

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CAMPUS PATOS DE MINAS**

CAMILA TIAGO ARAÚJO OLIVEIRA

**MÉTODOS TRADICIONAIS E EMERGENTES PARA EVITAR O
ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE VEGETAIS**

PATOS DE MINAS

2018

CAMILA TIAGO ARAÚJO OLIVEIRA

**MÉTODOS TRADICIONAIS E EMERGENTES PARA EVITAR O
ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE VEGETAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas como requisito de avaliação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Marta Fernanda Zotarelli

PATOS DE MINAS

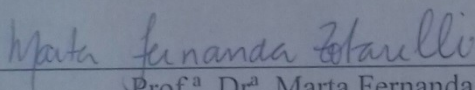
2018

CAMILA TIAGO ARAÚJO OLIVEIRA

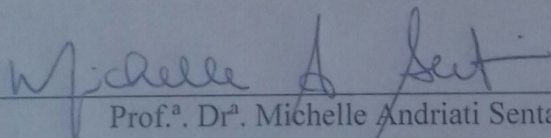
MÉTODOS TRADICIONAIS E EMERGENTES PARA EVITAR O
ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE VEGETAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos, pela banca examinadora formada por:

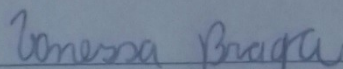
Banca de Avaliação:



Prof.ª. Dr.ª. Marta Fernanda Zotarelli - UFU/MG
Orientadora



Prof.ª. Dr.ª. Michelle Andriati Sentanin - UFU/MG
Membro



Eng.ª. Vanessa Braga - UFU/MG
Membro

Patos de Minas, 13 de Dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter permitido que alcançasse meu objetivo. Por ter me dado força, ânimo, fé e coragem nos momentos difíceis.

Um agradecimento de forma especial a minha mãe Cassilda Tiago Araújo Sobrinha Oliveira e ao meu pai Roberto de Oliveira, por sempre me incentivarem, não me deixarem desistir e por sempre acreditar que eu conseguiria, pelo carinho, amor e compreensão. Vocês são minha vida.

Ao meu irmão Roberto Araújo Oliveira Júnior, pelo companheirismo, pela paciência, apoio e por saber compartilhar comigo as alegrias e as dificuldades do nosso caminhar. Amote!

Um agradecimento de gratidão os meus tios em especial a Maria Flauzina e Rosimary, por me acolherem em Patos de Minas, meus primos, minha avó por todo incentivo. Ao meu avô (in memória), pelos ensinamentos do seu legado.

Agradeço de forma especial também a minha orientadora Prof.^a. Dr.^a. Marta Fernanda Zotarelli, pelos ensinamentos, paciência, por ter me acolhido de uma forma carinhosa e me ajudado a desenvolver este trabalho.

A Prof.^a. Dra.^a. Michelle Andriati Sentanin e a Engenheira Vanessa Braga por aceitarem a participar da banca examinadora e engrandecer o meu trabalho.

E claro, que não poderia deixar de agradecer imensamente aos meus amigos que estiveram comigo durante este percurso.

Enfim, muito obrigada.

RESUMO

O escurecimento enzimático é um problema comum, principalmente em frutas e vegetais quando sofrem algum dano mecânico, como um corte, expondo seu tecido ao oxigênio e à ação de algumas enzimas, como a polifenoloxidase e a peroxidase. Essa exposição acarreta no escurecimento dos tecidos e consequentemente perda de qualidade. Em alguns casos o escurecimento enzimático pode ter início com o tecido vegetal intacto. Por ser um problema que afeta diretamente a qualidade e consequentemente a aceitação do produto por parte dos consumidores, é necessário a busca de processos que possam evitar ou retardar os efeitos do escurecimento enzimático. Por isso, este trabalho tem como objetivo revisar os principais métodos utilizados para evitar o escurecimento enzimático de vegetais. Um dos métodos mais evidentes e mais utilizados para evitar que tal reação aconteça, é o branqueamento com água quente ou usando o vapor. Entretanto, esses métodos podem acarretar em algumas perdas de nutrientes. Por isso, muitos outros processos foram desenvolvidos e aprimorados como o branqueamento por micro-ondas, branqueamento por impacto da alta umidade e ar quente, aquecimento ôhmico, por irradiação, filmes comestíveis, modificação genética e o uso de agentes químicos, métodos que serão abordados neste trabalho. A reação de escurecimento enzimático em frutas, vegetais e seus derivados é um dos principais problemas na indústria de alimentos, assim avanços tecnológicos na conservação destes produtos, estimulam pesquisas para o controle deste escurecimento, consequentemente melhorando a qualidade e a conservação destes alimentos.

Palavras-chave: Vegetais, Escurecimento enzimático, Polifenoloxidase, Métodos de controle.

ABSTRACT

Enzymatic browning is a common problem, especially in fruits and vegetables when they suffer mechanical damage, such as a cut, exposing their tissue to oxygen and the action of some enzymes, such as polyphenoloxidase and peroxidase. This exposure leads to darkening of tissues and consequently loss of quality. In some cases, enzymatic browning may begin with intact plant tissue. Because it is a problem that directly affects the quality and consequently the acceptance of the product by the consumers, it is necessary to search for processes that can avoid or delay the effects of the enzymatic dimming. Therefore, this work aims to review the main methods used to avoid the enzymatic browning of vegetables. One of the most obvious and most used methods to prevent such a reaction from occurring is by bleaching with hot water or using steam. However, these methods can lead to some nutrient losses. Therefore, many other processes have been developed and improved such as microwave bleaching, high temperature and hot air impact bleaching, ohmic heating, irradiation, edible films, genetic modification and the use of chemical agents, methods that will be addressed in this job. The enzymatic darkening reaction in fruits, vegetables and their derivatives are one of the main problems in the food industry, so technological advances in the conservation of these products stimulate research to control this darkening, consequently improving the quality and conservation of these foods.

Key words: Vegetable, Enzymatic browning, Polyphenoloxidase, Control methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Reação de oxidação de compostos fenólicos catalisada pela polifenoloxidase... **Erro!**

Indicador não definido.

Figura 2-Ação da peroxidase sobre compostos fenólicos 11

Figura 3-Esquema aquecimento Ôhmico 17

Figura 4- Fotografia de batatas: (a) controle (sem nenhuma ação para evitar o escurecimento enzimático) e, (b) batata modificada geneticamente. 22

Figura 5- Inibição do escurecimento de frutos de maçã e pera pela serotonina.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Referências bibliográficas sobre produtos branqueados com os métodos tradicionais.	15
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Métodos de controle para evitar o escurecimento enzimático.....	12
3.1.1	Branqueamento por água quente e vapor.....	12
3.1.2	Aquecimento Ôhmico.....	16
3.1.3	Micro-ondas.....	18
3.1.4	Branqueamento por impacto de ar quente e alta umidade (<i>high-humidity hot aire impunemente blanching</i> - HHAIB).....	19
3.1.5	Atmosfera modificada e uso de filmes biodegradáveis	20
3.1.6	Modificação genética.....	21
3.1.7	Irradiação	23
3.2	Uso de agentes químicos	24
3.2.1	Ácido cítrico e ácido ascórbico	24
3.2.2	Uso de serotonina	25
4	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28

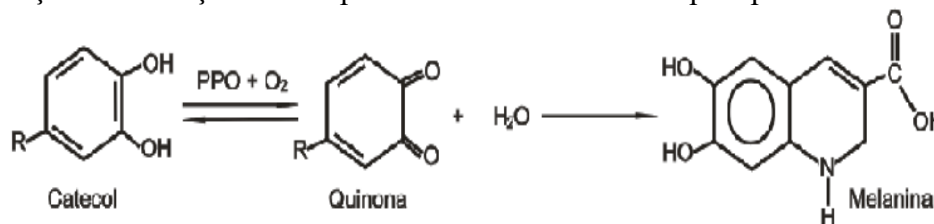
1 INTRODUÇÃO

A aceitação de um determinado produto por parte dos consumidores geralmente é baseada em seus atributos da qualidade, que estão muito ligados aos seus aspectos sensoriais. Dentre esses aspectos, a cor é um dos fatores mais importantes, pois o consumidor geralmente supõe a qualidade de um produto pela aparência. Daí a importância de se usar, no processamento, além de uma matéria-prima de boa qualidade, técnicas que facilitam a máxima preservação da qualidade que o produto possuía quando estava no estado fresco (FILHO; VASCONCELO, 2010). Muitas reações podem estar presentes nos alimentos que favoreçam a alteração da sua cor original, dentre essas reações, destacam-se em duas categorias as reações não enzimáticas (ou químicas) e as reações enzimáticas.

