



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**MÉTODOS DE INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO NA PRODUÇÃO
DE BANANAS PASSA: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

ALEXANDRE DE SOUZA LIRA

JOÃO PESSOA - PB

2022

ALEXANDRE DE SOUZA LIRA

**MÉTODOS DE INIBIÇÃO ENZIMÁTICA NA PRODUÇÃO DE BANANAS PASSA:
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido e apresentado no âmbito do Curso de Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientador: Dr. Ismael Ivan Rockenbach

JOÃO PESSOA – PB

2022

Ficha catalográfica

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

L768m Lira, Alexandre de Souza.

Métodos de inibição enzimática na produção de
bananas passa: análise de viabilidade econômica /
Alexandre de Souza Lira. - João Pessoa, 2022.
24 f. : il.

Orientação: Ismael Rockenbach.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Escurecimento enzimático; banana passa; métodos.
I. Rockenbach, Ismael. II. Título.

UFPB/CTDR

CDU 634.773:577.15 (338.43)

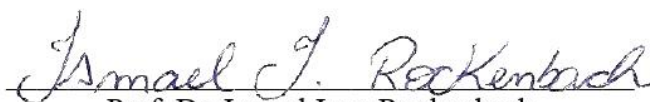
ALEXANDRE DE SOUZA LIRA

**MÉTODOS DE INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO NA PRODUÇÃO
DE BANANAS PASSA: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba, como parte
das exigências para a obtenção do título de
Tecnólogo de Alimentos.

João Pessoa, 10 de Junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ismael Ivan Rockenbach
Universidade Federal da Paraíba
Orientador



Prof^ª. Dr^ª. Carolina Lima Cavalcanti de Albuquerque
Universidade Federal da Paraíba
Membro interno



Prof^ª. Dr^ª. Kettelin Aparecida Arbos
Universidade Federal da Paraíba
Membro interno

A Família,
Vocês são meu começo, meio e fim.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Uma jornada a qual não se percorre só, agradeço ao meu maior alicerce, minha família.

Àquela que incansavelmente lutou por mim e sacrificou momentos de descanso em prol do meu desenvolvimento, minha mãe. Essa trajetória teria outro peso sem ela.

Ao meu pai por me dar todo o suporte e presença que sempre precisei, por sempre se preocupar comigo em minhas idas e vindas dos compromissos da vida.

Ao meu irmão pelo companheirismo, pelas conversas repletas de orientação e sabedoria, pelos conhecimentos passados e pelo amor e carinho de irmão. Nem todo super herói está de capa e em quadrinhos.

À minha namorada, que surgiu na reta final dessa primeira fase da minha vida acadêmica mas que me impulsionou como nunca em um momento tão difícil. Por me amar e me compreender, pelos momentos divididos e pelos sonhos que ainda temos por toda a vida, estaremos sempre juntos.

Aos meus amigos de toda a vida, Yuri, Thay, Rafa e Manu. Vivo sob a certeza de que vocês farão parte dos meus melhores e piores momentos, pertos ou distantes e independente do tempo, a amizade prevalecerá.

Ao meu orientador, Professor Dr Ismael Ivan Rockenbach, os poucos momentos que dividimos em sala de aula me mostraram o quão prestativo, didático e metódico o senhor é. Sua ética o conduz, sem sombra de dúvida, como um espelho para todos à sua volta. É um prazer encerrar esse ciclo sob sua orientação.

Por fim, a todo o corpo docente e demais colaboradores do CTDR. Vocês tornam esse ‘pedaço’ da universidade um verdadeiro espelho para a educação pública. Aos meus professores, obrigado por todo conhecimento direto e indireto passado. Hoje meu despertar de consciência e conhecimentos técnicos são majoritariamente graças a vocês, reservo uma gratidão enorme e eterna por isso.

RESUMO

A inibição do escurecimento enzimático é de amplo interesse comercial devido a sua característica de conservação. Todavia, a inclusão de uma etapa de processo em uma cadeia produtiva cujo objetivo seja conservar o produto quanto a esse fenômeno, pode incrementar demasiadamente os custos da produção, inviabilizando o processo. Neste cenário, por meio de uma pesquisa bibliográfica, foram analisados os métodos mais citados na literatura para a inibição do escurecimento enzimático em frutas. A partir destes resultados, realizou-se um levantamento de preços a fim de analisar custos e disponibilidade de insumos e, a partir destes dados, foram propostos diferentes métodos para a inibição do escurecimento enzimático em bananas passa, tendo como parâmetro o custo-benefício de cada método.

Como possível melhor método, a combinação de branqueamento e desidratação osmótica apresentou resultado satisfatório quanto a aceitação de consumo após 120 dias e pelo custo superior em três vezes menos relacionado aos demais métodos.

Palavras-chave: Escurecimento enzimático; banana passa; métodos de inibição do escurecimento enzimático; custo-benefício na produção de banana passa.

