

FELIPE RICHTER REIS

**EFEITO DOS PROCESSOS DE BRANQUEAMENTO E ACIDIFICAÇÃO SOBRE A
COR E A ABSORÇÃO DE GORDURAS DE BATATAS-PALHA**

**Curitiba
2007**

FELIPE RICHTER REIS

**EFEITO DOS PROCESSOS DE BRANQUEAMENTO E ACIDIFICAÇÃO SOBRE A
COR E A ABSORÇÃO DE GORDURAS DE BATATAS-PALHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Nina Waszczynskyj

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Lucia Masson

**Curitiba
2007**

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE GRÁFICOS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE EQUAÇÕES	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3 REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 A MATÉRIA-PRIMA.....	3
3.2 ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO.....	5
3.3 CONTROLE DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO.....	7
3.3.1 Branqueamento.....	10
3.4. ESCURECIMENTO NÃO-ENZIMÁTICO.....	11
3.5 FRITURA.....	13
3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 MATERIAL.....	16
4.1.1 Batatas.....	16
4.1.2 Gordura Vegetal Hidrogenada.....	16
4.1.3 Reagentes.....	16
4.2 MÉTODOS.....	16
4.2.1 Preparo da matéria-prima.....	16
4.2.2 Medidas de cor.....	17
4.2.3 Branqueamento e acidificação.....	18
4.2.4 Drenagem e centrifugação.....	19
4.2.5 Análises do teor de gordura absorvida.....	19
4.2.6 Análises de atividade de água.....	20
4.2.7 Delineamento experimental.....	20

4.2.8 Diagrama de blocos do processamento da batata frita.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1 CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA.....	23
5.2 VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES OBJETIVAS DE COR COM O ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO	23
5.3. ABSORÇÃO DE GORDURA NAS BATATAS-PALHA	26
5.4 MEDIDAS DE ATIVIDADE DE ÁGUA.....	28
5.5 MEDIDAS DE COR.....	29
5.5.1 Batatas branqueadas cruas.....	29
5.5.2 Batatas branqueadas fritas.....	32
5.5.3 Ajuste das respostas medidas por modelos de superfície de resposta.....	33
5.5.4 Otimização do processo de branqueamento.....	44
6 CONCLUSÕES.....	46
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio incondicional durante toda minha vida e pela incansável orientação e em especial à minha irmã Betina, pela fundamental ajuda na elaboração do projeto inicial.

À minha querida Fernanda, pelo carinho e amor incondicional e à sua família, pela paciência, compreensão e acolhimento.

À professora doutora Nina Waszczyntyj pela paciência e imensa presteza na orientação e pela amizade.

À professora doutora Maria Lucia Masson pela ótima co-orientação e pela amizade.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - PPGTA pela assistência e pelas risadas.

Aos professores do PPGTA pela orientação de maneira geral.

Ao funcionário Paulo R. Krainski do PPGTA, pelos trabalhos em conjunto visando a melhoria do programa.

Aos professores membros das bancas de qualificação e defesa, pelas sugestões que só vieram a enriquecer este trabalho.

À CAPES, pelo auxílio financeiro (bolsa) e ao CNPq pelos equipamentos do Laboratório de Tecnologia de Alimentos.