De modo geral, quando frutas e hortaliças sofrem alguma injúria física ou fisiológica, como amassamento, descascamento, corte ou são triturados, logo apresentam uma cor escura, e esse escurecimento é o escurecimento enzimático.

Ele é causado principalmente pela ação das enzimas polifenoloxidase, que quando em contato com o oxigênio, reagem com compostos fenólicos (como o catecol) presentes nos tecidos de frutas e vegetais, removendo o hidrogênio de suas ramificações. Como produtos dessa reação têm-se água e quinona, a qual pode se condensar formando polímeros escuros e insolúveis, como a melanina, que são compostos que resultam em uma coloração amarronzada no produto. Na figura 1 está apresentado um esquema geral dessa reação (SANTOS et al.; 2012).

Figura 1- Reação de oxidação de compostos fenólicos catalisada pela polifenoloxidase

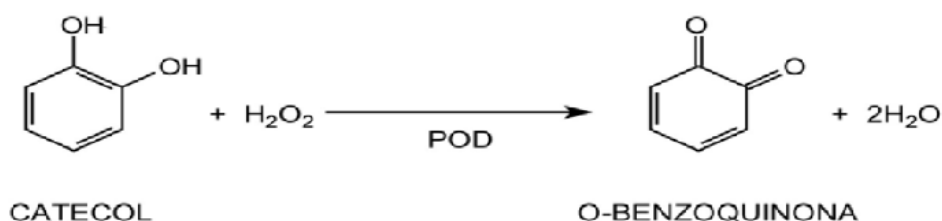


Fonte: (Santos et al.; 2012).

As polifenoloxidases (PPOs) são compostas por um conjunto de enzimas, podendo também ser conhecidas por fenolases, fenoloxidase, catecolase, cresolase e tirosinase (FENNEMA, 2010). Essas enzimas também podem estar presentes em mamíferos e crustáceos como lagosta, camarão e caranguejo, e nesses produtos, a sua ação é conhecida como “mancha preta”.

Além das PPOs, a peroxidase (POD) também é uma enzima responsável pelo escurecimento enzimático, que utiliza os compostos fenólicos como substratos e são capazes de oxidar na presença de peróxidos, originando radicais livres. Na ausência de peróxidos, essa enzima pode ainda catalisar a oxidação de alguns substratos com o auxílio do oxigênio molecular e também hidrolisar diferentes compostos aromáticos (tirosina, fenilalanina e outros). A atividade da peroxidase está intimamente ligada à perda do aroma e o aparecimento de *off-flavors*. Além disso, podem participar da alteração da cor e destruição do valor nutritivo destes produtos (oxidação da vitamina C e aminoácidos) (KOBLITZ, 2008). Na Figura 2 está ilustrado um esquema da ação da POD sobre compostos fenólicos.

Figura 2-Ação da peroxidase sobre compostos fenólicos



Fonte: (Chitarra, 2002).

Conforme dito anteriormente, o escurecimento enzimático envolve a presença do oxigênio, da enzima e do substrato, consequentemente, a reação pode ser controlada atuando-se em pelo menos um desses fatores. Se qualquer um deles estiver ausente ou, se por alguma razão um deles, for impedido de participar da reação, não haverá oxidação e, portanto, não ocorrerá o escurecimento enzimático (FILHO; VASCONCELOS, 2010).

O escurecimento enzimático, muitas vezes é desejado, como ocorrem para as uvas passas, ameixas, cacau, chá, café e cidra de maçã. Entretanto, é indesejável quando afeta negativamente a aparência do produto, podendo haver perdas de nutrientes, diminuição da vida útil e formação de sabor indesejável (FENNEMA, 2010).

Segundo Araújo (2015), a reação de escurecimento em frutas, vegetais e bebidas é um dos principais problemas na indústria de alimentos. Avalia-se que em torno de 50% da perda de frutas tropicais no mundo é devido às enzimas PPOs, que provoca a oxidação dos compostos fenólicos naturais presentes nos alimentos. A ação dessas enzimas é frequentemente acompanhada de mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades sensoriais do produto.

2 OBJETIVO

Tendo em vista o exposto anteriormente, o objetivo desse trabalho é revisar na literatura os principais métodos alternativos para evitar o escurecimento enzimático.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Métodos de controle para evitar o escurecimento enzimático

O controle do escurecimento enzimático pode ser feito por meio de métodos físicos, químicos e/ou com a combinação dos dois métodos (OLIVEIRA, 2008). O branqueamento de modo geral é um termo utilizado para designar o tratamento térmico de vegetais de modo geral com o objetivo de reduzir a atividade enzimática dos mesmos, seguido de uma etapa de resfriamento.

Os métodos de branqueamento térmico podem diferir quanto à exposição do produto a fonte de calor nas etapas de aquecimento e resfriamento. Os métodos mais comuns de branqueamento que serão abordados nesse estudo para controle do escurecimento enzimático são: branqueamento com água quente, a vapor, por micro-ondas, branqueamento por impacto da alta umidade e ar quente (*high-humidity hot air impingement blanching* - HHAIB), aquecimento ôhmico e por irradiação. Também serão abordados o uso de agentes químicos para controle do escurecimento enzimático.

3.1.1 Branqueamento por água quente e vapor

O branqueamento por água quente é um processo que tem por objetivo desnaturar as enzimas responsáveis pelo escurecimento dos alimentos. Essa desnaturação ocorre devido à mudança conformacional do sítio ativo da enzima. O branqueamento realizado com água quente é um método simples e de reduzido custo.

De acordo com Filho e Vasconcelos (2010) e Xiao et al. (2017), o branqueamento é considerado um tratamento térmico brando, que utiliza temperaturas entre 70 e 100°C, por alguns minutos, com posterior resfriamento para evitar que o produto permaneça por mais tempo na temperatura elevada, o que poderia acarretar no superaquecimento e consequentemente em um cozimento do mesmo. O branqueamento é uma técnica utilizada tanto industrialmente como de forma caseira. O binômio tempo-temperatura é dependente do tipo de produto que será submetido ao tratamento térmico, seu tamanho, geometria e o método de branqueamento a ser utilizado (imersão em água quente, exposição ao vapor, etc).

A etapa de resfriamento também pode ser realizada com a imersão do produto em água quente, jatos de água ou correntes de ar frio.

Esse tratamento geralmente é aplicado em frutas e hortaliças, como pré-tratamento de outros processos como congelamento, desidratação ou enlatamento, evitando sua deterioração durante o armazenamento. Mesmo em processos industriais ligados ao tratamento térmico, como vegetais que são esterilizados, é importante a realização da etapa de branqueamento, pois o tempo necessário para atingir as temperaturas de esterilização, particularmente em produtos embalados em recipientes grandes, pode ser suficiente para permitir a atividade enzimática (FELLOWS, 2006).

Além de inativar as enzimas, o branqueamento alcança outras finalidades, como: redução no número de microrganismos e parasitas contaminantes na superfície dos alimentos, amolecimento dos tecidos vegetais, o que facilita o enchimento do produto nos recipientes (embalagens) e contribui na remoção do ar dos espaços intracelulares, o que aumenta a densidade do alimento e ajuda na formação de vácuo no espaço livre das latas, minimiza reações de escurecimento não enzimáticas, como reação de Maillard, pode aumentar as taxas de secagem, facilitar a remoção das cascas dos produtos, (FELLOWS, 2006; XIAO et al., 2017), portanto, o branqueamento pode colaborar nas operações posteriores de conservação.