ABSTRACT

The inhibition of enzymatic browning is of wide commercial interest due to its characteristic of conservation. However, the inclusion of a process step in a productive chain whose objective is to preserve the product against this phenomenon may increase the production costs too much, making the process unfeasible. In this scenario, by means of a bibliographic research, the most cited methods in literature for the inhibition of enzymatic browning in fruits were analyzed. From these results, a survey of prices was carried out in order to analyze costs and availability of inputs and, from these data, different methods were proposed for the inhibition of enzymatic browning in raisin bananas, having as a parameter the cost-benefit of each method, concluding that the combination of bleaching and osmotic dehydration was possibly the best method because of the satisfactory result of acceptance in up to 120 days and for more than three times less than the other methods.

Keywords: Enzymatic browning; Raisin bananas; Enzymatic browning inhibition methods; Cost-effectiveness in Raisin banana production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mecanismo geral de reação da polifenoloxidase	12
Figura 2 - Curva de secagem das fatias de banana-passa em diferentes temperaturas de secagem	16
Figura 3 - Compostos de inibição do escurecimento enzimático e suas respectivas citações	17
Figura 4 - Acompanhamento da coloração durante o tempo de armazenagem (AA + CC + CIS)	18
Figura 5 - Acompanhamento da coloração durante o tempo de armazenagem (CC + CIS)	18
Figura 6 - Variação da cor (Valor L*) em função do tempo de armazenamento	19
Figura 7 - Tabela de insumos e preços	20
Figura 8 - Tabela de insumos e preços: AA 1% + CC 1% + CIS 1,5%	20
Figura 9 - Tabela de insumos e preços: CC 1% + CIS 1,5%	21
Figura 10 - Tabela de insumos e preços: Branqueamento + Desidratação Osmótica 65°Brix	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1 MECANISMOS DE AÇÃO ENZIMÁTICA	12
3.2 MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA EM FRUTAS	13
3.2.1 Ácido ascórbico	13
3.2.2 Cisteína	13
3.2.3 Cloreto de cálcio	14
3.2.4 Desidratação osmótica	14
3.2.5 Branqueamento	14
3.3 CRITÉRIOS E ETAPAS DE PROCESSAMENTO PARA PRODUÇÃO DE BANANA PASSA	15
3.3.1 Matéria prima	15
3.3.2 Higiene e sanitização	15
3.3.3 Corte	16
3.3.4 Desidratação por secagem convectiva	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA	17
4.1.1 Ácido Ascórbico 1% + Cloreto de Cálcio 1% + Cisteína 1,5%	18
4.1.2 Cloreto de Cálcio 1% + Cisteína 1,5%	18
4.1.3 Branqueamento + Desidratação Osmótica (65°Brix)	19
4.2 ANÁLISE DE CUSTOS DOS MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA	19
4.2.1 Análise de custos para a combinação AA 1% + CC 1% + CIS 1,5%	20
4.2.2 Análise de custos para a combinação CC 1% + CIS 1,5%	21
4.2.3 Análise de custos para a combinação Branqueamento + Desidratação Osmótica 65°Brix	21
5 CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS	23

INTRODUÇÃO

Este trabalho de pesquisa bibliográfica investigou e discutiu quais os métodos de inibição enzimática descritos na literatura possuem melhor razão custo-benefício na produção de bananas passa.

A qualidade da banana está muito ligada à perpetuação de sua cor natural. Ao longo da cadeia produtiva, em etapas como colheita, pós-colheita, processamento e armazenamento, de forma quase inevitável, lesões e rupturas no tecido e estrutura do fruto induzem a iniciação do fenômeno bioquímico de escurecimento enzimático, provocando alterações na cor, odor, textura e perdas nutricionais (ZAGORY, 1999; MASIH et al., 2002).

O escurecimento enzimático não acomete uma banana intacta. Inicialmente, os demais compostos fenólicos estão nos vacúolos celulares, sem contato com as polifenoloxidasas. Contudo, após lesões mecânicas como quedas, pancadas ou até mesmo o corte durante o processamento, a ruptura gerada no tecido provoca a reação de catalisação das polifenoloxidasas à oxidação dos compostos fenólicos, provocando a formação de pigmentos escuros (OLIVEIRA, 2008).

Inibir o escurecimento enzimático de frutos e hortaliças é um artifício de interesse de toda a indústria alimentícia, sendo que, conforme menciona Araújo (1999), a viabilidade econômica e a possibilidade de deixar amargor e toxicidade nos alimentos descartam o uso de diversos métodos. Todavia, como se poderia retardar um fenômeno bioquímico inerente à produção de toda e qualquer banana passa sem que se elevasse o custo de produção a ponto de inviabilizar a comercialização? Possivelmente, a pré-desidratação utilizando os métodos de branqueamento e(ou) desidratação osmótica poderia retardar de forma significativa a ação das enzimas sem que se incremente de forma elevada os custos de produção, por se tratarem de métodos de baixo custo se comparado a outros métodos como a aplicação de ácido ascórbico, cisteína e cloreto de cálcio.

Para capitular o trabalho, abordou-se o escurecimento enzimático em frutas, os principais métodos científicos (técnicos) para retardo da ação das enzimas e a aplicação desses métodos na produção de bananas passas.

O que se espera indicar é que podemos reduzir a ação enzimática e consequentemente seus efeitos de forma satisfatória. Isto é, obtermos uma redução do escurecimento enzimático de forma suficiente a justificar o aumento no custo de produção.

