pó apontado como uma das alternativas para o processamento de tomates, além de contribuir para maior vida de prateleira dos novos produtos. É importante notar que a secagem do tomate sob diferentes

formas visa obter um produto secado com um custo mais acessível e de melhor qualidade, com o objetivo de expandir o mercado ao consumidor (Alves & Silveira, 2002).

Outro exemplo é a cebola desidratada, que ao ser usada como condimento culinário evita-se o cheiro desagradável e o efeito lacrimogéneo devido aos compostos voláteis (Porto & Pinto, 2002).

É relevante que os vegetais frescos sejam apropriados para a desidratação e que alcancem uma reabsorção conveniente após a rehidratação. Com base nessa perspetiva, a escolha da variedade irá depender das suas características sensoriais, resistência à ação mecanizada e posterior manipulação.

2.5.1. DIAGRAMA DE FABRICO DE VEGETAIS DESIDRATADOS

A qualidade dos produtos secados resulta da interação de matéria-prima, pré-tratamentos, secagem, armazenamento e consumo final.

Na Figura 9, apresenta-se o diagrama geral do processamento de vegetais sujeitos a secagem.

Relativamente à etapa da receção, realiza-se a pesagem da matéria-prima para que no final do processo se possa determinar o rendimento.

Na seleção ocorre a escolha de produtos mais aptos à secagem, sendo que, os mesmos deverão estar maduros, frescos e tenros. A escolha de produtos ainda verdes resultará em vegetais secados com aspeto e sabor desagradáveis. Depois de selecionados são classificados de acordo com os critérios de cor, forma, tamanho, entre outros.

Em seguida ocorre a lavagem, onde é feita à remoção de impurezas, seguidamente os vegetais são descascados e cortados de modo a adequá-los corretamente à secagem, pois o tipo de corte influencia o tempo de secagem; também devem ser retiradas as sementes e partes indesejáveis (Bezerra, 2007).

Quanto ao pré-tratamento, para muitos vegetais é primordial a inativação de enzimas, principalmente as responsáveis pelo acastanhamento enzimático. Esta reação pode ser limitada através de tratamentos químicos como o bissulfito de sódio ou através do branqueamento.

O branqueamento é efetuado através de água quente ou vapor, sendo o teste de guaiacol/peroxidase usado como um índice para a atividade da

peroxidase. Posteriormente realiza-se a secagem até obter a humidade final desejada. Após a secagem, o produto final será pesado, acondicionado em embalagens apropriadas. Segue-se a rotulagem e o armazenamento, por fim a expedição (Smith *et al.*, 1997).



Figura 9: Fluxograma geral para desidratação de hortaliças
Fonte: Smith *et al.* (1997).

2.5.1.1 Mercado de produtos desidratados

Atualmente, muitos alimentos desidratados são a base para o desenvolvimento e formulação de novos produtos. Estes apresentam fontes de proteínas, vitaminas, minerais, fibras e antioxidantes e, por esta razão, são considerados como componentes de alimentos ou ingredientes funcionais, devido à sua fácil incorporação em produtos lácteos (leite, sobremesas, iogurte, gelado), biscoitos, bolos, sopas e pratos preparados (Vega & Lemus, 2006).

Na Figura 10, apresenta-se uma aplicação de fruta desidratada, por exemplo, aos cereais de pequeno-almoço.



Figura 10: Cereais de pequeno-almoço com fruta desidratada.

O mercado mundial de alimentos desidratados tem demonstrado um crescimento contínuo, apesar do surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias emergentes não-tradicionais, geralmente ligados à inovação e maior valor agregado (Vega *et al.*, 2006).

O mercado de produtos desidratados é muito importante na Europa, Ásia e nos Estados Unidos, onde os volumes de produção são elevados (Figura 11). Os principais exportadores de produtos hortofrutícolas desidratados são os Estados Unidos (24,3% do total das exportações em 2009), China (14,2%), Turquia (11,3%), Alemanha (4,4%), Espanha (3,5%), Irão (3,4%), Índia (3,2%), Chile (2,8%), Países Baixos (2,4%) e Hong Kong (2,1%) (Le-Bert, 2010).

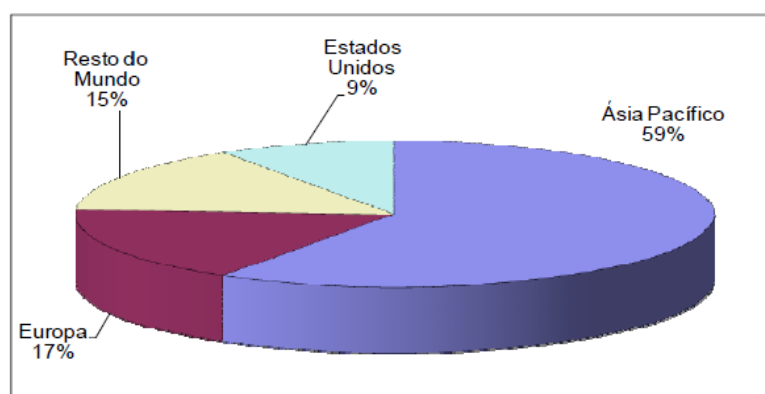


Figura 11: Mercado mundial de desidratados.
Fonte: Vega *et al.* (2006).

2.6. REAÇÕES DE ACASTANHAMENTO

Durante o processo de secagem e armazenamento de alimentos ocorrem reações que podem resultar em perda de qualidade, perdas de nutrientes e particularmente deteriorações causadas por reações de acastanhamento. Estas reações podem ser enzimáticas e não enzimáticas (Manzocco *et al.*, 2001).

Por vezes é difícil determinar a origem, enzimática ou não enzimática, uma vez que o escurecimento pode desenvolver-se de forma não enzimática a partir de compostos intermédios que resultaram da ação oxidativa de enzimas entretanto desativadas (McEvily *et al.*, 1992).

2.6.1. ACASTANHAMENTO NÃO ENZIMÁTICO

O acastanhamento não enzimático pode ocorrer através de diferentes mecanismos: reação de Maillard, caramelização e a oxidação do ácido ascórbico. A reação de Maillard parece ser a principal causa de desenvolvimento de acastanhamento durante o aquecimento ou o armazenamento prolongado de alimentos (Eskin *et al.*, 1971), contribuindo para a cor e sabor de determinados alimentos, como em produtos de panificação, café, frutos secos, assados, entre outros (Richardson, 2001; Miao & Roos, 2006).

Estas reações envolvem açúcares redutores e aminoácidos, tendo como produto final pigmentos amarelos e castanhos denominados melanoidinas, que são polímeros de hidroximetilfurfural e de compostos carbonílicos.

Os compostos de Amadori são formados durante os primeiros passos das reações de Maillard e foram detetados em frutas desidratadas (figos, damascos, ameixas e passas) (Sanz *et al.*, 2001; Belitz *et al.*, 2004), bem como em vegetais sujeitos ao processo de desidratação (Cardelle-Cobas *et al.*, 2005; Rufián-Henares *et al.*, 2008).

O progresso do acastanhamento não enzimático, também ocorre durante o armazenamento, provocando variações de qualidade diferentes, por exemplo: cor, sabor, propriedades nutricionais e funcionais (Burin *et al.*, 2002; Maltini *et al.*, 2003).

A reação de Maillard tem um papel de relevo na importância nutricional dos alimentos, pois a ocorrência desta reação pode ser responsável pela formação de compostos tóxicos e mutagénicos (Nagao *et al.*, 1979), o que pode estar eventualmente associado a um decréscimo da digestibilidade dos alimentos e, por conseguinte, na perda do seu valor nutricional e da sua qualidade. Além disso, tem existido alguma evidência para a implicação da reação de Maillard na formação de compostos carcinogénicos, como é o caso da acrilamida (Stadler *et al.*, 2002; Mottram *et al.*, 2002).

Não são só as reações de Maillard que causam uma coloração castanha em produtos secados, outras reações podem também ser envolvidas, tais como, a oxidação do ácido ascórbico (Manzocco *et al.*, 2001).

A oxidação do ácido ascórbico surge durante a fase final do processo de secagem, sendo capaz de interagir com os aminoácidos livres, produzindo a

descoloração de vermelho para castanho. Esta reação pode envolver a degradação de Strecker, podendo ocorrer tanto em condições anaeróbias como aeróbias (Alonso, 2004).

A caramelização é outro mecanismo que envolve a degradação de açúcares na ausência de aminoácidos e proteínas. O principal inconveniente desta reação está associado a mudanças de *flavor* pela produção de produtos desagradáveis, amargos, podendo ser retardada através da aplicação de bissulfitos, os quais reagem com o açúcar para diminuir a concentração da forma aldeídica (Lee, 1983).

2.6.1.1 Controlo do acastanhamento não enzimático

As reações de acastanhamento não enzimático são controladas por diferentes parâmetros, tais como: o pH, a atividade da água, o tempo e a temperatura (Sanz *et al.*, 2001). No entanto, estas reações em alimentos e durante a secagem ocorrem principalmente por reações do tipo Maillard (Mcbean *et al.*, 1971). Estas reações podem ser efetivamente inibidas através da diminuição da temperatura (refrigeração), diminuição da humidade do produto (secagem), controlo do pH, uso de sulfitos, entre outros (Namiki, 1988).

Relativamente ao pH, estas ocorrem preferencialmente em meio alcalino, entre 6 a 8. Em relação à atividade da água situa-se entre 0,3 a 0,7, ocorre a temperaturas elevadas (acima dos 40°C) e a humidade relativa situada entre 30% a 70% (Klieber, 2000; Manzocco *et al.*, 2001).

Outros fatores também influenciam a reação, como a presença de catiões metálicos como Cu^{2+} e Fe^{3+} que podem catalisar a reação e a composição química do próprio alimento (Morales & Van Boekel, 1997).

Tendo em conta que a reação de Maillard ocorre acima dos 40°C, enquanto que a caramelização requer altas temperaturas e valores de pH entre 3 e 9, é possível que a reação de Maillard seja favorável durante o processo de secagem de alimentos (Moreno *et al.*, 2007; Rufián-Henares *et al.*, 2008), contribuindo para o escurecimento e a perda de aminoácidos essenciais.

No decorrer da secagem, a temperatura e atividade da água têm influência na velocidade de acastanhamento (Bruin *et al.*, 1980; Okos *et al.*, 1992; Pezzutti & Crapiste, 1997). No que respeita à atividade da água, o acastanhamento máximo ocorre, tipicamente, na gama de 0,50-0,75 (Labuza, 1981).

Determinados conservantes alimentares, como os derivados do enxofre, (dióxido de enxofre, sulfitos, bissulfitos e metabissulfitos), podem ser aplicados com a função de retardar a produção de compostos que levam ao acastanhamento não enzimático, formando compostos intermediários estáveis com os intermediários insaturados e instáveis das reações de Maillard, reduzindo dessa forma a concentração de reagentes intermediários capazes de formar melanoidinas (Nunes & Baptista, 2001; Man, 2002).

2.6.2. ACASTANHAMENTO ENZIMÁTICO

As reações de acastanhamento enzimático possuem um papel de proteção contra microrganismos do tecido vegetal. Com efeito, considera-se que os polímeros resultantes destas reações podem constituir uma defesa, do tecido vegetal lesionado contra a penetração de microrganismos ou mesmo atrasar a sua proliferação

Os componentes básicos para que ocorra o acastanhamento enzimático são o oxigénio molecular, as enzimas, os iões metálicos e os substratos apropriados. A intensidade desta reação é afetada por fatores como a concentração de substratos e atividade das enzimas (Moretti *et al.*, 2002) ou, ainda, a temperatura, o pH, a atividade da água e a quantidade de oxigénio disponível no tecido vegetal (Mayer, 1987). Outros fatores intrínsecos que também influenciam esta reação são: a espécie, a variedade e o estado fisiológico dos frutos.

Espécies comercialmente importantes, como pêras e maçãs, assim como, os seus produtos derivados (sumos ou néctares) são muito sensíveis ao acastanhamento enzimático, devido à sua alta concentração em polifenóis e em polifenoloxidase (Robards *et al.*, 1999).

Esta reação torna-se indesejável e influencia a aceitação por parte do consumidor, pois desenvolve-se rapidamente, no pós-corte (Barrancos, 2002), alterando a cor dos produtos hortofrutícolas (Nicolas *et al.*, 1994).

Na Figura 12, ilustra-se a mudança de coloração provocada pelo acastanhamento enzimático, após o corte de uma maçã.

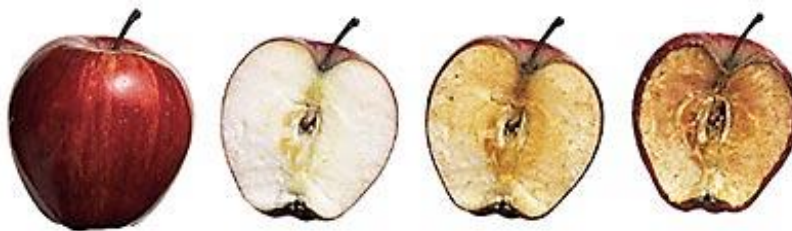


Figura 12: Evolução da mudança de cor provocada pelo acastanhamento enzimático.

Esta mudança de cor limita o prazo de validade de muitos alimentos minimamente processados e também é um problema na produção de produtos desidratados e congelados (Sapers, 1993). Por outro lado, leva também ao desenvolvimento de *off-flavours* e perdas na qualidade nutricional (Severini *et al.*, 2003).

Aparentemente, algumas frutas, como os cítricos, apresentam relativamente poucos substratos fenólicos, não contêm polifenoloxidase ou a sua atividade é tão baixa que se considera que, o acastanhamento enzimático, não causa problemas de coloração (Robards *et al.*, 1999).

Por outro lado, o acastanhamento enzimático pode ser desejável, por contribuir para o desenvolvimento da cor e sabor desejáveis em alimentos como as uvas passas, ameixas secas, cacau, chá e café (McEvily *et al.*, 1992; Martinez & Whitaker, 1995).

2.6.2.1 Enzimas responsáveis

A reação de acastanhamento enzimático está principalmente associada à ação das polifenoloxidases (PPO), no entanto, existem outras enzimas responsáveis, mas com menor incidência (Cabrera, 2003).

Polifenoloxidases

As enzimas específicas que participam nesta reação envolvendo polifenóis, têm sido designadas por diversos nomes (tirosinases, cresolases, catecolases, difenolases e fenolases) (Whitaker, 1994); porém, no geral, podem ser denominadas por polifenoloxidases (Mathew & Parpia, 1971).

Dependendo da sua especificidade sobre os seus substratos, podem agrupar-se três tipos de enzimas (Belitz & Schieberle, 2004):

- Cresolase (EC. 1.14.18.1, monofenol monoxigenase);
- Catecolase ou fenolase (EC. 1.10.3.1, *o*-difenol: oxigénio oxidorreductase);
- *p*-difenoloxidase ou lacase.

Por outro lado, dependendo do substrato sobre o qual atua, definiram-se duas classes de atividades enzimáticas: a primeira é denominada “cresolase” e a segunda “catecolase”. As polifenoloxidases, na presença de oxigénio, catalisam a hidroxilação de monofenóis a *o*-difenóis (atividade cresolase) e a oxidação de *o*-difenóis a *o*-quinonas (atividade catecolase) (Robb, 1984). As quinonas formadas nessa reação polimerizam-se, formando melaninas (Saly, 1980).

As polifenoloxidases atuam sobre uma grande variedade de substratos. Como substratos monofenólicos cita-se, por exemplo, *p*-cresol, tirosina e ácido *p*-cumárico e como substratos difenólicos o catecol, a dihidroxifenilalanina e o ácido clorogénico (Vámos-Vigiyázó, 1981).

Estas enzimas estão amplamente difundidas nos tecidos vegetais (Billaud *et al.*, 2004), pertencem ao grupo das oxidorreductases e contêm cobre como grupo prostético (Figura 13), sendo que a diferença da maioria das enzimas é que, pode catalisar dois tipos de reações diferentes (Whitaker, 1972), consoante o substrato utilizado, como mencionado anteriormente.

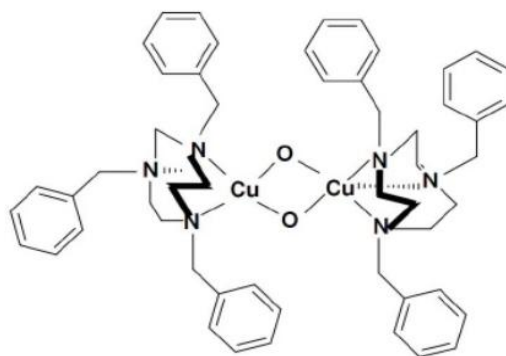


Figura 13: Grupo prostético da polifenoloxidase.

O acastanhamento enzimático está relacionado com a oxidação de compostos fenólicos. Nas plantas, a PPO é predominantemente localizada nas

membranas tilacoides dos cloroplastos e os seus substratos fenólicos estão principalmente localizadas nos vacúolos, pelo que qualquer tratamento que danifique as células, a enzima e o substrato podem entrar em contacto, conduzindo à oxidação rápida de fenóis (Chazarra, 2001).

As polifenoloxidasas aumentam, frequentemente, a sua atividade em resposta ao stress e uma das suas principais funções parece ser a de promover a proteção da célula (Soares *et al.*, 2004).

A importância da atividade destas enzimas na resistência a doenças deve-se provavelmente à propriedade de oxidar compostos fenólicos em quinonas, os quais são muito mais tóxicos aos microrganismos do que o fenol original, e à sua ação protetora no local do ferimento.

Peroxidasas

Para além das polifenoloxidasas, as peroxidases também estão envolvidas em reações oxidativas de compostos fenólicos (Clemente & Pastore, 1998).

As peroxidases (POD; EC 1.11.1.7) são um grupo de enzimas largamente distribuído nas plantas, pertencem ao grupo das oxidoredutases e podem ser classificadas em dois grupos principais: as ferropoteínas e as flavoproteínas, sendo o primeiro grupo dividido em ferriprotoporfirinas e verdoperoxidasas. Estas enzimas pertencem à família das proteínas com ferriprotoporfirina (Figura 14) como grupo prostético, sendo esta uma glicoproteína constituída por dois tipos de centros metálicos, um grupo prostético, nomeadamente a ferriprotoporfirina IX (com um átomo de Fe^{3+}) e dois átomos de cálcio (Ca^{2+}).

Quer o ferro quer os átomos de cálcio são essenciais para a integridade funcional como para a estrutura da enzima. A perda dos átomos de cálcio pode resultar tanto na diminuição da atividade enzimática como na diminuição da estabilidade térmica (Yuan & Jiang, 2003; Veitch, 2004; Segura *et al.*, 2005).

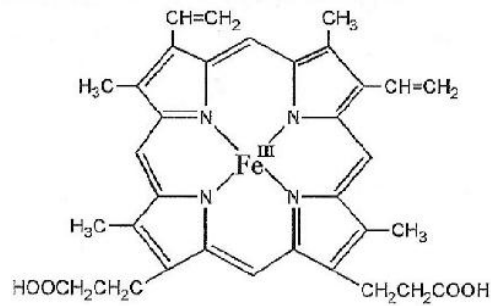


Figura 14: Representação da estrutura da ferriprotoporfirina.
Fonte: Pinto (2008).

Na planta, estas enzimas são encontradas no citosol, nos vacúolos, nos cloroplastos, na parede celular e no espaço extracelular (Mittler, 2002).

Na Figura 15, apresenta-se a localização da PPO e da POD, assim como os compostos fenólicos, numa célula vegetal.

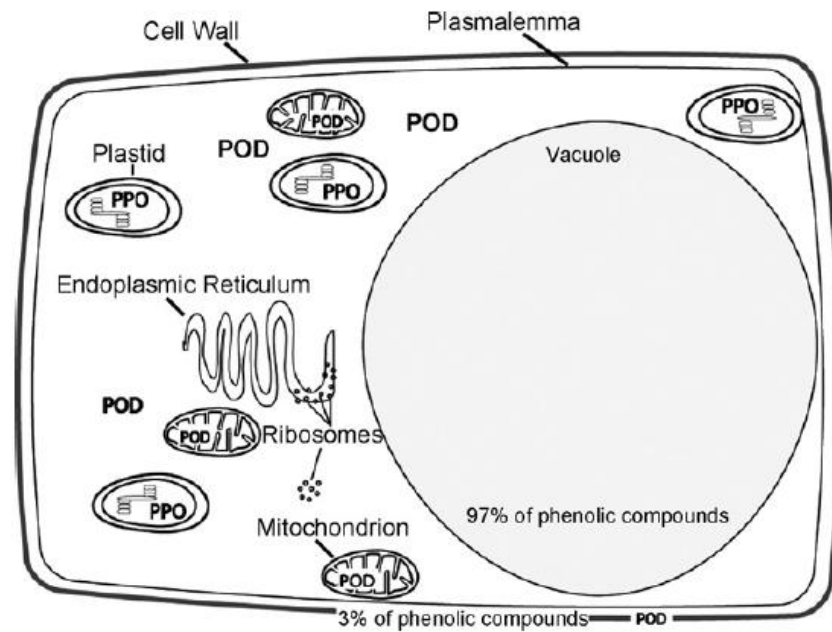


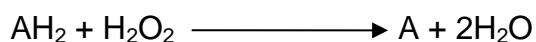
Figura 15: Localização interna e externa de compostos fenólicos e das enzimas PPO e POD numa célula vegetal típica.

Fonte: Toivonen & Brummell (2008).

As peroxidases decompõem o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) na presença de um composto dador de hidrogénio (AH_2), catalisando a oxidação de uma vasta série de compostos orgânicos, como por exemplo, compostos fenólicos e aromáticos, resultando uma coloração de aspeto acastanhado, obtida do produto de oxidação. No teste de peroxidase, por exemplo, AH_2 e A representam o

guaiacol (substrato reduzido) e o tetraguaiacol (substrato oxidado), respetivamente.

A oxidação de compostos fenólicos, catalisada pela peroxidase, está associada com a deterioração no sabor, cor, textura e qualidades nutricionais de alimentos processados e dos seus produtos (Fátima *et al.*, 2007).



O envolvimento da POD, no acastanhamento enzimático, é relatada por diversos investigadores (Richard-Forget & Gauillard, 1997), embora seja limitada pela disponibilidade de peróxido de hidrogénio no interior das células vegetais (Robinson, 1991).

Nas plantas, estas enzimas constituem a função de proteção antioxidativa, sendo que a sua atividade aumenta em plantas submetidas a diversos tipos de stress (Rossi & Lima, 2001). Aumentos na atividade de peroxidases são relatados durante a infeção de plantas superiores por patógenos. Sugere-se que estas atuam inibindo o crescimento dos patógenos, possivelmente através da participação na biossíntese de compostos fenólicos (Seevers *et al.*, 1971).

Os compostos fenólicos apresentam propriedades antifúngicas, antibacterianas e antivirais reconhecidas e ocorrem em plantas. O primeiro passo do mecanismo de defesa em plantas envolve uma acumulação rápida de fenóis no local da infeção que restringe ou reduz a velocidade do crescimento dos patógenos. Além disso, as peroxidases podem oxidar fenóis para formar quinonas, mais tóxicas e que também exercem um papel integrante dentro do sistema de defesa dos vegetais (Gogoi *et al.*, 2001).

A peroxidase é considerada das enzimas termicamente mais estáveis, sendo por isso das enzimas mais estudadas sob o ponto de vista da sua estabilidade térmica. Devido a esta característica, a peroxidase é utilizada como indicador de branqueamento em frutos e vegetais, pois a inativação da peroxidase indica que todas as outras enzimas foram também inativadas (Nunes, 2002).

No geral, as enzimas operam muito lentamente a temperaturas de congelação e a sua atividade aumenta com a temperatura. A maior parte delas apresentam atividade ótima entre 30-40°C, sendo que acima dos 50°C começam

a desnaturar. Relativamente ao pH, as enzimas apresentam uma atividade máxima entre 4,5 a 8 (Fennema, 1993).

Existem variadas formas de POD e PPO que diferem em massa molecular, estabilidade térmica, pH, temperatura ótima, substrato específico, função fisiológica, ponto isoelétrico, composição de açúcares e aminoácidos (Veitch, 2004), latência e sensibilidade a inibidores (Martinez & Whitaker, 1995).

Por outro lado, há variação no conteúdo da enzima entre espécies, variedades, estado de maturação, idade e parte da planta, pelo que o conhecimento destas propriedades são importantes para compreender os mecanismos de regulação, ativação, inibição e para o desenvolvimento de métodos mais efetivos no controlo da atividade destas enzimas.

2.6.2.2 Controlo do acastanhamento enzimático

As reações de acastanhamento enzimático podem ser minimizadas através de pré-tratamentos, aplicados antes da secagem, tais como o branqueamento ou agentes químicos (Gupta *et al.*, 2002; Hossain & Bala, 2002; Souza, 2007).

O controlo da atividade enzimática consiste em eliminar um ou mais componentes essenciais da reação: enzima, oxigénio, iões metálicos ou substrato (Marshall *et al.*, 2000). Assim, os métodos para o controlo do acastanhamento enzimático podem ser físicos e químicos, sendo em muitos casos, aplicados em conjunto (Garcia & Barret, 2002).

Considera-se, geralmente, que a inibição do acastanhamento enzimático de alimentos pode ser conseguida através de mecanismos como:

- inibição direta da polifenoloxidase;
- redução não enzimática de *o*-quinonas aos derivados de *o*-difenóis;
- modificação química ou remoção de substratos fenólicos da PPO.

Os inibidores mais comumente utilizados para inibir a PPO atuam de acordo com os dois primeiros mecanismos (sulfitos e ácido ascórbico, por exemplo). A β -ciclodextrina é um exemplo de um inibidor que atua pelo terceiro mecanismo (Pilizota & Subaric, 1998).

Vários são os estudos que têm sido realizados de modo a reduzir o acastanhamento enzimático e a consequente perda de qualidade visual (Rocculi *et al.*, 2004; Pereyra *et al.*, 2005) e nutricional (Gil *et al.*, 1998; Ponce *et al.*, 2004).

Diferentes métodos têm sido investigados destacando-se o uso de inibidores enzimáticos e antioxidantes como o ácido ascórbico, cisteína e 4-hexilresorcinol aplicados em puré de manga (Guerrero-Béltran *et al.*, 2005), metabissulfito de sódio, cloreto de sódio e EDTA em batatas (Duangmal & Apenten, 1999), altas pressões para a inativação da PFO em uvas e cogumelos (Rapeanu *et al.*, 2005), tratamento térmico convencional para a prevenção do acastanhamento em polpa de abacaxi, banana, uva, ameixa, pêra (Weemaes *et al.*, 1998; Chutintrasri & Noomhorm, 2006; Ditchfield *et al.*, 2006) e o uso da energia de micro-ondas diminuindo a ação enzimática em abacate, água de coco e soluções de PFO extraída de cogumelo (Jiménez-vieyra *et al.*, 2004; Matsui *et al.*, 2004; Matsui & Tadini, 2006).

Métodos físicos

Os métodos físicos envolvem a redução da temperatura ou a inativação térmica da enzima, a proteção do produto contra o oxigénio, a desidratação, o uso de atmosferas modificadas, entre outros. A inativação enzimática da PPO, por aquecimento, por exemplo, é possível aplicando temperaturas superiores a 50°C, porém pode ocorrer a formação de cores e *flavors* indesejáveis, assim como, mudanças na textura (Martinez & Whitaker, 1995). Por outro lado, o emprego de temperaturas baixas reduz a atividade enzimática, no entanto, não provoca inativação. A refrigeração constitui o meio mais tradicional para diminuir tanto a atividade da PPO quanto da POD. As baixas temperaturas (0-4°C) estão longe do ponto ótimo para essas enzimas, dificultando a formação do complexo enzima-substrato, pela diminuição da energia cinética das moléculas (Lee *et al.*, 1995).

Branqueamento

O branqueamento, utilizado na atividade experimental, é um curto tratamento térmico aplicado a frutas e hortaliças, antes de serem congeladas, desidratadas ou enlatadas. Consiste, usualmente, na imersão em água quente ou por exposição a vapor durante um tempo pré-estabelecido (Luh & Lorenzo, 1988;

Barret & Theerakulrait, 1995), que depende da temperatura do processo, do tamanho e da natureza das amostras (Sharma *et al.*, 2000).

Este processo é efetuado a elevadas temperaturas (geralmente entre 70°C-100°C), seguidamente o produto é colocado rapidamente em água fria (Achondo, 1991).

Este arrefecimento, após o branqueamento, é igualmente importante para a qualidade no processamento de vegetais, visto que a zona térmica, situada entre 10°C e 50°C é uma fase crítica para a qualidade do produto (muito frágil para a recontaminação microbiana, modificações de cor, perdas elevadas de nutrientes, especialmente de vitaminas, entre outros). Por estas razões, é efetuado o arrefecimento em água à temperatura ambiente ou inferior (5°C-20°C), imediatamente após o tratamento térmico (Gruda & Postolski, 1986).

O branqueamento apresenta diversos objetivos, que se descrevem na Tabela 3.

Outra vantagem do branqueamento passa pela redução de possíveis resíduos químicos, lixiviação de substâncias naturais indesejáveis em algumas hortaliças, como nitratos e nitritos (Olhagaray, 1991).

Por outro lado, um branqueamento excessivo origina lixiviação de minerais, pigmentos, vitaminas, perdas de sabor e valor nutricional (Mazza, 1983; Shams & Thompson, 1987; Marabi *et al.*, 2004).

Quanto aos produtos desidratados, o branqueamento é comumente utilizado para a inativação de enzimas (Latapi & Barrett 2006; Lewicki, 2006), bem como para a preservação da cor e textura do produto (Maté *et al.*, 1999, Ahmed *et al.*, 2001).

Tabela 3: Funções do branqueamento.

Funções	Referências
- Limpeza do produto com redução da carga microbiana;	Shams & Thompson, 1987; Ress & Bettison, 1993; Poulsen, 1986; Barret & Theerakulrait, 1995.
- Inibição das reações enzimáticas indesejáveis, por destruição térmica das enzimas responsáveis presentes nos vegetais, caso contrário ocasionaria aromas, sabores e colorações estranhas e causariam a perda de vitamina C; provocando um efeito adverso na qualidade e valor nutritivo do produto;	Ress & Bettison, 1993; Barret & Theerakulrait, 1995.
- Diminuição do tamanho da matéria-prima como consequência da coagulação forçada das proteínas e contração por libertação de água;	Poulsen, 1986.
- Expulsão dos gases (ar) presentes nos espaços intercelulares dos vegetais evitando, portanto, o aumento da pressão desenvolvida nas conservas, por exemplo, durante o processamento devido à expansão dos gases presentes;	Gabthavorn & Powers, 1988; Shams & Thompson, 1987; Ress & Bettison, 1993; Barret & Theerakulrait, 1995.
- Diminuição do tempo de secagem, por tornar a estrutura celular do tecido mais aberto e facilitar a transferência de massa;	Lewicki & Pawlak, 2003; Severini <i>et al.</i> , 2005; Górnicki & Kaleta, 2007.
- Diminuição do tempo de cozimento do produto final.	Poulsen, 1986.