Segundo Fellows (2006) geralmente os branqueadores industriais podem ser por água quente ou a vapores. Em ambos os casos é comum que esses equipamentos sejam constituídos por esteiras transportadoras, as quais conduzem o alimento para a sua submersão em água quente ou para sua exposição a uma atmosfera de vapor dentro de um túnel. O tempo de residência do alimento é regulado pela velocidade da esteira e pelo comprimento do túnel, e conforme dito anteriormente dependem de características do produto. Em muitos casos o uso de vapor contribui para maior retenção dos componentes nutricionais dos produtos do que a imersão em água quente. Para preservar a cor do produto e inativar a atividade microbiana, o sulfito de sódio e metabissulfito de sódio são frequentemente adicionados ao branqueamento (XIAO et al., 2017). Após as seções de aquecimento os alimentos são conduzidos à seção de resfriamento, que podem ocorrer por meio da sua exposição a uma corrente de água fria, aspersão de água ou jatos de ar. O resfriamento por água fria corrente pode acarretar em maiores perdas nutricionais por meio da lixiviação, enquanto o uso de jatos de ar pode acarretar em perdas de massa do produto devido à evaporação, mas há uma maior retenção de nutrientes do que na água corrente. De acordo com Araújo (2015), algumas frutas, como pêssigo, maçã, banana e uva, ao serem submetidas ao branqueamento necessitam de muitos

cuidados por motivo de delicadeza de seus tecidos, que podem ser rompidos durante o processo. Assim, para esses produtos é interessante a busca por métodos alternativos para redução da atividade enzimática.

Mesmo sendo um dos métodos mais antigos para redução da atividade enzimática, o branqueamento por uso de água quente ainda tem sido motivo de pesquisas.

O efeito do uso de vapor superaquecido e do uso de microgotas de água quente também foi investigado por Sotome et al. (2009) para branquearem batatas. Os autores utilizaram uma mistura do vapor superaquecido e das microgotas de água quente nas condições de 115°C, 2,46 kg/h e água quente a 0,54 kg/h respectivamente. No aquecimento vapor superaquecido as condições utilizadas foram: a taxa de fluxo e a temperatura de 3,0 kg/h e 115°C, respectivamente, enquanto que a temperatura da água quente foi de aproximadamente 100°C. Os autores destacaram que o uso da água quente para o branqueamento foi o método que mais reduziu a qualidade do produto, principalmente no quesito cor e textura e eles acreditam que essas alterações ocorreram devido à absorção de água e à dissolução do conteúdo sólido na água. Entretanto, nos outros métodos essas alterações na qualidade não foram observadas.

Hadidi et al. (2018) utilizaram a metodologia de superfície de resposta para otimizar o branqueamento a vapor de alfafa, que tem sido um produto utilizado para a alimentação humana devido ao seu elevado teor de proteínas. As variáveis independentes utilizadas na metodologia de superfície de resposta pelos autores foram: tempo de vapor, tamanho da partícula, e intervalo de tempo entre a colheita e o branqueamento. As respostas analisadas foram: atividade residual da PPO e da POD, índice de escurecimento e a determinação do nitrogênio não proteico. Os autores relataram que as condições ótimas foram tempo de branqueamento de 4,36 minutos, tamanho de partícula de 23 mm, tempo de coleta até vapor de água de 2 horas.

O branqueamento tradicional foi estudado para diversos produtos alimentícios. Na Tabela 1 está sumarizado algumas referências que avaliaram o efeito do branqueamento a água e a vapor para diferentes vegetais.

Tabela 1-Referências bibliográficas sobre produtos branqueados com os métodos tradicionais.

Produto	Parâmetro de qualidade avaliado	Método	Fonte
Páprica e pimenta chili	Inativação das enzimas: polifenoloxidase, peroxidase e lipoxigenase	Água quente e vapor	SCHWEIGGERT; SCHIEBER; CARLE (2005)
Feijão verde, ervilha, couve de Bruxelas, alho-porro (fatias), brócolis, abobrinha (fatias), ramo de espinafre, espinafre com hashi, feijão verde amarelo, couve-flor, cogumelo, cenoura (fatias)	Ácido ascórbico, ácido fólico, β -caroteno, luteína	Avaliação do uso de métodos domésticos, como: Branqueamento com água, vapor, micro-ondas e cozimento a pressão	BUREAU et al. (2015)
Vagem	Propriedades físicas (encolhimento, perda de peso, textura e cor) e atividades enzimáticas (peroxidase, guaiacol peroxidase, l-ascorbato peroxidase e catalase) e o teor de ácido ascórbico.	Branqueamento por micro-ondas e com água quente	RUIZ-OJEDA; PEÑAS (2013)
Inhame e farinhas de inhame	Atividade da polifenoloxidase, peroxidase e atividades antioxidantes, propriedades físico-químicas do amido das farinhas de inhame	Água quente e métodos de secagem	CHEN et al. (2017).
Cenoura	Firmeza, conteúdo de ácido galacturônico e a atividade da pectina metilesterase e microestrutura	Branqueamento em água quente (95°C) por poucos minutos, em água com temperatura mais baixa (60°C) e maior tempo e a combinação de ambos os processos.	IMAIZUMI et al. (2017)

continua

Produto	Parâmetro de qualidade avaliado	Método	Fonte
Espinafre	Análise da clorofila	Branqueamento em água quente e micro-ondas	TENG et al. (1999)
Quiuí (Kiwi)	Análise das propriedades mecânicas e bioquímicas	Branqueamento a vapor	LLANO et al. (2003)
Fatias de mangas	Cor, atividade da polifenoloxidase e da peroxidase	Branqueamento por vapor supersaturado	NDIAYENG et al., (2009)
Alho descascado	Atividade da inulinase, polifenoloxidase e da peroxidase	Branqueamento por água quente e vapor	FANTE et al. (2012)
Brócolis	Atividade antioxidante	Branqueamento a vapor	ROY et al. (2009)

Fonte: Elaborado pela Autora, (2018).

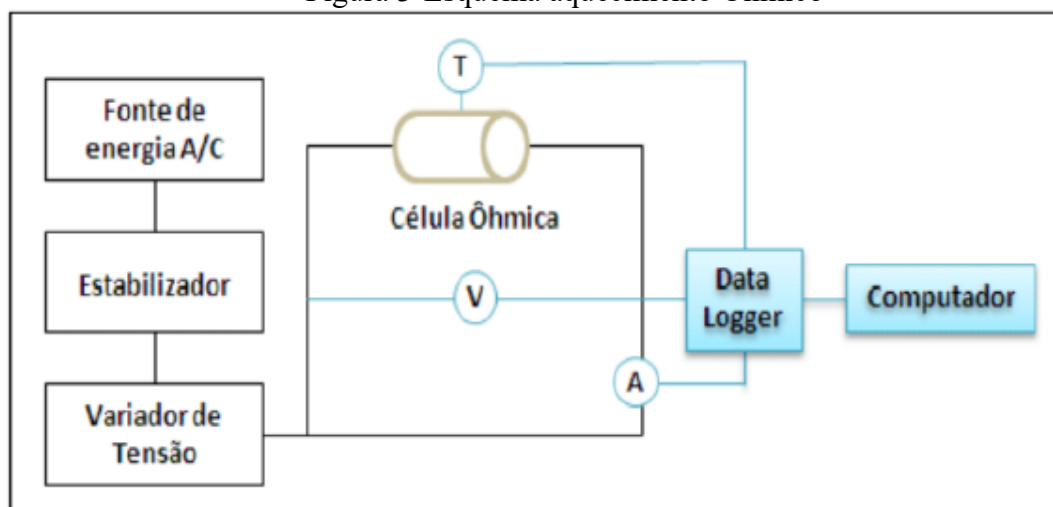
3.1.2 Aquecimento Ôhmico

A tecnologia de aquecimento ôhmico (AO) tem sido estudada desde 1800. Entretanto, o uso dessa tecnologia foi abandonado devido aos altos preços da eletricidade e aos efeitos de eletrólise. Na década de 1980, foi reintroduzida por seu efeito de esterilização contínua. (NASCIMENTO; REIS; REBELLO, 2014).

Também chamado de aquecimento por resistência ou eletroaquecimento, o AO é um processo que consiste na passagem de uma corrente elétrica alternada através de um alimento, que se comporta como uma resistência elétrica, com o calor gerado no seu interior sendo diretamente relacionado com a gradiente de tensão induzida e a condutividade elétrica do produto (FELLOWS, 2006).