À aluna do curso de Engenharia Química da UFPR Fernanda T. A. Bueno, pela colaboração nos trabalhos no laboratório.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA BATATA POR 100g DE PARTE COMESTÍVEL.....	4
TABELA 2 - VARIÁVEIS INDEPENDENTES UTILIZADAS NO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS.....	20
TABELA 3 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO TIPO BOX-BEHNKEN UTILIZADO.....	21
TABELA 4 – PARÂMETROS DE COR DOS FILETES DE BATATA CRUA DA VARIEDADE ASTERIX EXPRESSA NOS ESPAÇOS DE COR LAB E LCh MEDIDOS AO LONGO DE UMA HORA A 25°C.	23
TABELA 5 – VALORES DE COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO PARA OS AJUSTES DOS PARÂMETROS DE COR MEDIDOS NAS BATATAS CRUAS E FATIADAS POR MODELOS LINEARES E QUADRÁTICOS.....	25
TABELA 6 – CONDIÇÕES DE BRANQUEAMENTO APLICADAS ÀS BATATAS CRUAS E TEORES DE GORDURA ABSORVIDOS PELAS BATATAS FRITAS.....	27
TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DE A_w DAS BATATAS FRITAS.....	28
TABELA 8 – MÉDIAS DAS PROPRIEDADES DE COR DOS FILETES DE BATATA MEDIDAS IMEDIATAMENTE E UMA HORA APÓS A APLICAÇÃO DO BRANQUEAMENTO.....	29
TABELA 9 – PARÂMETROS DE COR DAS BATATAS FATIADAS MEDIDOS IMEDIATAMENTE E UMA HORA APÓS O BRANQUEAMENTO E AS DIFERENÇAS MÍNIMAS (Δ) ENTRE AS MÉDIAS PELO TESTE DE TUKEY AO NÍVEL DE 5%.....	30
TABELA 10 – PARÂMETROS DE COR DAS BATATAS FRITAS.....	32
TABELA 11 – VARIÁVEIS-RESPOSTA PREVISTAS PELOS MODELOS DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE SEGUNDA ORDEM, TIPOS DE MODELOS UTILIZADOS, EFEITOS IGNORADOS NOS MODELOS E VALORES DE R^2 DO AJUSTE	33
TABELA 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE 2ª ORDEM UTILIZADO PARA PREVER OS VALORES DE TONALIDADE VERMELHO-VERDE (a^*) DOS FILETES DE BATATA CRUA IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO.....	34
TABELA 13 – VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) DOS FILETES DE BATATA CRUA MEDIDOS IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO, PREVISTOS PELO MODELO E OS RESÍDUOS.....	35
TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREVER OS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) DOS FILETES DE BATATA APÓS O BRANQUEAMENTO.....	39
TABELA 15 – VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) DOS FILETES DE BATATA MEDIDOS IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO, PREVISTOS PELO MODELO E OS RESÍDUOS.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – VARIAÇÃO DE a^* NA SUPERFÍCIE DE BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX CRUAS, DESCASCADAS E FATIADAS EM FILETES A 25°C AO LONGO DE UMA HORA.	25
GRÁFICO 2 – VARIAÇÃO DE h^* NA SUPERFÍCIE DE BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX CRUAS, DESCASCADAS E FATIADAS EM FILETES A 25°C AO LONGO DE UMA HORA.....	26
GRÁFICO 3 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA TEMPERATURA.....	36
GRÁFICO 4 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (AA).....	37
GRÁFICO 5 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.....	38
GRÁFICO 6 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA TEMPERATURA.....	41
GRÁFICO 7 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.....	42
GRÁFICO 8 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.....	43
GRÁFICO 9 - CURVAS DA FUNÇÃO DESEJO UTILIZADAS PARA OTIMIZAR O PROCESSO DE BRANQUEAMENTO	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX.....	4
FIGURA 2 - HIDROXILAÇÃO CATALISADA PELA MONOFENOLOXIDASE.....	7
FIGURA 3 - OXIDAÇÃO CATALISADA PELA DIFENOLOXIDASE.....	7
FIGURA 4 - MECANISMO SIMPLIFICADO DA HIDROXILAÇÃO E DA OXIDAÇÃO DE DIFENOL PELAS POLIFENOLOXIDASES.....	7
FIGURA 5 - MECANISMO DE PREVENÇÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO PELO AA.....	9
FIGURA 6: BRANQUEAMENTO COM ÁGUA QUENTE.....	10
FIGURA 7: BRANQUEAMENTO A VAPOR.....	10
FIGURA 8 – ESQUEMA DA REAÇÃO DE MAILLARD.....	12
FIGURA 9 - ESCALA DE COR CIE L*C*h*.....	17
FIGURA 10 - ESCALA DE COR CIE L*a*b*.....	17
FIGURA 11 – DIAGRAMA DE PROCESSAMENTO DA BATATA FRITA.....	22
FIGURA 12: FILETES DE BATATA CERCA DE UMA HORA APÓS SEREM SUBMETIDOS AOS TRATAMENTOS 11, 10 E 9.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	- Ácido ascórbico ou concentração de ácido ascórbico
a^*	- Tonalidade verde-vermelha
a_0	- Tonalidade verde-vermelha da amostra de referência
a_w	- Atividade de água
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ABBA	- Associação Brasileira da Batata
β	- Coeficiente estimado
b^*	- Tonalidade azul-amarela
b_0	- Tonalidade azul-amarela da amostra de referência
BHA	- butil-hidroxianisol
BHT	- Dibutil-hidroxitolueno
c^*	- Croma
CIE	- <i>Comission Internationale de l'Eclairage</i>
ΔE	- Diferença total de cor
EC	- <i>Enzyme Commission</i>
EPAGRI	- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
FAO	- <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GL	- Graus de liberdade
GRAS	- Generally Recognized As Safe
h^*	- Ângulo de tom
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUBMB	- <i>International Union of Biochemistry and Molecular Biology</i>
L	- Linear
L^*	- Luminosidade
L_0	- Luminosidade da amostra de referência
NIST	- <i>National Institute of Standards and Technology</i>
NEPA	- Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação
PFO	- Polifenoloxidase
pH	- Potencial hidrogeniônico
Q	- Quadrático
QM	- Quadrado médio
R^2	- Coeficiente de determinação
SEMATECH	- <i>Semiconductor Manufacturing Technology</i>
SQ	- Soma dos quadrados
X	- Nível do fator
Y	- Variável-resposta