Métodos químicos

Como alternativa à inativação térmica da PPO para evitar o acastanhamento enzimático podem ser usados aditivos químicos (Tortoe *et al.*, 2006).

Os inibidores de acastanhamento enzimático podem ser divididos em seis grupos de acordo com os seus diferentes modos de ação (Tabela 4).

Tabela 4: Principais representantes das classes de inibidores do acastanhamento enzimático.

Agentes	Compostos
Redutores ou Antioxidantes	Sulfitos; Ácido ascórbico e análogos; L-cisteína; Glutathione.
Quelantes	Fosfatos; EDTA; Ácidos orgânicos.
Acidificantes	Ácido cítrico; Ácido fosfórico; Ácido oxálico; Ácido málico.
Inibidores enzimáticos	Ácidos carboxílicos aromáticos; Resorcinóis substituídos; Anióes; Péptidos.
Complexantes	Ciclodextrinas.
Tratamento de enzimas	Oxigenases; Transferase α -metil; Proteases.

Fonte: McEvily *et al.* (1992); Billaud *et al.* (2004); Lu *et al.* (2007); López-Nicolás *et al.* (2007).

Quanto ao modo de ação, os agentes redutores/antioxidantes e inibidores enzimáticos, por exemplo, evitam o acastanhamento através da redução química das quinonas para *o*-difenois incolores. Os agentes acidulantes, também podem limitar a atividade da PPO através da redução do pH e/ou da sua ação quelante sobre o cobre no grupo prostético da enzima (Ibrahim *et al.*, 2004).

De acordo com Richardson & Hyslop (2000), os grupos ionizáveis da estrutura protéica das enzimas são afetados pelo pH do meio. Esses grupos devem permanecer na forma iónica apropriada para manter a conformação do sítio ativo da enzima, por forma a reconhecer os substratos e catalisar a reação. Mudanças no grau de ionização das enzimas são geralmente reversíveis, exceto em condições extremas de mudança de pH, o que pode afetar também a estabilidade dos substratos.

Relativamente a agentes quelantes, a PPO tem um átomo de cobre no seu centro ativo e a POD um de ferro, pelo que a remoção desses metais, por estes agentes, causam a inativação dessas enzimas. Segundo Wong *et al.* (1971), o EDTA não é muito eficiente no controlo do acastanhamento enzimático, sendo normalmente combinado com outro agente redutor e acidulante, como o ácido ascórbico e o ácido cítrico, respetivamente. No entanto, segundo Melo & Vilas Boas (2006), o EDTA a 1% foi o tratamento mais efetivo em banana 'Maçã' minimamente processada contra a atividade da PPO, mas não contra a POD.

Quanto à eficiência dos diversos inibidores, esta depende de uma série de fatores ambientais como: o pH, a atividade da água (*aw*), a temperatura, a luz e a presença de metais pesados (Lindley, 1998).

Ácido ascórbico

Os agentes acidificantes atuam diminuindo o pH e conseqüentemente a atividade da polifenoloxidase (Ponting, 1960).

O ácido ascórbico (AA), de entre os ácidos utilizados no processamento de alimentos, é provavelmente o mais utilizado e também o mais eficiente (; Ponting, 1960). De acordo com Ponting (1960), a razão desta preferência rege-se pelo facto do AA, além de baixar ligeiramente o pH ser um importante antioxidante. Além disso, o AA é um agente redutor reconhecido pela sua contribuição nutricional (vitamina C), a qual possibilita o seu emprego em elevadas concentrações sem interferir negativamente em atributos como o sabor e aroma (Spoto & Miguel, 2006), além de ser totalmente seguro para o consumo humano (Wiley, 1994). Paralelamente, o AA é capaz de captar o oxigénio, impedindo a sua difusão para o interior dos produtos (Spoto & Miguel, 2006) e o seu custo é relativamente baixo (Ponting, 1960).

O AA e os seus sais neutros são os principais antioxidantes utilizados em frutas e hortaliças e nos seus sumos, visando prevenir o acastanhamento e outras reações oxidativas de duas formas:

- 1- Agindo diretamente na enzima, sequestrando o cobre do grupo prostético da PPO, causando a sua inibição;

- 2- Reduzindo a *o*-quinona, formada pela enzima, ao difenol original, impedindo a formação dos pigmentos escuros (Wiley, 1994; Sapers & Miller, 1998).

O ácido ascórbico é um composto redutor (preferencialmente oxidado em relação aos compostos fenólicos), mas não inibe diretamente PPO. Na sequência da oxidação enzimática, o AA reduz a *o*-quinona, formada pela enzima, ao difenol original, limitando o acastanhamento. Durante a oxidação (Figura 16), o AA é convertido em ácido desidroascórbico (DHAA), sendo posteriormente degradado a ácido 2,3-diceto glucónico (Gokmen *et al.*, 2000).

No entanto, o AA oferece apenas inibição temporária ao acastanhamento (Altunkaya & Gokmen, 2008), uma vez que ao ser oxidado a ácido desidroascórbico (DHAA), permite a acumulação de quinona, ocorrendo um efeito inverso (Laurila, 2002). Os processos de acastanhamento ocorrem lentamente a partir da degradação do ácido ascórbico, mas quando se forma o DHAA a reação é acelerada.

Esta vitamina caracteriza-se por ser hidrossolúvel e por ser termoinstável (Silva *et al.*, 2007), é favorável um aumento da velocidade da degradação do AA a ácido dehidroascórbico (DHAA), sem atividade inibitória.

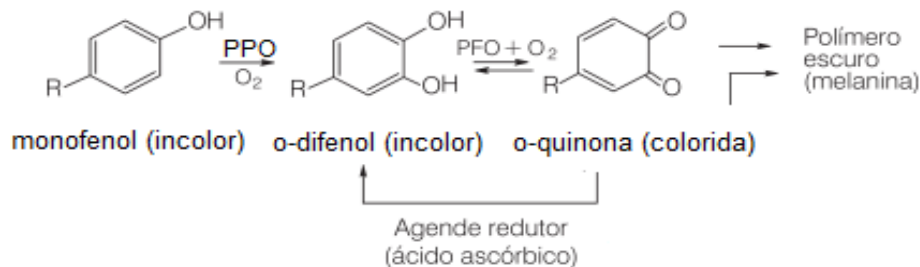


Figura 16: Reação de oxidação de compostos fenólicos catalisada pela polifenoloxidase.

Na Figura 17, apresentam-se as estruturas químicas relativas ao ácido ascórbico, desidroascórbico e dicetoglocónico.

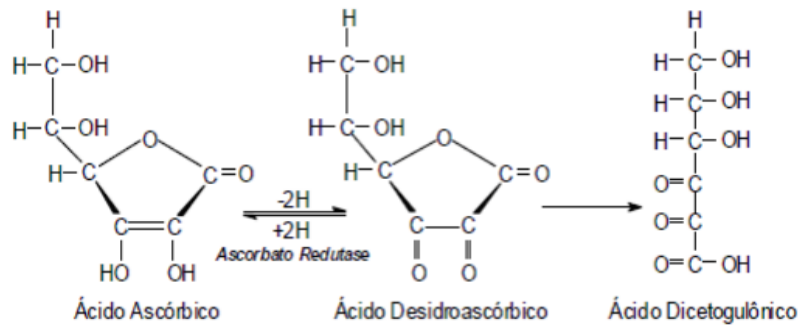


Figura 17: Estrutura química do ácido ascórbico, desidroascórbico e dicetoglocónico.

O AA atua, ainda, como protetor de pigmentos preservando-os da oxidação química e bioquímica, competindo com as interações de amidas e carbonila amina que resultam em acastanhamento. Um modo alternativo de ação pode ser a supressão da formação de radicais livres envolvidos na reação de acastanhamento. Há também evidências que o AA apresenta proteção de polifenóis e melhoria de atividades, provavelmente devido à redução de fenóis oxidados e regeneração de polifenóis das suas respetivas formas oxidadas (Altunkaya & Gokmen, 2009).

A ação cooperante entre AA e polifenóis pode ser benéfica na melhoria da capacidade destes últimos para preservar as células contra danos induzidos por stress oxidativo (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2005).

Por outro lado, o AA, devido ao seu potencial antioxidante, pode reagir com os radicais gerados quimicamente (Beer *et al.*, 2005).

O AA não é tão efetivo quanto os sulfitos, como inibidor do acastanhamento, uma vez que estes apresentam grande estabilidade e capacidade de infiltração nos alimentos (Pelizota & Subaric, 1998).

Sulfitos e seus derivados

O SO_2 é, dentre os agentes químicos, o mais comumente utilizado e provavelmente o mais eficiente no controlo do acastanhamento enzimático (Caldwell *et al.*, 1965; Reed & Underkofler, 1966).

Os sulfitos incluem o dióxido de enxofre (SO_2) e as várias formas de sulfito inorgânico que libertam SO_2 sob determinadas condições de uso como: dióxido de enxofre (SO_2); sulfito (SO_3); bissulfito (HSO_3) e metabissulfito (S_2O_5).

Os derivados de enxofre tem um papel multifuncional nos alimentos, visto possuírem atividade antimicrobiana, que inibem tanto o acastanhamento enzimático como o não enzimático. Algumas espécies como o bissulfito e sulfito exercem um efeito competitivo com a PPO, devido a uma ligação formada entre este e o sítio ativo da enzima. Além disso este composto reage com alguns intermediários, como as quinonas, que resultam na formação de sulfoquinonas e inibem irreversivelmente a PPO (Garzón *et al.*, 2012).

Os sulfitos e seus derivados podem agir diretamente nas enzimas pela diminuição do número de pontes dissulfeto no centro catalítico (Walker & Ferrar, 1998) ou nos compostos de reação, formando sulfonatos sem coloração ou reduzindo-os aos fenóis precursores (Wong, 1995).

Nesses últimos casos, a prevenção perante o acastanhamento é apenas temporária, uma vez que há o consumo do agente químico. Embora os sulfitos sejam amplamente utilizados na indústria de alimentos e bebidas, efeitos adversos à saúde humana têm sido relacionados à sua ingestão, nomeadamente: anafilaxia, urticária e crise asmática em indivíduos sensíveis a sulfitos (Vally & Thompson, 2003), o que tem suscitado discussões sobre sua utilização de forma segura, em concentrações cada vez menores e ainda a sua substituição por outros aditivos em várias pesquisas como as de Severini *et al.* (2003) e Limbo & Piergiovanni (2006).

Araújo (1999) relata que, os mesmos contêm propriedades antissépticas e ajudam na preservação da vitamina C, porém, a sua utilização pode resultar em *flavor* desagradável, degradação da cor natural do alimento e destruição da vitamina B1, sendo tóxico em níveis elevados.

O metabissulfito de sódio é uma alternativa ao uso de SO_2 (dióxido de enxofre) em damascos secados ao sol (Daniele, 2005) e também no caso da secagem de tomate (Baloch *et al.*, 1997).

Extratos naturais como antioxidantes naturais

A aparência dos alimentos é um dos principais aspetos determinantes no apelo aos consumidores e, conseqüentemente, reflete-se nas vendas do produto (Fernández-López *et al.*, 2005).

Atualmente, os consumidores, cada vez mais exigentes, dão preferência a alimentos com menos conservantes sintéticos, impulsionando o desenvolvimento de tratamentos mais "naturais", por forma a melhorar a segurança alimentar, aumentar a vida de prateleira e melhorar a qualidade dos alimentos (Vigil *et al.*, 2005).

A redução de químicos convencionais e a incorporação de extratos naturais de plantas poderá fornecer à indústria de processamento, uma alternativa atraente ao consumidor. A imagem de saúde e a natureza não tóxica de agentes antioxidantes e antimicrobianos naturais, bem como a perceção do consumidor e aceitabilidade dos produtos que contêm extratos de semente de uva, por exemplo, e de chá (propriedades antioxidantes e antimicrobiana) tem sido bem demonstrada (Ahn *et al.*, 2004; Bisha *et al.*, 2010).

Os compostos fenólicos, como os flavonoides, são multifuncionais e podem atuar como agentes redutores, capazes de reagir com os radicais livres, quelantes e sequestradores de oxigénio (Garzón *et al.*, 2012).

Tanto o chá verde como o branco são obtidos a partir da planta *Camellia sinensis* L. Esta planta é uma das mais utilizadas, pertencente à família *Theaceae*, género *Camellia* e espécie *sinensis* (Schmitz *et al.*, 2005).

É uma planta perene do tipo arbustiva, podendo chegar até 3-4 m de altura (Ferrara *et al.*, 2001) e é originária da China (Sharangi, 2009).

A *Camellia sinensis* L. contém como componentes químicos maioritários, os flavonoides e as catequinas que apresentam uma série de atividades biológicas, como antioxidante, quimioprotetora, anti-inflamatória e anticancerígena (Schmitz *et al.*, 2005).

Para além do chá branco e do verde, outros derivam desta planta, como o caso do chá vermelho e do chá preto. A diferença entre eles reside no seu processamento, que pode ser: não fermentativo (chás verde e branco), parcialmente fermentativo (chá vermelho) e fermentativo (chá preto) (Barcirova, 2010).

Na Figura 18, apresenta-se o processo de fabrico do chá branco, verde, vermelho e preto, obtidos da *Camellia sinensis* L.

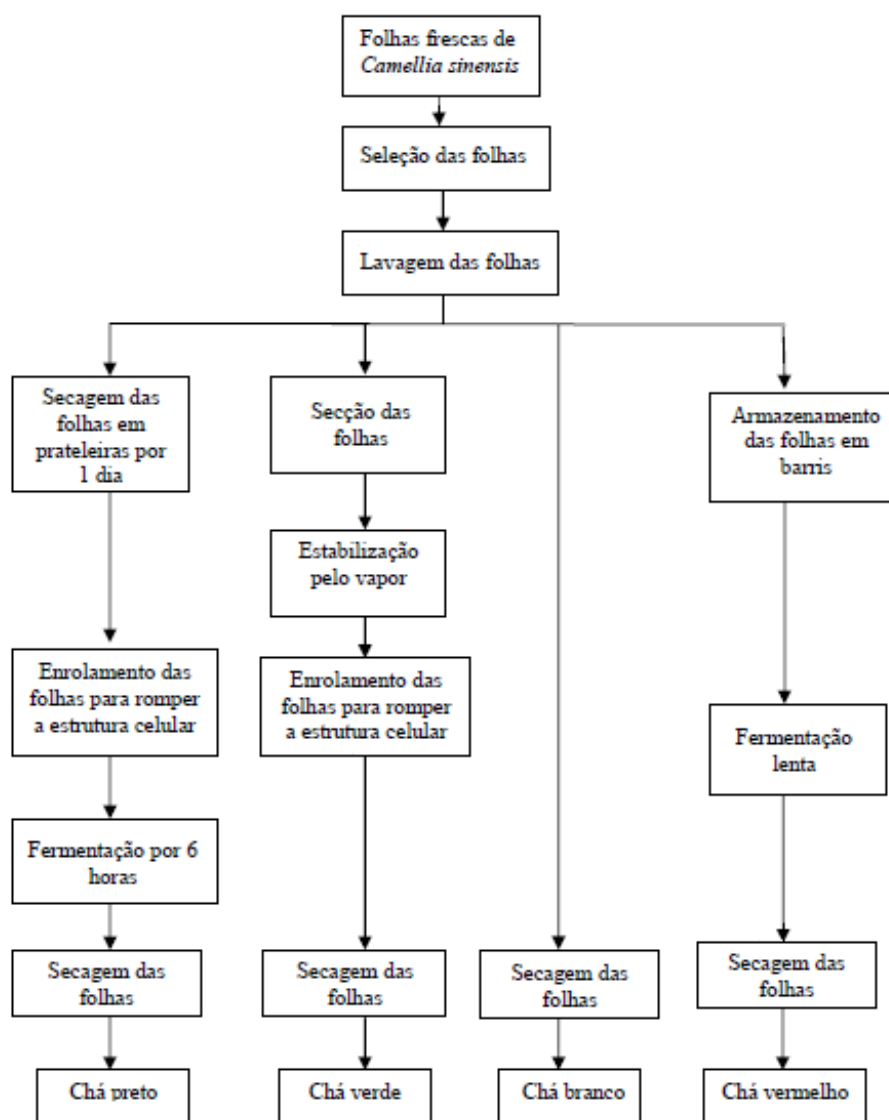


Figura 18: Representação esquemática da produção do chá branco, verde, vermelho e preto. Fonte: Paganini-Costa & Carvalho da Silva (2011).

O processo fermentativo favorece a oxidação enzimática dos polifenóis presentes no vegetal, conferindo menor adstringência e coloração mais intensa ao material vegetal (Duarte & Menarim, 2006). Quanto menor a fermentação, maior a quantidade de catequinas, principalmente de epigallocatequina-galato (EGCG).

A composição química do chá é complexa e inclui polifenóis, alcaloides (cafeína, teofilina e teobromina), aminoácidos, hidratos de carbono, proteínas, clorofila, compostos voláteis, minerais, oligoelementos e outros compostos não identificados. Entre estes, os polifenóis constitui o grupo mais interessante e são as principais moléculas bioativas no chá (Cabrera *et al.*, 2003).

Os polifenóis derivam do ácido cinâmico, dentre os quais, um dos grupos é denominado de flavonoides. Em *Camellia sinensis* L. os principais flavonoides das folhas frescas do chá são os flavonóis e as catequinas, que representam 30% do peso seco das folhas do chá, sendo as catequinas os compostos que se apresentam em maior quantidade (Frejnagel, 2007).

Os flavonóis presentes na folha fresca do chá são a quercetina, o canferol, a miricitina e ainda, os 3-glucósidos derivados destes compostos (Cadenas & Packer, 2005).

As principais catequinas encontradas são a epicatequina (EC), a epicatequina-3-galato (ECG), a epigalocatequina (EGC) e a epigalocatequina-3-galato (EGCG) (Baptista *et al.*, 1999).

No entanto, a composição das folhas de *Camellia sinensis* L. depende de fatores como a variedade, condições edafoclimáticas e práticas de cultivo (McKay & Blumberg, 2002).

Chá branco

Os botões e as folhas novas do chá são colhidas pouco antes dos botões abrirem totalmente, sendo submetidas a um processamento mínimo (Figura 21). Por esta razão, o chá branco retém os maiores níveis de antioxidantes e os níveis mais baixos de cafeína do que qualquer outro chá da planta *Camellia sinensis* L. (Sharang, 2009).

Os principais compostos presentes nesse chá são os polifenóis monoméricos, caracterizados pelas epicatequinas e seus derivados, além de vários ácidos, como gálico, cumárico, caféico e alcaloides, representados pela cafeína e purina (Rusak *et al.*, 2008).

Investigações recentes têm associado o chá branco com propriedades anticancerígenas, que aumentam a imunidade e propriedades antioxidantes (Unachukwu *et al.*, 2010; Muller *et al.*, 2010). Outros estudos têm demonstrado atividades notáveis do chá branco numa gama de ensaios de enzimas pertencentes ao dano oxidativo e inflamação (Thring *et al.*, 2009; Thring *et al.*, 2011). Enzimas inibidas por chá branco incluem a colagenase e a elastase.

Chá verde

Este tipo de chá é também conhecido por chá não fermentado (Belitz *et al.*, 2009), cujo processamento (Figura 18), passa por uma fase de inativação das enzimas responsáveis pelos processos oxidativos (polifenoloxidase), o que faz com que as folhas, nesta etapa, apresentem uma coloração verde (McWilliams, 2007) e impede a oxidação das catequinas monoméricas, conservando quase todo seu conteúdo original de polifenóis (Almajano *et al.*, 2008).

Quanto à constituição do chá verde, entre todos os tipos de chá, é o que apresenta uma maior quantidade de catequinas (Lin *et al.*, 2003). As principais catequinas incluem: epicatequina (EC), epigalocatequina (EGC), epicatequina-3-galato (ECG) e epigalocatequina-3-galato (EGCG). Estes compostos são os principais responsáveis por muitas das propriedades protetoras de saúde atribuídas a este chá (Mildner-Szkudlarz *et al.*, 2009).

Diversos estudos têm evidenciado as propriedades do chá verde como sendo: imunoestimulatória, antibacteriana, antifúngica, antioxidante, antiinflamatória, antimutagénico, hipoglicémico e hipocolesterolémico (Chacko *et al.*, 2010; Nishiyama *et al.*, 2010).

O chá verde é uma excelente fonte de polifenóis, que são antioxidantes naturais, podendo ser utilizados como alternativas aos antioxidantes sintéticos, sendo menos prejudiciais que estes e parecem ter um efeito equivalente contra a inibição da oxidação de moléculas orgânicas (Cao, 1996). Estes antioxidantes são muito importantes não só para os sistemas vivos contra o stress oxidativo, mas também para a conservação de alimentos (Masuda *et al.*, 2003). Antioxidantes fenólicos interrompem a propagação de auto-oxidação da cadeia de radicais livres, contribuindo com um átomo de hidrogénio de um grupo hidroxilo fenólico, com a formação de um radical livre relativamente estável (Kaur & Kapoor, 2001).

III. OBJETIVOS

Este estudo visa o estudo de tratamentos prévios para controlo de acastanhamento na secagem de cenoura, uma vez que, este pode causar efeitos indesejáveis no produto final. Pretende-se avaliar alguns parâmetros físico-químicos, nomeadamente a influência de pré-tratamentos químicos e térmicos nas propriedades físicas (textura e cor), assim como nas suas propriedades químicas, nomeadamente: humidade, açúcares, cinza, proteína, fibra bruta, compostos fenólicos e atividade antioxidante do produto em fresco e secado, por convecção, após as diferentes temperaturas de operação.

Este trabalho apresenta um carácter exploratório na medida em que visa, também, a procura de alternativas mais naturais relativamente à utilização de compostos químicos.

IV. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. AMOSTRAGEM

Para a elaboração deste trabalho foram utilizadas cenouras (*Daucus carota* L.) da variedade Nantes, sendo adquiridas num supermercado local.

Foram utilizadas um total aproximado de 100 kg de cenouras, sendo escolhidas as maiores, por forma a obter as dimensões das rodela pretendidas.

4.1.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As cenouras foram descascadas e cortadas, manualmente, às rodela com uma espessura aproximada de 1 cm e com 3 cm de diâmetro. Assim, após sujeitas aos diversos pré-tratamentos, foram submetidas ao processo de secagem. As amostras em fresco e secadas foram trituradas para a análise das propriedades químicas, enquanto para as propriedades físicas (textura e cor) usaram-se diretamente as rodela de cenoura.

4.1.2. PRÉ-TRATAMENTOS

Os pré-tratamentos aos quais foram submetidas as amostras foram divididos em químicos e térmicos.

Relativamente aos químicos, as rodela de cenoura foram imersas em soluções de ácido ascórbico e metabissulfito de sódio durante 60 minutos e 90 minutos, nas concentrações de: 0,25% (m/v) e 1% (m/v). Foi, ainda, efetuada uma secagem ao produto em fresco, sem qualquer pré-tratamento e efetuado um controlo em água destilada, onde as rodela de cenoura foram imersas durante os mesmos períodos de tempo dos pré-tratamentos químicos.

No que respeita aos pré-tratamentos térmicos, foi efetuado um branqueamento por imersão em água quente, sendo imediatamente a seguir colocadas em água à temperatura ambiente. O binómio tempo/temperatura (4 minutos/95°C±1°C) foi definido através do teste da peroxidase, descrito por Costa *et al.* (1980) e que se apresenta no Anexo A.

Foram ainda, efetuados branqueamentos com infusão de chá verde e chá branco (*Camellia sinensis* L.), sendo preparadas com uma determinada quantidade de folhas secadas em 500 mL de água fervente durante 10 minutos,

como referido nas instruções da embalagem. Para a escolha da preparação das infusões, foram testadas quatro concentrações (0,90g; 2,00 g; 3,50 g e 5,00 g em 500 mL de água fervente). A cenoura foi submetida, então, a estas infusões e averiguado a influência das mesmas no binómio tempo/temperatura relativamente ao branqueamento sem extratos de chá (controlo).

Mediante os resultados obtidos, optou-se pela concentração de chá verde na proporção de 2 g/500 mL, cujo binómio tempo/temperatura situou-se em 2 minutos/95°C±1°C, efetuando o teste da peroxidase segundo Costa *et al.* (1980). O mesmo binómio foi verificado para a infusão de chá branco.

Após os diversos tratamentos, retirou-se o excesso de líquido da superfície das rodelas de cenoura, utilizando um papel absorvente e procedeu-se à secagem. Na Figura 19, apresenta-se o esquema representativo dos vários tratamentos estudados.

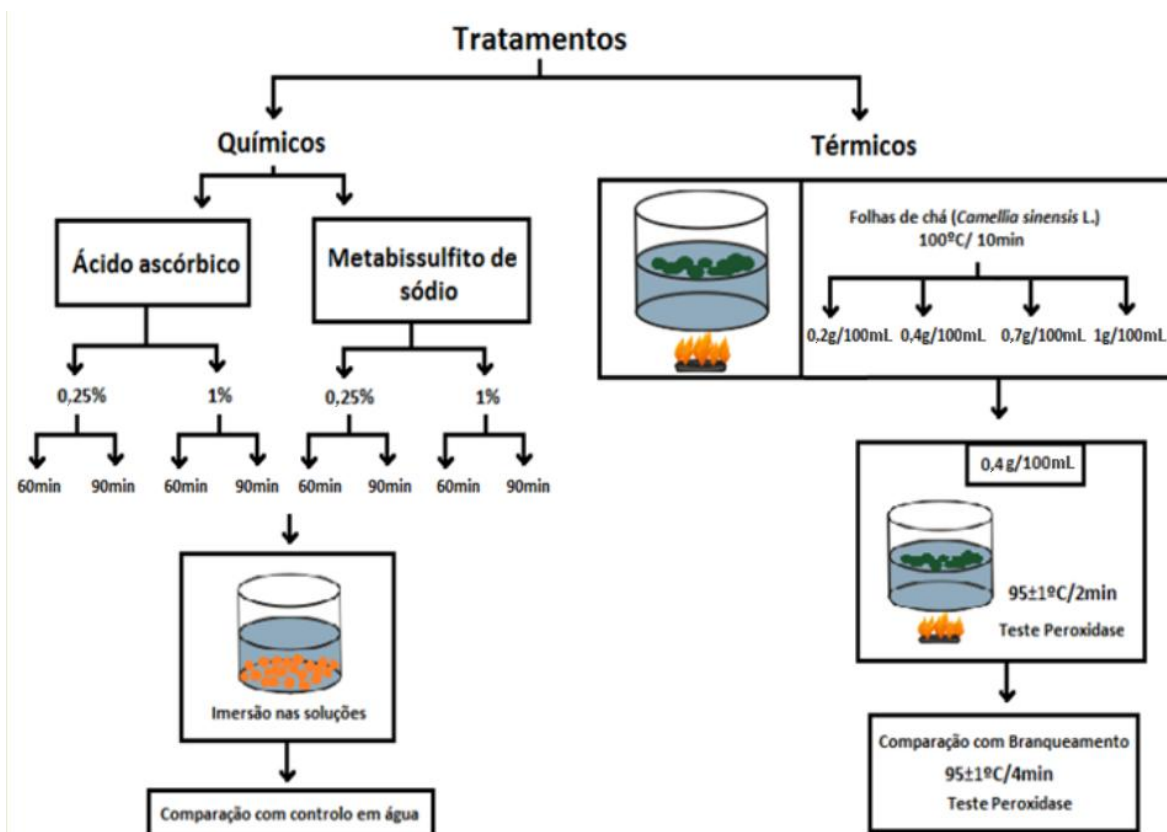


Figura 19: Delineamento experimental dos vários tratamentos testados.

As codificações das diferentes amostras atribuídas ao longo do trabalho estão referidas na Tabela 5.

Tabela 5: Codificação das amostras estudadas.

Pré-tratamentos	Codificação
Cenoura fresca	A
Secada sem pré-tratamento	B
Controlo água 60min	C
Controlo água 90min	D
Ácido ascórbico 0,25%/60min	E
Ácido ascórbico 0,25%/90min	F
Ácido ascórbico 1%/60min	G
Ácido ascórbico 1%/90min	H
Metabissulfito de sódio 0,25%/60min	I
Metabissulfito de sódio 0,25%/90min	J
Metabissulfito de sódio 1%/60min	K
Metabissulfito de sódio 1%/90min	L
Branqueamento (4min/95°C±1°C)	M
Infusão chá verde (2min/95°C±1°C)	N
Infusão chá branco (2min/95°C±1°C)	O

4.1.3. PROCESSOS DE SECAGEM

Para o processo de secagem, foi utilizada uma estufa WTB com ventilação (Binder, Alemanha), sendo o fluxo de ar de 0,2 m/s.

As diversas amostras foram sujeitas a secagem a duas temperaturas distintas: a 40°C e a 60°C.

No caso das amostras, sujeitas aos pré-tratamentos químicos (ácido ascórbico e metabissulfito de sódio) e controlos, a uma temperatura de 40°C, o processo teve uma duração aproximada de 15 horas, sendo que a 60°C, a secagem demorou cerca de 8 horas.

Relativamente à secagem das amostras sujeitas a tratamentos térmicos, a 40°C, teve uma duração aproximada de 15 horas, a 60°C, teve uma duração de 7 horas.

4.2. ANÁLISES QUÍMICAS

No decorrer das atividades experimentais, foram executadas várias determinações de carácter químico: teor de humidade, teor em proteína (Método de Kjeldhal), teor de cinza (Método Weende), teor de fibra bruta (Método Weende), açúcares redutores (*Food Chemicals Codex*, 1996), atividade antioxidante (Método ABTS) e polifenóis totais (Método Folin-Ciocalteu).

As análises químicas foram efectuadas em triplicado para cada amostra, sendo no total analisadas 29 amostras.

As análises químicas, com exceção do teor de humidade, que foi expresso em base húmida, foram expressas em base seca (g/100 g b.s.), de modo a permitir uma comparação direta dos valores para as diferentes amostras, utilizando a seguinte equação:

$$\text{valor (g/100g b.s.)} = \left(\frac{\text{valor (g/100g produto)} \times 100}{100 - \text{Humidade (g/100g produto)}} \right) \quad (1)$$

4.2.1. HUMIDADE

O conhecimento da humidade exata e do procedimento apropriado para a sua determinação são de extrema importância quando se trata de alimentos secados, uma vez que a sua incorreta determinação pode conduzir à deterioração do produto (microbiológica e reações enzimáticas) e, conseqüentemente levar à perda da qualidade (Karathanos, 1999).

Para a determinação da humidade utilizou-se o método de perda de peso após desidratação até peso constante, recorrendo a uma balança de halogéneo (Mettler Toledo, HG53), a uma temperatura de 120°C e velocidade 3 (numa escala de 1 a 5, sendo 1 muito rápido e 5 muito lento).

A massa das amostras analisadas estava compreendida entre 0,2 g e 0,5 g.

4.2.2. CINZA

As cinzas em alimentos referem-se ao resíduo inorgânico que resulta da queima da matéria orgânica, entre 550 a 570°C e corresponde às substâncias minerais presentes nos alimentos. Estes minerais são analisados tanto para fins nutricionais como também para segurança (Cecchi, 2003), isto é, funciona como indicador de qualidade, permitindo averiguar possíveis adulterações (Chaves *et al.*, 2004).