Na Figura 3 é mostrado um esquema simplificado do AO, onde é possível observar que a tensão é aplicada aos elétrodos, que estão nas extremidades do produto a ser aquecido.

Figura 3-Esquema aquecimento Ôhmico



Fonte: Sarkis, 2011.

O processo pode ser utilizado para esterilização, similarmente ao processo de ultra-alta temperatura (UAT), também conhecido como *ultra-high temperature* (UHT). E, especialmente em alimentos que contém partículas grandes (até 2,5 cm), difíceis de esterilizar por outros métodos, o aquecimento ôhmico pode ser eficaz (FELLOWS, 2006). Entretanto, em alimentos sólidos, como carnes e derivados, este processo pode interferir nas propriedades estruturais e sensoriais do alimento, demonstrado que o método ainda precisa ser melhorado (NASCIMENTO; REIS; RABELO, 2014).

Guida et al. (2014) verificaram os efeitos do branqueamento utilizando uma solução de água e vinagre branco (2:1, mL/mL) e cloreto de sódio (0,2 g/100 mL), com (pH 2,95) e do aquecimento ôhmico, utilizando a solução com a mesma composição, e avaliaram os efeitos dos processos sobre os valores nutricionais, compostos bioativos e parâmetros de qualidade da alcachofra. Esses autores verificaram que o aquecimento ôhmico inativou as enzimas (POD e PPO) em tempos de processamento mais baixos do que o branqueamento tradicional, com tempo total de inativação de 360s e 480s, respectivamente. De acordo com os autores, a cor do produto foi bem preservada após o aquecimento ôhmico, enquanto, que no branqueamento tradicional notou-se uma significativa alteração de verde para marrom. Além disso, os autores também observaram que as perdas de proteínas totais, de polifenóis e de ácido clorogênico durante 30 e 90 dias foram menores nos produtos tratados por branqueamento ôhmico do que dos produtos tratados convencionalmente.

Gomes, Sarkis e Marczak (2018) também avaliaram o branqueamento ôhmico e tradicional de abóboras híbrida Tetsukabuto. Os autores utilizaram cubos de abóbora (9 × 9 × 6 mm), solução de NaCl de 0,0068 mol/L e uma voltagem de 180 V na frequência de 60 Hz

nos 40 s iniciais de experimentos e após esse período utilizou-se 163 V. Os autores avaliaram a cinética de inativação da POD e mudanças na cor do produto. Os autores destacaram que o aquecimento ôhmico acelerou o processo de inativação enzimática; para uma redução maior que 90% na atividade inicial da peroxidase, foram necessários 2 minutos de branqueamento ôhmico, enquanto o branqueamento convencional levou 4 minutos para atingir o mesmo grau de inativação e que não foram observadas diferenças na cor do produto em ambos os tratamentos.

As vantagens do AO em relação ao aquecimento convencional incluem uniformidade e maior rapidez, sendo este método considerado mais limpo e sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Isto está relacionado, principalmente, à sua capacidade para aquecer materiais rapidamente e uniformemente levando a um tratamento térmico menos agressivo (DARVISHI et al., 2013).

3.1.3 Micro-ondas

As micro-ondas compreendem ondas eletromagnéticas na faixa de comprimento de onda de 1 mm até 1m, as quais compreendem a faixa de frequência de 300 MHz até 300 GHz. Nesse processo, a energia é fornecida pelo campo eletromagnético diretamente ao material, resultando no aquecimento rápido do produto e com baixos gradientes térmicos (THOSTENSON, CHOU, 1999; XIAO et al., 2017).

Dependendo das propriedades dielétricas de um material, as micro-ondas podem ser refletidas, absorvidas ou transmitidas através de materiais sem qualquer absorção. Essa é uma das diferenças entre o aquecimento por micro-ondas e os sistemas de aquecimento convencionais, pois as micro-ondas penetram em um alimento, e o aquecimento se estende por todo o material alimentício, aumentando a taxa de aquecimento, enquanto que o aquecimento convencional de sólidos e/ou sistemas particulados ocorre principalmente por condução, em que o calor se difunde do exterior para o interior do material (DORANTES-ALVAREZ et al., 2017). É importante lembrar que as micro-ondas geram calor devido às suas interações com os materiais alimentares (SINGH; HELDMAN, 2009). Quando um alimento é submetido a um campo elétrico de micro-ondas, os dipolos das moléculas de água e de alguns componentes iônicos tendem a se orientar para o campo elétrico, mas, o campo elétrico é oscilante alterando-se rapidamente de positivo para negativo e vice-versa o que gera colisões entre os íons. Essas colisões resultam na conversão da energia cinética da colisão dos íons em energia térmica, aquecendo os produtos (FELLOWS, 2006). As características do

aquecimento por micro-ondas fazem com que esse processo apresente várias vantagens quando comparado aos processos de aquecimento tradicionais, destacando-se o aquecimento volumétrico, altas taxas de aquecimento e curtos tempos de processamento (XIAO et al., 2017).

Lidurdi, Benucci e Esti (2019) avaliaram diferentes condições de branqueamento por micro-ondas (potência das micro-ondas, tempo de processo e diferentes geometrias para batatas, couve-lombarda e repolho). Para tal, para avaliar o efeito do processo nos produtos os autores utilizaram a metodologia de superfície de resposta e destacaram que a inativação da peroxidase aconteceu do centro para a superfície e que nesta última a temperatura atingida pareceu não ser eficiente para inativação enzimática, tanto das geometrias em 3 direções (3D) quanto na placa. Para os vegetais no formato de placa, os autores relataram que nem o aumento da potência e nem o aumento do tempo de exposição do produto ao processo foram suficientes para alcançarem a adequada inativação da peroxidase. Para os produtos cortados em cilindros e paralelepípedos grandes a combinação potência tempo ideais foram de 160W por 120s, enquanto para amostras no formato de pequenos paralelepípedos a combinação foi de 350W por 45s e por fim para amostras no formato de cubos o binômio ideal foi de 160W para 75s.

Apesar de todas as vantagens do branqueamento de alimentos por micro-ondas, Dorantes-Alvarez et al. (2017) destacaram que em escala industrial o custo operacional do micro-ondas é uma limitação desse processo. Por isso diversos pesquisadores têm buscado a combinação das micro-ondas com outros processos como uso de vapor. A este respeito, algumas patentes são apresentadas no trabalho de Dorantes-Alvarez et al. (2017).

3.1.4 Branqueamento por impacto de ar quente e alta umidade (*high-humidity hot aire impunemente blanching* - HHAIB)

O branqueamento por impacto de ar quente de alta umidade (HHAIB) é um processo de branqueamento relativamente recente, no qual tem como principais vantagens a alta entalpia e o coeficiente de transferência de calor, evitando a perda de matéria solúvel em água e sem produção de água residual (XIAO et al., 2014). Esse processo consiste basicamente na colisão de uma corrente de ar quente em alta velocidade com elevada umidade com a superfície do produto, o que acarreta em uma elevada taxa de transferência de calor e eficiência energética, reduzindo consideravelmente as perdas de nutrientes (BAI et al., 2013;

XIAO et al., 2014). Xiao et al. (2014) apresentaram uma revisão completa sobre o tema, e um esquema do equipamento utilizado para o branqueamento HHAIB.

Apesar de recente, esse processo tem sido aplicado para diferentes materiais. Bai et al. (2013) branquearam uvas sem sementes por HHAIB seguido de um processo de secagem. Para o branqueamento os autores estudaram as temperaturas de 90, 100, 110 e 120 °C, pelos tempos de 30, 60, 90 e 120 s, e as temperaturas de secagem variaram de 55 a 70 °C. De acordo com os autores o processo de branqueamento reduziu o escurecimento enzimático e a ação da polifenoloxidase (PPO) e aumentou a taxa de secagem.