2 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados *Web Of Science*, Periódicos Capes e *Google Scholar*, utilizando os termos "escurecimento enzimático em frutas", "produção de banana passa" e "substâncias inibidoras do escurecimento enzimático". Foram selecionados estudos científicos que utilizaram os principais métodos de retardo do escurecimento enzimático em frutas para compreender os mecanismos de atuação dos métodos. A partir desta análise, foi elaborada a revisão de literatura.

Em seguida, a partir dos experimentos relatados na bibliografia, foram propostas diferentes combinações de substâncias inibidoras do escurecimento enzimático como forma de avaliar os custos de preços via *internet* para a sua possível aplicação.

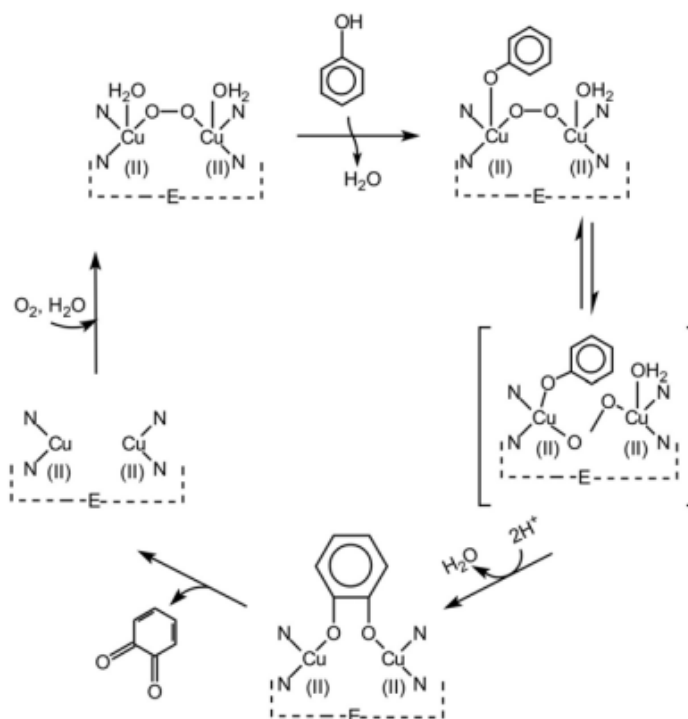
As operações unitárias comumente utilizadas para a produção de bananas passa foram apresentadas, descritas e acrescidas dos métodos escolhidos para inibição do escurecimento enzimático. Por meio das informações obtidas, uma análise foi realizada para ponderar, conforme custo-benefício inerente aos métodos, qual atingirá os objetivos propostos para este trabalho.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MECANISMOS DE AÇÃO ENZIMÁTICA

Na produção de bananas passa, as etapas referentes ao descascamento, remoção de mesocarpo e corte são fundamentais para caracterizar o produto, mas intrinsecamente a elas coexiste o aumento da atividade de enzimas presentes no metabolismo vegetal, como as peroxidases e polifenoloxidasas (PPO) (CHITARRA, 2002). O aumento dessa atividade, conforme afirmação de Silva et al. (2009) e representado na figura 1, desencadeará três reações catalisadas pela PPO: quando presente o oxigênio, teremos a hidroxilação de monofenóis em o-difenóis, a oxidação de o-difenóis em o-quinonas e, por fim, a oxidação de p-difenóis em p-quinonas. As catalisações diversas serão responsáveis pela oxidação de compostos fenólicos, ocasionando a produção de pigmentos escuros onde houver cortes e danos superficiais do fruto (OLIVEIRA, 2008). Por consequência, o escurecimento enzimático de forma geral ocasionará alterações não desejáveis ao consumidor quanto a cor, sabor e aroma (VALDERRAMA; MARANGONI; CLEMENTE, 2001).

FIGURA 1 - MECANISMO GERAL DE REAÇÃO DA POLIFENOLOXIDASE



Fonte: Belitz e Grosch (1997).

3.2 MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA EM FRUTAS

Quando falamos de aplicação de inibidores de escurecimento enzimático em alimentos, devemos nos lembrar que há restrição devido à toxicidade apresentada por esses compostos e também pelos efeitos negativos na textura, sabor, aroma e custos. As classificações dos inibidores químicos mais comuns são: Inibidores enzimáticos, quelantes, acidulantes e antioxidantes (MARSHAL; KIM; WEI, 2000). Contudo, a inibição por meio do tratamento térmico também é muito útil, como o branqueamento (ORSO et al., 2011).

3.2.1 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico, popularmente conhecido como vitamina C, potencializa o valor nutricional dos alimentos. Os sais neutros que compõem o composto o tornam um dos principais grupos de antioxidantes aplicados em produtos vegetais para prevenção do escurecimento enzimático e outras reações oxidativas. Os meios para isso são: (1) ação direta na enzima por meio da complexação do cobre do grupo prostético da PPO, proporcionando a sua inibição; ou (2) redução das quinonas à sua forma anterior de fenóis, o que impede a formação de pigmentos escuros (SAPERS; MILLER; 1998). As vantagens apresentadas pelo emprego de ácido ascórbico no processo se dá pela segurança ao consumo humano, custo relativamente acessível, bem aceito, e que aumenta o teor de vitamina C (PRÉSTAMO; MANZANO, 1993).