As cinzas foram determinadas através do método de Weende (AOAC, 2000).

Experimentalmente procedeu-se à calcinação dos cadinhos na mufla a uma temperatura de 550°C. De seguida, foram arrefecidos em exsiccador até à temperatura ambiente e efetuou-se a pesagem dos mesmos. Posteriormente adicionaram-se cerca de 2 g de amostra, sendo os cadinhos colocados na mufla à temperatura supra-referida até obtenção de um resíduo branco. Tratou-se o resíduo com ácido nítrico e voltou-se a calcinar, até se obter um resíduo totalmente branco. Arrefeceu-se, em exsiccador, até temperatura ambiente e efetuou-se a pesagem dos mesmos.

A quantificação do teor em cinza da amostra determinou-se a partir da equação 2.

$$\% \text{ Cinza} = \left[\frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \right] \times 100$$

onde,

(2)

P1 = Peso cadinho

P2 = Peso cadinho + amostra

P3 = Peso cadinho + amostra (conjunto) + cinza

4.2.3. PROTEÍNA

As proteínas são componentes funcionais e nutricionais importantes em diversos alimentos, contribuindo para a textura e propriedades sensoriais. Nutricionalmente é sabido que as proteínas de origem animal têm maior valor biológico em comparação com as proteínas vegetais (Kinupp & Barros, 2008).

Para a determinação do teor de proteína bruta foi utilizado o método de Kjeldhal, sendo este constituído por três etapas: digestão, destilação e titulação.

Trata-se de um método exato e preciso, tendo como princípio destilar em meio fortemente alcalino o NH_4^+ produzido na digestão com H_2SO_4 a 400°C , na presença de sulfato de cobre (catalisador) que acelera a oxidação da matéria orgânica (Nogueira & Souza, 2005). Posteriormente, o NH_4^+ é recolhido na solução de H_3BO_3 e titulado com uma solução ácida (HCl ou H_2SO_4) (Silva, 2009).

Em termos práticos, colocou-se 1 g de amostra num balão de Kjeldhal, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado e 1 mL de solução saturada de sulfato de cobre. Posteriormente, os tubos foram aquecidos a 400°C , durante cerca de 6 horas. Após o arrefecimento dos tubos, colocou-se no aparelho de destilação, para a recolha do destilado, ao qual foi adicionado 50 mL de água destilada e hidróxido de sódio a 35% (m/v). Num erlenmeyer de 250 mL, adicionaram-se 20 mL de ácido bórico a 1% (m/v), e deu-se início à destilação. Por fim, titulou-se o destilado com HCl 0,01 N, na presença de indicador misto até ao ponto de viragem para cor rosada.

Para converter o azoto medido para proteína, multiplica-se o conteúdo do mesmo por um fator, que representa um valor médio para o material em estudo. O utilizado foi 6,25, que se aplica para alimentos em geral, considerando que a maioria das proteínas contém nas suas moléculas aproximadamente 16 % de azoto (Galvani & Gaertner, 2006).

Portanto, a quantificação de proteínas da amostra, determina-se através do seguinte cálculo:

$$\% \text{ Proteína bruta} = \left[\left(\frac{vg \times 0,01 \times 0,014}{m (g)} \right) \times 100 \right] \times 6,25$$

(3)

Onde,

vg = volume gasto na titulação

m = massa da amostra em gramas

4.2.4. FIBRA BRUTA

O termo fibra bruta engloba as frações de celulose e lignina insolúvel. Do ponto de vista químico, é a parte dos hidratos de carbono resistente ao tratamento sucessivo com soluções diluídas de ácido e base. Cerca de 97% da fibra bruta é constituída por celulose e lignina, sendo a maior fração a da celulose (Ruben, 2010).

Para a determinação da fibra bruta, o método utilizado foi o de Weende, no qual as amostras foram submetidas à digestão ácida, com solução de ácido sulfúrico 1,25% (v/v), seguida por digestão alcalina com hidróxido de sódio 1,25% (m/v).

O tratamento sucessivo nestas soluções fornece um resíduo isento, particularmente, em proteína e em gordura (Ferreira, 1994). É, ainda, solubilizada a maior parte da hemicelulose, cerca de 80%, e uma quantidade variável de lignina, entre 50% e 90% (Mascarenhas *et al.*, 1983).

Experimentalmente, os cadinhos filtrantes, de porosidade 2, foram previamente introduzidos em estufa a 104°C durante cerca de 2 horas, até peso constante. Posteriormente foram colocados no exsiccador, onde permaneceram até arrefecer. Após arrefecimento, foram pesados vazios e novamente pesados após adição de cerca de 3 g de amostra.

Seguidamente, os cadinhos filtrantes foram colocados no Dosi-fiber, onde se adicionaram cerca de 150 mL de H₂SO₄ (1,25%), previamente aquecidos, em cada coluna do equipamento.

As resistências foram colocadas a 90% até o reagente entrar em ebulição, depois disto, o aquecimento foi reduzido a 60% durante 30 minutos. Após este tempo, são desligadas as resistências, as válvulas de aspiração são abertas e o reagente é eliminado.

Posteriormente, cada coluna é lavada com cerca de 150 mL de água destilada, previamente aquecida, sendo este procedimento repetido mais duas vezes. De seguida, as válvulas de aspiração foram novamente fechadas e adicionados 150 mL de NaOH (1,25%), previamente aquecido, em cada coluna. Após a adição do reagente, seguiram-se os passos utilizados para o H₂SO₄ (1,25%).

Finalmente, os cadinhos filtrantes foram retirados do Dosi-fiber e colocados num kitasato, onde foram lavados com cerca de 5 mL de acetona, três vezes cada e procedeu-se à filtração a vácuo. Posteriormente foram colocados numa estufa, a 104°C, até peso constante.

A quantificação da fibra bruta da amostra determina-se aplicando o seguinte cálculo:

$$\% \text{ Fibra bruta} = \left[\frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \right] \times 100$$

Onde, (4)

P1 = Peso cadinho

P2 = Peso cadinho + amostra

P3 = Peso cadinho + amostra (conjunto) + fibra bruta

4.2.5. AÇÚCARES REDUTORES

O conteúdo de açúcares em vegetais possui um papel importante na caracterização do sabor e aroma por serem responsáveis pela doçura. O teor médio dos açúcares simples (monossacarídeos e dissacarídeos) em hortaliças é baixo e varia entre 2% e 5% (Chitarra & Chitarra, 2006).

Os açúcares redutores possuem um grupo funcional disponível para estabelecer ligações, sendo os principais açúcares redutores a frutose, a glucose, a maltose e a lactose.

Para a determinação do teor de açúcares redutores, o método seguido foi o descrito no *Food Chemicals Codex* (1996).

Os açúcares redutores são determinados por reação de uma porção solúvel em água das amostras com um excesso de sulfato de cobre padrão em alcalina de tartarato (solução de Fehling), sob condições controladas de tempo, temperatura, concentração e composição do reagente, de modo que a quantidade de cobre reduzido é proporcional à quantidade de açúcares redutores na amostra analisada (*Food Chemicals Codex*, 1996).

Em termos práticos, foram pesadas cerca de 10 g de amostra, sendo adicionados 200 mL de água destilada que ficou em agitação durante cerca de 30 minutos. Posteriormente procedeu-se à filtração.

Seguidamente, num erlenmayer de 250 mL, foram adicionados 10 mL de solução de Fehling's A, 10 mL de solução de Fehling's B, 20 mL de filtrado e 10 mL de água destilada. Posteriormente, esta mistura foi fervida durante 2 minutos numa placa de aquecimento, seguindo para um banho de água fria, por forma a provocar um arrefecimento rápido.

Posteriormente adicionaram-se 10 mL de iodeto de potássio a 30% (m/v) e 10 mL de ácido sulfúrico a 28% (v/v) e procedeu-se à titulação com solução de tiosulfato de sódio a 0,1 N na presença de 1 mL de indicador de amido a 1% (m/v), que foi adicionado sensivelmente a meio da titulação, até ao ponto de viragem para cor creme. Foi também efetuado um branco, substituindo o filtrado por água destilada.

A quantificação dos açúcares redutores da amostra determina-se pelo seguinte cálculo:

$$\% \text{ Açúcares redutores (glucose)} = \frac{mg \text{ glucose (Tabela)} \times 200mL \times 100}{\text{peso amostra (g)} \times 20mL \times 1000mg/g} \quad (5)$$

Em função da diferença de volumes de tiosulfato de sódio, gastos no ensaio em branco e na determinação (amostra), obteve-se a correspondente massa de glucose, através da Figura 20.

No presente trabalho, os hidratos de carbono totais foram calculados através da subtração de 100 pela soma da massa dos vários componentes da amostra (água, cinza, gordura e proteína).

Os açúcares não redutores foram determinados pela diferença dos hidratos de carbono totais pelos açúcares redutores.

Conversion of Net Titer to Reducing Sugars

<u>Net Titer*</u>	<u>0.0</u>	<u>0.1</u>	<u>0.2</u>	<u>0.3</u>	<u>0.4</u>	<u>0.5</u>	<u>0.6</u>	<u>0.7</u>	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>
	Reducing Sugars (As Dextrose), mg									
0.0 mL	0.0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8
1.0	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	5.9
2.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.5	8.8	9.1
3.0	9.4	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.4	11.7	12.0	12.3
4.0	12.6	13.0	13.3	13.6	14.0	14.3	14.6	15.0	15.3	15.6
5.0	15.6	16.3	16.6	16.9	17.2	17.6	17.9	18.2	18.5	18.9
6.0	19.2	19.5	19.8	20.0	20.5	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1
7.0	22.4	22.7	23.0	23.3	23.7	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2
8.0	25.6	25.9	26.2	26.6	26.9	27.3	27.6	28.0	28.3	28.6
9.0	28.9	29.3	29.6	30.0	30.3	30.6	31.0	31.3	31.6	31.9
10.0	32.3	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	35.0	35.3
11.0	35.7	36.0	36.3	36.7	37.0	37.3	37.6	38.0	38.3	38.7
12.0	39.0	39.3	39.6	40.0	40.3	40.6	41.0	41.3	41.7	42.0
13.0	42.4	42.8	43.0	43.4	43.7	44.1	44.4	44.8	45.2	45.5
14.0	45.8	46.2	46.5	46.9	47.2	47.6	47.9	48.3	48.6	48.9
15.0	49.3	49.6	49.9	50.3	50.7	51.1	51.4	51.7	52.1	52.4
16.0	52.8	53.2	53.5	53.9	54.2	54.5	54.9	55.3	55.6	56.0
17.0	56.3	56.7	57.0	57.3	57.7	58.1	58.4	58.8	59.1	59.5
18.0	59.8	60.1	60.5	60.9	61.2	61.5	61.9	62.3	62.6	63.0
19.0	63.3	63.6	64.0	64.3	64.7	65.0	65.4	65.8	66.1	66.5
20.0	66.9	67.2	67.6	68.0	68.4	68.8	69.1	69.5	69.9	70.3
21.0	70.7	71.1	71.5	71.9	72.2	72.6	73.0	73.4	73.7	74.1
22.0	74.5	74.9	75.3	75.7	76.1	76.5	76.9	77.3	77.7	78.1
23.0	78.5	78.9	79.3	79.7	80.1	80.5	80.9	81.3	81.7	82.1
24.0	82.6	83.0	83.4	83.8	84.2	84.6	85.0	85.4	85.8	86.2
25.0	86.6	87.0	87.4	87.8	88.2	88.6	89.0	89.4	89.8	90.2
26.0	90.7	91.1	91.5	91.9	92.3	92.7	93.1	93.5	93.9	94.3
27.0	94.8									

*mL of 0.1000 N sodium thiosulfate solution.

Figura 20: Diferença de volumes de tiosulfato de sódio 0,1N correspondentes à massa de açúcar redutor.

Adaptado de Food Chemicals Codex (1996).

4.2.6. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Entende-se por antioxidante toda a substância que presente em baixas concentrações, comparada com a dos substratos oxidáveis (hidratos de carbono, lípidos, DNA ou proteínas), reduz ou previne significativamente a sua oxidação (Halliwell, 1990).

Nos últimos anos, a capacidade antioxidante tem sido um parâmetro amplamente avaliado em diversos alimentos como seja o caso das frutas, das verduras, do vinho, do azeite, entre outros. Esta capacidade antioxidante está estritamente relacionada com a composição do produto, definindo-se como a capacidade de proteger o sistema biológico da excessiva oxidação (Halliwell, 1996).

Diversos estudos têm demonstrado que o consumo diário de substâncias antioxidantes pode produzir uma ação protetora efetiva contra os processos oxidativos que naturalmente ocorrem no organismo.

No organismo é produzido um equilíbrio entre oxidantes/antioxidantes, que ao ser quebrado, a favor dos antioxidantes, resulta no denominado "stress oxidativo", estando este fenómeno implícito em diversos processos fisiopatológicos.

Alguns dos principais agentes responsáveis pelo "stress oxidativo" são os radicais livres, moléculas, compostos ou substâncias que possuam um eletrão desemparelhado na sua orbital mais externa, sendo geralmente instáveis e muito reativos.

Alguns destes radicais livres são derivados do oxigénio, como o superóxido ($O_2^{\bullet-}$), hidroxilo (OH^{\bullet}), peróxido (RO_2^{\bullet}), alcoóxido (RO^{\bullet}), entre outros (Rivero Pérez, 2008).

A cenoura (*Daucus carota* L.), objeto de estudo, é uma boa fonte de antioxidantes naturais, nomeadamente carotenoides e compostos fenólicos (Prakash *et al.*, 2004; Zhang & Hamazu, 2004).

Para a determinação da atividade antioxidante foi utilizado o método de ABTS. A atividade antioxidante é medida com base na coloração produzida através da reação direta do antioxidante com o radical catião $ABTS^{\bullet+}$ (2,2'-azinobis - (3-etilbenzotiazoline-6-sulfonato)). Este ensaio é baseado na descoloração que ocorre quando o $ABTS^{\bullet+}$ é reduzido a ABTS.

O radical gera-se por adição de um agente oxidante $K_2O_8S_2$ (persulfato de potássio) e apresenta um máximo de absorção espectrofotométrica a 734 nm de comprimento de onda. Na presença de um agente antioxidante produz-se uma descoloração do composto e, portanto, uma diminuição da absorvância (Re *et al.*, 1999).

A principal vantagem deste método é a sua simplicidade e relativa rapidez, pelo que tem sido amplamente utilizado em muitos laboratórios de investigação para avaliar numerosos compostos de alimentos como: flavonoides e compostos fenólicos derivados de extratos de plantas (Rice-Evans *et al.*, 1995), azeite (Pellegrini *et al.*, 2001) e frutas (Leong & Shui, 2002).

Atualmente é um método muito utilizado para alimentos de origem vegetal e também em bebidas alcoólicas (Katalinic *et al.*, 2006).

Os resultados obtidos foram expressos em equivalentes de Trolox $\mu\text{mol/g}$ (TEAC), utilizando uma curva de calibração obtida com soluções de Trolox em diferentes concentrações (0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,40 $\mu\text{mol/L}$). Para cada concentração foram feitas 3 medições de absorvância.

O $ABTS^{*+}$ é gerado pela reação de 7 mM de ABTS em água com 2,45 mM de $K_2O_8S_2$ e misturados na proporção de 1:1. Esta solução é mantida ao abrigo da luz durante 12 a 16 horas, por forma a assegurar a reação completa. Após este período de espera, é efetuada uma diluição com etanol até a obtenção de uma absorvância entre 0,7 a 0,9 nm.

Em termos práticos, num tubo roscado foram adicionados 2 mL de solução de ABTS e 200 μL de amostra ou água para a elaboração do branco. Posteriormente, os tubos foram agitados e colocados ao abrigo da luz e à temperatura ambiente, durante 15 minutos.

Seguidamente, a atividade antioxidante dos extratos de amostra fresca e secadas foram avaliadas através de um espectrofotómetro UV Mini-1240 (Shimadzu, Japão), a uma absorvância de 734 nm. O auto-zero foi efetuado com etanol.

4.2.7. COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos estão largamente distribuídos em frutas e vegetais, sendo que estudos epidemiológicos têm indicado que o consumo regular de alimentos ricos nestes compostos (frutas, legumes, cereais integrais, vinho tinto, chá) está associado à redução do risco de doenças cardiovasculares, doenças neuro-degenerativas e certos tipos de cancro (Halliwell, 1994; Hung *et al.*, 2004).

Estes compostos apresentam benefícios para a saúde através de vários mecanismos: sequestradores de radicais livres, pela doação de um hidrogénio; de proteção e regeneração de outros antioxidantes (ou seja, a vitamina E) e quelantes de iões metálicos pró-oxidantes (Huang *et al.*, 2007).

Os polifenóis são divididos em várias classes, de acordo com o número de anéis de fenol e de acordo com os elementos estruturais que ligam estes anéis uns aos outros.

Os principais grupos de polifenóis são os ácidos fenólicos, tendo como exemplos: o ácido clorogénico, presente no café; os estilbenos, como o resveratrol presente nas uvas e vinho; as cumarinas, como as furanocumarinas do aipo; as ligninas, como as lignanas da linhaça; e os flavonóides.

No caso da cenoura, alguns polifenóis presentes são o ácido *para*-cumárico e o ácido caféico (Hamill *et al.*, 2012).

Na Figura 21, representa-se a estrutura química de diferentes tipos de polifenóis.

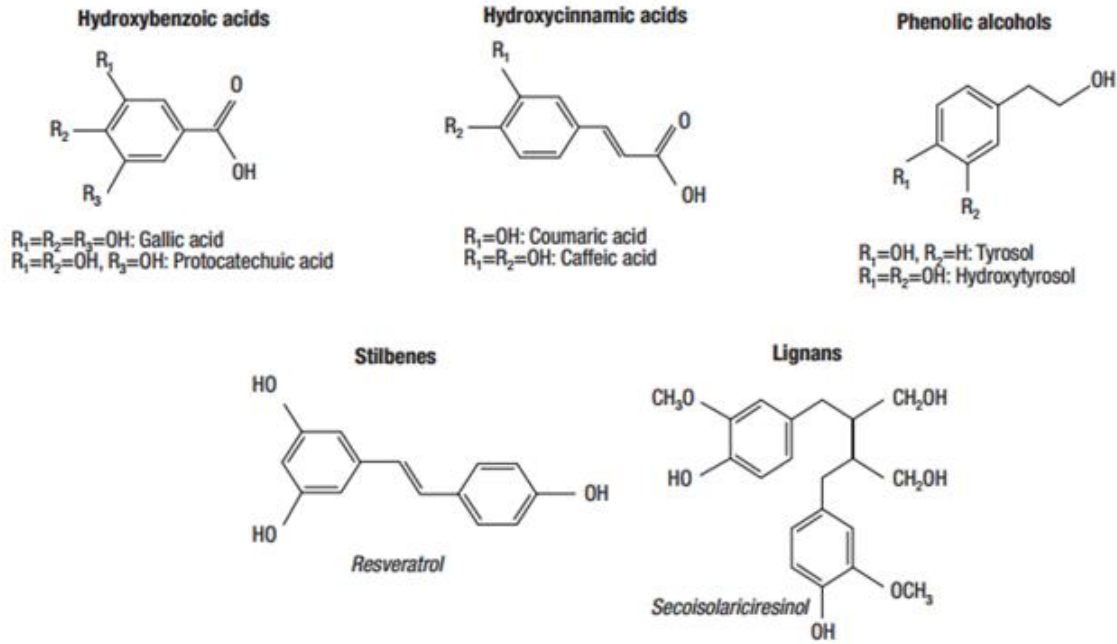


Figura 21: Estruturas químicas genéricas de classes de polifenóis.
Fonte: D'Archivio et al. (2007).

Na Figura 22, representa-se a estrutura química de subclasses dos flavonoides.

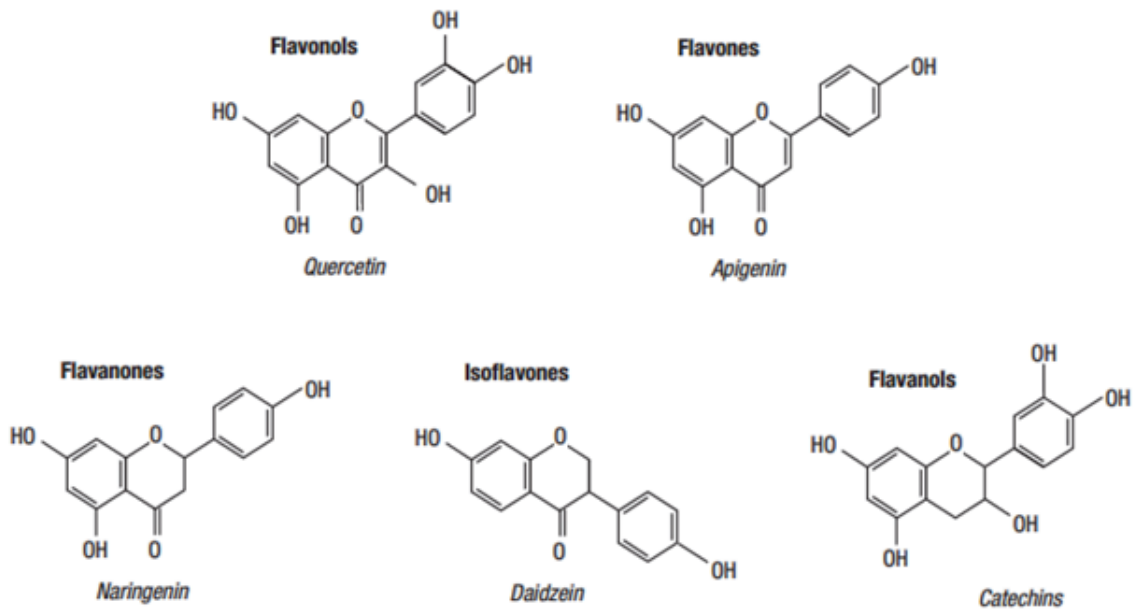


Figura 22: Estruturas químicas de subclasses dos flavonoides.
Fonte: D'Archivio et al. (2007).

Os polifenóis totais foram avaliados utilizando a espectrofotometria com o reagente de Folin-Ciocalteu, adaptado por Shahidi & Naczk (1995).

Este método é muito sensível e reprodutível, no entanto não é seletivo, pois determina polifenóis e monofenóis (Rivero-Pérez, 2008).

Assim, este método não fornece valores exatos do teor de fenóis totais, uma vez que outros compostos redutores, como o ácido ascórbico, também reagem com o ácido fosfotúngstico-fosfomolibdico, formando o complexo azul de molibdénio (Huang *et al.*, 2005).

Para além do ácido ascórbico ser uma interferência reconhecida na determinação de polifenóis totais (Scalbert & Williamson, 2000), os sulfitos também têm sido relatados como sendo substâncias potencialmente interferentes neste método, originando erros por excesso (Singleton *et al.*, 1999).

Neste método, ocorre a formação de um complexo azul obtido pela reação baseada na oxidação dos polifenóis com o reativo de Folin-Ciocalteu e uma mistura de tungstato e molibdato em meio fortemente básico. Os fenóis são energeticamente oxidados, ocorrendo a formação do ião superóxido (O_2^{\bullet}) que reage com o molibdato originando o óxido, MoO^{4+} (Rivero-Pérez, 2008).

Este complexo azul é medido a 760 nm, sendo diretamente proporcional à quantidade de polifenóis totais presentes no meio (Singleton & Rossi, 1965).

Adicionalmente foi necessário elaborar uma curva de calibração utilizando várias soluções de ácido gálico em metanol/água (50:50, v/v), nas concentrações de: 0,02; 0,04; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 g/L, sendo os ensaios feitos, para cada concentração, em triplicado.

Os resultados obtidos foram expressos em equivalentes de ácido gálico mg/g (GAE), que é um composto de referência comumente utilizado.

Para a determinação dos fenóis totais e da atividade antioxidante, foram realizadas extrações, cuja metodologia foi adaptada de Ferreira *et al.*, (2002).

As primeiras 3 extrações sucessivas foram realizadas com o solvente metanol/ácido acético (98:2, v/v) e as restantes com acetona/água (60:40, v/v). Solventes como o metanol, o etanol, a acetona, a água, o acetato de etilo e, em menor extensão, propanol dimetilformamida, e suas combinações são frequentemente usadas para a extração de compostos fenólicos. A solubilidade dos compostos fenólicos é influenciada pelo tipo de solvente (polaridade) utilizado, grau de polimerização dos compostos fenólicos, assim como a interação

de compostos fenólicos com outros constituintes alimentares e a formação de complexos insolúveis (Antolovich *et al.*, 2000).

Fatores como o tempo, a temperatura de extração, relação solvente:amostra, entre outros, têm influência significativa na eficácia da extração, refletindo-se numa maior ou menor recuperação dos compostos fenólicos (Wu *et al.*, 2004; Liyana-Pathirana & Shahidi, 2005; Nam *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2007).

Deste modo, não existe um procedimento uniforme ou completamente satisfatório que seja adequado para a extração de todos os compostos fenólicos ou de uma classe específica de substâncias fenólicas em matrizes vegetais (Antolovich *et al.*, 2000).

Experimentalmente, a amostra foi triturada, de seguida pesaram-se cerca de 5 g para um erlenmeyer. No total, foram efetuadas 6 extrações, com a duração de cerca de 1 hora cada, utilizando um banho de ultrassons à temperatura ambiente.

Inicialmente, à amostra, foram adicionados 50 mL de solução metanol/ácido acético, permanecendo sob agitação durante 1 hora. Após este tempo, filtrou-se o líquido para um recipiente com a ajuda de um coador. De seguida, foram adicionados, novamente, 50 mL da solução metanol/ácido acético à amostra pesada inicialmente e colocada num erlenmeyer. Deixou-se, novamente, sob agitação durante 1 hora. Repetiu-se o mesmo procedimento anteriormente descrito. A 3ª extração foi efetuada do mesmo modo. A 4ª, 5ª e 6ª extração foram realizadas, pelo mesmo procedimento, no entanto, utilizou-se a solução de acetona/água, como referido anteriormente.

Por fim, os recipientes com os extratos foram armazenados no frigorífico.

Em termos práticos, para a determinação dos fenóis totais, num pequeno tubo, foram colocados 125 µL de extrato de amostra, adicionaram-se 750 µL de água destilada e 125 µL de reagente de Folin Ciocalteu. Aguardaram-se 6 minutos, posteriormente foram adicionados 2 mL de solução de carbonato de sódio a 5% (m/v), permanecendo à temperatura ambiente, durante 60 minutos. Após este tempo, foi efetuada a leitura num espectrofotómetro UV Mini-1240 (Shimadzu, Japão). O auto-zero foi efetuado com água destilada.

4.3. ANÁLISES FÍSICAS

As análises de carácter físico efetuadas no presente estudo foram a cor e a textura, sendo efetuadas vinte réplicas na análise da cor e dez na textura.

4.3.1. COR

A cor desempenha um papel importante na aceitação dos alimentos pelo consumidor, sendo a aparência a primeira impressão que o consumidor tem perante um produto alimentar. Se a cor não é aceitável, outros fatores de qualidade, como o sabor e a textura, nem são tidos em conta (Francis, 1995).

Para a medição numérica da cor existem vários sistemas, no entanto, o sistema $L^* a^* b^*$ ou sistema CIELab é o mais amplamente utilizado, sendo a escala de cor mais uniforme e linear (Malheiros, 2007).

A coordenada cartesiana L^* representa a luminosidade, variando entre 0 e 100 (do preto ao branco, respetivamente). As coordenadas de cores opostas são: a^* , que assume valores negativos para o verde e positivo para vermelho e a coordenada b^* , que representa o negativo para o azul e o positivo para o amarelo (Kim & Lee, 2009) (Figura 23).

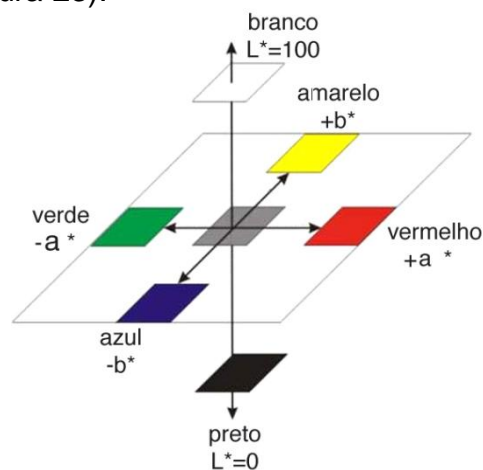


Figura 23: Espaço de cor CIELab.

Para a medição da cor foi utilizado um colorímetro portátil, Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japão). O instrumento foi calibrado com um azulejo branco de referência em relação ao iluminante padrão D65 (CIE $L^*=94,6$; $a^*=-0,1$ e $b^*=-0,6$).

A diferença total de cor (ΔE^*) é um parâmetro que pode ser calculado a partir das coordenadas $L^* a^* b^*$. Esta variável, calculada pela Equação 6, foi

desenvolvida para se aproximar de uma diferença perceptível ao olho humano (Lawless & Heymann, 1999) e é vulgarmente utilizada para caracterizar a variação de cor em alimentos durante o processamento (Yousefi *et al.*, 2011).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (6)$$

L_0 , a_0 , b_0 são os valores no estado de referência, que no presente caso foi a amostra em fresco.

Existem outros parâmetros polares mais significativos que se aproximam mais da experiência visual humana das cores do que os parâmetros cartesianos. Essas coordenadas cilíndricas são: croma ou saturação (pureza ou intensidade de cor) e tonalidade (cor propriamente dita) (Henriques, 2012), dadas pelas Equações 7 e 8, respetivamente:

$$\text{Chroma } * = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (7)$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (8)$$

Na Figura 24, estão representadas as coordenadas cilíndricas C^* e h° .

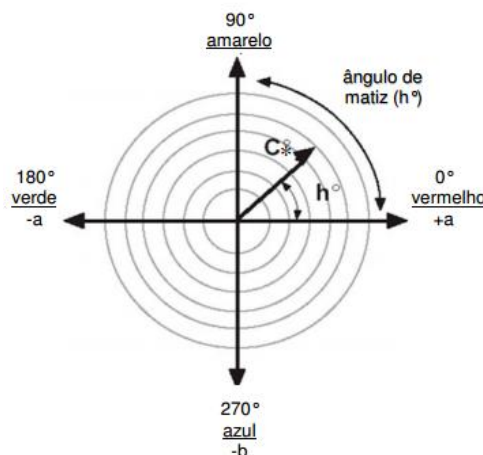


Figura 24: Coordenadas C^* e h° .
Fonte: Zielnik (2006).

O índice de acastanhamento, BI (*Browning Index*), representa a pureza da cor castanha e é considerado um parâmetro importante nos processos que

envolvem as reações de acastanhamento enzimático ou não enzimático em alimentos (Castañón *et al.*, 1998;). Este é calculado da seguinte forma (Askari *et al.*, 2008):

$$BI = \frac{[100 (X - 0,31)]}{0,17} \quad (9)$$

onde,

$$X = \frac{(a * + 1,75 L *)}{(5,645 L * + a * - 3,012b *)} \quad (10)$$

4.3.2. TEXTURA

A textura de um alimento pode definir-se como a manifestação sensorial da sua estrutura, ou seja, reflete as características micro e macroestruturais de um produto alimentar.