Wang et al. (2017) avaliaram o HHAIB em pimentas vermelhas (*Capsicum annuum* L.) usando diferentes tempos de exposição do produto ao processo, seguido posteriormente de um processo de secagem. Os autores avaliaram a inativação da polifenoloxidase, na cor da superfície, composição da pimenta, microestrutura e textura. Os autores perceberam que a atividade residual da polifenoloxidase é reduzida a partir de 120 s de exposição da pimenta vermelha ao HHAIB. Além disso, os autores relataram que os atributos de textura foram fortemente afetados com tempos maiores de exposição ao processo.

Deng et al. (2018) estudaram o branqueamento por HHAIB em damascos. Os autores utilizaram diferentes tempos de exposição do produto ao calor: 30, 60, 90 e 120s, e realizaram a posterior secagem. Neste trabalho, também foi relatado que o branqueamento por HHAIB reduziu o tempo de secagem e diminuiu a dureza do damasco em aproximadamente 20 a 72%, nos tempos de 30 e 120 s, respectivamente. Os autores ainda destacaram que o teor de pectina solúvel em água aumentou após o branqueamento, enquanto o conteúdo de pectina solúvel em quelato e pectina solúvel em carbonato de sódio diminuiu significativamente, o que provavelmente contribuiu para a alteração de textura observada.

3.1.5 Atmosfera modificada e uso de filmes biodegradáveis

Tendo em vista que para ocorrer a atividade enzimática é necessário que se tenha a enzima, o substrato e a presença de oxigênio, o uso de embalagens com atmosfera diferenciada tem por objetivo reduzir a concentração deste último componente. Entretanto, essa alternativa deve também ser utilizada com restrição, uma vez que a ausência total de oxigênio gera um ambiente de anaerobiose o que pode desencadear processos fermentativos indesejáveis em alguns produtos (FELLOWS, 2006).

Pineli et al. (2005) estudaram alterações químicas e físicas em batatas ‘Ágata’ minimamente processadas, embaladas sob atmosfera modificada em conjunto com

antioxidantes. As batatas ‘Ágata’ foram minimamente processadas como mini batatas e tratadas por imersão em soluções antioxidantes de ácido cítrico a 2%, ácido eritórbito a 3%, combinação de ácido cítrico a 2% e ácido eritórbito a 3%, e combinação de ácido cítrico a 3% e ácido eritórbito a 5%, e embaladas em filmes de nylon multicamadas. Os autores destacaram que o tratamento com aplicação de antioxidantes em associação com atmosfera modificada ativa foi significativo, pois eles observaram que o índice de escurecimento foi 24% menor comparado o da batata sem adição de antioxidantes e sem atmosfera controlada e as atividades enzimáticas da PPO e da POD foram 92% e 73% menores, respectivamente sem perdas nos atributos de qualidade da batata minimamente processada.

Luna et al. (2016) estudaram o uso de atmosfera modificada para evitar o escurecimento enzimático de alfaces romanas recém cortadas. Os autores relatam que utilizaram na composição gasosa baixas concentrações de oxigênio e moderadas concentrações de dióxido de carbono durante o armazenamento do produto. Os autores também explicam os mecanismos de controle presentes na atmosfera modificada devido às diferenças nos substratos fenólicos e enzimas oxidativas relacionadas ao escurecimento de alface. A atmosfera modificada diminuiu a atividade enzimática e preveniu o escurecimento da borda de corte. No sentido das embalagens com atmosfera modificada pode-se também citar o uso de coberturas, ou filmes comestíveis também conhecidos por filmes biodegradáveis como uma maneira de impedir a presença do oxigênio. Esses filmes geralmente são produzidos utilizando polissacarídeos, proteínas e lipídios (HASSAN et al., 2018).

Filmes comestíveis de soluções de proteínas do leite e carboximetilcelulose combinada com atmosfera modificada aplicada em fatias de maçãs reduziram o escurecimento enzimático (LE TIEN et al., 2001).

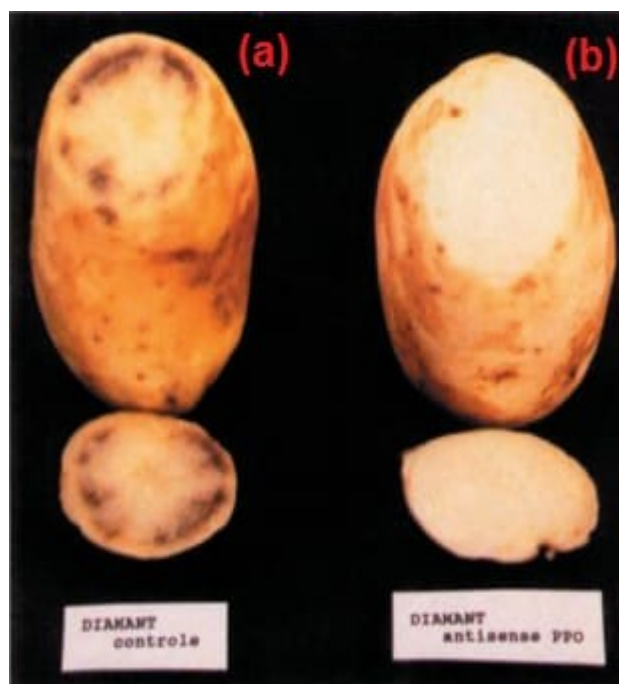
Além do uso de filmes e coberturas, os pesquisadores também têm utilizado a produção de filmes compostos que sejam anti-escurecimento enzimático. No trabalho de Zambrano-Zaragoza et al. (2014) foi avaliado o uso de nanosistemas com tocoferol em coberturas para maçãs, para evitar o escurecimento enzimático. Os autores destacaram que os revestimentos nanotecnológicos diminuíram o índice de escurecimento e preservam a firmeza em tempos das maçãs minimamente processadas por tempos mais longos do que as maçãs revestidas somente com filmes de goma xantana e controle.

3.1.6 Modificação genética

Os avanços das técnicas de biologia molecular, mais especificamente a evolução da manipulação genética, estão permitindo que se possa silenciar o gene que expressa a polifenoloxidase, e também de outras enzimas, de modo a evitar sua ação no escurecimento de frutas e vegetais. Maiores detalhes sobre essas técnicas de biologia molecular podem ser encontrados na literatura (VAUGHN; LAX, DULE, 1988; MARTINEZ, WHITAKER, 1995; JIANG et al., 2016). Murata et al. (2001), compararam amostras de maçãs não transgênicas com maçãs transgênicas com gene antisense de PPO e concluíram que as maçãs transgênicas com o gene antisense apresentaram menor intensidade no escurecimento enzimático quanto comparada as maçãs não transgênicas.

Bachem et al. (1994) avaliaram a inibição antisense do gene da polifenoloxidase (PPO) para eliminar a descoloração da batata após o corte dos tubérculos. Duas espécies de batata tetraplóide foram escolhidas para o desenvolvimento do estudo. Utilizando promotores apropriados para expressar os genes antisense da PPO, a formação de melanina pode ser inibida nas batatas de acordo com os autores. Na Figura 4 pode ser observada a diferença entre a batata geneticamente modificada para evitar o escurecimento enzimático e a batata controle.

Figura 4- Fotografia de batatas: (a) controle (sem nenhuma ação para evitar o escurecimento enzimático) e, (b) batata modificada geneticamente.



Fonte: Bachem et al. (1994)

3.1.7 Irradiação

A irradiação ou radiação ionizante consiste no emprego de ondas eletromagnéticas com energia suficiente para ionizar átomos e/ou moléculas com os quais interagem e consiste nas radiações alfa, beta, gama, raios X e ultravioleta (UV) (FELLOWS, 2006). A irradiação tem sido muito utilizada como um processo de esterilização a frio, pois muitos microrganismos são sensíveis a essa energia. Alguns autores também têm utilizado a irradiação como uma ferramenta para evitar escurecimento enzimático. A radiação age modificando o centro ativo das enzimas, reduzindo o íon metálico. Com a aplicação da radiação haverá maior entrada de oxigênio molecular no citoplasma dos vegetais e descompartimentação dos compostos fenólicos, causando efeito sinérgico na oxidação enzimática e não enzimática (BEAULIEU; D'APRANO; LACROIX, 2002).