3.2.2 Cisteína

O aminoácido cisteína possui um grupo tiol com ação redutora da oxidação dos compostos fenólicos em sua composição. O poder de inibição do escurecimento irá variar em razão da concentração de cisteína (RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992). Assim como o ácido ascórbico, a cisteína possui mecanismos de atuação, no caso três: (1) inibição direta da polifenoloxidase (DUDLEY; HOTCHKISS; 1989), (2) reação com o-quinonas originando compostos incolores cis-quinona e (3) reduzindo as o-quinonas aos compostos fenólicos precursores (RICHARD-FORGET et al., 1991). A aplicação da cisteína possui restrições devido ao risco de apresentar pigmentos róseos, violetas ou amarelos (RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992). Isso se dá devido ao excesso de quinonas,

onde toda cisteína é consumida e as primeiras reagem com compostos de adição cisteína-quinona gerando os pigmentos indesejados. Sua combinação com extratos naturais de mel, cloreto de cálcio e ácido ascórbico pode potencializar sua efetividade (VILLEGAS-OCHOA et al., 2005) (MELO; VILAS BOAS, 2006).

3.2.3 Cloreto de cálcio

A ação do cloreto de cálcio se dá na parede celular (lamela média) que, ao sofrer ruptura durante o processo, libera o cálcio celular que é responsável por estabilizar a parede, influenciando na firmeza e maturação dos frutos por ligarem-se às cadeias de pectina, formando pontes, aumentando sua força e formando pectato de cálcio, que garante maior estabilidade a parede celular (HANSON et al., 1993) (POOVAIAH, 1986; RENSBURG; ENGELBRECHT, 1986).

3.2.4 Desidratação osmótica

A desidratação osmótica, principalmente como pré-desidratação para a secagem, vem demonstrando ser uma etapa adicional eficiente para melhoria da qualidade final do produto, graças a capacidade de conservação dos compostos fenólicos contra a oxidação das enzimas oxidativas, diminuindo portanto a perda de nutrientes voláteis e sensíveis a altas temperaturas, além de conservar a textura original do produto (MASTRANTONIO et al., 2006).

Os fatores que definem os parâmetros a serem usados na desidratação osmótica são: (1) propriedades do tecido (SAUREL et al., 1994; RAOULT-WACK, 1994; KOWALSKA; LENART, 2001), (2) grau de maturação (CHIRALT; FITO, 2003), (3) temperatura que envolve o processo (HENG et al., 1990; MARTINS et al., 2008), (4) o soluto que será utilizado (HENG et al., 2008), (5) concentração do xarope (HENG et al., 1990; PARK et al., 2002; FERNANDES et al., 2006; MARTINS et al., 2008), (6) dimensões de corte (LERICI et al., 1985), além de agitação da solução (AZUARA et al., 1996) e, em casos mais raros, aplicação de vácuo (SHI et al., 1995).

3.2.5 Branqueamento

O tratamento térmico denominado branqueamento acontece por um curto prazo de exposição ao calor, sendo um pré-tratamento para inativação de enzimas em frutas e

hortaliças. Pode ser feito por meio de água quente ou vapor, sendo o tempo e o grau de temperatura parametrizados conforme o tipo de matéria-prima (EVANGELISTA, 2008).

3.3 CRITÉRIOS E ETAPAS DE PROCESSAMENTO PARA PRODUÇÃO DE BANANA PASSA

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2004), “A banana passa é o produto obtido por processo de secagem natural em secador solar ou artificial em secadores à lenha, a gás ou elétricos, da banana madura inteira, em metades ou em rodela”. Para garantir a identidade da banana passa, uma série de critérios e etapas de processo devem ser seguidas de forma padronizada.

3.3.1 Matéria-prima

Uma banana pesa entre 100-200g a depender da variedade, podendo conter de 60-65% de polpa comestível, cuja porcentagem de 22% são de carboidratos facilmente assimiláveis. Sua maturação se dá pela conversão do alto teor de amido - cerca de 20% - em açúcares através das amilases com predominância redutora – glicose e frutose – encontrados em valores entre 8-10% de sua polpa, 10-12% da sacarose, além de outros açúcares (MEDINA et al., 1978).

As transformações de composição química, textura e aparência da banana dependem da atividade de diversas enzimas presentes. As enzimas reagem por meio de estímulos e inibições conforme as condições físicas às quais a fruta é submetida (MEDINA et al., 1978). Conforme investigado por Adão e Glória (2005), as mudanças de características pós-colheita consideradas ideais pelos consumidores ocorrem em vinte e um dias. Nos primeiros sete dias, a predominância era de sacarose e, após quatorze dias, a predominância tornou-se de frutose e glicose com aumentos até os vinte e um dias sem alterações visuais desde então. Sendo assim, a escolha da matéria-prima deve se dar pelo tempo de estocagem e características visuais (WARD; NUSSINOVITCH, 1996).