No caso das frutas e vegetais a textura é afetada por processos de secagem e é fortemente associado com a composição e estrutura das paredes celulares (Reeve, 1970).

A análise instrumental do perfil de textura (TPA) é largamente aplicado com eficiência em muitas análises de alimentos (Pons & Fiszman, 1996). Este teste simula a ação de compressão e corte dos dentes durante a mastigação, consistindo em aplicações sucessivas de forças (deformantes) ao corpo de prova e, a partir disso, é possível gerar uma curva força x tempo, que está ilustrada na Figura 25, onde são obtidos os parâmetros texturais.

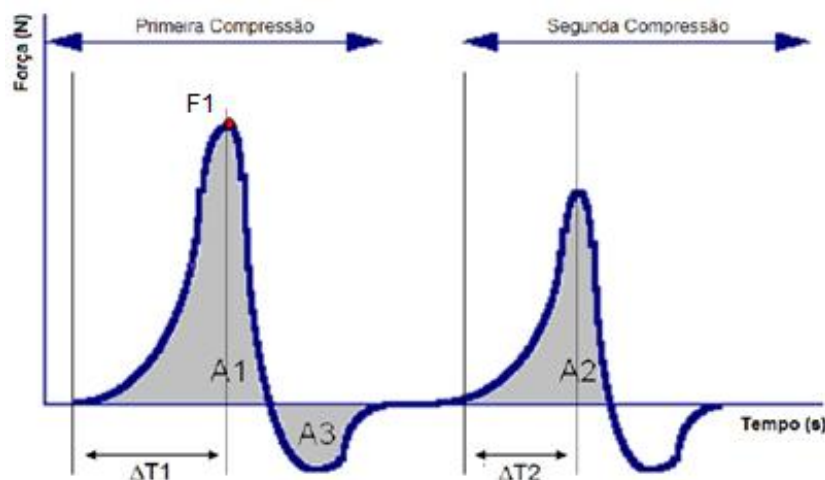


Figura 25: Ilustração de um perfil de Textura Instrumental de Análises (TPA).

A avaliação da textura das amostras fresca e secadas foi avaliada através de um texturómetro, TA-XT Plus (Microsystems, Reino Unido), sendo utilizadas diretamente as rodela das amostras.

Foram obtidos os perfis de textura a partir da compressão da amostra em dois ciclos consecutivos entre placas paralelas, usando uma sonda de compressão de 75 mm de diâmetro, com um intervalo de 5 segundos entre ciclos.

A célula de carga usada para calibrar o equipamento foi de 5kg e a velocidade de teste 0,5 mm/s. As propriedades de textura (dureza, adesividade, elasticidade, coesividade e mastigabilidade) foram determinadas através da aplicação das equações que de seguida ser apresentam:

$$\text{Dureza (N)} = F_1 \quad (11)$$

$$\text{Adesividade (N.s)} = A_3 \quad (12)$$

$$\text{Elasticidade (\%)} = (\Delta T_2 / \Delta T_1) \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Coesividade} = A_2 / A_1 \quad (14)$$

$$\text{Mastigabilidade (N)} = F_1 \times (\Delta T_2 / \Delta T_1) \times (A_2 / A_1) \quad (15)$$

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram sujeitos a uma análise recorrendo ao software STATISTICA, sendo realizado o teste de análise de variância “one-way” (ANOVA). As comparações das diferenças significativas das médias para todos os parâmetros foram testadas pelo teste de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*), sendo o nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes.

Foram ainda calculados os coeficientes de correlação (r) de Pearson para determinação das relações existentes entre as diversas propriedades avaliadas, utilizando o software SPSS® Statistics versão 20.

V. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. HUMIDADE

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos relativos à humidade para a amostra em fresco e após as secagens, em base húmida.

Tabela 6: Valores do teor de humidade, na amostra em fresco e após as várias secagens.

Amostra	Humidade (g/100g base húmida)	
A	87,02 ± 0,14 ^k	
	Secagem 60°C	Secagem 40°C
B	16,47 ± 0,63 ^{de}	26,60 ± 0,48 ^{ij}
C	11,91 ± 0,44 ^{abc}	28,90 ± 1,52 ^j
D	11,13 ± 0,45 ^{ab}	28,08 ± 0,59 ^{ij}
E	21,39 ± 2,76 ^{fgh}	28,17 ± 1,69 ^{ij}
F	15,56 ± 1,23 ^{cd}	20,81 ± 1,53 ^{efgh}
G	16,57 ± 0,88 ^{de}	21,38 ± 0,76 ^{fgh}
H	16,78 ± 2,33 ^{de}	26,78 ± 0,52 ^{ij}
I	24,86 ± 1,73 ^{hij}	24,14 ± 1,35 ^{ghi}
J	17,66 ± 2,06 ^{def}	29,15 ± 0,82 ^j
K	14,46 ± 1,42 ^{bcd}	8,04 ± 1,45 ^a
L	20,06 ± 1,62 ^{efg}	10,24 ± 2,12 ^{ab}
M	13,95 ± 0,23 ^{bcd}	21,88 ± 1,39 ^{fgh}
N	18,31 ± 1,80 ^{def}	16,91 ± 0,55 ^{de}
O	14,46 ± 1,38 ^{bcd}	10,80 ± 0,40 ^{ab}

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significam que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

O valor médio obtido do teor de humidade da cenoura em fresco foi de 87,02%, estando compreendido entre os valores médios referidos na literatura, ou seja, de 85,00% a 90,00% (Chitarra & Carvalho, 1984).

Relativamente aos teores médios de humidade, para as amostras submetidas à secagem de 60°C, obteve-se um intervalo de valores entre 24,86% (I) a 11,13% (D), tendo o valor médio sido de 16,68%.

Em relação à secagem de 40°C, foi verificado um intervalo de valores entre 29,15% (J) a 8,04% (K), tendo o valor médio sido de 21,56%.

5.2. CINZA

A Tabela 7 refere-se aos resultados obtidos do teor de cinza para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca.

Tabela 7: Valores do teor de cinzas, na amostra em fresco e após as várias secagens.

Amostra	Cinzas (g/100g base seca)	
A	6,87 ± 0,44 ^{cdefgh}	
	Secagem 60°C	Secagem 40°C
B	7,27 ± 1,92 ^{efgh}	6,26 ± 0,17 ^{bcdefgh}
C	4,94 ± 0,15 ^{abcd}	4,74 ± 0,31 ^{abc}
D	4,70 ± 0,09 ^{abc}	4,73 ± 0,08 ^{abc}
E	7,42 ± 0,03 ^{fgh}	6,48 ± 0,20 ^{bcdefgh}
F	6,88 ± 0,57 ^{cdefgh}	6,00 ± 1,59 ^{abcdefgh}
G	5,58 ± 0,91 ^{abcdefg}	5,36 ± 1,71 ^{abcdefgh}
H	5,61 ± 0,52 ^{abcdefg}	6,62 ± 0,47 ^{bcdefgh}
I	7,78 ± 0,19 ^{gh}	6,90 ± 0,36 ^{cdefgh}
J	7,96 ± 0,35 ^h	7,14 ± 0,31 ^{defgh}
K	6,28 ± 1,13 ^{bcdefgh}	6,31 ± 0,66 ^{bcdefgh}
L	6,32 ± 0,79 ^{bcdefgh}	7,62 ± 0,22 ^{gh}
M	5,09 ± 0,07 ^{abcde}	5,29 ± 0,10 ^{abcdef}
N	3,98 ± 0,11 ^a	4,59 ± 0,43 ^{ab}
O	3,84 ± 0,09 ^a	3,83 ± 0,43 ^a

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significam que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

O valor médio obtido do teor de cinzas da cenoura em fresco foi de 6,87g/100g (base seca), correspondendo a 0,89g/100g (base húmida), muito semelhante ao valor encontrado por Sra *et al.* (2010) para a cenoura da mesma variedade estudada, cerca de 0,88g/100g (base húmida).

Relativamente aos resultados observados, verificou-se que para ambas as temperaturas de secagem, o teor de cinzas foi semelhante em todos os pré-tratamentos. Para a secagem a 60°C, os valores oscilaram entre 3,84g/100g (O) e 7,96g/100g (J), apresentando um valor médio de 5,98g/100g.

Relativamente à secagem a 40°C, os valores oscilaram entre 3,83g/100g (O) e 7,62g/100g (L), apresentando um valor médio de 5,85g/100g.

No entanto, nos tratamentos térmicos, de forma geral, houve uma diminuição do teor em cinzas, uma vez que o branqueamento propicia um cozimento parcial do tecido vegetal, tornando a membrana celular mais permeável à passagem de vapor de água, ocorrendo perda de minerais por lixiviação (Branco *et al.*, 2005).

Um estudo realizado por Ciabotti *et al.* (2006) verificou que o branqueamento da soja realizado no início do processamento reduziu o teor de alguns minerais (P, Cu, Zn e Fe) do extrato de soja (leite de soja), bem como no conteúdo de minerais do tofu, verificado na diminuição do teor em cinzas.

O mesmo foi verificado nas amostras C e D, quando comparadas à amostra B, uma vez que as anteriores foram submetidas à imersão em água destilada. Quanto aos tratamentos químicos, verificou-se uma maior retenção de minerais, nomeadamente as amostras tratadas com metabissulfito de sódio, comparativamente aos controlos de água destilada.

Um estudo utilizando metabissulfito de potássio a 1% (m/v), como pré-tratamento na secagem de pimenta (*Capsicum spp*), verificou uma maior retenção do teor de minerais nas amostras em relação ao branqueamento. Esta retenção pode ser atribuída devido à pressão osmótica criada pela presença de sais dissolvidos na água. Neste caso, a parede da célula comporta-se como uma membrana semi-permeável, que, no entanto, não serve como uma barreira perfeita para estes minerais, daí ter-se observado uma migração mineral para a solução. No entanto, a quantidade perdida foi inferior às amostras branqueadas (Eleyinmi *et al.*, 2002).

5.3. PROTEÍNA

A Tabela 8 refere-se aos resultados obtidos do teor de proteínas para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca.

Tabela 8: Valores do teor de proteínas, na amostra em fresco e após as várias secagens.

Amostra	Proteínas (g/100g base seca)	
A	8,12 ± 0,14 ^k	
	Secagem 60°C	Secagem 40°C
B	7,66 ± 0,03 ^{jk}	6,45 ± 0,05 ^{fghi}
C	4,36 ± 0,11 ^{abc}	4,09 ± 0,14 ^a
D	4,52 ± 0,10 ^{abc}	4,26 ± 0,05 ^{ab}
E	6,24 ± 0,08 ^{efghi}	7,73 ± 0,13 ^{jk}
F	5,39 ± 0,22 ^{cdef}	7,10 ± 0,45 ^{hijk}
G	4,25 ± 0,73 ^{ab}	8,04 ± 0,08 ^k
H	4,48 ± 0,20 ^{abc}	6,91 ± 0,11 ^{ghij}
I	5,97 ± 0,47 ^{defg}	8,06 ± 0,20 ^k
J	6,33 ± 0,65 ^{efgh}	7,80 ± 0,05 ^{jk}
K	5,84 ± 0,49 ^{defg}	7,26 ± 0,46 ^{ijk}
L	5,95 ± 0,91 ^{defg}	6,85 ± 0,29 ^{ghij}
M	6,86 ± 0,28 ^{ghij}	6,02 ± 0,27 ^{defgh}
N	4,18 ± 0,22 ^a	4,93 ± 0,34 ^{abcd}
O	5,43 ± 0,19 ^{cdef}	5,34 ± 0,22 ^{bcde}

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significam que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Para a amostra em fresco foi verificado um teor em proteínas na ordem dos 8,12g/100g (base seca), correspondendo a 1,05g/100g (base húmida), situando-se no intervalo de valores verificado na literatura, ou seja, entre 0,44 a 1,33g/100g (base húmida) (Verzeletti *et al.*, 2010).

Para a secagem a 60°C aos resultados obtidos oscilaram entre 4,18g/100g (N) e 7,66g/100g (B), apresentando um valor médio de 5,71g/100g.

Pode verificar-se que ambas as secagens, quando comparadas com a amostra em fresco, conduziram à diminuição do conteúdo em proteínas. No entanto esta alteração foi mais notória na secagem a 60°C. Relativamente à

secagem a 40°C, os valores oscilaram entre 4,09g/100g (C) e 8,06g/100g (I), apresentando um valor médio de 6,49g/100g e, portanto, mais alto relativamente à secagem efetuada a 60°C. Estes resultados poderão estar relacionados com a ocorrência da reação de Maillard, uma vez que esta ocorre acima dos 40°C, sendo favorável durante o processo de secagem de alimentos, com perda de aminoácidos (Moreno *et al.*, 2007; Rufián-Henares *et al.*, 2008).

Relativamente aos tratamentos químicos, estes apresentaram, de forma geral e para ambas as temperaturas de secagem, valores mais elevados comparativamente com as amostras controlo em água destilada. Tais resultados poderão estar relacionados com uma maior proteção destes compostos em relação às reações de Maillard. No caso do tratamento com ácido ascórbico a diminuição do pH do meio poderá retardar estas reações que são mais favoráveis a meios alcalinos. Quanto ao tratamento com metabissulfito de sódio, os derivados de enxofre são relatados na literatura como sendo capazes de retardar estas reações (Nunes & Baptista, 2001; Man, 2002).

Paralelamente, as amostras tratadas com metabissulfito de sódio foram as que registaram valores de proteínas ligeiramente superiores comparadas com as amostras tratadas com ácido ascórbico, sendo a secagem a 60°C a que registou maiores oscilações, provavelmente devido às reações de Maillard, como referido anteriormente.

Para as amostras sujeitas aos tratamentos térmicos e para ambas as secagens, os valores de proteína foram, de forma geral, inferiores em relação aos tratamentos químicos. Esta diminuição do teor de proteínas, nestas amostras, poder-se-á dever à exposição às elevadas temperaturas do branqueamento. Este procedimento conduz à perda de nutrientes importantes, principalmente pela difusão ou lixiviação (Mukherjee & Chattopadhyay, 2007). Alguns nutrientes, tais como vitaminas e sólidos como açúcares, aminoácidos e minerais solúveis em água poderão ocorrer durante o branqueamento (Akanbi *et al.*, 2003; Marabi *et al.*, 2004).

Comportamento semelhante foi verificado por Gonçalves *et al.* (2010), num estudo em abacaxi desidratado sujeito a branqueamento. Por outro lado, a exposição a elevadas temperaturas poderá levar à inativação de enzimas causada pela desnaturação de proteínas pelo calor (Bobbio & Bobbio, 2003).

Os resultados obtidos refletem-se no teor de cinzas e açúcares totais, por exemplo, uma vez que estes parâmetros estão todos correlacionados tal como se observa na matriz de correlação de Pearson, no Anexo B. O coeficiente de correlação entre as proteínas e as cinzas é de 0,6 e entre as proteínas e o teor de açúcares totais.

5.4. FIBRA BRUTA

A Tabela 9 refere-se aos resultados obtidos do teor de fibra bruta para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca.

Tabela 9: Valores do teor de fibras, na amostra em fresco e após as várias secagens.

Amostra	Fibras (g/100g base seca)	
	Secagem 60°C	Secagem 40°C
A	3,07 ± 0,98 ^a	
B	5,67 ± 0,52 ^{defgh}	3,36 ± 0,81 ^{ab}
C	6,96 ± 0,89 ^{ghijk}	6,07 ± 0,33 ^{efghij}
D	6,60 ± 0,51 ^{fghijk}	6,06 ± 0,84 ^{efghi}
E	4,42 ± 0,24 ^{abcde}	4,74 ± 0,61 ^{abcdef}
F	6,42 ± 0,24 ^{efghijk}	4,68 ± 0,45 ^{abcdef}
G	4,35 ± 1,20 ^{abcde}	5,24 ± 0,29 ^{bcdefg}
H	4,89 ± 1,05 ^{abcdefg}	4,78 ± 0,30 ^{abcdef}
I	5,50 ± 0,75 ^{cdefg}	5,59 ± 0,52 ^{defgh}
J	5,69 ± 0,85 ^{defgh}	3,44 ± 0,60 ^{abc}
K	6,02 ± 0,71 ^{efghi}	4,71 ± 0,17 ^{abcdef}
L	4,50 ± 0,82 ^{abcde}	3,88 ± 0,04 ^{abcd}
M	8,39 ± 0,26 ^k	7,94 ± 0,23 ^{ijk}
N	6,33 ± 0,14 ^{efghijk}	7,66 ± 0,30 ^{hijk}
O	8,13 ± 1,24 ^{jk}	7,59 ± 0,28 ^{hijk}

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, p < 0,05).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Para a amostra em fresco foi verificado um teor em fibras na ordem de 3,07g/100g (base seca), correspondendo a 0,40g/100g (base húmida), sendo

mais baixo em relação ao encontrado por Gopalan *et al.* (1991), ou seja, 1,20g/100g (base húmida) e também ao obtido por Holland *et al.* (1991), cerca de 2,40g/100g (base húmida).

Para a secagem a 60°C os resultados obtidos oscilaram entre 4,35g/100g (G) e 8,39g/100g (M), apresentando um valor médio de 5,80g/100g. Relativamente à secagem a 40°C, os valores oscilaram entre 3,36g/100g (B) e 7,94g/100g (M), apresentando um valor médio de 5,41g/100g.

Pode verificar-se que as amostras secadas apresentaram valores superiores de fibra bruta comparativamente com a amostra em fresco. Esta observação é importante, uma vez que a fibra bruta tem efeitos benéficos para a saúde, como o auxílio da digestão (Eva, 1983). De salientar que foram observados valores de fibra bruta mais elevados nas amostras sujeitas aos tratamentos térmicos. Estudos com grãos de amaranto tratados termicamente resultaram também num aumento do teor em fibra (Hoover & Vasathan, 1994).

5.5. AÇÚCARES

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos relativamente ao conteúdo em açúcares totais, redutores e não redutores para as diferentes amostras.

Tabela 10: Resultados do teor de açúcares totais, redutores e não redutores.

Amostra	Açúcares totais (g/100g base seca)	Açúcares redutores (g/100g base seca)	Açúcares não redutores (g/100g base seca)
A	85,01 ± 0,57 ^a	18,58 ± 0,67 ^s	66,43 ± 1,08 ^a
Secagem 60°C			
B	85,29±1,88 ^a	9,25±0,16 ^{cd}	75,91±2,01 ^{cdef}
C	90,33±0,23 ^{efg}	10,27±0,05 ^{ijk}	80,12±0,27 ^{ij}
D	90,41±0,17 ^{efg}	9,03±0,35 ^c	81,31±0,34 ^j
E	86,62±0,09 ^{abc}	8,15±0,43 ^b	78,55±0,37 ^{ghi}
F	87,84±0,39 ^{bcd}	10,69±0,08 ^{klmn}	77,27±0,39 ^{efgh}
G	92,11±0,95 ^g	9,55±0,32 ^{cdefgh}	84,49±1,22 ^k
H	89,57±0,71 ^{def}	10,25±0,38 ^{hijk}	79,17±0,46 ^{hij}
I	86,18±0,65 ^{ab}	6,87±0,13 ^a	79,47±0,77 ^{hij}
J	85,74±0,44 ^{ab}	10,12±0,11 ^{fghij}	75,55±0,39 ^{bcde}
K	87,64±1,02 ^{bcd}	9,51±0,11 ^{cdefg}	78,34±1,11 ^{ghi}
L	87,68±0,94 ^{bcd}	11,15±0,14 ^{mnp}	76,46±1,08 ^{defg}
M	86,94±0,47 ^{abc}	10,00±0,03 ^{efghij}	76,23±0,44 ^{cdefg}
N	91,58±0,32 ^{fg}	10,84±0,03 ^{klmno}	80,31±0,35 ^{ij}
O	90,51±0,19 ^{efg}	10,38±0,03 ^{ijkl}	79,74±0,16 ^{ij}
Secagem 40°C			
B	86,91±0,15 ^{abc}	11,52±0,08 ^{pqr}	75,29±0,20 ^{bcde}
C	90,86±0,18 ^{fg}	12,22±0,06 ^{qr}	78,21±0,25 ^{fghi}
D	90,79±0,08 ^{fg}	12,18±0,08 ^{qr}	78,34±0,14 ^{ghi}
E	85,79±0,32 ^{ab}	12,25±0,06 ^r	73,31±0,31 ^b
F	87,06±1,35 ^{abc}	9,87±0,12 ^{defghi}	77,27±1,31 ^{efgh}
G	85,31±1,17 ^a	11,26±0,11 ^{nop}	73,87±1,25 ^{bc}
H	86,72±0,52 ^{abc}	11,61±0,16 ^{pqr}	75,38±0,46 ^{bcde}
I	84,96±0,54 ^a	9,43±0,11 ^{cdef}	75,26±0,46 ^{bcde}
J	85,00±0,74 ^a	11,07±0,30 ^{lmnop}	74,24±0,63 ^{bcd}
K	86,30±0,30 ^{ab}	9,85±0,05 ^{defghi}	76,55±0,26 ^{defg}
L	85,77±0,41 ^{ab}	9,33±0,14 ^{cde}	76,54±0,35 ^{defg}
M	88,53±0,30 ^{cde}	10,19±0,26 ^{ghijk}	78,05±0,29 ^{fghi}
N	90,47±0,36 ^{efg}	10,86±0,03 ^{klmno}	79,42±0,33 ^{hij}
O	91,19±0,41 ^{fg}	10,49±0,10 ^{ijklm}	80,97±0,50 ^j

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes, na mesma coluna, significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, p < 0,05).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Relativamente aos resultados obtidos para os açúcares totais, a amostra em fresco apresentou um teor de 85,01g/100g (base seca), correspondendo a 11,04g/100g (base húmida), sendo um valor mais elevado ao obtido por Branco *et al.* (2007), ou seja, 3,21g/100g para mesma variedade estudada. Os teores em açúcares totais estão correlacionados com o teor em cinzas, proteínas e fibra como verificado pela correlação de Pearson (ANEXO B).

Quanto aos açúcares redutores esta apresentou 18,58g/100g, que corresponde a 2,41g/100g (base húmida), sendo um valor aproximado ao obtido por Branco *et al.* (2007), cerca de 2,94g/100g (base húmida) e mais elevado relativamente ao encontrado por Bajaj *et al.* (1980) cerca de 1,24g/100g (base húmida).

O teor de açúcares redutores, nos frutos e vegetais, é influenciado por fatores como é o caso das condições climáticas, condições nutricionais da planta ou estado de maturação (Marcos *et al.*, 1999). Segundo Wills *et al.* (1983), com a maturação, ocorre um aumento nos teores de açúcares redutores que pode ser devido à hidrólise de polissacarídeos, hemicelulose e substâncias pécticas da parede celular.

Em relação aos açúcares não redutores, a amostra em fresco apresentou cerca de 66,43g/100g (base seca), correspondendo a 8,62g/100g (base húmida). Este valor encontra-se acima ao obtido por Bajaj *et al.* (1980), cerca de 3,22g/100g (base húmida).

De facto, comparando a amostra em fresco com as diferentes secagens, é possível observar uma redução mais pronunciada dos açúcares redutores, o que indica a ocorrência das reações de Maillard. Reações essas que envolvem açúcares redutores e aminoácidos. Por outro lado, o teor em açúcares redutores está correlacionado com a humidade (ANEXO B).

Relativamente à secagem a 60°C, os resultados obtidos para os açúcares redutores oscilaram entre 6,87g/100g (I) a 11,15g/100g (L), apresentando um valor médio de 9,72g/100g. Para a secagem efetuada a 40°C, os valores oscilaram entre 9,33g/100g (L) a 12,25g/100g (E) e um valor médio de 10,87g/100g, uma vez que a reação de Maillard ocorre acima dos 40°C, como foi verificado na determinação do teor em proteínas. No entanto, como referido anteriormente, o teor em açúcares redutores está correlacionado com a humidade.

Um estudo levado a cabo por Henriques (2012), na secagem de abóbora e pepino, verificou que a secagem, nomeadamente a de 60°C conduziu a maiores perdas destes componentes, comparativamente à amostra em fresco.

Relativamente aos tratamentos térmicos, a perda de açúcares redutores poderá dever-se também à solubilização dos mesmos durante o tratamento. Estudos verificaram a ocorrência da perda de açúcares, através da solubilização dos mesmos durante o branqueamento de yacon, nomeadamente, glucose e frutose (Scher, 2009). A perda de açúcares redutores também foi observada na batata por Hoover & Xander (1963) e Talburt & Smith (1975).

5.6. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Para a determinação da atividade antioxidante, foram utilizados dois solventes para rentabilizar a extração de compostos com atividade antioxidante, visto que algumas substâncias são mais solúveis em metanol e outras mais solúveis em acetona (Henriques, 2012).

Na Figura 26 observa-se a curva de calibração efetuada para quantificar a atividade antioxidante nos diferentes extratos de amostras, representada pela Equação 16.

$$\% \text{ Inibição} = 181,17 \times \text{Concentração (mmol/L)} + 4,0228 \quad (R^2 = 0,9902) \quad (16)$$

Esta apresenta-se com um coeficiente de correlação relativamente elevado, o que indica uma boa relação linear entre as duas variáveis.

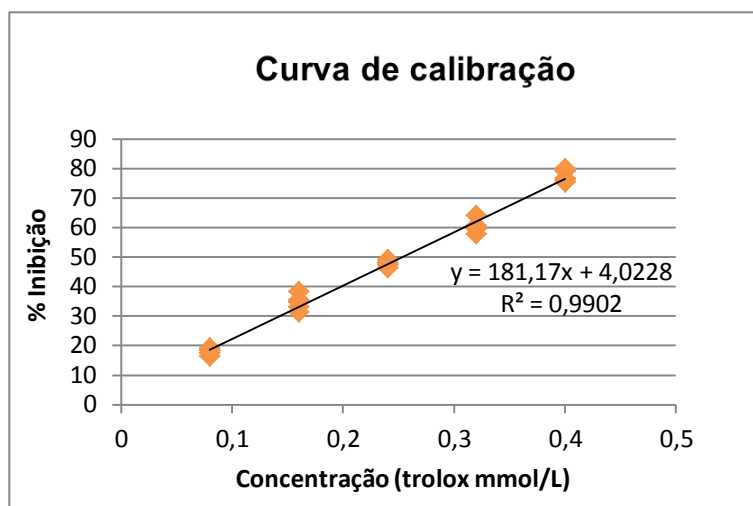


Figura 26: Retas de calibração para quantificação da atividade antioxidante nas diferentes amostras.

Na Tabela 11 e 12 é possível verificar as percentagens de recuperação de compostos com atividade antioxidante, nas diversas secagens, obtidos com extrações diferentes, utilizando metanol e acetona como solventes extratantes.

Tabela 11: Percentagem de extração de compostos com atividade antioxidante.

Amostras	% Extração de compostos com atividade antioxidante					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
60°C	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Acetona	Extração Acetona	Extração Acetona
A	47,13	11,92	8,15	13,65	8,49	10,66
B	45,24	14,82	10,85	14,15	9,31	5,62
C	35,60	24,82	9,33	17,33	8,02	4,90
D	41,04	29,07	11,44	12,70	1,03	1,71
E	36,11	25,21	14,27	13,26	7,02	4,13
F	50,10	13,85	9,50	17,01	7,03	2,51
G	50,24	17,96	4,56	19,39	3,67	4,18
H	34,75	19,17	6,84	29,43	8,07	1,73
I	21,32	22,56	13,27	27,87	8,59	5,38
J	25,66	22,75	10,94	28,29	7,91	4,44
K	29,17	20,95	10,07	26,18	10,31	3,32
L	28,39	18,82	11,82	27,09	9,94	3,95
M	41,07	17,75	11,40	20,92	6,74	2,12
N	49,47	21,04	9,34	14,03	3,14	2,97
O	37,35	20,54	12,75	18,85	7,17	3,34

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Tabela 12: Percentagem de extração de compostos com atividade antioxidante.

Amostras	% Extração de compostos com atividade antioxidante					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Acetona	Extração Acetona	Extração Acetona
40°C						
B	55,35	3,50	3,01	16,42	10,16	11,57
C	62,10	20,30	6,94	10,17	0,13	0,35
D	52,29	17,23	14,68	9,49	5,30	1,00
E	29,78	31,33	13,11	16,81	5,94	3,02
F	47,02	19,26	4,68	16,22	7,80	5,02
G	29,05	26,20	7,84	18,85	9,26	8,79
H	43,34	19,10	5,82	19,63	7,80	4,31
I	40,61	12,98	14,53	13,55	9,58	8,75
J	45,69	15,76	4,79	15,37	9,98	8,42
K	26,94	23,09	14,71	21,50	9,53	4,22
L	26,03	25,37	14,52	17,59	9,86	6,63
M	38,95	20,17	13,72	17,53	4,57	5,05
N	38,88	24,37	8,37	17,95	5,76	4,68
O	45,97	23,11	8,05	14,62	4,68	3,57

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Relativamente aos resultados obtidos, pode verificar-se que, em ambas as secagens, ocorreu uma maior extração de compostos com atividade antioxidante na primeira extração com extratante de metanol, decrescendo nas seguintes extrações do mesmo solvente. A primeira extração com acetona, também teve comportamento semelhante, ainda que tenha extraído menor quantidade de compostos antioxidantes comparativamente com o metanol.

Conclui-se, portanto, que a eficiência de extração é diferente em ambos os solventes, mostrando-se superior com metanol.

A Figura 27 e a Figura 28 apresentam os valores médios e os seus desvios-padrão para os valores da atividade antioxidante em extratos de metanol e acetona obtidos para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca, para a secagem de 60°C e 40°C, respetivamente.