Lescano (1994) estudaram os parâmetros físicos e químicos de cogumelos frescos (*Agaricus bisporus*) submetidos à irradiação gama. Os cogumelos foram colocados em embalagens de filme de PVC e irradiados com uma dose de 3 kGy e os outros foram tratados para o controle. As amostras tratadas e controle foram subsequentemente armazenados a 10 ± 2 °C e umidade relativa de $94 \pm 6\%$, durante 6 dias. Após o armazenamento, os cogumelos foram analisados de acordo com os parâmetros estudados e verificaram que os cogumelos irradiados apresentaram menor escurecimento comparado com os cogumelos do controle.

Fernandes et al. (2016) relatam também um estudo bem próximo ao do Lescano (1994), avaliando os efeitos da radiação gama e feixe de elétrons em parâmetros físico-químicos, tais como peso, cor, textura, pH e atividade enzimática para diferentes espécies de cogumelos. Os cogumelos receberam uma radiação de 1 a 3 kGy, em diferentes intervalos tempo sido comparados com os cogumelos da mesma espécie sem radiação. Os autores relataram que o tempo para que ocorresse o escurecimento enzimático que foi prolongado, a cor, peso, não sofreram alteração e, obteve-se uma extensão na vida útil dos cogumelos.

A radiação UV, que é dividida em três tipos de acordo com o comprimento de onda que estão: UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) e UV-C (100–280 nm) também tem sido utilizada com objetivo de inativar enzimas (TINELLO; LANTE, 2018). Alguns produtos que foram submetidos a esse processo foram: maçãs (MANZOCCO; QUARTA; DRI, 2009; MÜLLER et al., 2013), laranjas (SAMPEDRO; FAN, 2014).

3.2 Uso de agentes químicos

O uso de agentes químicos pode ser realizado submetendo os produtos a uma solução com a presença de agentes químicos ou por meio da incorporação desses agentes em filmes biodegradáveis. Muitos aditivos químicos podem ser utilizados, sendo que os principais mecanismos de ação estão relacionados com: a acidificação do meio (aditivos acidulantes), que baixam o valor do pH a valores inferiores ao ótimo de ação da PPO; agentes quelantes que complexam com o grupo prostético da enzima, tornando-a inativa; agentes redutores que indiretamente inibem a PPO por redução de quinonas a difenóis incolores; agentes complexantes cujo núcleo hidrofóbico forma complexos com várias moléculas, incluindo substratos fenólicos, impedindo assim a sua oxidação a quinonas e a consequente formação de pigmentos amarronzados. Tinello e Lante (2018) apresentaram em seu trabalho uma importante descrição sobre esses mecanismos de ação e sobre alguns agentes que podem ser utilizados para esse fim. Nesse trabalho se destacará o uso de dois agentes químicos: ácido cítrico e ascórbico.

3.2.1 Ácido cítrico e ácido ascórbico

O ácido cítrico é um composto encontrado naturalmente em frutas cítricas, tomates e diversas outras frutas e vegetais. O ácido cítrico apresenta como características que merecem destaque, ótima solubilidade em água, baixa toxidez, habilidade de complexação com metais e agradável sabor ácido (FILHO e VASCONCELOS, 2010).

O ácido ascórbico é reconhecido por sua ação redutora e contribuição nutricional (vitamina C). É um dos principais antioxidantes para o uso em frutas, hortaliças e seus sucos, visando prevenir o escurecimento e outras reações oxidativas (COSTA, 2010).

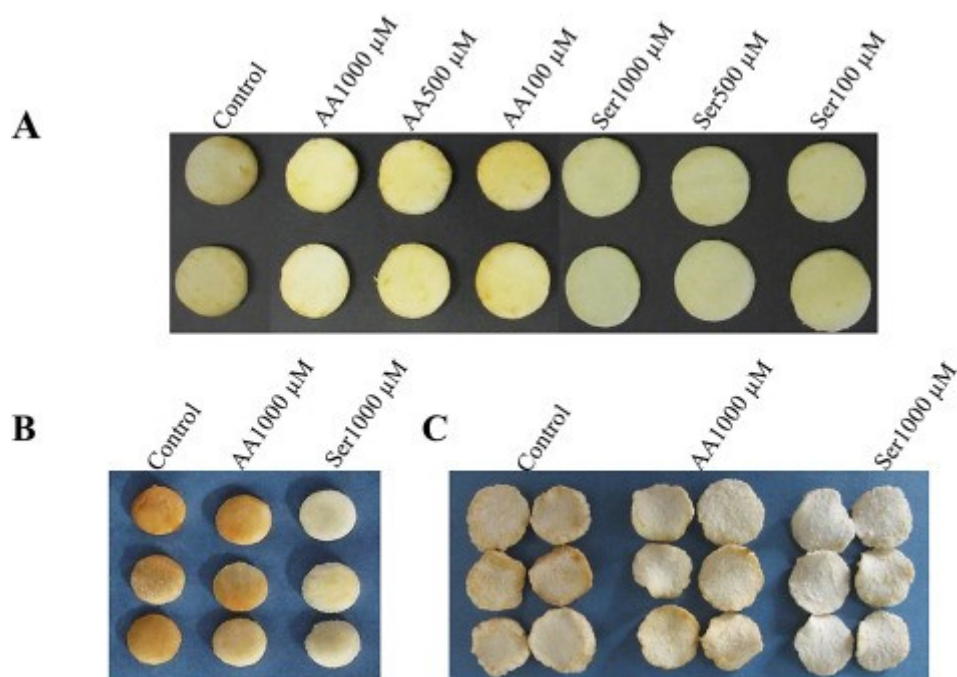
O ácido cítrico, em conjunto com o ácido ascórbico ou o sulfito de sódio, é muito utilizado como inibidor químico do escurecimento enzimático. O efeito inibitório é duplo, pois atuam como acidulantes e agentes quelantes. O pH ótimo de atividade da PPO está entre 6 e 7, e abaixo de 3 a atividade enzimática, se houver, acontecerá com baixíssimas velocidades. Assim, o pH do produto é reduzido quando são utilizados ácidos como cítrico e ascórbico. Além disso, esses ácidos também agem complexando-se com o cobre presente no grupo prostético da estrutura química do sítio ativo da enzima. O ácido ascórbico ainda pode interagir com as quinonas, de maneira a evitar a formação de compostos escuros na sequência da reação (FILHO; VASCONCELOS, 2010; COSTA, 2010).

Daiuto et al. (2011) avaliaram os parâmetros sensoriais, estabilidade microbiológica e atividade de peroxidase e polifenoloxidase do guacamole (produzido com abacates da variedade Hass) com adição de ácido ascórbico e conservação a frio. Os produtos foram acondicionados em embalagens de polietileno e *nylon* com e sem aplicação de vácuo e ambos submetidos em congelamento lento e rápido (-18°C) e armazenados em *freezer* (-18°C). Os autores concluíram que a adição de ácido ascórbico contribuiu para conservação do produto de abacate congelado, pois reduziu a atividade enzimática.

3.2.2 Uso de serotonina

A serotonina (5-hidroxitriptamina) é uma indolamina com funções fisiológicas importantes nas plantas, incluindo processos de desenvolvimento e respostas ao estresse, como regulador de crescimento, formação de pólen, germinação de sementes, etc. (CSABA and PÁL, 1982; MURCH et al., 2001; ROSHCHINA, 2001; KANG et al., 2009; PELAGIO-FLORES et al., 2011). Também há relatos na literatura que a presença de serotonina nos tecidos vegetais pode desempenhar um papel antioxidante e de inibição da atividade da tirosinase (TAKAHASHI; MIYAZAWA, 2011). Assim, Bajwa et al. (2015) avaliaram serotonina como um agente inibidor do escurecimento enzimático bioquimicamente e transcricionalmente em peras e maçãs. Os autores compararam no trabalho também o efeito da serotonina com o do ácido ascórbico, na mesma concentração. Os autores destacaram que o efeito da serotonina para evitar o escurecimento enzimático das frutas foi notório e pode ser observado inclusive visualmente, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5- Inibição do escurecimento de frutos de maçã e pera pela serotonina.