3.3.2 Higiene e sanitização

Higienizar e sanitizar as bananas antes de dar início à produção propriamente dita é de suma importância para garantir a qualidade microbiológica do produto. Para isso, seguiremos

conforme Resolução RDC 216/2004 da Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Todo o galpão, bem como equipamentos e utensílios devem ser higienizados dispondo-se dos agentes químicos cabíveis para remoção de sujidades e sanitização do ambiente produtivo. Por fim, os cachos devem ser sanitizados em tanque de 70 L com hipoclorito de sódio comercial (10% de cloro livre) por 20 minutos, seguindo para um segundo tanque com água potável para remoção dos agentes químicos utilizados.

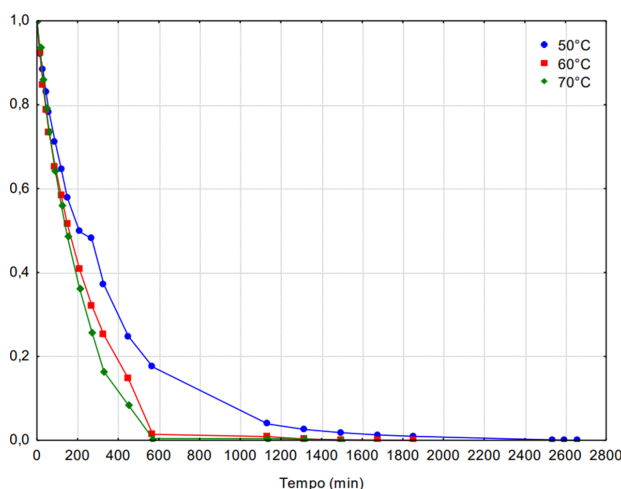
3.3.3 Corte

A forma de corte, conforme definição da EMBRAPA, pode ser em metades, rodela ou mantendo a banana inteira, ficando a critério do produtor a escolha.

3.3.4 Desidratação por secagem convectiva

A escolha da temperatura e tempo influencia diretamente nos parâmetros de cor, aparência, odor e sabor. Os parâmetros de melhor aceitabilidade e resultados da banana passa a serem utilizados são de 60 °C por 28 horas, tendo sido observados por Pessoa (2011) no processo combinatório de desidratação osmótica e secagem convectiva de goiabas, assim como Tan et al. (2001) na obtenção de pedaços de abacaxi osmodesidratados, e Krokida et al. (2000) na análise de cor em maçãs e bananas que foram submetidas ao mesmo processo combinatório.

FIGURA 2 - CURVA DE SECAGEM DAS FATIAS DE BANANA-PASSA EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM.



Fonte: (GALDINO et al., 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA

A análise do efeito do uso combinado das substâncias inibidoras listadas na seção 3.2 mostra grande semelhança entre os resultados obtidos nas combinações Ácido Ascórbico 1%, Cloreto de Cálcio 1%, Cisteína 1,5% e Cloreto de Cálcio 1% e Cisteína 1,5%, testadas no estudo de Ferrari (2014). A combinação de branqueamento e desidratação osmótica a 65°Brix, testada no estudo de Machado (2003), obteve resultados satisfatórios de aceitação sensorial após 120 dias.

A utilização dos aditivos para inibição de escurecimento enzimático é realizada quase sempre com aplicação conjunta. Portanto, a mérito de confiabilidade, as soluções preparadas foram escolhidas conforme volume de aplicações e resultados obtidos pelos estudos.

FIGURA 3 - COMPOSTOS DE INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO E SUAS RESPECTIVAS CITAÇÕES

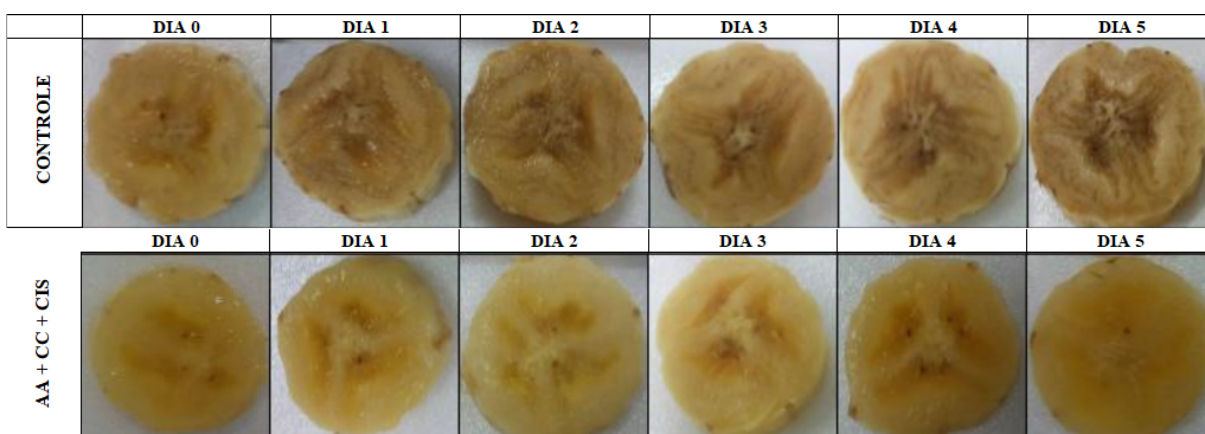
Método	Citações
Ácido Ascórbico	(SOUZA; LEÃO, 2012), (MARCOS, 2009), (JESUS et al. 2005), (MATSUURA et al. 2008), (FERRARI, 2014)
Desidratação Osmótica	(JESUS et al. 2005), (GALDINO et al. 2016), (SOUSA; ARRAES; FILHO, 2003), (CELESTINO, 2010)
Ácido Cítrico	(SOUZA; LEÃO, 2012), (JESUS et al. 2005), (MATSUURA et al. 2008)
Branqueamento	(ALMEIDA; MARQUES; FIORDA, 2017), (SOUSA; ARRAES; FILHO, 2003)
Cisteína	(FERRARI, 2014), (OLIVEIRA et al. 2008)
Cloreto de Cálcio	(MARCOS, 2009), (FERRARI, 2014)
Sulfitação	(OLIVEIRA et al. 2008), (CELESTINO, 2010)
EDTA	(MATSUURA et al. 2008)