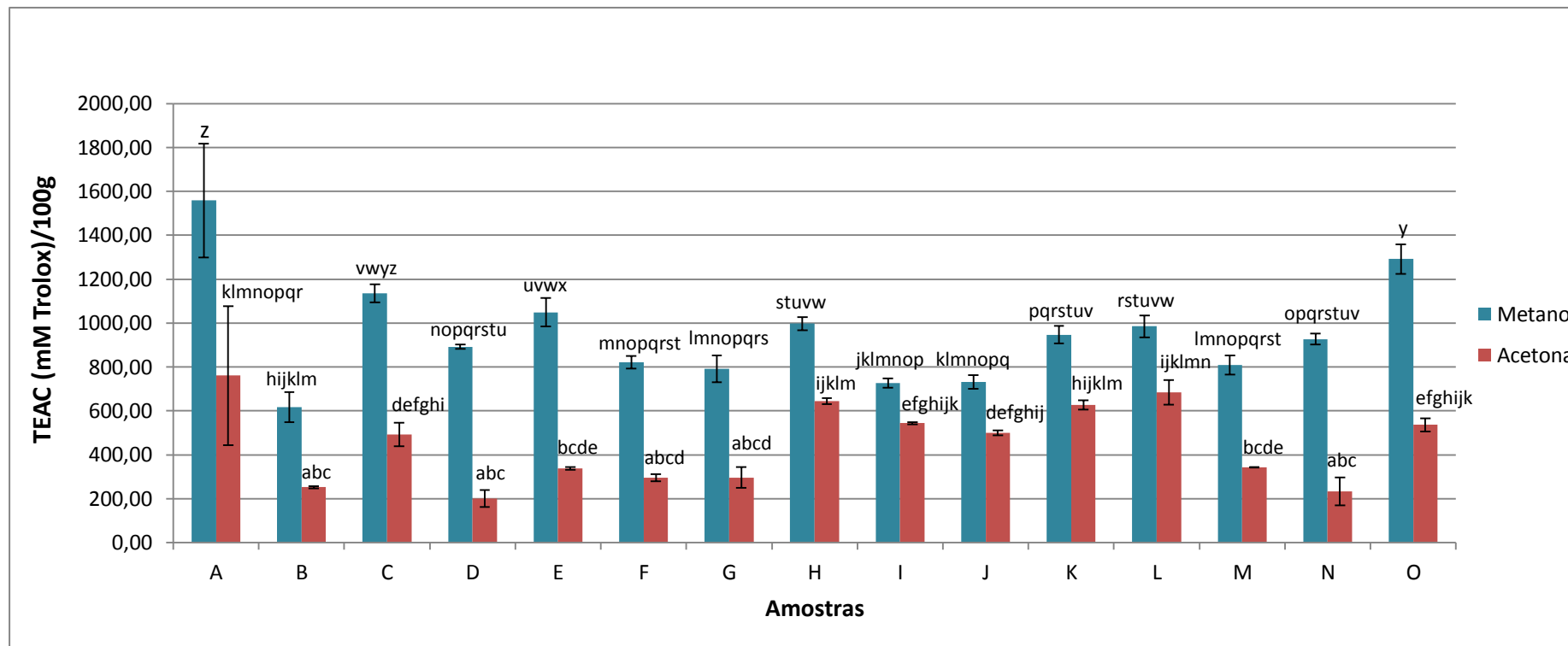


Figura 27: Atividade antioxidante das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 60°C.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

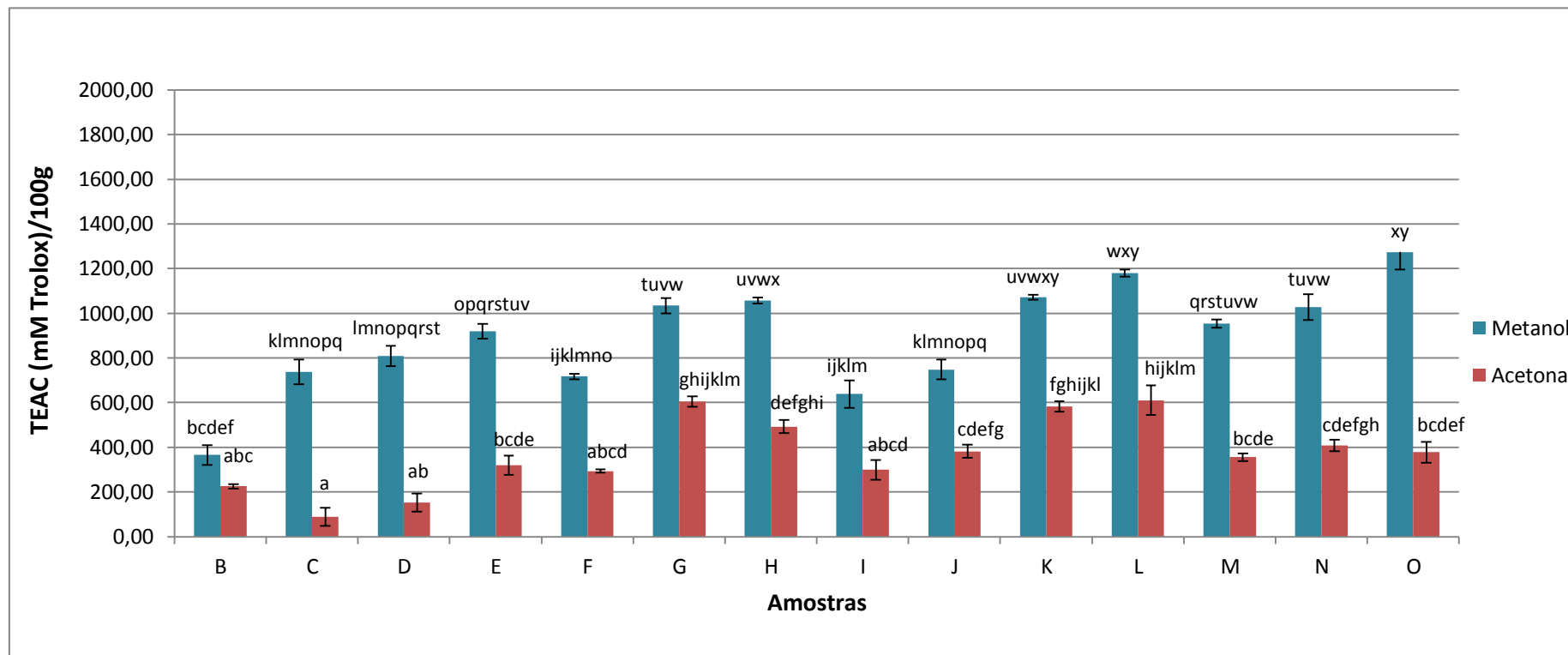


Figura 28: Atividade antioxidante das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 40°C.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

A amostra em fresco apresentou valores mais elevados de atividade antioxidante relativamente às secadas, o que leva a concluir que ambas as secagens provocaram uma diminuição destes compostos. Estes resultados poder-se-ão dever a compostos que apresentam sensibilidade às temperaturas de secagem, como sendo os carotenoides (Fennema, 2006) e a vitamina C (Gabas & Telis-Romero, 2003), que apresentam importantes propriedades antioxidantes na cenoura (Alasalvar *et al.*, 2001).

Por outro lado, de forma geral, os valores de atividade antioxidante para a secagem a 60°C (uma média de 908,71 TEAC (mM Trolox)/100g com o extratante metanol e 428,07 TEAC (mM Trolox)/100g com acetona) mostraram-se ligeiramente superiores que a 40°C (895,13 TEAC (mM Trolox)/100g com metanol e 370,56 TEAC (mM Trolox)/100g com acetona). Num estudo efetuado por Prakash *et al.* (2004), também com cenoura, observou que para as amostras submetidas a temperaturas de secagem mais baixas, ocorreu uma maior perda em conteúdo de β -caroteno, os quais apresentam importantes propriedades antioxidantes (Gonçalves *et al.*, 2007). Este facto pode ser devido ao maior tempo de exposição da amostra ao processo de secagem (Prakash *et al.*, 2004).

Relativamente aos tratamentos químicos, ambos contribuíram para a atividade antioxidante da amostra, uma vez que, o ácido ascórbico, por exemplo, é um importante antioxidante (Altunkaya & Gokmen, 2008). Um estudo efetuado também em cenouras secadas verificou que a adição de ácido ascórbico teve um efeito positivo sobre a atividade antioxidante (Yen *et al.*, 2008).

Por outro lado, Baloch *et al.* (1987) relataram que a utilização de metabissulfito de sódio teve um efeito significativo na melhoria do teor de carotenoides em cenoura secada. A retenção de carotenoides em amostras de cenoura com metabissulfito de sódio em comparação com amostras não tratadas foi de 76,6% e 51,1%, respetivamente.

De salientar, ainda, que amostras sujeitas a uma solução mais concentrada de metabissulfito de sódio, de forma geral, apresentaram maior atividade antioxidante, isto porque, este composto químico apresenta também propriedades antioxidantes (Gunnison & Jacobsen, 1987) e para além de

ajudar na retenção de carotenoides, também parece ajudar na retenção da vitamina C (Okebumo, 1991).

Por outro lado, a amostra B (não tratada), de forma geral, foi a que apresentou menor atividade antioxidante, uma vez que a mesma não esteve exposta a nenhum pré-tratamento. Por outro lado, a amostra branqueada (M), comparativamente com esta, apresentou um valor superior.

Alimentos utilizando diferentes processos (água, vapor sob vácuo, microondas), com temperaturas variando entre 75°C e 98°C e os tempos entre 1min a 10 min foram relatados para inativar eficazmente as enzimas (tais como as peroxidases e as lipoxigenases) que podem degradar os carotenóides (Baloch *et al.*, 1977).

No que se refere aos tratamentos térmicos com infusão de chás, a amostra que apresentou maior atividade antioxidante foi a O em ambas as secagens. Isto poder-se-á dever ao facto do chá branco, em relação ao verde, apresentar maior quantidade em compostos antioxidantes por ser menos processado (Sharangi, 2009; Mao *et al.*, 2010).

Estas amostras relativamente à amostra M apresentaram maior atividade antioxidante, pelo que se pode concluir que as infusões de chá verde e branco, contribuem para um aumento significativo na atividade antioxidante, uma vez que, estas são ricas em polifenóis, antioxidantes naturais, que podem ser usados em alternativa aos antioxidantes sintéticos (Cao, 1996).

Investigações levadas a cabo por Bobo *et al.* (2010) verificaram que, também a infusão de chá verde, aplicada em batata minimamente processada, pareceu manter a cor, a textura e apresentou algum efeito antimicrobiano.

Lavelli *et al.* (2010) também verificou que um produto feito à base de maçã, tratada com chá verde, levou a um aumento da atividade antioxidante.

Por outro lado, a amostra M por ser sujeita a um tratamento térmico mais demorado, que a N e a O é mais suscetível à destruição de vitaminas, como a vitamina C, uma vez que a sua destruição depende do tempo de exposição ao calor (Prochaska *et al.*, 2000) e pelo facto de ser uma vitamina hidrossolúvel.

5.7. POLIFENÓIS TOTAIS

Para a quantificação dos compostos fenólicos, e como foi referido para a atividade antioxidante, foram utilizados dois solventes para extrair uma quantidade maior de compostos fenólicos.

A Figura 29 apresenta a curva de calibração efetuada para quantificar os compostos fenólicos nos diferentes extratos de amostras, representada pela Equação 17.

$$\text{Absorvância} = 4,5886 \times \text{Concentração (g/L)} + 0,0821 \quad (R^2 = 0,9977) \quad (17)$$

Esta apresenta-se com um coeficiente de correlação relativamente elevado, o que indica uma boa relação linear entre as duas variáveis.

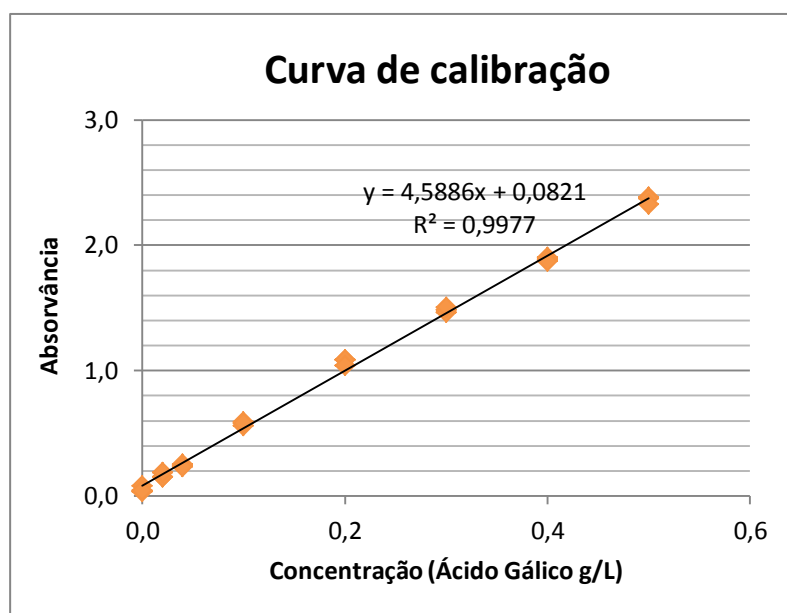


Figura 29: Curva de calibração para quantificação dos compostos fenólicos nas diferentes amostras

Na Tabela 13 e 14 é possível verificar as percentagens de recuperação de compostos fenólicos, respetivamente, na secagem a 60°C e a 40°C, obtidas na extração com metanol e acetona como solventes extratantes.

Tabela 13: Percentagem de extração de compostos fenólicos para a secagem de 60°C.

Amostras	% Extração de compostos fenólicos					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Acetona	Extração Acetona	Extração Acetona
60°C						
A	72,82	27,18	0,00	0,00	0,00	0,00
B	72,17	17,66	0,99	9,19	0,00	0,00
C	58,35	29,62	5,61	6,41	0,00	0,00
D	61,84	29,64	4,32	4,20	0,00	0,00
E	72,16	16,59	2,75	8,51	0,00	0,00
H	66,33	14,20	1,00	15,99	2,47	0,00
I	66,73	11,13	1,68	10,64	3,32	6,51
L	52,21	14,98	7,20	13,53	7,77	4,31
M	67,26	18,63	5,10	9,02	0,00	0,00
N	85,29	10,51	0,00	4,20	0,00	0,00
O	78,81	19,19	0,00	1,99	0,00	0,00

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Tabela 14: Percentagem de extração de compostos fenólicos para a secagem de 40°C.

Amostras	% Extração de compostos fenólicos					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Metanol	Extração Acetona	Extração Acetona	Extração Acetona
40°C						
B	90,97	9,03	0,00	0,00	0,00	0,00
C	78,34	20,44	0,00	1,22	0,00	0,00
D	80,94	19,06	0,00	0,00	0,00	0,00
E	82,39	15,86	0,00	1,75	0,00	0,00
H	74,64	12,96	0,93	10,78	0,43	0,26
I	73,29	22,85	0,00	3,86	0,00	0,00
L	64,86	22,50	3,93	8,72	0,00	0,00
M	82,98	12,43	0,00	4,59	0,00	0,00
N	89,62	10,38	0,00	0,00	0,00	0,00
O	78,97	18,35	0,00	2,67	0,00	0,00

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

À semelhança do que se observou para a atividade antioxidante, em ambas as secagens, ocorreu uma maior extração de compostos fenólicos na primeira extração com metanol, decrescendo nas seguintes extrações do mesmo solvente. Na primeira extração com acetona, também teve comportamento semelhante, ainda que em menor quantidade de compostos fenólicos extraídos comparativamente com o metanol.

A Figura 30 e a Figura 31 apresentam os valores médios e os seus desvios-padrão para os valores dos compostos fenólicos em extratos de metanol e acetona obtidos para a amostra em fresco e após as secagens, expressos em base seca, para a secagem de 60°C e 40°C, respetivamente.

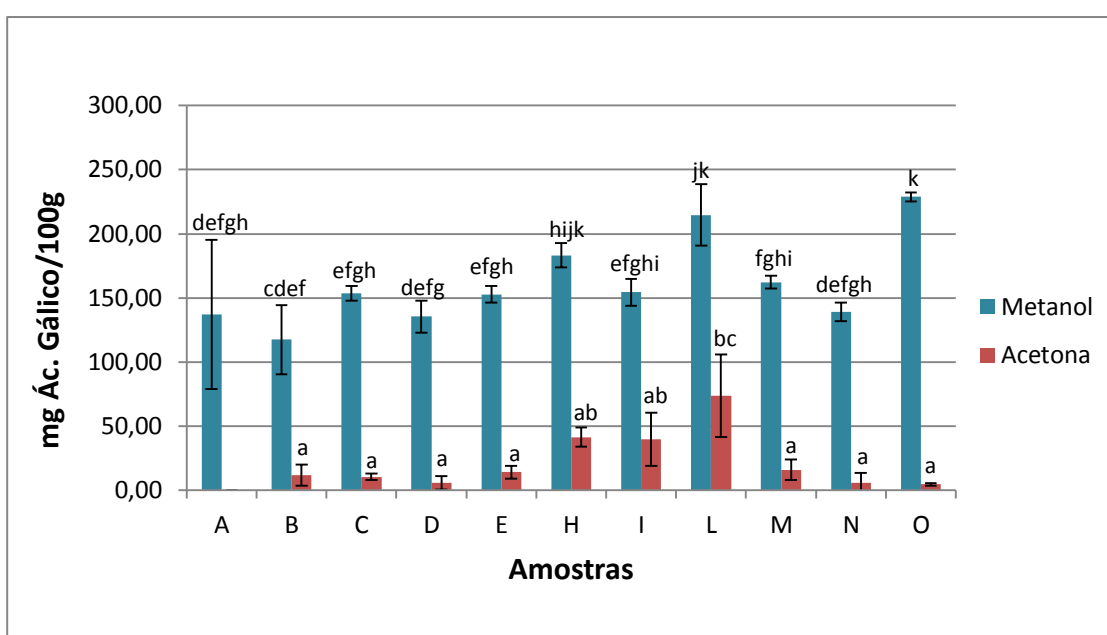


Figura 30: Compostos fenólicos das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 60°C.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

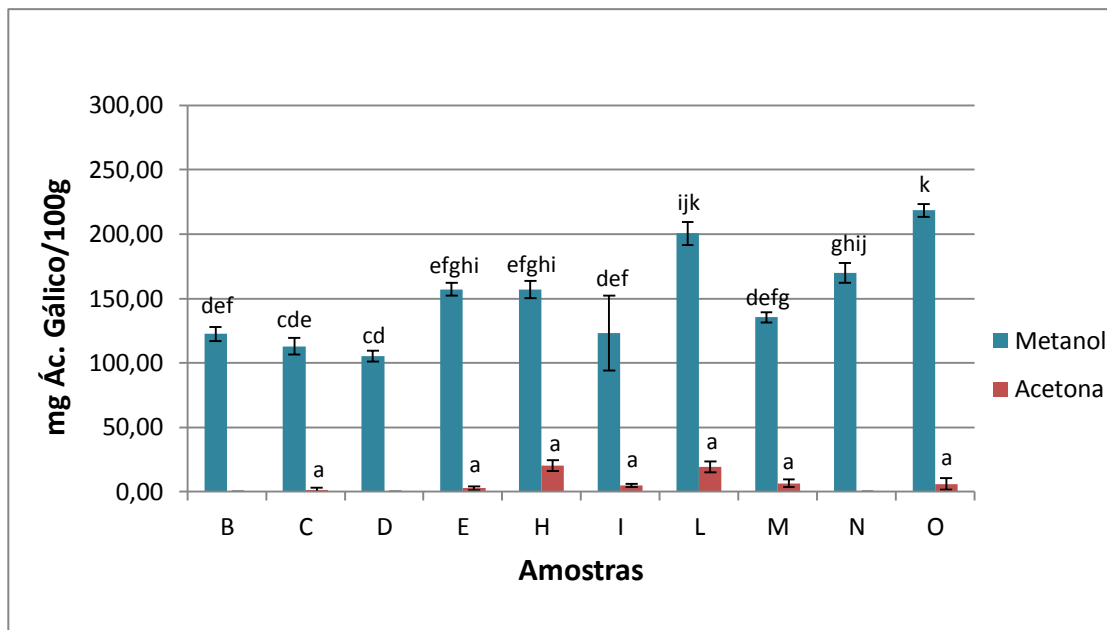


Figura 31: Compostos fenólicos das diferentes amostras com extrações de metanol e acetona para a secagem a 40°C.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

Perante os resultados obtidos pode verificar-se que as amostras controlo em água destilada (C e D) e a amostra B (sem pré-tratamento), de um modo geral, apresentaram valores ligeiramente mais baixos comparativamente com a amostra em fresco. Esta observação poderá estar relacionada com a oxidação enzimática de polifenóis.

A amostra M apresentou valores mais elevados relativamente a estas amostras, o que poderá ser explicado pela inativação das enzimas responsáveis pela oxidação destes compostos.

Um estudo efetuado por Kyi *et al.* (2005), com a secagem de amêndoas de cacau, verificou que quanto maior for a temperatura e humidade relativa do ar de secagem, menor a quantidade de polifenóis, devido ao acastanhamento enzimático causado pela enzima polifenoloxidase.

Relativamente aos tratamentos químicos, pode constatar-se que quer o ácido ascórbico, quer o metabissulfito de sódio interferem na quantificação dos compostos fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteus, ocorrendo, desta forma, erros por excesso (Scalbert & Williamson, 2000) razão pelo qual não foi efetuada a determinação nas restantes amostras tratadas com estes compostos químicos.

Na Figura 32, pode constatar-se a interferência destes compostos na determinação dos compostos fenólicos pelo método utilizado em diferentes concentrações de ácido ascórbico e metabissulfito de sódio, comparativamente com as infusões de chás utilizadas.

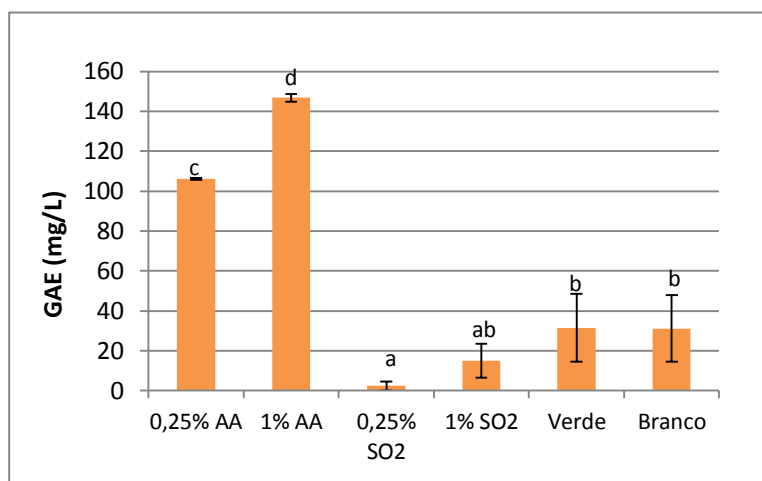


Figura 32: Quantificação dos compostos fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteus.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Relativamente aos tratamentos térmicos, pode verificar-se que as amostras tratadas com as infusões de chás apresentaram, de forma geral, valores superiores quando comparadas com a amostra branqueada com água destilada (M). No entanto, a amostra tratada com infusão de chá branco foi a que registou maiores valores de compostos fenólicos.

Um estudo levado a cabo por Hilal & Engelhardt (2007) em chá branco, verde e preto verificaram teores de polifenóis totais muito semelhantes para o chá verde e o branco. No presente estudo, também foram verificados valores muito idênticos em ambas as infusões (Figura 35), contribuindo para o aumento do teor em polifenóis das amostras tratadas com estas infusões.

Lavelli *et al.* (2010) verificou que a adição de chá verde num produto feito à base de maçã foi responsável por um aumento do seu conteúdo em polifenóis totais.

5.8. COR

A Tabela 15 mostra os resultados relativos aos parâmetros da cor para a amostra em fresco e secadas.

Tabela 15: Parâmetros da cor relativos à amostra em fresco e sujeitas a secagem.

Amostra	L	a*	b*
A	53,74±2,07 ^{bc}	27,59±2,41 ^{cdefg}	49,20±3,31 ^j
Secagem 60°C			
B	60,26±2,25 ^{defgh}	32,54±1,81 ^k	45,97±4,00 ^j
C	64,14±4,15 ^{ijkl}	24,86±2,87 ^{abc}	40,60±1,70 ^{hi}
D	64,69±2,24 ^{kl}	24,95±1,76 ^{abc}	41,07±1,83 ⁱ
E	63,55±3,76 ^{hijklm}	27,56±2,71 ^{cdefg}	35,65±2,54 ^{abcdef}
F	60,77±3,67 ^{efghi}	27,37±3,40 ^{cde}	36,97±2,48 ^{bcdef}
G	59,20±1,78 ^{def}	29,49±2,72 ^{efghijk}	36,14±2,74 ^{abcdef}
H	57,00±3,78 ^{cd}	27,20±3,20 ^{cde}	36,78±2,51 ^{a^{bcdef}}
I	60,80±1,67 ^{efghi}	31,49±3,05 ^{jk}	39,03±3,50 ^{fghi}
J	62,05±3,33 ^{fghij}	30,89±3,00 ^{ijk}	39,02±3,50 ^{fghi}
K	58,26±2,40 ^{de}	31,77±3,95 ^k	39,31±3,32 ^{ghi}
L	59,78±2,44 ^{defg}	30,55±3,13 ^{ghijk}	38,66±2,28 ^{efghi}
M	54,46±2,36 ^{bc}	28,53±2,36 ^{defghij}	33,33±3,57 ^a
N	51,36±3,57 ^{ab}	27,45±3,60 ^{cdef}	39,30±4,64 ^{ghi}
O	49,81±2,28 ^a	26,00±2,27 ^{bcd}	37,29±2,94 ^{cdefgh}
Secagem 40°C			
B	62,89±2,73 ^{ghijkl}	30,82±1,97 ^{hijk}	40,81±2,53 ⁱ
C	66,70±3,30 ^l	23,42±1,88 ^{ab}	38,13±2,21 ^{defghi}
D	66,75±4,61 ^l	22,59±1,78 ^a	38,72±3,74 ^{efghi}
E	65,83±2,39 ^{kl}	26,46±1,68 ^{bcde}	33,85±2,05 ^{abc}
F	63,41±2,33 ^{hijkl}	26,40±2,33 ^{bcd}	33,50±2,20 ^{ab}
G	65,10±2,49 ^{ijkl}	26,23±1,59 ^{bcd}	34,81±1,74 ^{abcd}
H	63,73±2,28 ^{ijkl}	27,60±1,60 ^{cdefg}	34,78±2,09 ^{abcd}
I	66,32±3,39 ^l	26,99±2,01 ^{cde}	35,88±2,04 ^{abcdefg}
J	66,35±2,49 ^l	27,25±2,20 ^{cde}	36,39±2,09 ^{abcdefg}
K	62,00±2,74 ^{fghij}	28,24±3,01 ^{defghi}	34,75±3,13 ^{abcd}
L	62,79±2,50 ^{ghijk}	30,50±1,42 ^{fghijk}	35,23±2,66 ^{abcde}
M	54,22±2,72 ^{bc}	30,72±2,87 ^{hijk}	37,16±3,13 ^{cdefgh}
N	52,55±3,40 ^{ab}	27,77±3,21 ^{cdefgh}	37,98±4,15 ^{defghi}
O	49,92±2,38 ^a	28,48±2,15 ^{defghij}	36,67±3,65 ^{abcdefg}

Os resultados apresentados são a média de três determinações ± desvio padrão. Letras diferentes, na mesma coluna, significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Através dos resultados obtidos, verifica-se que, de forma geral, a cenoura fresca tem uma luminosidade inferior relativamente aos tratamentos químicos e aos controlos de água destilada, para ambas as secagens.

O parâmetro a^* revela valores positivos e mais perto do vermelho devido ao seu tom laranja forte. Em relação ao valor de b^* , verifica-se que, por apresentar valores positivos, esta é mais amarelada.

Segundo Alegria *et al.* (2012) a cenoura fresca, da mesma variedade, apresentou os seguintes valores de coordenadas: 60,8 para L^* , 23,1 para a^* e 60,6 para b^* , aproximando-se dos valores obtidos, no presente estudo.

A luminosidade tem sido utilizada por vários autores como um indicador da deterioração de vegetais (Rocha *et al.*, 2007).

Relativamente à secagem a 60°C foram verificados valores de luminosidade mais baixos e portanto amostras mais escuras, comparativamente à secagem a 40°C, possivelmente devido às reações de Maillard que ocorrem acima dos 40°C (Moreno *et al.*, 2007; Rufián-Henares *et al.*, 2008). O parâmetro L apresenta-se correlacionado com o teor em açúcares totais, segundo a correlação de Pearson, como se pode verificar no ANEXO B.

De acordo com Howard *et al.* (1996), a luminosidade da cenoura é afetada pela temperatura da secagem, ou seja, com elevadas temperaturas origina uma coloração mais escura.

Por outro lado, o acastanhamento enzimático tem vindo a ser quantificado por meio de indicadores de escurecimento. Com base na cor, o espaço CIELab tem sido o mais amplamente utilizado, especialmente o valor de L^* é tido em conta como um indicador de escurecimento em frutas, por exemplo (Severini *et al.*, 2003; Valentines *et al.*, 2005; Pristijono *et al.*, 2006).

Em relação à amostra em fresco, o valor de L^* das amostras secadas apresentou-se superior, à exceção das amostras branqueadas com infusões. Este aumento foi mais significativo nas amostras controlo em água destilada (C e D).

Os tratamentos químicos evidenciaram valores de L^* superiores à amostra em fresco, no entanto inferiores às amostras controlo, para ambas as secagens, o que demonstra uma maior deterioração da cor nas amostras controlo.

O facto das amostras controlo apresentarem um valor superior de L^* comparativamente com as restantes amostras, poderá estar também relacionado com uma maior deterioração dos carotenoides, tornando as amostras menos luminosas. O facto de, durante a secagem, haver exposição das amostras ao oxigénio poderá influenciar a oxidação deste nutriente, levando à sua perda (Munhoz *et al.*, 2011).

As vias de degradação comuns destes compostos são: isomerização, oxidação e fragmentação das moléculas de carotenoides, promovido pelo calor, luz e ácidos (Cinar, 2004). A degradação do pigmento pode ser relacionada com as medições físicas da cor (Martins & Silva, 2002).

Segundo um estudo efetuado por Sandi *et al.* (2004) em sumo de maracujá pasteurizado durante o armazenamento, foi verificado um aumento inicial na luminosidade que pode ser causado pela destruição da estrutura dos carotenoides, conferindo uma cor pálida (Matsuura, 1994). Ao longo do tempo, outros compostos resultantes, principalmente, a partir das reações de Maillard (Remacha *et al.*, 1992) e oxidação do ácido ascórbico ou precipitação dos pigmentos (Sistrunk & Cash, 1974), contribuíram para a redução posterior da luminosidade, dando uma aparência mais escura.

Diversos estudos relataram também a existência de uma correlação linear entre os parâmetros a^* e b^* com a concentração de carotenoides e sugerem a utilização de cor, em vez da medição do conteúdo de pigmento para controlar a qualidade dos produtos alimentares (Ahmed *et al.*, 2002; Dutta *et al.*, 2006).

Para ambas as secagens e de forma geral, ocorreu uma diminuição dos parâmetros a^* e b^* , tornando as amostras menos vermelhas e menos amareladas. Isto poderá dever-se à degradação de pigmentos, nomeadamente os carotenoides e ocorrência de reações de acastanhamento não enzimático, que leva a alterações de cor (Maskan, 2001). No entanto, a diminuição destes parâmetros foi, de forma geral, mais evidente na secagem a 40°C, o que poderá ser devido ao maior tempo de exposição das amostras à secagem, ocorrendo uma maior perda de carotenoides (Prakash *et al.*, 2004).

Relativamente aos tratamentos químicos, quer a 60°C quer a 40°C, as amostras tratadas com metabissulfito de sódio evidenciaram valores de a^*

superiores comparativamente à amostra em fresco e às amostras tratadas com ácido ascórbico, ou seja, isto traduz-se em amostras mais avermelhadas. Relativamente ao valor de b^* , estas apresentaram valores mais elevados comparativamente às amostras tratadas com ácido ascórbico e, portanto, amostras mais amareladas. No entanto o mesmo não se verificou em relação à amostra em fresco.

Zhao & Chang (1995) relataram que a utilização de metabissulfito de sódio retardou a deterioração dos carotenoides, assim como, a diminuição da descoloração de cenoura desidratada.