Fonte: Bajwa et al. (2015)

Figura 5. Inibição do escurecimento de frutos de maçã e pera pela serotonina. Discos de maçã (A) e pera (B) mergulhados em soluções contendo três concentrações diferentes (100, 500, 1000 μ M) de ácido ascórbico (AA) ou serotonina (Ser) por 30 min. Discos mergulhados em água foram usados como controle. Imagem dos discos de maçã tratados e controle após 24 h de exposição ao ar e conservados em geladeira (4 °C) por mais de seis meses (C).

4 CONCLUSÃO

Por meio dos trabalhos apresentados nesse estudo foi possível observar que muitos processos ou a combinação deles têm sido desenvolvidos não somente com o objetivo de inativar o escurecimento enzimático por si, mas, de também minimizar os efeitos de perdas de nutrientes e perdas sensoriais, muito comuns em métodos tradicionais como o branqueamento utilizado por água quente ou vapor. Mesmo esses métodos sendo antigos, foi possível perceber que são métodos ainda pesquisados, de modo que suas condições operacionais sejam otimizadas e as perdas decorrentes do calor sejam minimizados.

Além disso, observa-se a junção de diferentes áreas para minimizar o problema do escurecimento enzimático. É o caso da modificação genética, em que a biotecnologia tem sido um importante aliado na tecnologia e engenharia de alimentos, contribuindo com o conhecimento sobre a produção de alimentos mais resistentes ao escurecimento enzimático. Nesse sentido também se destaca o uso da serotonina como um agente que pode trazer benefícios à proteção dos tecidos vegetais, sendo um componente naturalmente presente em muitas plantas.

Por fim, acredita-se que esse estudo pode contribuir muito como referência a estudantes, produtores e indústrias que estão buscando mais conhecimento e aplicação de métodos para evitar o escurecimento enzimático de vegetais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Química de Alimentos**. Teoria e Prática. 6ª edição ufv, 2015.

BACHEM, C. W.; SPECKMANN G-J.; PIET, C. G.; LINDE, VAN DER.; PIET C. G.; HUNT, M. D.; ZABEAU H. **Antisense Expression of Polyphenol Oxidase Genes Inhibits Enzymatic Browning in Potato Tubers**. *Bio/Technology* v.12, p.1101–1105,1994. Disponível em :< <https://doi.org/10.1038/nbt1194-1101>>. Acesso em : 2 out.2018.

BAI, J. W.; SUN, D.W.; XIAO, H.W.; MUJUMDAR, A.S.Z.J. **Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes Innovative**. Food Science and Emerging Technologies, 20 (2013), pp. 230-237. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.011>>. Acesso em:21 set.2018.

BAJWA, V. S.; SHUKLA, M. R.; SHERIF, S. M.; MURCH, S. J.; SAXENA, P. K. **Identification and characterization of serotonin as an anti-browning compound of apple and pear**. Postharvest Biology and Technology, v. 110, p. 183-189, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.018>>. Acesso em: 24 out.2018.

BEAULIEU, M.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. **Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms Agaricus bisporus**. Radiation Physics and Chemistry, v. 63, n. 3-6, p. 311-315, Mar. 2002.

BUREAU, S.; MOUHOUBI, S.; TOULOMET, L.; GARCIA, C.; MOREAU, F.; BÉDOUET, V.; RENARD, C. M. G. C. **Are folates, carotenoids and vitamin c affected by cooking four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables**. LWT. Food Sci Technol, 64 (2), p. 735-741,2015. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.016> 0023-6438>. Acesso em:2 out.2018.

CHEN, X.; LU, J.; LI, X.; WANG, Y.; MIAO, J.; MAO, X.; ZHAO, C.; GAO, W. **Effect of blanching and drying temperatures on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of yam flours**. LWT. Food Science and Technology, 82, 1, p. 303-310, 2017. Disponível em :< <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.058>>. Acesso em: 23 out.2018.

CHITARRA, M.I.F. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

COSTA, A.C.; **Estudo da conservação do pêssego (*Prunus persica* L.) minimamente processado**. Tese (Doutorado), Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, p.77, Pelotas, 2010.

CSABA, G.; PAL, K. **Effects of insulin, triiodothyronine, and serotonin on plant seed development Protoplasma**, 110, p. 20-22, 1982.

DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L.; SIMON, J. W.; CARVALHO, L. R.; PEGORETTI, C. **Avaliações sensoriais, bioquímicas e microbiológicas do guacamole, um produto à base de abacate, sob armazenamento a frio e com adição de ácido ascórbico.** Ciência de Alimentos, v.32, n2, p.599,2011. Disponível em:<file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/3617-35617-1-PB%20(1).pdf>. Acesso em : 21 set.2018.

DARVISHI, H.; KHOSTAGHAZA, M.H.; NAJAFI, G. **Ohmic heating of pomegranate juice:** Electrical conductivity and pH change. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v.12, n.2, p.101-108, June, 2013.

DENG, L.-Z.; MUJUMDAR, A. S.; YANG, X.-H.; WANG, J.;ZHANG, Q.; ZHENG, Z.-A.; GAO, Z.-J.; XIAO, H.-W. **High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification.** Food Chemistry, 261, p. 292-300, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.062>>. Acesso em :21 set.2018.

DORANTES-ALVAREZ, L.; ORTIZ-MORENO, A.; GUZMÁN-GERÓNIMO, R. I.; PARADA-DORANTES, L. **Microwave Blanching.** Reference Module in Food Science, 2017. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21436-4>>. Acesso em : 29 out.2018.

FANTE, L.; NOREÑA, C. P. Z. **Enzyme inactivation kinetics and colour changes in garlic (*Allium sativum* L.) blanched under different conditions.** Journal of Food Engineering, 108, p. 436-443, 2012. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.024>>. Acesso em: 23 out.2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema-4º ed.** Editora Artmed, 2010.

FERNANDES, A.; AMILCAR L. ANTONIO.; M. BEATRIZ P.P. OLIVEIRA.; ANABELA MARTINS.; ISABEL C.F.R. FERREIRA. **Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review.** Food Chemistry, v.135, p.641-650, nov. 2006. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>>. Acesso em :10 nov.2018.

FILHO, A. B. de M; VASCONCELOS, M. A. da S. **Produção alimentícia: química de alimentos.** UFRPE, 2010.

GOMES, C. F.; SARKIS, J. R.; MARCZAK, L. D. F. **Ohmic blanching of Tetsukabuto pumpkin: Effects on peroxidase inactivation kinetics and color changes.** Journal of Food Engineering, 233, p. 74-80, 2018. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.001>>. Acesso em: 10 nov 2018.

GUIDA, V.; FERRARI, G.; PATARO, G. et al. **The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads.** LWT - Food Science and Technology, v.53, n.2, p.569-579, Oct., 2013.

HADIDI, M.; IBARZ, A.; CONDE, J.; PAGAN, J. **Optimisation of steam blanching on enzymatic activity, color and protein degradation of alfafa (*Medicago sativa*) to improve some quality characteristics of its edible protein.** Food Chemistry, vol. 276, p. 591-598, 2018.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. **Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: a review.** International Journal of Biological Macromolecules, 109, p. 1095-1107, 2018. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>>. Acesso em: 7 out.2018.

IMAIZUMI, T.; SZYMANSKA-CHARGOT, M.; PIECZYWEK, P. M.; CHYLINSKA, M.; KOZIOL, A.; GANCZARENKO, D.; TANAKA, F.; UCHINO, T.; ZDUNEK, A. **Evaluation of pectin nanostructure by atomic force microscopy in blanched carrot.** LWT, 84, p. 658-667, 2017.

JIANG, Y.; DUAN, X.; QU, H.; ZHENG, S. **Browning: enzymatic browning.** Encyclopedia of Food and Health, p. 508-514, 2016. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00090-8>>. Acesso em: 3 nov.2018.

KANG, K.; KIM, Y.S.; PARK, S.; BACK, K. **Senescence-induced serotonin biosynthesis and its role in delaying senescence in rice leaves.** Plant Physiol., 150, p. 1380-1393, 2009. Disponível em :<<https://doi.org/10.1104/pp.109.138552>>. Acesso em:7 nov.2018.

KOBLITZ, M. G.B. **Bioquímica de Alimentos: teoria de aplicações práticas.** Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2008.