Fonte: Elaboração própria

4.1.1 Ácido Ascórbico 1% + Cloreto de Cálcio 1% + Cisteína 1,5%

A combinação AA + CC + CIS foi relatada por Ferrari (2014) como de excelente eficácia na inibição do escurecimento enzimático de bananas em um acompanhamento relatado pelo período de 6 dias.

FIGURA 4 - ACOMPANHAMENTO DA COLORAÇÃO DURANTE O TEMPO DE ARMAZENAMENTO (AA + CC + CIS).



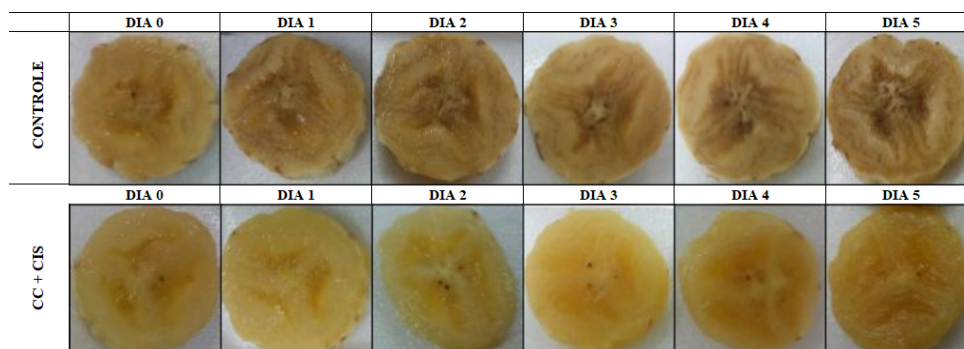
AA = Ácido Ascórbico; CC = Cloreto de Cálcio; CIS = L-Cisteína.

Fonte: (FERRARI, 2014)

4.1.2 Cloreto de Cálcio 1% + Cisteína 1,5%

Apesar do ácido ascórbico 1% não estar presente nessa combinação, resultados semelhantes foram observados por Ferrari (2014) durante o tempo de armazenamento.

FIGURA 5 - ACOMPANHAMENTO DA COLORAÇÃO DURANTE O TEMPO DE ARMAZENAMENTO (CC + CIS).

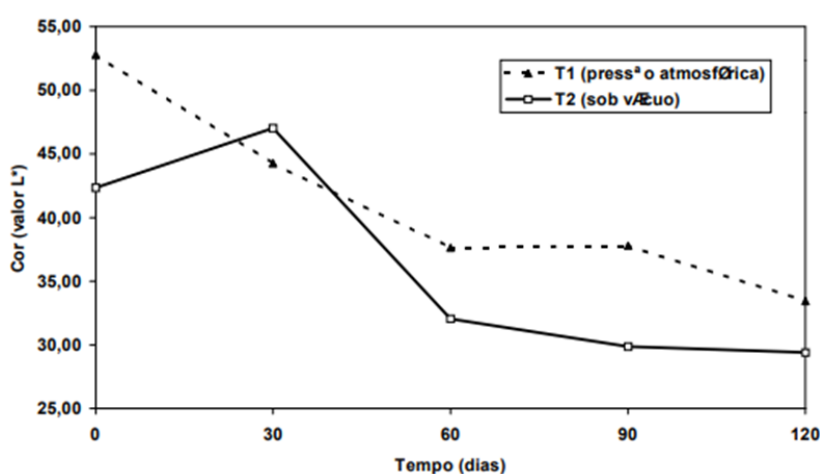


CC = Cloreto de Cálcio; CIS = L-Cisteína. Fonte: (FERRARI, 2014)

4.1.3 Branqueamento + Desidratação Osmótica (65°Brix)

Machado (2003) em estudo avaliativo sobre avaliação de produtos obtidos pela desidratação osmótica de banana seguida de secagem aplicaram em duas amostras (T1 e T2) o branqueamento com vapor saturado a 100°C por 2 minutos, seguido de desidratação osmótica a 65 °Brix com proporção fruto: xarope 1:2 sob pressão atmosférica (T1) e sob vácuo de 660 mmHg (T2), ambas por 3 horas. Para acompanhamento do escurecimento enzimático, foi utilizado um colorímetro Minolta, expressando o valor com L* (luminosidade), que analisa e quantifica a luz refletida pelo objeto (banana). Após um período de 120 dias, ambas amostras apresentaram boa aceitação e pouca diferença, porém sendo recomendado a utilização do método aplicado a T2, com desidratação osmótica sob vácuo, pela redução do tempo necessário de imersão dos frutos no xarope e menor tempo de secagem, além de melhor aceitação dos produtos.