Por outro lado, Sudhakar & Maini (1994) demonstraram a estabilidade de carotenoides em polpa de manga com diferentes aditivos e identificaram que também o ácido ascórbico ajudou a proteger os carotenoides da degradação.

Os tratamentos térmicos mantiveram os parâmetros da cor próximos dos da cenoura em fresco. Pode verificar-se que as amostras branqueadas com as infusões de chá, apresentaram valores de L^* inferiores à amostra branqueada em água destilada, logo amostras mais escuras, possivelmente devido à coloração característica das infusões.

Um estudo realizado por Nahimana *et al.* (2010), na secagem de cenouras, verificou que o branqueamento estabilizava a cor como resultado da consequência da desnaturação de enzimas oxidativas durante este tratamento térmico, uma vez que, a peroxidase é uma enzima que pode levar à destruição da vitamina C e descoloração de carotenoides (Araújo, 2006).

Diversos estudos têm demonstrado que o tratamento térmico aumenta os teores de carotenoides em vegetais, provavelmente devido à facilidade de extração da matriz, ocasionada pelo rompimento da parede celular do vegetal e pela descomplexação das proteínas. O branqueamento a vapor de vegetais parece aumentar a concentração de carotenóides extraídos do espinafre e da cenoura (Cozzolino, 2009).

No entanto, este tratamento térmico, apesar de aumentar a sua disponibilidade, pode causar, ainda assim, algumas perdas nos teores de carotenoides (Rodriguez-Amaya, 1999).

No presente estudo, o facto do tratamento térmico com as infusões proporcionar um menor tempo de exposição das amostras ao branqueamento,

também poderá ajudar na retenção dos carotenoides, comparativamente com os restantes tratamentos, pois a duração do tratamento influencia a sua perda (Hanan, 2011).

A Figura 33 apresenta os valores da diferença de cor (ΔE), que permite evidenciar as possíveis mudanças que ocorrem quando se compara um conjunto de coordenadas com um conjunto de referência, nomeadamente a amostra em fresco.

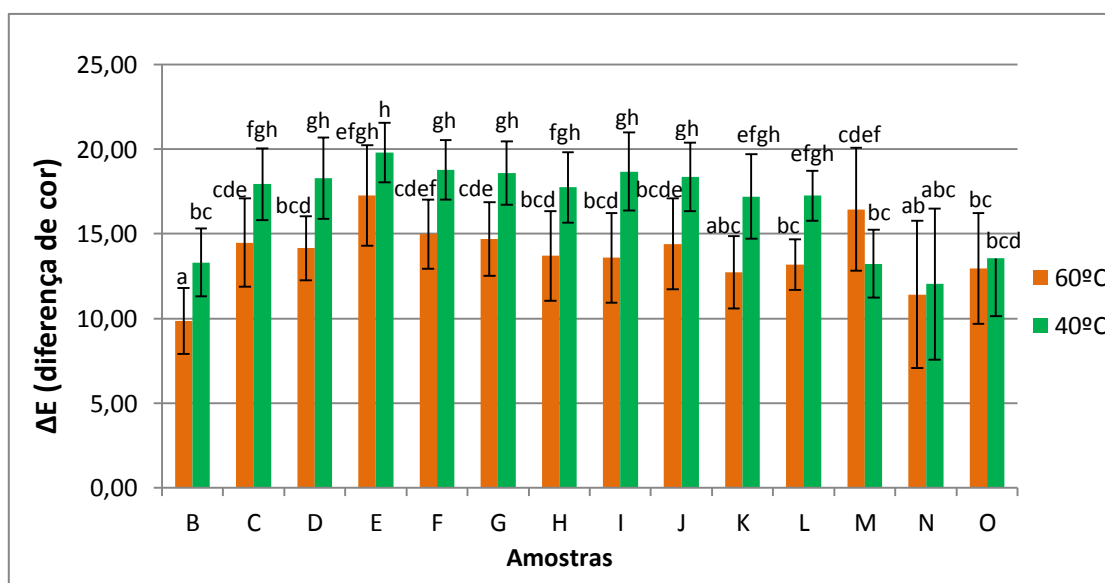


Figura 33: Diferença de cor após as várias secagens.

Legenda: B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Perante os resultados obtidos, pode verificar-se que ocorrem maiores variações na secagem a 40°C, exceto na amostra M, o que permite concluir que a secagem mais apropriada, segundo esta análise, seria a 60°C. A diferença total de cor apresenta-se correlacionada com parâmetros como a humidade e açúcares redutores, como se pode verificar no ANEXO B, através da correlação de Pearson.

Relativamente aos pré-tratamentos químicos, pode verificar-se uma homogeneidade nos resultados e, portanto, ocorrem alterações de cor muito semelhantes nas amostras e em ambas as secagens.

Por outro lado, as amostras sujeitas aos tratamentos térmicos, nomeadamente as amostras N e O conduziram a menores variações de cor a 60°C, o que à partida seriam os pré-tratamentos mais indicados, segundo esta análise.

A amostra M apresentou maior variação de cor relativamente às anteriores, possivelmente devido ao maior tempo de branqueamento. Num estudo com secagem de alhos sujeitos a branqueamento, Fante (2011), também encontrou uma maior variação de cor com o aumento do tempo e da temperatura do processo.

A Figura 34 apresenta os valores obtidos para o índice de acastanhamento.

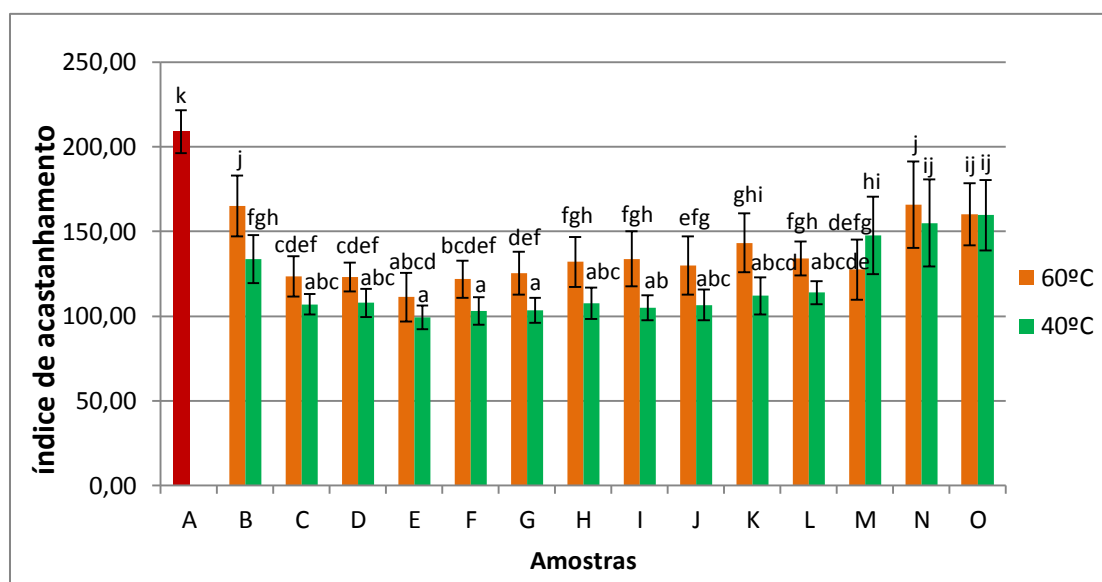


Figura 34: Valores de índice de acastanhamento das diferentes amostras.

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C±1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C±1°C).

Relativamente aos resultados obtidos, evidencia-se que a secagem a 60°C induziu, à exceção da amostra M, a maiores índices de acastanhamento. Estes resultados poderão estar relacionados com as reações de Maillard que ocorrem durante a secagem (Zanoni *et al.*, 1999).

Pode verificar-se que todos os pré-tratamentos apresentaram valores de índice de acastanhamento inferiores à amostra em fresco, sendo a amostra B,

sem qualquer tratamento, a que apresentou um maior índice a 60°C. Por outro lado, os tratamentos químicos mostraram-se semelhantes entre si e os que apresentaram, de um modo geral, menor índice, mostrando-se mais eficientes contra o acastanhamento.

Os tratamentos térmicos registaram valores superiores em relação aos tratamentos químicos, que como referido anteriormente, poderá ser devido ao facto do branqueamento ajudar na retenção dos carotenoides e/ou devido à coloração das infusões.

Por outro lado, a amostra M apresentou menor índice de acastanhamento relativamente às amostras N e O, possivelmente devido ao maior tempo de branqueamento. Num estudo com secagem de alhos sujeitos a branqueamento, Fante (2011), também encontrou um menor índice de acastanhamento com o aumento do tempo e da temperatura do processo térmico.

5.9. TEXTURA

A Figura 35 mostra valores médios obtidos para a dureza relativos à amostra em fresco e secadas.

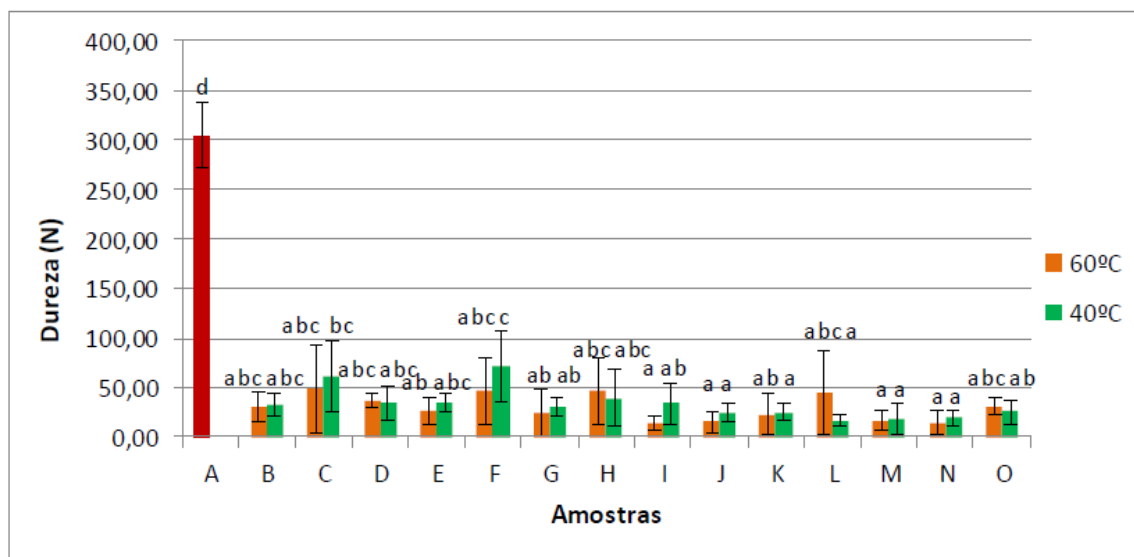


Figura 35: Valores de dureza das diferentes amostras.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

A dureza é definida como a força necessária para comprimir ou esmagar o tecido entre os molares (Civille & Szczesniak, 1973).

Com respeito aos resultados obtidos, pode verificar-se que a dureza da amostra em fresco é bastante superior às amostras secadas. Isto significa que com a secagem, os tecidos tornaram-se mais suaves. No entanto, a secagem a 40°C originou produtos ligeiramente mais duros do que a 60°C. O mesmo foi verificado por Henriques (2012), no caso da secagem de abóbora, onde se registou também uma dureza superior a 40°C.

Um estudo efetuado por Abílio (2011), na secagem de pêras, verificou que a secagem afetou as propriedades de textura, notando-se uma diminuição da dureza e um aumento da coesividade e elasticidade.

As alterações verificadas na textura podem estar relacionadas com as alterações macromoleculares e microestruturais ocorridas durante a secagem. De facto, durante a secagem, as modificações que ocorrem nos polissacarídeos, das paredes celulares, e que envolvem a sua degradação enzimática e/ou solubilidade parcial, podem alterar a textura (Ferreira, 2003).

Por outro lado, as diferenças de dureza verificadas entre os pré-tratamentos poderão estar também relacionadas com a oscilação do teor de humidade das diversas amostras, como se pode verificar no ANEXO B, onde consta um coeficiente de correlação de 0,89 entre estas duas variáveis.

Perante os resultados obtidos, os valores de dureza mais baixos foram, de forma geral, obtidos para as amostras sujeitas a tratamentos térmicos, nomeadamente a amostra M e N. O impacto térmico provocado pelo branqueamento provoca rutura das membranas celulares, permitindo a difusão de moléculas de água, o que resulta na perda de turgescência (Greve *et al.*, 1994) e, conseqüentemente desenvolve um comportamento elástico. No entanto, o amolecimento mais significativo ocorre devido a um aumento da solubilização de substâncias pécnicas, perda de pressão de turgescência e algum grau de separação das células (Nahimana *et al.*, 2011).

A Figura 36 mostra valores médios obtidos para os valores de elasticidade das diferentes amostras, em fresco e secadas.

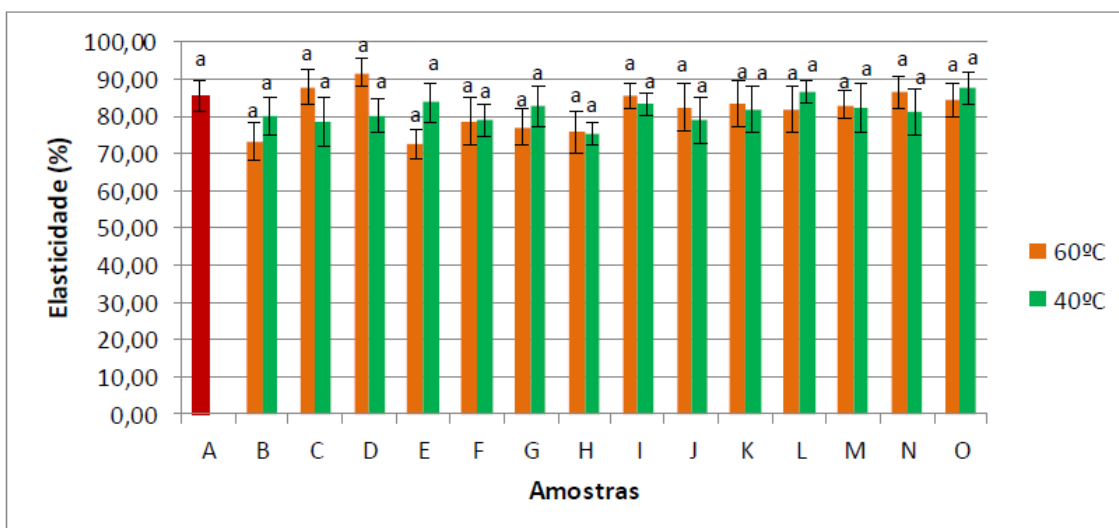


Figura 36: Valores de elasticidade das diferentes amostras.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

Define-se elasticidade como o grau em que a amostra retorna à sua forma original após compressão (Gunasekaran & Ak, 2003). Da Figura 39 conclui-se que os resultados são semelhantes para ambas as temperaturas e pré-tratamentos.

Segundo Henriques (2012), o aumento da temperatura de secagem de abóbora de 40°C para 60°C induziu um aumento mais evidente da elasticidade, de cerca de 60% para 70% e que foi atribuído a eventuais alterações que ocorrem na estrutura que podem resultar da degradação de alguns dos hidratos de carbono presentes que quebram as cadeias poliméricas.

A adesividade é um parâmetro que se refere à quantidade de força requerida para simular o trabalho necessário que sobreponha as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contacto com este (Gunasekaran & Ak, 2003), ou seja é força necessária para remover o material que adere a uma superfície.

Quanto a este parâmetro, as amostras possuem valores muito próximos do zero, levando a concluir que não possuem efetivamente adesividade

mensurável, como acontece com outros produtos alimentares, caso das pêras (Guiné, 2011a) ou das maçãs (Guiné *et al.*, 2011b).

A Figura 37 mostra valores médios obtidos para os valores de mastigabilidade das diferentes amostras em fresco e secadas.

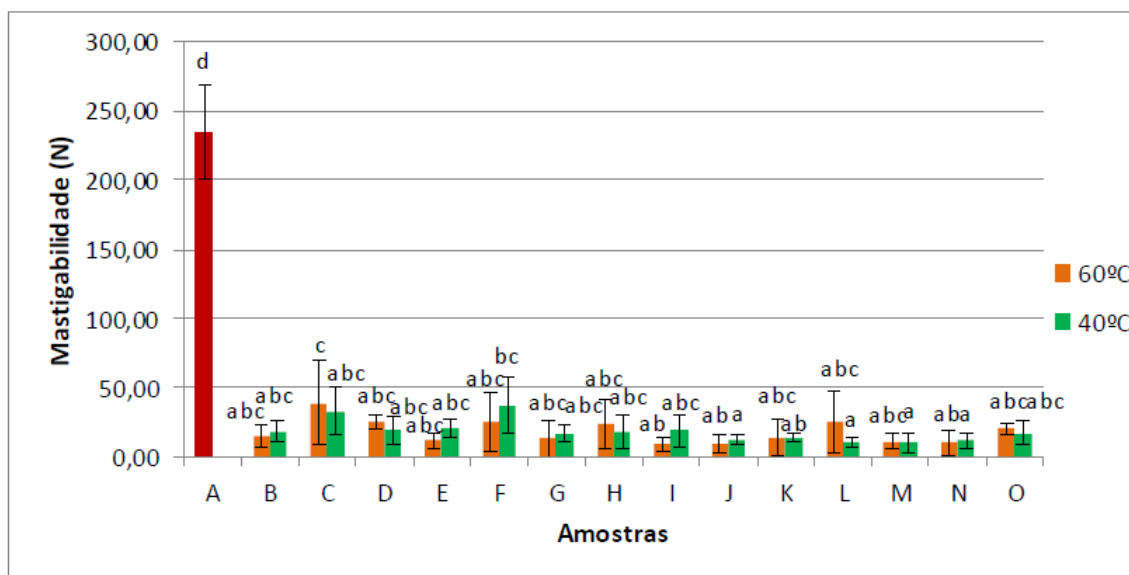


Figura 37: Valores de mastigabilidade das diferentes amostras.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

O parâmetro da mastigabilidade designa a energia requerida para desintegrar um alimento sólido até ao ponto de ser engolido (Gunasekaran & Ak, 2003).

Relativamente aos valores de mastigabilidade, o comportamento desta apresentou-se muito semelhante com o da dureza, o que era esperado uma vez que estes dois atributos texturais estão intimamente relacionados (Guiné, 2011a) e tal como se pode verificar no ANEXO B, com um coeficiente de correlação de 0,99.

Verificou-se que a secagem influenciou significativamente este parâmetro, tornando as amostras mais facilmente mastigáveis comparativamente com a amostra em fresco. Por outro lado, o aumento da

temperatura de secagem não influenciou significativamente este parâmetro, verificando-se um valor médio das diferentes amostras situando-se em 18,54N para a secagem a 40°C e em 18,04N a 60°C.

Um estudo efetuado por Henriques (2012) com secagem de abóbora e pepino verificou valores médios de mastigabilidade mais elevados para o pepino. A secagem em estufa a 40°C apresentou uma menor mudança em relação ao produto fresco e a secagem em estufa a 60°C foi o método que produziu a maior alteração, registando valores mais elevados de mastigabilidade.

A Figura 38 mostra valores médios obtidos para os valores de coesividades das diferentes amostras e para as secagens efetuadas.

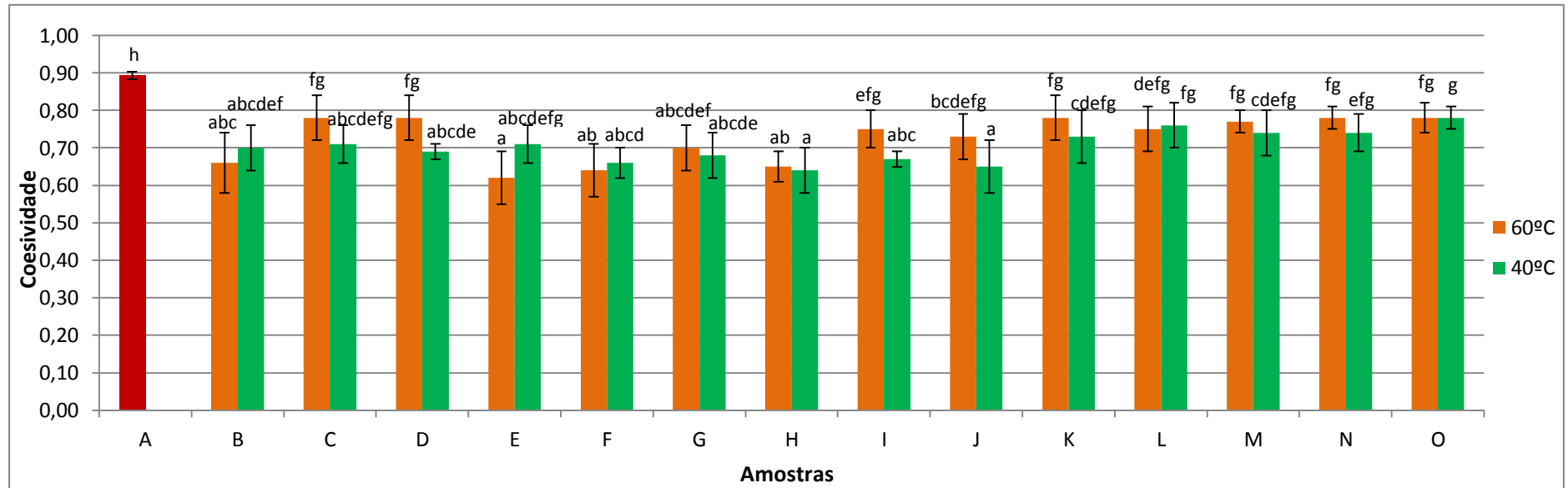


Figura 38: Valores de coesividade das diferentes amostras.

Os resultados apresentados são a média de três determinações \pm desvio padrão. Letras diferentes significa que os valores das médias são significativamente diferentes (Teste de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Legenda: A: Cenoura fresca; B: Sem pré-tratamento; C: Controlo água 60min; D: Controlo água 90min; E: Ácido ascórbico 0,25%/60min; F: Ácido ascórbico 0,25%/90min; G: Ácido ascórbico 1%/60min; H: Ácido ascórbico 1%/90min; I: Metabissulfito de sódio 0,25%/60min; J: Metabissulfito de sódio 0,25%/90min; K: Metabissulfito de sódio 1%/60min; L: Metabissulfito de sódio 1%/90min; M: Branqueamento (4min/95°C \pm 1°C); N: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C); O: Infusão chá verde (2min/95°C \pm 1°C).

A coesividade compreende a resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto (Gunasekaran & Ak, 2003).

Relativamente à coesividade, pode verificar-se que o aumento da temperatura de secagem pouco influenciou este parâmetro, ou seja, apresentou um valor médio de 0,70 e 0,73, respetivamente, para 40°C e 60°C.

Um estudo levado a cabo por Henriques (2012) na secagem de abóbora e pepino verificou que esta propriedade também não se alterou muito com o aumento da temperatura de secagem. No entanto, no caso do pepino a secagem a 60°C originou o maior valor de coesividade, enquanto para a abóbora o maior valor observou-se para a secagem a 40°C.

Perante os resultados obtidos, pode verificar-se que as amostras sujeitas a tratamentos químicos apresentaram valores relativamente mais baixos que as amostras controlo de água destilada. Por outro lado, as amostras sujeitas aos tratamentos térmicos apresentaram-se, de forma geral, mais coesas, ainda assim menos coesas que a amostra em fresco.

Verificou-se também que as amostras tratadas com metabissulfito de sódio apresentaram-se mais coesas relativamente às amostras tratadas com ácido ascórbico e muito semelhantes às amostras controlo em água destilada.

Derivados de enxofre, como o bissulfito de sódio têm um efeito aceitável na textura de fatias de maçãs. No entanto, devido ao seu efeito adverso na saúde, a utilização desde composto em frutos e vegetais frescos é restrito (Bolin & Huxsoll, 1964).

Estudos indicam que a utilização de compostos químicos aliados ao branqueamento, nomeadamente, o cloreto de cálcio apresenta efeitos positivos sobre a textura dos vegetais, impedindo a perda de coesão de componentes da estrutura, resultando na proteção contra o amolecimento (Quintero-Ramos *et al.*, 2002; Buggenhout *et al.*, 2006; Rastogi *et al.*, 2008). Neste caso, os íons de cálcio, formam ligações cruzadas ou pontes entre os grupos carboxilo livres das cadeias de pectina, resultando no reforço da parede da célula e no endurecimento do tecido (Rico *et al.*, 2007). No entanto, este soluto pode afetar as características sensoriais, levando a um gosto amargo indesejável, limitando a sua utilização numa gama de vegetais processados e/ou restringindo as concentrações deste composto.

VI. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho centrou-se no estudo da influência de vários pré-tratamentos, químicos (ácido ascórbico e metabissulfito de sódio) e térmicos (branqueamento e extratos de chá verde e branco), sobre as propriedades químicas e físicas da cenoura sujeita a secagem bem como no seu acastanhamento.

De uma forma geral, e em relação à composição química da cenoura secada, quando comparada com a fresca, verificou-se que as maiores alterações se verificaram na quantidade dos açúcares redutores e proteínas, sendo essas diferenças mais evidentes na secagem a 60°C.

Quanto ao teor em cinza e em fibra bruta, as diversas amostras secadas comparativamente com a amostra em fresco, registaram, de um modo geral, um aumento no teor em fibra bruta e uma diminuição do teor em cinza.

Os pré-tratamentos térmicos, relativamente ao teor em cinzas, induziram a maiores perdas relativamente aos pré-tratamentos químicos. Por outro lado, os pré-tratamentos térmicos registaram valores mais elevados de fibra bruta.

Em termos de atividade antioxidante, verificou-se que em ambas as secagens houve uma diminuição relativamente à amostra em fresco. No entanto, não se registaram grandes diferenças com o aumento da temperatura de secagem.

Os pré-tratamentos químicos, como seria de esperar, influenciaram a atividade antioxidante. No entanto, os pré-tratamentos térmicos, utilizando extratos de chá verde e branco, foram os que registaram os maiores valores de atividade antioxidante, nomeadamente a amostra sujeita ao extrato de chá branco.

Quanto ao teor de polifenóis totais as amostras secadas apresentaram, de um modo geral, um conteúdo mais reduzido destes compostos em relação à amostra em fresco.

No entanto, o emprego de ácido ascórbico e metabissulfito de sódio originaram erros por excesso, interferindo no método utilizado para a quantificação destes compostos. A amostra sujeita ao extrato de chá branco foi

a que apresentou maior conteúdo destes compostos, contribuindo assim para um enriquecimento nutricional acrescido.

Quanto à análise da cor, a secagem originou produtos com maior luminosidade, nomeadamente a secagem a 40°C. Para ambas as secagens e pré-tratamentos químicos foram observados valores mais semelhantes de luminosidade, por outro lado, os pré-tratamentos com extratos naturais foram os que mais se aproximaram à amostra em fresco. Atendendo ao parâmetro a^* , o tratamento com metabissulfito de sódio originou amostras mais avermelhadas. Por outro lado, verificou-se uma diminuição da coordenada b^* em todos os produtos secados quando comparada com o valor da cenoura em fresco, traduzindo-se em produtos menos amarelados.

Em termos de diferença de cor total, foi verificada uma maior diferença para a secagem a 40°C. Quanto aos pré-tratamentos, os térmicos foram os que registaram menores alterações de cor.

Quanto ao índice de acastanhamento, verificou-se que, globalmente, a secagem a 40°C apresentou valores mais baixos do que a 60 °C e quanto aos diversos pré-tratamentos, os químicos foram os que registaram valores mais baixos relativamente à amostra em fresco.

Quanto à análise da textura, verificou-se que a secagem influenciou consideravelmente a dureza e a mastigabilidade.

Relativamente à coesividade e à elasticidade, não se verificaram alterações muito significativas com a secagem. Concluiu-se, ainda, que as diversas amostras não apresentaram adesividade mensurável.

Por outro lado, verificou-se que os tratamentos químicos, como o ácido ascórbico e o metabissulfito, influenciaram positivamente a atividade antioxidante das amostras. No entanto, a utilização de extratos naturais aliados ao branqueamento poderá ser uma alternativa favorável à utilização de aditivos químicos, devido à sua atividade antioxidante natural.

A utilização de extratos naturais, proporciona um menor tempo de branqueamento, levando a que, à partida, se reduza a degradação de alguns constituintes de interesse nutricional, como é o caso dos carotenoides, por exemplo, além de acrescentar algum valor nutritivo, no que respeita ao conteúdo fenólico e antioxidante.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abílio SIM (2011). *Pêras de S. Bartolomeu secadas tradicionalmente e em estufa solar: Comparação das suas propriedades*. Tese de Mestrado em Engenharia Alimentar. Universidade Técnica de Lisboa: 58.
- Aguilera JM, Stanley DW (1999). *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering*, 2nd ed., Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Ahmed J, Shivhare US, Sandhu K S (2002). Thermal degradation kinetics of carotenoids and visual color of papaya puree. *Journal of Food Science*, 67(7), 2692–2695.
- Ahn J, Grun IU, Mustapha, A. (2004). Antimicrobial and antioxidant activities of natural extracts in vitro and in ground beef. *Journal of Food Protection*, 67, 48–55.
- Akanbi CT, Olumese AO, Taiwo KA, Ojo A, Akinwande BA (2003). Effect of blanching medium on drying and storage characteristics of pepper. *Nig Dry Sym Series*; 1:95–107.
- Alasalvar C, Grigor JM, Zhang D, Quantick PC, Shahidi F (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1410–1416.
- Alegria C, Pinheiro J, Duthoit M, Gonçalves EM, Moldão-Martins M, Abreu M (2012). Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *Food Science and Technology* 48: 197-203.
- Almajano MP, Carbó R, Jimenez JAL, Gordon MH (2008). Antioxidant and antimicrobial activities of tea infusions. *Food Chemistry*, v. 108: 55-63.
- Alonso GM (2004). *Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoques deshidratados*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química. Universitat de Valencia. Valencia. España.
- Alves SM, Silveira AM (2002). Estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, v. 21 (1): 21-30.
- Antolovich M, Prenzler PD, Robards K, Ryan D (2000). *Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits*. *Analyst*, 125, 989-1009.

- Altunkaya A, Gokmen V (2009). Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*). *Food Chemistry*, v. 117: 122–126.
- Altunkaya A, Gokmen V (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* 107: 1173–1179
- AOAC (2000). *Official methods of analysis* (17^a Edição). Washington, USA, Association of Official Analytical Chemists.
- Araújo JMA (1999). *Química de alimentos: teoria e prática*. 2. ed. Viçosa: UFV: 319-329.
- Araújo JMA (2006). *Química de alimentos: teoria e prática*. 3.ed. Viçosa: UFV: 609.
- Arévalo-Pinedo A, Murr EX (2006). Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*.
- Arias E, González J, Oria R, López-Buesa P (2007). Ascorbic acid and 4-hexylresorcitol effects on pear PPO and PPO catalyzed browning reaction. *Journal of Food Science*, 72: 422-429.
- Arthey D, Ashurst PR (1996). *Processado de frutas*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza: 206-208.
- Askari GR, Emam-Djomeh Z, Mousavi SM (2008). Investigation of the effects of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying. *Drying Technology*. 26:1362–1368.
- Aversa M, Curcio S, Calabro V, Iorio G (2007). An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering*, v. 78: 922-932.
- Baloch AK, Buckle KA, Edwards RA (1977). Effect of processing variables on the quality of dehydrated carrot. Leaching losses and carotenoid content. *Journal of Food Technology*. 12, 285–293.
- Baloch AK, Buckle KA, Edwards RA (1987). Effect of sulphur dioxide and blanching on the stability of carotenoids of dehydrated carrot. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 40, 179–187.
- Baloch WA, Khan S, Baloch AK (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. *Internacional Journal of Food Science and Technology*, 32(2), 117–120.