LESCANO, G. **Extension of mushroom (*Agaricus bisporus*) shelf life by gamma irradiation.** Postharvest Biology and Technology, 4, p 255–260, 1994.

LE TIEN, C.; VACHON, C.; MATEESCU, M. A.; LACROIX, M. **Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes.** J. Food Sci., v. 66, n. 4, p. 512-516, 2001.

LIBURDI, K.; BENUCCI, I.; ESTI, V. **Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shapes of vegetables.** LWT, v. 99, p. 497-504, 2019. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.029>>. Acesso em :24 out.2018.

LLANO, K.M.; HAEDO, A. S.; GERSCHENSON, L. N.; ROJAS, A. M. **Mechanical and biochemical response of kiwifruit tissue to steam blanching.** Food Research International, 36, p. 767-775, 2003.

LUNA, M. C.; TUDELA, J. A.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; GIL, M. I. **Modified atmosphere (MA) prevents browning of fresh-cut romaine lettuce through multi-target effects related to phenolic metabolism.** Postharvest Biology and Technology, v. 119, p. 84-93, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.001>>. Acesso 02 nov.2018.

MANZOCCO, B. QUARTA A. DRI. **Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives.** Innovative Food Science & Emerging Technologies,

10, p. 506-511, 2009. Disponível em :< <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.02.004>>. Acesso em :2 nov.2018.

MARTINEZ, M. V.; WHITAKER, J. R. **The biochemistry and control of enzymatic browning.** *Trends Food Sci. Technol.*, v. 6, p. 195-200, 1995. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89054-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89054-8)>. Acesso em: 17 set. 2018.

MÜLLER, A.; BRIVIBA, K.; GRAF, V.; GREINER, R.; HERMANN, C; KUBALLA.T.; STHAL, M. R. **UV-C treatment using a Dean vortex technology – impact on apple juice enzymes and toxicological potential.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.010>> Acesso em 2 nov. 2018.

MURATA, M.; NISHIMURA, M.; MURAI, N.; HARUTA, M.; HOMMA, S.; ITOH, Y. **A transgenic apple callus showing reduced polyphenol oxidase activity and lower browning potential.** *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, v. 65, n. 2, p. 383-388, 2001.

MURCH, S.J.; CAMPBELL, S.S.B.; SAXENA, P. K. **The role of serotonin and melatonin in plant morphogenesis: regulation of auxin-induced root organogenesis in *in vitro*-cultured explants of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.)** *Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 37, p. 786-793, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11627-001-0130-y>>. Acesso em :24 out.2018.

NASCIMENTO, K. de O.; REIS, I. P.; REBELLO, F. de F. P. **Utilização do aquecimento ôhmico no processamento de alimentos.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 9.n.5, p.62-67, dez,2014.

NDIAYE, C.; XU, S.Y.; WANG, Z. **Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices** *Food Chemistry*, 113, p. 92-95, 2009.

OLIVEIRA, T. M., SOARES, N. F. F., PAULA, C. D., VIANA, G. A. **Uso da embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs.** *Ciências Agrárias*, Londrina, v.29, n.1, p.117-128, 2008.

PELAGIO-FLORES, R.; ORTÍZ-CASTRO, R.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L, LÓPEZ-BUCIO, J. **Serotonin, a tryptophan-derived signal conserved in plants and animals, regulates root system architecture probably acting as a natural auxin inhibitor in *Arabidopsis thaliana*** *Plant Cell. Physiol.*, 52, p. 490-508; 2011 Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/pcp/pcr006>>. Acesso em: 7 nov.2018.

PINELI, L.L.O.; MORETTI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A. **Associação de atmosfera modificada e antioxidante reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.4, p.993-999, out-dez 2005.

ROSHCHINA, V.V. **Neurotransmitters in plant life.** *Annals of Botany*, Science Publishers, Inc.p. 4-81, 2001. Disponível em :< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243638/>>. Acesso em: 20 nov.2018.

ROY, M. K.; JUNEJA, L. R.; ISOBE, S.; TSUSHIDA, T. **Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems.** Food Chemistry, 114, p. 263-269, 2009. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.foodchem.2008.09.050>>. Acesso em 23 out.2018.

RUIZ-OJEDA, L. M.; PEÑAS, F. J. **Comparison study of conventional hot-water and microwave blanching on quality of green beans.** Innovative Food Science & Emerging Technologies, 20, p. 191-197, 2013. Disponível em :< <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.09.009>>. Acesso em: 2 out.2018.

SANTOS, V. et al. **Escurecimento Enzimático em frutas.** In: VII CONNEPI-2012. 2012. Disponível em<<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1094/2837>>. Acesso em: 20 nov.2018.

SAMPEDRO.F.; X. FAN. **Inactivation kinetics and photoreactivation of vegetable oxidative enzymes after combined UV-C and thermal processing** Innovative Food Science & Emerging Technologies, 23, p. 107-113, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.02.007>>. Acesso em 2 nov.2018

SARKIS, J.R. **Construção de um sistema de aquecimento ôhmico e sua aplicação no tratamento térmico de polpa de mirtilo.** Dissertação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011,138p.

SCHWEIGGERT, U.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. **Inactivation of peroxidase, polyphenoloxidase, and lipoxygenase in paprika and chili powder after immediate thermal treatment of the plant material.** Innovative Food Sci Emerg Technol, 6(2005), pp. 403-411. Disponível em: <<http://doi:10.1016/j.ifset.2005.05.001>>. Acesso em: 2 out. 2018.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to Food Engineering**, Ed. Elsevier, 2009.

SOTOME, I.; TAKENAKA, M.; KOSEKI, S.; OGASAWARA, Y.; NADACHI, Y.; OKADOME, H.; ISOBE, S. **Blanching of potato with superheated steam and hot water spray.** LWT – Food Science and Technology, 42, p. 1035-1040, 2009.

TAKAHASHI, T.; MIYAZAWA, M.; **Potent α -Glucosidase Inhibitors from Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Seed.**Journal Recommendation service, v.26, p.722-726,2011. Disponível em :< <https://doi.org/10.1002/ptr.3622>>. Acesso em :23 nov.2018.

TENG, S.S.; CHEN, B.H.; **Formation of pyrochlorophylls and their derivatives in spinach leaves during heating.** Food Chemistry, 65, p. 367-373, 1999. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00237-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00237-4)>. Acesso em :23 out.2018.

THOSTENSON, E.T.; CHOU, T.-W. **Microwave processing: fundamentals and applications. Composites: Part A**, 30, p. 1055-1071, 1999.

TINELLO, F.; LANTE, A. **Recent advances in controlling polyphenol oxidase activity of fruit and vegetables products.** Innovative Food Science & Emerging Technologies, v. 50, p. 73-83, 2018. Disponível em :< <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.008>>. Acesso em :23 out.2018.

VAUGHN, K. C.; LAX, A. R.; DUKE, S. O. **Polyphenol oxidase: the chloroplast oxidase with no established function.** *Physiol. Plant.*, v. 72, p. 659-665, 1988. Disponível em :<<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1988.tb09180.x>>. Acesso em :26 out.2018.

WANG, J.; FANG, X.M.; MUJUMDAR, A. S.; QIAN, J. Y.; ZHANG, Q.; YANG, X. H.; LIU, Y.-H.; GAO, Z. J.; XIAO, H.-W. **Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum*, L.)** *Food Chemistry*, 220, p. 145-152, 2017.

XIAO, H. W.; BAI, J. W.; SUN, D.W.; GAO, Z. J. **The application of superheated steam impingement blanching (SSIB) in agricultural products processing** A review. *Journal of Food Engineering*, 132 (1), p. 39-47, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.032>>. Acesso em: 24 out.2018.

XIAO, H.-W.; ZHONGLI, P.; DENG, L.-Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X.-H. MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z.-H.; ZHANG, Q. **Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review.** *Information Processing in Agriculture* 4, p. 101–127, 2017.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, M.L.; MERCADO-SILVA, E.; GUTIÉRREZ-CORTEZ, E.; CORNEJO-VILLEGAS, M. A.; QUINTANAR-GUERRERO, D. **The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples.** *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 22 (2), p. 188-196, 2014.