FIGURA 6 - VARIAÇÃO DA COR (VALOR L*) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO



Fonte: Machado et al. (2003)

4.2 ANÁLISE DE CUSTOS DOS MÉTODOS DE INIBIÇÃO DA AÇÃO ENZIMÁTICA

Para análise dos custos de preparo dos tratamentos pontuados no item 3.1, foi padronizada a proporção de 1 L de solução - solvente água - para 1,5 kg de banana descascada e sem mesocarpo, conforme feito por Jesus (2014). Posteriormente, a pesquisa de mercado para obtenção do preço dos insumos foi feita via internet buscando encontrar, ao menos, três fornecedores nacionais diferentes para cada insumo, não sendo possível apenas para a L-Cisteína, devido a majoritária disponibilidade do composto como suplemento alimentar -

em pequenas quantidades - e com grau PA (Padrão Analítico) para análises, tendo um custo elevado.

FIGURA 7 - TABELA DE INSUMOS E PREÇOS

Insumo	Fornecedor	Preço p/ kg
Ácido Ascórbico	A	R\$ 78,00
Ácido Ascórbico	B	R\$ 78,99
Ácido Ascórbico	C	R\$ 105,87
Preço médio		R\$ 87,62
Cloreto de Cálcio	A	R\$ 13,60
Cloreto de Cálcio	B	R\$ 17,96
Cloreto de Cálcio	C	R\$ 17,99
Preço médio		R\$ 24,78
L-Cisteína	A	R\$ 887,00
Preço médio		R\$ 887,00
Sacarose	A	R\$ 5,00
Sacarose	B	R\$ 3,59
Sacarose	C	R\$ 3,89
Preço médio		R\$ 4,16

Fonte: Elaboração própria

4.2.1 Análise de custos para a combinação AA 1% + CC 1% + CIS 1,5%

Para preparar a primeira combinação de compostos químicos inibidores do escurecimento enzimático, mencionada no item 4.1.1, contendo 1% de ácido ascórbico, 1% de cloreto de cálcio e 1,5% de cisteína, foram utilizadas as quantidades de 10, 10 e 15 gramas destas referidas substâncias, respectivamente, totalizando R\$ 9,89 de custo.

FIGURA 8 - TABELA DE INSUMOS E PREÇOS: AA 1% + CC 1% + CIS 1,5%

AA 1% + CC 1% + CIS 1,5%				
Insumo	Concentração	Quantidade (em	Solvente (água)	Custo
Ácido Ascórbico	1%	10g	1000g	R\$ 0,87
Cloreto de Cálcio	1%	10g	1000g	R\$ 0,15
L-Cisteína	1,50%	15g	1000g	R\$ 8,87
Custo total				R\$ 9,89

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Análise de custos para a combinação CC 1% + CIS 1,5%

Considerando a segunda combinação de substâncias inibidoras na preparação da solução mencionada no item 4.1.2, a qual contém 1% de cloreto de cálcio e 1,5% de cisteína, foram utilizadas as quantidades de 10 e 15 gramas, respectivamente, totalizando R\$ 9,02 de custo.

FIGURA 9 - TABELA DE INSUMOS E PREÇOS: CC 1% + CIS 1,5%

CIS 1,5% + CC 1%				
Insumo	Concentração	Quantidade (em)	Solvente (água)	Custo
Cloreto de Cálcio	1%	10g	1000g	R\$ 0,15
L-Cisteína	1,50%	15g	1000g	R\$ 8,87
Custo total				R\$ 9,02

Fonte: Elaboração própria

4.2.3 Análise de custos para a combinação Branqueamento + Desidratação Osmótica 65°Brix

No preparado da terceira combinação mencionada no item 4.1.3, que é composta pelo branqueamento com vapor saturado de 100°C por 2 minutos, seguido de desidratação osmótica a 65 °Brix com proporção fruto: xarope 1:2 a 65°C por 5 horas, o custo total obtido foi de R\$ 2,70.

FIGURA 10 - TABELA DE INSUMOS E PREÇOS: Branqueamento + Desidratação Osmótica 65°Brix

Branqueamento + Desidratação Osmótica 65°Brix				
Insumo	Concentração	Quantidade (em)	Solvente (água)	Custo
Sacarose (açúcar refinado)	65°Brix	650g	1000g	R\$ 2,70
Custo total				R\$ 2,70

Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÃO

A construção da fundamentação teórica, em conjunto com as análises das combinações de substâncias inibidoras do escurecimento enzimático e dos custos relacionados, contemplaram a conjuntura de informações necessárias para definir e compreender o escurecimento enzimático, os diversos métodos disponíveis para sua inibição, e a eficiência desses métodos e, por fim, os seus custos.