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – ÂNGULO DE TOM.....	18
EQUAÇÃO 2 – CROMA.....	18
EQUAÇÃO 3 – DIFERENÇA TOTAL DE COR.....	18
EQUAÇÃO 4 – MODELO EMPÍRICO DO AJUSTE DA TONALIDADE VERDE-VERMELHA MEDIDA NOS FILETES CRUS AO LONGO DE UMA HORA	25
EQUAÇÃO 5 - MODELO EMPÍRICO DO AJUSTE DO ÂNGULO DE TOM MEDIDO NOS FILETES CRUS AO LONGO DE UMA HORA	26
EQUAÇÃO 6 – MODELO QUADRÁTICO PARA PREDIZER O VALOR DE a^* NAS BATATAS BRANQUEADAS.....	34
EQUAÇÃO 7 - MODELO QUADRÁTICO PARA PREDIZER O VALOR DE h^* NAS BATATAS BRANQUEADAS.....	34
EQUAÇÃO 8 – MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE a^* COM A CONCENTRAÇÃO DE AA FIXADA NO PONTO CENTRAL.....	36
EQUAÇÃO 9 - MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE a^* COM A TEMPERATURA FIXADA NO PONTO CENTRAL.....	37
EQUAÇÃO 10 - MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE a^* COM O TEMPO FIXADO NO PONTO CENTRAL.....	39
EQUAÇÃO 11 - MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE h^* COM A CONCENTRAÇÃO DE AA FIXADA NO PONTO CENTRAL.....	42
EQUAÇÃO 12 - MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE h^* COM A TEMPERATURA FIXADA NO PONTO CENTRAL.....	43
EQUAÇÃO 13 - MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER VALORES DE h^* COM O TEMPO FIXADO NO PONTO CENTRAL.....	44