- Bajaj KL, Gurdee K, Sukhija BS (1980). Chemical composition and some plant characteristics in relation to quality of some promising cultivars of carrot (*Daucus carota* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*. 30:9 7-107).
- Bao B, Chang KC (1994). Carrot juice color, carotenoids, and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions. *Journal of Food Science*, v. 59: 1155-1158.
- Baptista JAB, Tavares JFP, Carvalho RCB (1999). Comparative Study and Partial Characterization of Azorean Green Tea Polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12, 273-287.
- Barcirova M (2010). Comparison of the antioxidant capacity and the antimicrobial activity of black and green tea. *Food Research International*, v. 43: 1379-1382.
- Barrancos SMG (2002). Maçã Minimamente Processada. In: *Instituto Superior de Agronomia*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa: 85.
- Barruffaldi R, Oliveira MN (1998). *Fundamentos de tecnologia de alimentos*. São Paulo: Atheneu. v. 3, 316.
- Barry-Ryan C, O'Beirne D (2000). Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrot slices, *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 243-254.
- Bezerra TS (2007). *Desidratação de hortaliças: Aspectos teóricos*. Curso de Especialização em Tecnologia de Alimentos. Universidade de Brasília.
- Beer D, Joubert E, Gelderblom WCA, Manley M (2005). Antioxidant activity of South African red and white cultivar wines and selected phenolic compounds: In vitro inhibition of microsomal lipid peroxidation. *Food Chemistry*, 90: 569–577
- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P (2004) *Food chemistry*, 3rd revised edition. Springer, Berlin.
- Belitz H, Schieberle P (2004). *Food Chemistry*. 2^a ed. Zaragoza: Acribia, S. A: 105 - 172.
- Belitz H-D, Grosch W, Schieberle P (2009). *Food chemistry*, Fourth Edition. Germany: Springer.
- Biagi JA, Valentini SR, Queiroz DM (1992). *Secagem de produtos agrícolas. Introdução a Engenharia Agrícola*. Campinas, SP: Unicamp: 245-66.
- Billaud C, Brun-Mérimée S, Louarme L, Nicolas J (2004). Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple: Enzymatic browning and enzyme activity inhibition. *Food Chemistry*, 84: 223–233.

- Bird R (2001). *Manual Prático de Horticultura*, trad. Lurdes Marques da Silva Editorial Estampa. Lisboa: 116,117,180-187, 202-203.
- Bisha B, Weinsetel N, Brehm-Stecher BF, Mendonca A (2010). Antilisterial effects of grape seed extract at low levels in aqueous media and its potential application as a produce wash. *Journal of Food Protection*, 73(2), 266–273.
- Bobbio PA, Bobbio FO (2003). *Introdução à química de alimentos*, 3ª ed. São Paulo: Varela: 223.
- Bobo G, Gómez D, Arroqui C, Vírseda P (2010). *Green tea as alternative to sulfites in fresh-cut potatoes*. Public University of Navarra. Pamplona (Navarra). Spain.
- Bolin HR, Huxsoll CC (1987). Scanning electron microscope image analyzer determination of dimensional postharvest changes in fruits cells. *Journal Food Science*. 52, 1649-1652.
- Bolin HR, Steele RJ (1987). Nonenzymatic Browning in Dried Apples During Storage. *Journal of Food Science*, 52 (6): 1654-1657.
- Branco EG, Aargandoña EJS, Sávio J, Ramos S (2005). Efeito do branqueamento e da solução desidratante na desidratação osmótica de fatias de cenoura. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 7, n. 1: 77-90.
- Branco IG, Sanjinez-Argando EJ, Silva MM Melissa, Paula TM (2007). Sensorial evaluation and physical-chemical stability of a blend of orange and carrot. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 27(1): 7-12.
- Brennan JG (1994). *Food Dehydration: A Dictionary and Guide*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Buggenhout S, Lille M, Messagie I, Loey A, Autio K, Hendrickx M (2006). Impact of pretreatment and freezing conditions on the microstructure of frozen carrots: quantification and relation to texture loss. *European Food Research and Technology*. 222:543–53.
- Burin L, Buera MP, Hough G, Chirife J (2002). Thermal resistance of h-galactosidase in dehydrated dairy model systems as affected by physical and chemical changes. *Food Chemistry*, 76, 423– 430.
- Cabrera LEP (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedade Blanquilla) mínimamente procesada*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Cabrera C, Gimenez R, Lopez CM (2003). Determination of Tea Components with Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 4427-4435.

- Cadenas E, Packer L (2005). *Handbook of antioxidants*, Second Edition. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Caldwell JS, Culpepper CW, Demaree KD (1955). Quality of frozen apples related to variety and ripeness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 3: 513-18.
- Camargo GA (2006). *Processo produtivo de tomate seco: novas tecnologias* (manual técnico). Workshop. Tomate na Unicamp.
- Campos FM (2006). *Pró-vitamina A em hortaliças comercializadas no mercado formal e informal de Viçosa (MG), em três estações do ano*. Ciênc. Technol. Alim., Campinas, v. 26, n. 1: 3-40.
- Cañizares A, Bonafine O, Laverde D (2007). *Deshidratación de productos vegetales. Elaboración de productos agrícolas. INIA Divulga*. 10: 11-15.
- Cao G, Sofic E, Prior RL (1996). Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 3426-3431.
- Carâmbula M (1981). *Producción de semillas de plantas forrajeras Montevideo*: Hemisferio Sur: 518.
- Cardelle-Cobas A, Moreno FJ, Corzo N, Olano A, Villamiel M (2005). Assessment of initial stages of Maillard reaction in dehydrated onion and garlic samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 9078-9082.
- Carvalho CMF (2007). *Determinação Experimental da Cinética de Secagem de um Material Biológico*, Universidade de Aveiro.
- Carvalho NM, Nakagawa J (1983). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Campinas, SP: Cargil: 326.
- Casp A, Abril J (1999). *Procesos de conservación de alimentos. Tecnología de alimentos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 326-391.
- Castañón X, López-Malo A, Argaiç A (1998). Effect of storage temperature on the microbial and color stability of banana purees prepared with the addition of vanillin or potassium sortate. *Food Science and Technology*. Int. 4: press.
- Cecchi HM (2003). *Fundamentos teóricos e práticos em análise*, 2ª edição revisada, Campinas, São Paulo.
- Chacko SM, Thambi PT, Kuttan R, Nishigaki I (2010). *Beneficial effects of green tea: a literature review*. Chinese Medicine, v. 5: 1-9.

- Chaves MCV, Gouveia JPG, Almeida FAC, Leite JCA, Silva FLH (2004). Caracterização físico-química do suco da acerola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.2.
- Chang S, Tan C, Frankel EN, Barrett DM (2000). Low-Density Lipoprotein Antioxidant Activity of Phenolic Compounds and Polyphenol Oxidase Activity in Selected Clingstone Peach Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48 (2): 147-151.
- Chazarra S, García-Carmona F, Cabanes J (2001). Evidence for a tetrameric form of Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L) polyphenol oxidase: purification and characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49, 4870-4875.
- Chitarra MIF, Carvalho VD (1984). *Cenoura: qualidade e industrialização*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 10, n. 120: 73-75.
- Chitarra MIF, Chitarra AB (2006). *Pós-colheita de Frutas e Hortaliças*. Lavras: UFLA: 256.
- Chutintrasri B, Noomhorm A (2006). Thermal inactivation of polyphenoloxidase in pineapple puree. *Lebensmittel - Wissenschaft Und – Technologie - Food Science and Technology*, v. 39, n. 5: 492-495.
- Ciabotti S, Barcellos PMF, Mandarino JMG; Tarone AG (2006). Avaliações químicas e bioquímicas dos grãos, extratos e tofus de soja comum e de soja livre de Lipoxigenase. *Ciência e agrotecnologia*. v. 30 nº.5.
- Cinar I (2004). Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37(3), 363–367.
- Civille GV, Szczesniak AS (1973). Guidelines to training a texture profile panel. *Journal Texture Studies*, 4:204-223.
- Clemente E, Pastore GM (1998). Peroxidase and polyphenoloxidase, the importance for food technology. *Boletim SBCTA*, 32, 167-171.
- Corrêa JLG, Batista MB, Costa ARS, Belo FA, Fioreze R (2007). *Analysis of osmotic dehydration variables: Influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying*. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v. 25, n. 2: 315-328
- Corrêa PC, Resende O, Martinazzo AP, Goneli ALD, Botelho FM (2007). *Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2: 501-510.

- Correia LG (2004). Influência dos pré-tratamentos térmicos na qualidade de cenoura minimamente processada. In: *Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa*, Lisboa: 80.
- Costa NP, Pereira LAG, Neto JB (1980). *Método da peroxidase para identificação de cultivares de soja*. Embrapa. nº 4: 3.
- Cozzolino SMF (2009). *Biodisponibilidade de nutrientes*. 3 ed. São Paulo: Manole.
- Daniele U (2005). Estudio de la utilización de metabisulfito de sodio como inhibidor del pardeamiento en duraznos deshidratados al sol. *X Congreso de Ciencia y Tecnología de alimentos*. CYTAL. Mar del Plata. Argentina. 18-20.
- D'Archivio M, Filesi C, Benedetto RD, Gargiulo R, Giovannini C, Masella R (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann 1st Super Sanità*. 43: 348-61.
- Demirel D, Turhan M (2003). Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. *Journal of Food Engineering*, v. 59, n. 1: 1-11.
- Doymaz I (2007). The kinetics of forced convective airdrying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79: 243-248.
- Ditchfield C, Machoshvili IA, Penna TCV, Tadini CC (2006). Polyphenol oxidase and peroxidase thermal inactivation kinetics used as indicators for pasteurization of acidify banana puree (*Musa cavendishi*, Lamb.). *Brazilian Journal Food Technology*, v. 9, n.1, no prelo.
- Duangmal K, Apenten RKO (1999). A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. *Romana*). *Food Chemistry*, v. 64, N. 3: 351-359.
- Duarte RM, Menarim OD (2006). Morfodiagnose da anatomia foliar e caulinar de *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze, Theaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 16: 545-551.
- Dutta D, Dutta A, Raychaudhuri U, Chakraborty R (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*, 76, 538-546.
- Eleyinmi AF, Illelaboye NOA, Aiyeye FB, Akoja SS (2002). Effect of different pre-drying operations on some nutritional valuable minerals, ascorbic acids and rehydration index of *Capsicum* species. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 5.
- Empis J, Moldão-Martins M (2000). *Produtos Hortofrutícolas Frescos ou Minimamente Processados*. Refrigeração. Sociedade Portuguesa de Inovação: 107.

- Eskin NAM, Henderson HM, Townsend RJ (1971). *Biochemistry of Foods*, Academic Press, New York.
- Eva R (1983). *Food Health and You. A book on nutrition with special reference on East Africa*. Macmillan Publishers. London: 14-25.
- Fante L (2011). *Estudo da cinética de branqueamento e de secagem por quente e liofilização do alho (Allium sativum L.)*. Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 63.
- Fatima A, Husain Q, Khan RH (2007). A peroxidase from bitter melon (*Momordica charantia*) with enhanced stability against organic solvent and detergent: A comparison with horseradish peroxidase. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 47, 66-71.
- Fellows P (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y Prácticas*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España: 316-321.
- Fellows PJ (2000). *Food processing technology – Principles and practice (2nd Edition)*. Woodhead publishing: 323-350. <http://www.knovel.com/web/portal/>, consultado em: 20 de Julho de 2013.
- Fellows P (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y Prácticas*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España: 316-321.
- Fennema OR (1993). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 451-467.
- Fennema OR (2006). *Fennema's Food Chemistry (Food Science and Technology)*. London: CRC Press.
- Ferrara L, Montesano D, Senatore A (2001). The distribution of minerals and flavonoids in the tea plant (*Camellia sinensis*). *Il Farmaco*, v. 56: 397-401.
- Ferreira, W.M (1994). Os componentes da parede celular na nutrição de não-ruminantes. In: *Simpósio Internacional de Produção de não ruminantes*, Maringá. Anais. Maringá: SBZ: 85-113.
- Ferreira D, Guyot S, Marnet N, Delgadillo I, Renard C, Coimbra MA. (2002). Composition of phenolic compounds in a portuguese pear (*Pyrus communis* L. Var. S. Bartolomeu) and changes after sun-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 4537-4544.
- Ferreira DMS (2003). *Estudo das transformações bioquímicas e químicas da pêra de S. Bartolomeu durante o processo de secagem – recurso endógeno da região de Viseu*. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro.

- Fernández-López J, Zhi N, Aleson-Carbonell L, Pérez-Alvarez JÁ, Kuri V (2005). Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: application in beef meatballs. *Meat Science* 69: 371–380.
- Filgueira FAR (2003). *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2ª edição. Viçosa: UFV: 412.
- Fonseca SC (2002). *Development of perforation-mediated modified atmosphere packaging for extending the shelf life of shredded galega kale*, Tese de Doutoramento, Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa (ESBUCP), Porto, Portugal.
- Food Chemicals Codex*, Fourth Edition (1996), *First Supplement*, National Academic Press: 18.
- Francis FJ (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, v. 6: 149-155.
- Frejnagel S (2007). Comparison of Polyphenolic Composition of Extracts from Honeysuckle, Chokeberries and Green Tea – A Short Report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57 (1), 83–86.
- Funebo T, Ohlsson T (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38, 353 e 367.
- Gabas AL, Telis-Romero J (2003). Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. *Ciência Tecnologia Alimentos*, Campinas, 23: 66-70.
- Galvani F, Gaertner, E (2006). *Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta*. Embrapa, Corumbá.
- Garzón GMA, Rojano BA, Guerrero CA (2012). *Inhibición de la polifenoloxidasa extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol*. Universidad Nacional de Colombia: 203-208.
- Gava AJ (2002). *Princípios de tecnologia de alimentos*. São Paulo: Nobel: 242.
- Gava AJ, Silva CAB, Frias JRG (2009). *Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações*. São Paulo, Nobel: 298-324.
- Gava AJ (2007). *Princípios de tecnologia de alimentos*. São Paulo, Nobel: 183-201.
- Glenn GM, Reddy ASN, Poovaiah BW (1988). Effect of calcium on cell wall structure, protein phosphorylation and protein profile in senescing apples. *Plant and Cell Physiology*, 29: 565-572.

- Giraldo-Zuniga AD, Arévalo-Pinedo A., Rezende JR, Silva CS, Monteiro JÁ (2006). Drying Kinetics for Murici (*Byrsonima crassifolia*) Fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 30: 699–705.
- Gogoi R, Singh DV, Srivastava KD (2001). Phenols as a biochemical basis of resistance in wheat against Karnal bunt. *Plant Pathology*, v. 50: 470-476.
- Gokmen V, Kahraman N, Demir N, Acar J (2000). Enzymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. *Journal of Chromatography A*, 881, 309–316.
- Gonçalves EM, Pinheiro J, Abreu M, Brandão TRS, Silva CLM (2007). Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) during blanching. *Journal of Food Engineering* 81, 693-701.
- Gonçalves EM, Pinheiro J, Abreu M, Brandão TRS, Silva CLM (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*. 97: 4.574–581
- Gonçalves SS, Andrade JS, Souza RS (2010). *Influência do branqueamento nas características físico químicas e sensoriais de abacaxi desidratado*. Dissertação de Mestrado em Ciência de Alimentos – Universidade Federal do Amazonas. Brasil.
- Gonzalez-Aguilar GA, Ruiz-Cruz S, Soto-Valdez H, Vazquez-Ortiz F, Pacheco-Aguilar R, Wang CY (2005). Biochemical changes of fresh-cut pineapple slices treated with antibrowning agents. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 377–383.
- Gopalan C, Ramasastry BV, Balasubramanian SC (1991). *Nutritive value of Indian foods*. National Institute of Nutrition, Hyderabad: 47.
- Greensmith M (1998). *Practical Dehydration*. England: Woodhead Publishing Limited. 2 ed.: 270.
- Greve LC, Shackel KA, Ahmadi H, McArdle RN, Gohlke JR, Labavitch JM (1994). Impact of heating on carrot firmness contribution of cellular turgor. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 42, 2896–2899.
- Gunasekaran S, Ak MM (2003). *Cheese Rheology and Texture*. CRC Press LLC, Florida: 637.
- Gunnison AF, Jacobsen DW (1987). Sulfite hypersensitivity. A critical review. *CRC Critical Reviews in Toxicology*. 17, 185–214.

- Guiné RPF (2011a). Variation of textural attributes of S. Bartolomeu pears at maturation, storage and drying. *International Journal of Food Properties* (inpress).
- Guiné RPF, Andrade S, Correia AC, Jordão AM, Lopes AD, Ferreira D (2011b). Evaluation of Textural Properties in Apples of Regional Varieties. *International Journal of Food Properties*, 14 (2): 331-338.
- Guiné RPF, Barroca MJ (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, 90: 58-63.
- Gupta P, Ahmed J, Shivhare US, Raghavan GSV (2002). Drying Characteristics of red Chilli. *Drying Technology*. 20 (10): 1975-1987.
- Guerrero-Béltran JA, Swanson BG, Barbosa-Cánovas GV (2005). Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *Lebensmittel - Wissenschaft Und – Technologie - Food Science and Technology*, v. 38, n. 6: 625-630.
- Halliwel B (1990). *How to characterise a biological antioxidant*. Free Radical Research Communication: 9, 1-32.
- Halliwel B (1996). Antioxidant in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*: 16, 33-50.
- Halliwel B (1994). *Free radicals, antioxidants and human disease: curiosity, cause or consequence*. The Lancet, 344, 721–724.
- Hamill LL, McRoberts WC, Floyd SD, McKinley MC, Young IS, Woodside JV (2012). *Analyses of a polyphenol aglycone profile in broccoli and carrots by LC-MS QToF*, Queen's University Belfast. Food Chemistry Division, Agri-Food and Biosciences Institute, Belfast. UK.
- Hanan MA, Al-Sayed, Yasser FM (2011). Degradation kinetics and utilization of extracted tomato skin carotenoids in filling cream and glazing jelly preparation. *World Journal Of Dairy & Food Sciences* 6 (2): 241-248.
- Heldman DR, Hartel RW (2000). *Principles of Food Processing*. Chapman & Hall. USA: 1-218.
- Heldman DR, Hartel RW (1997). *Principles of food processing*. Chapman & Hall. USA: 191-193.
- Hernández Y, Lobo MG, González M (2007a). Optimización del Tipo de Troceado de Papaya Mínimamente Procesada Y su efecto en la Translucidez. *V Congresso Ibero-Americano de Tecnologia Póscolheita e Agro-Exportações*. Cartagena.

- Hernández Y, Gonzalez M, Lobo MG (2007b). Importância do Grau de Maturação no Processamento Mínimo de Frutos. *V Congresso Ibero-Americano de Tecnologia Pós-colheita e Agro-Exportações*. Cartagena.
- Henriques FSC (2012). *Efeito da secagem sobre as propriedades das curcubitáceas*. Tese de Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar. Escola Superior Agrária de Viseu. Viseu: 33-48.
- Hilal Y, Engelhardt U (2007). Characterisation of white tea – Comparison to green and black tea. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. Braunschweig University, Braunschweig, Germany: 419.
- Holland B, Unwin JD, Buss DH (1991). *Vegetables, herbs and spices: Fifth supplement to McCance and Widdowson's*, London.
- Hoover WM, Xander N (1963). Influence of specific compositional factors on chipping colour. *American Potato Journal*, 34, 119.
- Hoover R, Vasathan T (1994). Effect of heat-moisture treatment on structure and physiochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydrate Research*, 15, 33–35.
- Hossain MA, Bala BK (2002). Thin-Layer Drying Characteristics for Green Chilli. *Drying Technology*, 20(2): 489-505.
- Howard LA, Wong AD, Perry AK, Klein BP (1999). β Carotene and ascorbic acid retention in fresh and processed vegetables. *Journal of Food Science*, 64(5), 929–936.
- Howard LR, Barswell DD, Aselage J (1996). Chemical composition and color of stained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science*, 61:327–330
- Huang D, Ou B, Prior RL (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. V. 53: 1841-1856.
- Huang Z, Wang B, Eaves DH, Shikany JM, Pace RD (2007). Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States. *Food chemistry*. 03(4): 1395-1402.
- Hung HC, Joshipura KJ, Jiang R, Hu FB, Hunter D, SmithWarner SA (2004). Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of National Cancer Institute*, 96 (21), 1577–1584.
- Isengard H D (2001). *Water content, one of the most important properties of food*. Food Control, Oxford, v. 12, n. 7: 395-400.

- Jiménez-vieyra, Zambrano-Zaragoza, Aguillar-Rodríguez (2004). Effect of treatment with microwave energy on polyphenoloxidase and peroxidase activity in fruits. In: *International Congress on Engineering and food, 9, 2004. Montpellier*. Anais International Congress on Engineering and Food, Montpellier.
- Judd W, Campbell C, Kellogg E, Stevens P, Donoghue M (2002). *Plant systematics: a phylogenetic approach*. 2ª edição. Sinauer Associates, Inc. Sunderland: 466-468; 470-473.
- Karmas E (1980). Techniques for measurement of moisture content of foods. *Food Technology*, v. 34, n. 4: 52-59.
- Karathanos VT (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*. v. 3, nº 4: 337-344.
- Karathanos VT, Kanellopoulos NK, Belessiotis VG (1996). Development of porous structure during air drying of agricultural plant products. *Journal of Food Engineering* 29: 167–183.
- Katalinic V, Milos M, Kulisic T, Jukic M (2006). Screening of 70 medicinal plants extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Agricultural and Food Chemistry*. 94, 550-555.
- Kaur C, Kapoor HC (2001). Antioxidants in fruits and vegetables the millenium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703–725.
- Kaya A, Aydin O, Dinger I (2008). Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). *Journal of Food Engineering*, v. 88: 323–330.
- Kays SJ (1999). Preharvest Factors Affecting Appearance *Postharvest Biology and Technology*. 15:233-247.
- Kim B-J, Lee YK (2009). Influence of the shade designation on the color difference between the same shade-designated resin composites by the brand. *Dental Materials*, 25 (9): 1148-1154.
- Kinupp FV, Barros B I (2008). *Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas*. Ciência Tecnologia Alimentar, Campinas, 28(4): 846-857.
- Krokida MK, Maroulis ZB (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology* 15: 2441–2458.
- Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, Amsterdam, v.59, n.4: 391-403.

- Kyi TM, Daud WRW, Mohammad AB, Samsudin MW, Kadhum AAH, Talib MZM (2005). The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 40, n. 3: 323-331.
- Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M, Jaouhari JT (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, London, v.61, n.2: 173-179.
- Laurila E, Ahvenainen R (2002). Minimal processing of fresh fruits and vegetables. En Jongen W. *Fruit and vegetable processing. Improving quality*. Cornwall: CRC Press: 288-309.
- Lavelli V, Vantaggi C, Corey M, Kerr W (2010). Formulation of a Dry Green Tea-Apple Product: Study on Antioxidant and Color Stability. *Journal of food science*. V. 75, nº 2: 187.
- Lawless HT, Heymann H (1999). *Sensory evaluation of food*. Maryland: Aspen Publishers.
- Lidon F, Silvestre, MM (2008). *Conservação de alimentos: Princípios e metodologias*. Escolar Editora, Lisboa: 49.
- Limbo S, Piergiovanni L (2006). Shelf life of minimally processed potatoes. Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Post-harvest Biology and Technology*, 39: 254–264.
- Lin Y, Tsai Y, Tsay J, Lin J (2003). Factors affecting the levels of tea polyphenols and caffeine in tea leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:1864–73.
- Liyana-Pathirana C, Shahidi F (2005). Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. *Food Chemistry*, v. 93, n.1: 43-56.
- Le-Bert GR (2010). *Potencial de producción y exportación del sector agroindustrial hortofrutícola*. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Lee FA (1983). *Basic Food Chemistry*, Second Ed., The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Lee L, Arul A, Lencki R, Castaigne F (1995). A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects. *Packaging Technology and Science*, v. 8: 315-33.
- Lee FA (1983). *Basic Food Chemistry*, Second Ed., The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.

- Leong LP, Shui G (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Agricultural and Food Chemistry*: 76, 69-75.
- López-Gálvez G, Salveit ME, Cantwell M (1996). The visual quality of minimally processed lettuce stored in air or controlled atmospheres with emphasis on romaine and iceberg types. *Postharvest Biology and Technology*, 8, 179-190.
- López-Nicolás JM, Núñez-Delicado E, Sánchez-Ferrer Á, García-Carmona F (2007). Kinetic model of apple juice enzymatic browning in the presence of cyclodextrins: The use of maltosyl-b-cyclodextrin as secondary antioxidant. *Food Chemistry*, 101: 1164–1171.
- Lu SM, Luo YG, Turner E, Feng H (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chemistry*, 104: 824–829.
- Maia MS (1995). *Secagem de sementes de azevém anual (Lolium multiflorum Lam) com ar ambiente forçado*. Tese de Doutorado em Agronomia-Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas: 108.
- Mahan LK, Escott-Stump S (1996). *Krause: Alimentos, nutrição & dietoterapia*. Tradução de Alessandra Favano. 9ª Edição. São Paulo: Roca: 1179.
- Malheiros GC (2007). *Estudo da alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão*. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. UFSM, Santa Maria.
- Maltini E, Torreggiani D, Venir E, Bertolo G (2003). Water activity and the preservation of plant food. *Food Chemistry*, 82, 79– 86.
- Manzocco L, Calligaris S, Mastrocola D, Nicoli MC, Lericri CR (2001). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology* 11: 340-346.
- Marabi A, Dilak J, Shan J, Saguy IS (2004). Kinetics of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables. *Journal Food Science*; 69(3):FEP91–6.
- Marcinkowski EA (2006). *Estudo da cinética de secagem, curvas desorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja*. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Porto Alegre.
- Marcos SK, Honório SL, Jorge JT, Avelar JAA (1999). Influência do resfriamento do ambiente de armazenamento e da embalagem sobre o comportamento pós-colheita do milho verde. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, n. 1: 41-44.

- Martin-Diana AB, Rico D, Barry-Ryan C, Mulcahy J, Frias J, Henehan GTM (2005b). Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters, *Food Research International* 38, 729–740.
- Martin-Diana AB, Rico D, Barry-Ryan C, Mulcahy J, Frias J, Henehan GTM (2005a). Effect of heat shock on browning-related enzymes in minimally processed iceberg lettuce and crude extracts, *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 69, 1677-1685.
- Martin-Diana AB, Rico D, Barry-Ryan C (2008). Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 593–603.
- Martinez MV, Whitaker JR (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Journal of Food Science and Technology*, v. 6: 195-200.
- Martinez M, Whitaker J (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science and Technology*. Volume 6: 195–200.
- Martins MM, Empis J (2000). *Produtos hortofrutícolas frescos ou minimamente processados: Processamentos mínimos*. Sociedade Portuguesa de Inovação. Porto.
- Martins I, Porto A, Oliveira L (2006). *Tabela da Composição de Alimentos*. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa.
- Martins RC & Silva CLM (2002). Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L). *International Journal of Refrigeration*, 25(7), 966–974.
- Mascarenhas F, Kersten A J.; Gast, C.H (1983). The study of several modifications of neutral detergent fibre procedure. *Animal Feed Science and Technology*. 9:19.
- Maskan M (2001). Kinetics of color change of kiwi fruits during hot air and microwave drying, *Journal of Food Engineering*: 48; 169-175.
- Masuda T, Inaba Y, Maekawa T, Takeda Y, Yamaguchi H, Nakamoto K, Kuninaga H, Nishizato S, Nonaka A (2003). Simple detection method of powerful antiradical compounds in the raw extract of plants and its application for the identification of antiradical plant constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1831–1838.
- Mao JT, Nie WX, Tsu IH, Jin YS, Rao JW, Lu QY, Zhang ZF, Go VLW, Serio KJ (2010). White tea extract induces apoptosis in non-small cell lung cancer cells: the role of peroxisome proliferator-activated receptor- γ and 15-lipoxygenases. *Cancer Prevention Research (Phila)*. 3(9):1132-1140.

- Mathew AG, Parpia HA (1971). Food browning as a polyphenol reaction. In: Chichester A. O.; *Advances in food research*, 19: 75-132. Academic press, Inc., New York.
- Matsui KN, Oliveira PV, Tadini CC (2004). Inativação das enzimas presentes na água de coco verde por energia de microondas em processo descontínuo. In: *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 19. Recife/PE*. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos.
- Matsui KN, Oliveira PV, Tadini CC (2006). Peroxidase and polyphenol oxidase thermal inactivation by microwaves in *green coconut water simulated solutions*. *Lebensmittel - Wissenschaft Und – Technologie - Food Science and Technology*, no prelo.
- Matsuura FCAU (1994). *Processamento e caracterização de suco integral e concentrado congelado de acerola*. Magister scientiae Thesis, UNICAMP, Campinas, Brasil.
- Mayer AM (1987). Polyphenol oxidases in plants: recent progress. *Phytochemistry*, 26(1): 11-20.
- Mayor L, Silva MA, Sereno AM (2005). Microestructural changes during drying of apples slices. *Journal of Drying Technology*, 23: 2261-2276.
- Mazza G (1983). Dehydration of carrot: effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Food Technology*, 18, 113-123.
- Mazza G, LeMaguer M (1980). *Flavour retention during dehydration of onion*. In: Linko P, Malkki Y, Oikku J, Larinkari J (eds.), *Food process engineering, V.1, Food processing systems*. Applied Science. London. 399-406.
- Mcbean DM, Joslyn MA, Nury FS (1971). Dehydrated fruits. In: Hulme AC (ed), *Biochemistry of fruits and their products*, Vol II. Academic Press, London: 623–652.
- McEvily AJ, Iyengar R, Otwell WS (1992). Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(3): 253-273.
- McKay DL, Blumberg JB (2002). The Role of Tea in Human Health: An Update. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(1), 1–13.
- McWilliams M (2007). *Nutrition and dietetics*, Eight Edition. Singapore: Pearson Education Inc.
- Miao S, Roos YH (2006). Isothermal study of nonenzymatic browning kinetics in spray-dried and freeze-dried systems at different relative vapor pressure

environments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 7: 182-194.

Mildner-Szkudlarz S, Zawirska-Wojtasiak W, Obuchowski W, Golinski M (2009). Evaluation of antioxidant activity of green tea extract and its effect on the biscuits lipid fraction oxidative stability. *Journal of Food Science*. 74:S362–70.

Mittler R (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7:405-410.