Apesar de todas as combinações analisadas terem apresentado efeito positivo quanto à proposta de inibir o escurecimento enzimático e não incrementar de forma significativa os custos de produção, a utilização do branqueamento seguido de desidratação osmótica se apresentou como uma excelente opção de inibição do escurecimento enzimático, além de uma opção de custo mais baixo entre aquelas analisadas, com uma diferença de mais de 3 vezes no preço pesquisado.

A partir deste trabalho, sugere-se que sejam analisadas novas possibilidades de combinação de agentes inibidores do escurecimento enzimático quanto à eficiência e ao custo de aplicação. Ainda, aponta-se a necessidade da testagem experimental das combinações aqui analisadas.

REFERÊNCIAS

- ABEYRATHNE, E. D. N. S; AHN, D. U. Isolation of value- added components from egg white and their potential uses in food, nutraceutical and pharmaceutical industries. In: WATSON, R. R; MEESTER, F. D. (Eds). Handbook of eggs in human function. **Wageningen Academic Publishers**, p. 35-52, 2015.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1999. p. 319-329.
- CHITARRA, A. B.; PRADO, M. E. T. **Utilização de atmosfera modificada e controlada em frutos e hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 13-15, 23-25, 40-42.
- CLEMENTE, E. **Purification and thermo stability of isoperoxidase from oranges**. **Phytochemistry**, v. 49, n. 1, p. 29-36, 1998.
- DUDLEY, E. D.; HOTCHKISS, J. H. Cysteine as an inhibitor of polyphenol oxidase. **Journal of Food Biochemistry**, v. 13, n. 1, p. 65-75, 1989.
- EVANGELISTA, J. Tecnologia de alimentos. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2001. p. 273, 274.
- GALDINO, P. O. et al. Produção de banana passa obtida por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24 out. 2016.
- HANSON, E. J.; BEGGS, J. L.; BEAUDRY, R. M. Applying calcium chloride postharvest to improve highbush blueberry firmness. **HortScience**, Alexandria, v.28, n.10, 1993
- JESUS, S. C. de. et al. Caracterização física e química de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 315- 323, 2004.
- MACHADO, Paulo; MAIA, Geraldo; FILHO, Men de Sá; FIGUEREDO, Raimundo; NASSU, Renata; BORGES, Mari. **Avaliação de produtos obtidos pela desidratação osmótica de banana seguida de secagem**. UFPR, p., 29 jun. 2003.
- MARSHALL, M. R.; KIM, J.; WEI, C. **Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods**. Washington: FAO, 2000.
- MELO, A. A. M.; VILAS-BOAS, E. V. de B. Inibição do escurecimento enzimático de banana ‘Maçã’ minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 110-115, jan./mar. 2006.
- NICOLAS, J. J.; RICHARD-FORGET, F. C.; GOUPY, P. M.; AMIOT, M. J.; AUBERT, S. Y. Enzymatic browning reaction in apple and apple products. Critical Review. **Food Science and Nutrition**, v. 34, p. 109-157, 1994.
- POOVAIAH, B. W. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 1, p. 86-89, 1986.

PRESTAMO, G.; MANZANO, P. Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. **HortScience**, v.28, n.1, p.48-50, 1993.

RICHARD-FORGET, F. C.; GOUPY, P. M.; NICOLAS, J. J. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. kinetic studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 2.108-2.113, 1992.

RICHARD-FORGET, F.C.; GOUPY, P.M.; NICOLAS, J.J.; LACOMBE, J-M; PAIVA, A.A. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 1. isolation and characterization of additional compounds formed during oxidation of phenolics by apple polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39 n. 5, p. 841-847, 1991.

SAPERS, G.M.; MILLER, R.L. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998.

SOUSA, P.H.M. de et al. Influência da concentração e da proporção fruto: xarope na desidratação osmótica de processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, supl, p. 126-130, 2003.

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n. 3, p. 321-325, 2001.

VILAS BOAS, E. V. B. **Frutas minimamente processadas: Banana**. III Encontro Sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças: palestras, resumos e oficinas. Viçosa, UFV, p. 111-121. 2004.

VILAS BOAS, E. V. B. **Qualidade de alimentos vegetais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 59.

VILAS BOAS, E. V. B; KADER, A. A. **Effect of 1-MCP on fresh-cut fruits**. Perishables Handling Quarterly, Davis, n. 108, p. 25, November, 2001.

VILLEGAS-OCCHOA, M.; AYALA-ZAVALA, J. F.; VALENZUELA, R. C.; HERNÁNDEZ, J.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. **Efecto antioxidante de extractos naturales en manzana 'Red Delicious'**. In: SIMPOSIUM "ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE FRUTOS Y VEGETALES CORTADOS EN IBEROAMÉRICA", 2005, La Habana. Anais... La Habana, Cuba: [s.n], 2005. p. 25-32.

FERRARI, Thaynara. Banana Minimamente Processada: **inibição do escurecimento enzimático por agentes químicos e análise sensorial**., UTFPR, p. 15 dez. 2014.

ZAGORY, D. Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 313-321, 1999

ZEMEL G. P.; SIMS, C. A.; MARSHALL, M. R.; BALABAN, M. Low pH inactivation of polyphenoloxidase in apple juice. **Journal of Food Science**, v. 55, p. 562-563, 1990.