Moreno-Dorado FJ, Guerra FM, Aladro FJ, Bustamante JM, Jorge ZD, Massanet GM (2000). Synthesis of (\pm)-11 α -Hydroxy-3-oxo-6 α H,7 α H,10 β Me-endesman-1,2-4,5-dien-6,12-olide. *Journal of Natural Products* 63: 934-938.

Moretti CL, Araújo AL, Marouelli WA, Silva WLC (2002). *Respiratory activity and browning of minimally processed sweet potatoes*. Horticultura Brasileira. 20(3): 497-500.

Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* 419:448.

Mukherjee S, Chattopadhyay PK (2007). Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering* 78:52–60

Muller N, Ellinger S, Alteheld B, Ulrich-Merzenich G, Berthold HK, Vetter H, Stehle P (2010). Bolus ingestion of white and green tea increases the concentration of several flavan-3-ols in plasma, but does not affect markers of oxidative stress in healthy non-smokers. *Molecular Nutrition & Food Research*. 54, 1636–1645.

Munhoz CL, Umebara T, Branco IG, Sanjinez-Argandoña EJ (2011). *Caracterização e aceitabilidade de tomate seco*. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná. Brasil: 257:258.

Nagao M, Takahashi Y, Yamanaka H, Sugimura T (1979). Mutagens in coffee and tea. *Mutation Research*, 68(2):101.

Nagle M, González-Azcárraga JC, Carlos J, Phupaichitkun S, Mahayothee B, Haewsungcharern M, Janjai S, Leis H, Müller J (2008). Effects of operating practices on performance of a fixed-bed convection dryer and quality of dried longan. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 43: 1979-1987.

Nahimana H, Mujumdar AS, Zhang M (2010). Drying and radial shrinkage characteristics and changes in color and shape of carrot tissues

(*Daucus carota* L) during air drying. *African Journal of Biotechnology*, 10:15327-15345.

- Nam SH, Choi SP, Kang MY, Kozukue N, Friedman M (2005). Antioxidative, antimutagenic and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 3: 816-822.
- Namiki M (1988). Chemistry of Maillard Reactions: Recent Studies on the Browning Reaction Mechanism and the Development of Antioxidants and Mutagens. *Advances in Food Research*, 32, 115-184.
- Negi PS, Roy SK (2001). The effect of blanching on quality attributes of dehydrated carrots during long-term storage. *European Food Research and Technology*, 212, 445–448.
- Nicolas JJ, Richard-Forget FC, Goupy PM, Amiot MJ, Aubert SY (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(2): 109-157.
- Nishiyama MF, Costa MAF, Costa AM, Souza CGM, Bôer CG, Bracht CK, Peralta RM (2010). *Chá verde brasileiro (Camellia sinensis var assamica): efeitos do tempo de infusão, acondicionamento da erva e forma de preparo sobre a eficiência da extração dos bioativos e sobre a estabilidade das bebidas*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30: 191-196.
- Nogueira ARA, Souza GB (2005). *Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste: 313.
- Nunes C (2002). *Purificação da peroxidase de azeitona negrinha do Douro: identificação e caracterização das principais isoenzimas*. Tese de mestrado: Química dos produtos naturais e alimentos. Universidade de Aveiro. Aveiro. Portugal.
- Nursten H (2005). *The Maillard Reaction: Chemistry, biochemistry and Implications*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Okebumo BGI (1991). Effect of long-term storage of processed Nigeria grown edible leafy green vegetables on vitamin C content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 39: 538–541.
- Oboh G (2005). Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 38(5), 513–517.
- Ornellas LH (2001). *Técnica dietética: seleção e preparo de alimento*. 7 ed. rev. e ampl. São Paulo: Atheneu.

- Paganini-Costa P, Carvalho da Silva D (2011). Uma xícara (chá) de química. *Revista Virtual de Química*, v 3: 27-36.
- Park KJ, Bin A, Brod, FPR (2001a). *Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (Pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 1: 73-77.
- Park KJ, Yado MKM, Brod FPR (2001b). *Estudo de secagem de pêra bartlett (Pyrus sp.) em fatias*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 3: 288-292.
- Pellegrini N, Visioli F, Buratti S, Brighenti F (2001). Direct analysis of total antioxidant activity of olive oil and studies on the influence of heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 49, 2532-2538.
- Peske ST (1991). *Secagem de sementes*. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, FAEM: 65.
- Pereira KS, Pereira JL, Miya NTN (2004). *Análises microbiológicas de manga cultivar Palmer, congelada e minimamente processada*. *Higiene Alimentar*, v. 18, n. 119: 47-50.
- Pereira IE, Queiroz AJ, Figueiredo RMF (2006). Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6: 83-90.
- Perez PMP, Germani R (2004). *Farinha mista de trigo e berinjela: características físicas e químicas*. B. CEPPA, Curitiba, v. 22, n. 1: 15-24.
- Pons M, Fiszman SM (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v. 27, n.6: 597-624.
- Ponting J D (1960). *The control of enzymatic browning of fruits*. In: Schultz HW., ed. *Food Enzymes*. The AVI Publ. Co., Inc: 105-124.
- Porto PS, Pinto LA (2002). Estudo das características da secagem de cebola (*Allium cepa L.*) descarte quanto à cor e à pungência. *Braz. Journal of Food Technology*, v. 5: 73-78.
- Potter NN, Hotchkiss JH (1998). *Food dehydration and concentration*. In: *Food Science*. 5th ed., Maryland: Aspen Publishers Inc: 200-244
- Pilizota V, Subaric D (1998). Control of enzymatic browning of foods. *Food Technology and Biotechnology*. 36 (3): 219-227.
- Pinto AMA (2008). *Efeito da alta pressão na actividade da enzima peroxidase*. Dissertação de mestrado em Engenharia Química. Universidade de Aveiro, 6.

- Prakash S, Jha SK, Datta N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*: 62; 305-313.
- Pristijono P, Wills RBH, Golding JB (2006). Inhibition of browning on the surface of apple slices by short term exposure to nitric oxide (NO) gas. *Postharvest Biology and Technology*, 42, 256–259.
- Prochaska LJ, Nguyen XT, Donat N, Piekutowski WV (2000). Effects of food processing on the thermodynamic and nutritive value of foods: literature and database survey. *Medical Hypotheses*, 54(2):254-62.
- Queiroz MR, Nebra SA (2001). Theoretical and experimental analysis of drying kinetics of bananas. *Journal of Food Engineering*, v. 47, n. 2: 127-132.
- Quintero-Ramos A, Bourne M, Bernard J, González-Laredo R, Anzaldúa-Morales A, Pensaben-Esquivel M, Márquez-Meléndez R (2002). Low temperature blanching of frozen carrots with calcium chloride solutions at different holding times on texture of frozen carrots. *Journal of Food Processing and Preservation*. 26:361–74.
- Ramos IN, Brandão TRS, Silva CLM (2002). *Structural Changes During Air Drying of Fruits and Vegetables*. Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa. Porto.
- Ramalho VC, Jorge N (2006). Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química Nova*, v. 29, n. 7: 755-760.
- Rapeanu G, Loey AV, Smout C, Hendrickx M (2005). Effect of pH on thermal and/or pressure inactivation of victoria grape (*Vitis vinifera sativa*) polyphenol oxidase: a kinetic study. *Journal of Food Science*, v. 70, n. 5: 301-307.
- Rastogi NK, Nguyen LT, Balasubramaniam VM (2008). Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. *Journal of Food Engineering*. 88:541–7.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang Mand Rice-Evans C (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26: 1231–1237.
- Reed G, Underkofler LA (1966). *Enzymes in Food Processing*. Academic Press, N. York and London: 483.
- Reeve RM (1970). Relationships of histological structure to texture of fresh and processed fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies* 1: 247–284.
- Remacha JE, Ibarz A, Giner J (1992). Evolución del color, por efecto de la temperatura, en pulpas de fruta. *Revista Alimentaria*, 56, 59-68.

- Renaud V (2003). Tous les légumes courants, rares ou méconnus, cultivables sous nos climats. Les éditions Eugen Ulmer Paris: 224.
- Richardson P (2001). *Tecnologías térmicas para el procesamiento de los alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Richard-Forget FC, Gaillard FA (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis*, cv. 'Williams') polyphenoloxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 2472- 2476.
- Rico D, Martín-Diana AB, Frias JM, Barat JM, Henehan GTM, Barry Ryan C (2007). Improvement in texture calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*. 79:1196–206.
- Rivero Pérez ML (2008). *Estudio del perfil antioxidante de vinos tintos españoles*, Tesis Doctoral, España: 12, 25, 29-34, 67.
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Bolwell PG, Bramley PM, Pridham JB (1995). The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*, 22,375-383.
- Robards K, Prenzler PD, Tucker G, Swatsitand P, Glover G (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66: 401-436.
- Robb DA (1984). Tyrosinase. In *Copper proteins and copper enzymes*; Lontie, R., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL; Vol. II: 207-240.
- Robinson DS (1991). *Peroxidases and their significance in fruits and vegetables*. En P. F. Fox (Ed) *Food Enzymology*, Elsevier, London, 371-476.
- Rodrigues MF (2003). Estudo da Aplicabilidade da Calorimetria Diferencial de Varrimento ao Acompanhamento da Conservação de Maçã. In: Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa: 78.
- Romero-Peña LM, Kieckbusch TG (2003). Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. *Braz. Journal of Food Technology*, Campinas, v. 6, n. 1: 69-76.
- Rosa JG (2010). *Secagem de cenoura (Daucus carota L.) em microondas*. Dissertação em mestrado de Engenharia Química. Universidade Federal de São Carlos. Brasil.
- Rossi C, Lima GPP (2001). *Cádmio e a atividade de peroxidase durante a germinação de sementes de feijoeiro*. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 1: 197-199.

- Roura SI, Davidovich LA, Valle CE (2000). Postharvest changes in fresh swiss chard (*Beta vulgaris*, type *cycla*) under different storage conditions. *Journal of Food Quality*. (23): 137-147.
- Rocha AMCN, Ferreira JFFC, Silva ÂMM, Almeida GN, Morais AMMB (2007). Quality of grated carrot (var. Nantes) packed under vacuum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 447-451.
- Rodriguez-Amaya DB (1999). *Carotenóides y preparación de alimentos: la retención de los carotenóides provitamina A em alimentos preparados, processados y almacenados*. Campinas: 105.
- Ruben CR (2010). *Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos*. 1a edição. Embrapa Clima Temperado: 48;119.
- Rufián-Henares JA, García-Villanova B, Guerra-Heránáñez E (2008). Occurrence of furosine and hydroxymethylfurfural as markers of thermal damage in dehydrated vegetables. *European Food Research and Technology*. 228: 249-256
- Rusak G, Komes D, Likic S, Horzic D, Kovac M (2008). Phenolic content and antioxidative capacity of green and white tea extracts depending on extraction conditions and the solvent used. *Food Chemistry*, v. 110: 852-858.
- Saltveit M (1997). *Physical and physiological changes in the minimally processed fruits and vegetables _in Phytochemistry of Fruit and Vegetables*, ROBINS, T.- B. A., Oxford, Clarendon Press, Inglaterra.
- Saltveit ME (2000). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 61-69.
- Saly RC, Felix JS, Swartz HM (1980). *Free radicals in biology*. 3rd ed. NewYork: Academic Press. v. IV: 209-59.
- Sandi D, Chaves JBP, António Sousa ACG, Parreiras JFM, Silva MTC, Constant PBL (2004). Hunter color dimensions sugar content and volatile compounds in pasteurized yellow passion fruit juice (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) during storage. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.47, n.2: 233-245.
- Sanjuán N (1998). *Influencia de las condiciones de proceso y almacenamiento en la calidad del brócoli deshidratado*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Santos G, Oliveira MC, Moraes MH, Pagani AC (2012). Estudo comparativo do coentro (*Coriandrum sativum* L.) seco obtido em diferentes métodos de secagem. *Revista GEINTEC*. v 2. nº 3: 236-244

- Santos KA, Karam LM, Freitas RJS, Stertz SC (2002). *Composição química da berinjela (Solanum melongena L.)*. B. CEPPA, Curitiba, v. 20, n. 2: 247-256.
- Sanz ML, del Castillo MD, Corzo N, Olano A (2001). Formation of Amadori compounds in dehydrated fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49, 5228-5231.
- Sapers GM (1993). Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants, and other means. Scientific status summary. *Food Technology*, 47: 75-84.
- Sapers GM; Miller RL (1998). Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 2: 342-346.
- Schmitz W, Saito YA, Eestevão D, Saridakis OH (2005). *Gren tea as a chemoprotector*. Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 26, n. 2: 119 130.
- Scalbert A, Williamson G (2000). Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *Journal of Nutrition*. 130 (8): 2073-2085.
- Scher CF (2009). *Estudo do branqueamento e da secagem mediante ar quente do yacon (Smallanthus sonchifolius)*. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil.
- Scott WJ (1957). *Water relation of food spoilage microorganisms*. Adv. Food Res. 7: 83- 127, 1957.
- Sharangi AB (2009). Medicinal and therapeutic potentialities of tea (*Camellia sinensis L.*) – A review. *Food Research International* 42: 529–535.
- Shahidi F, Naczk M. (1995). *Food Phenolics*. Lancaster, USA. Technomic Publishing Co: 340.
- Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, Robert MC, Riediker S (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature.Food chemistry*. 419:449.
- Segura MDIM, Levin G, Miranda MV, Mendive FM, Targovnik HM, Cascone O (2005). *High-level expression and purification of recombinant horseradish peroxidase isozyme C in SF-9 insect cell culture*. Process Biochemistry. 40:795-800.
- Severini C, Baiano A, PILLI T, Romaniello R, Derossi A (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by branching in boiling saline solutions. *Lebensm-Wiss. U. Technology*. v. 36: 657-665.

- Seevers PM, Daly JM, Catedral FF (1971). The role of Peroxidase Isozymes in Resistance to Wheat Stem Rust Disease. *Plant Physiology*, v. 48: 353-360.
- Serratos MP, Lopez-Toledano A, Merida J, Medina M (2008). Drying of grapes in chamber at controlled temperature and with dipping pretreatments. Changes in the color fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 10739–10746.
- Sigrist JMM (2002). *Estudos fisiológicos e tecnológicos de couve-flor e rúcula minimamente processadas*. Tese de doutoramento. São Paulo: Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo.
- Silva LS, Vicenzi R, Peixoto CRM (2007). *Efeito do íon malato no processo de oxidação do ácido ascórbico por oxigênio molecular catalisado por íons cobre II*. *Eclética química*, São Paulo, v. 32, n. 2: 35-40.
- Silva FC (2009). *Análise química de tecido vegetal*. In: *Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes*. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 193-204.
- Silva CKF (2007). *Aplicação da análise inversa ao modelo difusional de transferência de massa*. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.
- Silva JA (2000). *Tópicos da tecnologia dos alimentos*. São Paulo: Livraria Varela.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299:152–178.
- Singleton VL, Rossi JA (1965). Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Amer. Journal of Enology and Viticulture*. v.16: 144-158.
- Sistrunk WA, Cash JN (1974). Processing factors affecting quality and storage stability of Concord grape juice. *Journal of Food Science*, 39, 1120-1123.
- Smith DS, Cash JN, Nip WK, Hui YH (1997). *Processing vegetables science and technology*. Technomic publishing CO. USA: 70-73.
- Soares RM, Maringoni AC, Lima GPP (2004). Ineficiência de acibenzolar-S-metil na indução de resistência de feijoeiro à murcha-de curtobacterium. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29: 373-377.
- Sobukola OP, Dairo, OU, Sanni LO, Odunewu AV, Fadiolu BO (2007). Thin layer drying process of some leafy vegetables under open sun. *Food Science Technology*, 13: 35–40

- Spoto MHF (2006). *Desidratação de frutas e hortaliças*. In Oetterer, M., Regitano-d'Arce M. A. B., Spoto, M. H. F. (Eds). *Fundamentos de ciência e Tecnologia de alimentos*. Brasil, Editora Manole: 565-604.
- Spoto MHF, Miguel ACA (2006). Processamento mínimo e congelamento. In: Oetterer M. *et al. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Barueri, SP: Manole.
- Sra SK, Sandhu KS, Ahluwalia P (2010). Effect of processing parameters on physico-chemical and culinary quality of dried carrot slices. *Journal of Food Science and Technology*. 48(2):159–166.
- Sudhakar DV, Maini SB (1994). Stability of carotenoids during storage of mango pulp. *Journal of Food Science and Technology*. 31: 228-230.
- Surjadinata BB, Cisneros-Zevallos L (2003). Modeling wound induced respiration of fresh-cut carrots (*Daucus carota* L.), *Journal of Food Science*, 68, 2735-2740.
- Su L, Charles D, Zhou K, Moore J, Yu L (2007). Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry*, v. 100, n. 3: 990-997.
- Talbur WF, Smith O (1975). *Potato processing*. Westport, CT: AVI Publishing Co.
- Tavares JTQ, Santos CMG, Teixeira LJ, Santana RS, Portugal AM (2003). *Estabilidade do ácido ascórbico em polpa de acerola submetida a diferentes tratamentos*. BA. Magistra, Cruz das Almas. v. 15, n.2.
- Thring T, Hili P, Naughton DP (2009). *Anti-collagenase, anti-elastase and anti-oxidant activities of extracts from 21 plants*. BMC Complem Altern Med, 9: 27.
- Thring T, Hili P, Naughton DP (2011). Antioxidant and potential anti-inflammatory activity of extracts and formulations of white tea, rose, and witch hazel on primary human dermal fibroblast cells. *Journal of Inflammation*, 8: 27.
- Toivonen PMA (2004). Postharvest storage procedures and oxidative stress. *HortScience* 39: 938–942.
- Toivonen PMA, Brummell DA (2008). Review: biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v. 48: 1-14.
- Toivonen PMA, Deell JR (2002). *Physiology of fresh-cut fruits and vegetables in Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market*, Lamikanra, O. (ed.), CRC Press, EUA.

- Tomás-Barberán FA, Espín JC (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (9), 853-876.
- Tomás-Barberán FA, Espín JC (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (9), 853-876.
- Tortoe C, Orchard J, Beezer A (2006). Prevention of enzymatic browning of apple cylinders using different solutions. *International Journal of Food Science and Technology*, 42:1475–1481.
- Tunde-Akintunde , Ogunlakin OG (2010). *Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity and energy requirements during the drying of pretreated and untreated pumpkin*. Ladoké Akintola University of Technology. Nigeria.
- Unachukwu UJ, Ahmed S, Kavalier A, Lyles JT, Kennelly EJ (2010). White and green teas (*Camellia sinensis* var. *sinensis*): variation in phenolic, methylxanthine, and antioxidant profiles. *Journal of Food Science*. 75, 541–548.
- Valentines MC, Vilaplana R, Torres R, Usall J, Larrigaudiere C (2005). Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. *Postharvest Biology and Technology* 36, 227–234.
- Vally H, Thompson PJ (2003). Allergic and asthmatic reactions to alcoholic drinks. *Addiction Biology*. 8(1): 3-11.
- Vámos-Vigyázó L (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 9: 49-127.
- Van Den Berg C, Bruin S (1981). *Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects*. In: Rockland LB, Stewart GF. *Water Activity: Influences on Food Quality*. London, Academic Press Inc: 1-61.
- Vargas LV, Yah AC, Canul T, Cortez JT, Veloz CS, Duch ES (2007). Variación de la Respiración y producción de Etileno de Rebanadas de Pitahaya (*Hylocereus undatus*). *V Congresso Ibero- Americano de Tecnologia Pós-colheita e Agro-Exportações*. Cartagena.
- Vega A, Lemus R (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*), *Revista Información Tecnológica*; 27(3): 23-31.
- Vega A, Chacana M, Lemus R (2006). *La Industria de los Alimentos Deshidratados y la Importancia del Control de Procesos*. *Revista Chilena para la Industria de Alimentos*. *Indualimentos*, 9 (42): 50-67.

- Veitch NC (2004). Horseradish peroxidase: a modern view of a classic enzyme. *Phytochemistry*. 65: 249-259.
- Verzeletti A; Fontana RC; Sandri IG (2010). *Avaliação da vida de prateleira de cenouras minimamente processadas*. Alimentos e Nutrição, Campinas, v.21, nº 1: 87-92.
- Vigil A L-M, Palou E, Alzamora SM (2005). Naturally occurring compounds plant sources: 429–451. In. Davidson PM, Sofos JN, Branen AL(ed.), *Antimicrobials in foods*. Marcel Dekker, New York.
- Vilela NJ, Henz GP (2000). *Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras*. Cadernos de Ciências e Tecnologia, Brasília, v. 17, n. 1: 71-89.
- Walker JRL, Ferrar PH (1998). Diphenol oxidases, enzyme-catalysed browning and plant disease resistance. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, v. 15: 468.
- Warner CR, Diachenko GW, Bailey CJ (2000). Sulfites: An important food safety issue. Reprinted from *Food Safety Magazine* issue.
- Watada AE, Qi L (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15: 201-205.
- Watada AE, Abe K, Yamuchi N (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 44(5): 116, 118, 120-122.
- Weemaes CA, Ludikhuyse, LR, Van den Broeck I, Hendrickx ME, Tobback P (1998). Activity, electrophoretic characteristics and heat inactivation of polyphenoloxidases from apples, avocados, grapes, pears and plums. *Lebensmittel -Wissenschaft Und – Technologie - Food Science and Technology*, v. 31, n. 1: 44-49.
- Whitaker JR (1994). Polyphenol oxidase. In: Fennema OR (Ed.) *Principles of Enzymology for the Food Sciences*. New York: Marcel Dekker Inc: 543-556.
- Whitaker JR (1972). *Principles of enzymology for the food science*. NewYork: Marcell Dekker.
- Wiley RC (1994). *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman & Hall, New York: 226-268.
- Wills RBH (1998). *Postharvest: An Introduction To The Physiology & Handling Of Fruit, Vegetables & Ornamentals*. 4th ed. Sydney, Australia: UNSW Press Wallingford, Oxon, UK; New York: Cab International.

- Wills RBH, Mulholland EE, Brown BI (1983). Storage of two new cultivars of guava fruit of processing. *Tropical Agriculture*, Trinidad, v. 60, n. 3: 175-178.
- Wong DWS (1995). *Química de los alimentos: mecanismos e teoria*. Zaragoza: Acríbia: 233-236, 365, 372.
- World Carrot Museum (2004). Discover the power of carrots. Disponível em: <http://www.carrotmuseum.com.br>. Acedido em: Abril de 2013.
- Wu X, Gu L, Holden J, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Beecher G, Prior RL (2004). Development of a database for total antioxidant capacity in foods: a preliminary study. *Journal of Food Composition and Analysis*; 17 (3-4):407-22.
- Xu S, L. Xu D, Chen X (2003). Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. *Computers & Operations Research*. 30, 877-886.
- Yen YH, Shin CH, Chang CH (2008). Effect of adding ascorbic acid and glucose on the antioxidative properties during storage of dried carrot. *Food Chemistry*, 107:265–272.
- Yousefi S, Emam-Djomeh Z, Mousavi SM (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of Food Science and Technology*. 48(6): 677–684.
- Yuang ZY, Jiang TJ (2003). Horseradish peroxidase. In: Handbook of food enzymology. Whitaker JR, Voragen A, Wong DWS. (Eds.). Marcel Dekker Inc., New York: 403-411.
- Zanoni B, Peri C, Nani R, Lavelli V (1999). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*. 31: 395-401.
- Zhang D, Hamauzu, Y (2004). Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots. *Food Agriculture and Environment*. 2, 95-100
- Zhao YP, Chang KC (1995). Sulfite and starch affect color and carotenoids of dehydrated carrots (*Daucus carota* L.) during storage. *Journal of Food Science*, 60, 324–326.
- Zielnik A (2006). Keeping up appearances. *Journal of Architectural Coatings*. 63-67.

ANEXOS

ANEXO A

Testes da peroxidase segundo Costa *et al.* (1980).

Este teste consiste em adicionar à amostra cerca de 10 gotas de uma solução 0,5% (v/v) de guaiacol, sendo que após 10 minutos, adiciona-se uma gota de peróxido de hidrogénio a 40%. O aparecimento de coloração acastanhada indica a presença de peroxidase, designando-se por reação positiva. Neste teste, a peroxidase reage com o peróxido de hidrogénio, libertando O₂ que, por sua vez oxida o guaiacol.

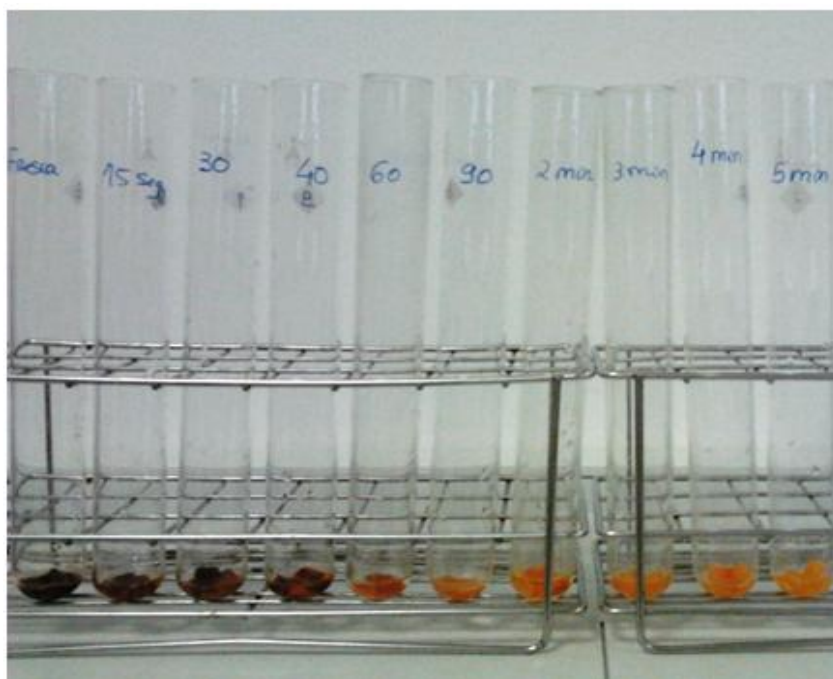


Figura 39: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com água destilada.

Peroxidase inativada a: **95±1°C/4min.**

Tabela 16: Formulação das infusões testadas.

Pré-tratamento	Colheres de chá	Quantidade de folhas (g) /500mL	Quantidade de folhas (g) /100mL	Chá	Binómio tempo/t ^a com a peroxidase inativada
Branqueamento	-----	-----	-----	-----	95±1°C /4min.
Branqueamento com infusão de chá verde	1,50	0,90g	0,20g	Verde	95±1°C /4min.
Branqueamento com infusão de chá verde	3*	2,00g	0,40g	Verde	95±1°C /2min.
Branqueamento com infusão de chá verde	6	3,50g	0,70g	Verde	95±1°C/2min.
Branqueamento com infusão de chá verde	9	5,00g	1,00g	Verde	95±1°C /90seg.
Branqueamento com infusão de chá branco	3	2,00g	0,40g	Branco	95±1°C /2min.

*segundo as instruções da embalagem

■ Binómio tempo/ temperatura escolhido para a infusão de chá verde e branco

■ Formulação de infusões testadas

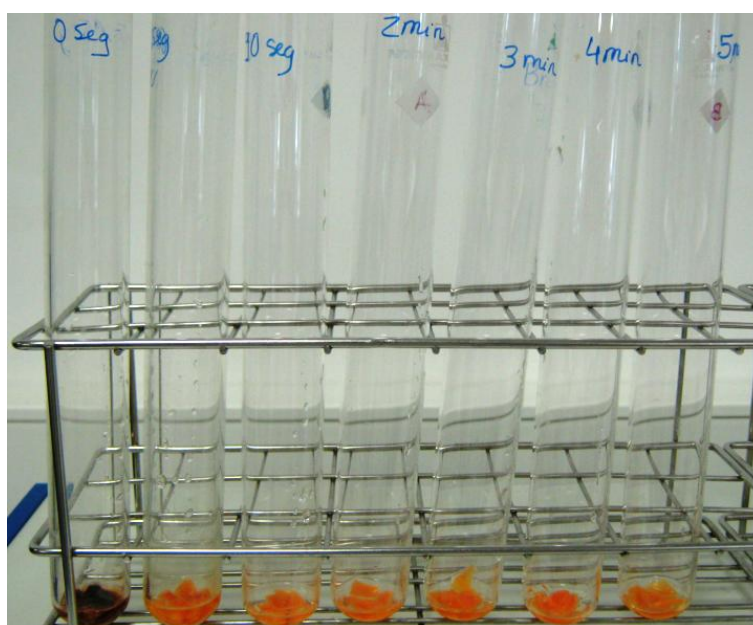


Figura 40: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com infusão de chá verde (2g/500mL).

Peroxidase inativada a: 95±1°C/2min.



Figura 41: Teste da peroxidase para determinar o binómio tempo/temperatura do branqueamento da cenoura com infusão de chá branco (2g/500mL).

Peroxidase inativada a: **95±1°C/2min.**

ANEXO B Correlação de Pearson

	Humid.	Cinza	Proteína	Fibra	HCTotais	ARed	ANRed	L	a	b	Dureza	Adesiv	Coesiv.	Elast.	Mastig.	ΔE	BI
Humid.	1																
Cinza	,222	1															
Proteína	,346	,595^{**}	1														
Fibra	-,450[*]	-,637^{**}	-,432[*]	1													
HCTotais	-,314	-,814^{**}	-,921^{**}	,514^{**}	1												
ARed.	,557^{**}	-,125	-,024	-,268	,045	1											
ANRed.	-,720^{**}	-,483^{**}	-,788^{**}	,478^{**}	,778^{**}	-,414[*]	1										
L	-,013	,454[*]	,228	-,486^{**}	-,378[*]	-,170	-,189	1									
a	-,118	,512^{**}	,302	-,155	-,384[*]	-,267	-,061	-,294	1								
b	,539^{**}	,083	-,050	-,131	-,010	,278	-,273	-,183	,175	1							
Dureza	,891^{**}	,107	,250	-,361	-,196	,618^{**}	-,630^{**}	-,130	-,167	,596^{**}	1						
Adesiv.	-,857^{**}	-,154	-,338	,268	,283	-,504^{**}	,654^{**}	,292	-,127	-,677^{**}	-,904^{**}	1					
Coesiv.	,284	-,324	-,088	,191	,184	,103	-,081	-,484^{**}	,092	,428[*]	,381[*]	-,503^{**}	1				
Elast.	-,086	-,318	-,223	,316	,233	-,112	,130	-,076	-,215	,182	,081	-,050	,607^{**}	1			
Mastig.	,881^{**}	,084	,235	-,325	-,178	,592^{**}	-,614^{**}	-,163	-,154	,622^{**}	,995^{**}	-,918^{**}	,453[*]	,162	1		
ΔE	-,540^{**}	,034	,050	,008	-,065	-,384[*]	,233	,621^{**}	-,331[*]	-,839^{**}	-,656^{**}	,782^{**}	-,571^{**}	-,142	-,688^{**}	1	
BI	,399[*]	-,202	-,089	,194	,171	,295	-,119	-,802^{**}	,345[*]	,721^{**}	,496^{**}	-,664^{**}	,603^{**}	,132	,533^{**}	-,946^{**}	1

Nível de significância de 0,01**

Nível de significância de 0,05*