Resumo

A batata (*Solanum tuberosum*) apresenta-se na forma de tubérculos que são consumidos como alimento há centenas de anos. Neste trabalho, objetivou-se estudar os efeitos do processo de branqueamento por acidificação, utilizando como fatores a concentração de ácido ascórbico (AA), o tempo e a temperatura do processo, sobre as propriedades de cor dos espaços $L^*a^*b^*$ e $L^*C^*h^*$ das batatas cruas e fritas, a absorção de gordura e a atividade de água (a_w) nas batatas fritas da variedade Asterix. Os resultados foram ajustados por modelos de superfície de resposta de segunda ordem do tipo Box-Behnken. As análises de cor foram efetuadas com um espectrofotômetro de refletância da marca HunterLab. As análises estatísticas foram efetuadas com os programas Statistica 7.0 e Excel. A cor dos filetes crus de batatas da variedade Asterix variou devido ao escurecimento enzimático, que foi representado através de uma diminuição dos valores das propriedades de cor L^* , b^* , h^* e C^* e um aumento de a^* e do índice ΔE . As condições ótimas de branqueamento - obtidas a partir da função desejo - em função da minimização do escurecimento enzimático foram: 0,2267 g AA/ 100g de batata, 5,533 minutos e 68,67°C, obtendo-se valores de tonalidade vermelha (a^*) e ângulo de tom (h^*) nos filetes de batata iguais a -1,678 e -86,31°, respectivamente. O escurecimento não-enzimático foi minimizado nas amostras submetidas ao branqueamento sob as seguintes condições: 0,2 g ácido/100g batata, 5 min, 70°C. Os valores de a_w das batatas fritas branqueadas foram significativamente inferiores ao das batatas fritas controle. Após a aplicação do branqueamento com 0,1 g ácido/100g batata, por 5 min a 50°C, as batatas absorveram 30,8% menos gordura do que a amostra controle, o que segundo o Ministério da Saúde é suficiente para serem rotuladas como "light".
Palavras-chave: batata frita, cor dos alimentos, absorção de gordura, escurecimento enzimático, branqueamento de alimentos, Reação de Maillard.

Abstract

Tubers of potato (*Solanum tuberosum*) have been a food source for humans for hundreds of years. The objective of this research was to investigate the effects of an acidifying-blanching treatment on color properties, oil uptake and water activity (a_w) of potato strips (cv Asterix), using the ascorbic acid (AA) concentration, blanching time and blanching temperature as factors. Data was fitted by Box-Behnken response surface quadratic method. Color of potatoes was measured by means of a HunterLab reflectance spectrophotometer and expressed as properties from the $L^*a^*b^*$ and $L^*C^*h^*$ color spaces. Statistical analyses were made by means of Statistica 7.0 software. Color of raw strips was changed by enzymatic browning, which was expressed by a decrease in L^* , C^* , b^* and h^* values and an increase in a^* and ΔE values. The optimum conditions of blanching in order to minimize enzymatic browning, generated by the desirability function, were 0.2267 g AA/ 100g potato, 5.533 minutes e 68.67°C, which led to a -1.678 a^* value and a -86.31° h^* value. Non-enzymatic browning was minimized when a 0.2 g AA/ 100g potato concentration, a 5 minutes blanching time e a 70°C blanching temperature were used. A_w values of the blanched samples were significantly smaller than a_w of control sample (unblanched). Potatoes subjected to blanching at 0.10 g AA/ 100g potato, 5 minutes and 50 °C absorbed 30.8 % less oil than the unblanched samples, and could be labeled as “light”, according to the Brazilian Ministry of Health.

Keywords: fried potato, food color, oil uptake, enzymatic browning, blanching of foods, Maillard reaction.

1 INTRODUÇÃO

As batatas-palha são pequenos filetes de batata, fritos por imersão em óleo ou gordura hidrogenada de origem vegetal. Os produtos alimentícios que mais se assemelham às batatas-palha são os chips, os quais apresentam características de textura, cor e sabor muito similares. A oferta de batata-palha nos supermercados aumentou consideravelmente nos últimos anos. Grandes empresas do ramo alimentício que por muito tempo só processaram batata sob a forma de chips hoje também processam batata sob a forma de batata-palha.

A escolha da batata-palha como objeto de estudo nesta pesquisa deve-se a algumas razões. Uma delas é o pequeno número de trabalhos encontrados envolvendo pequenos filetes de batata: para cada dez trabalhos envolvendo chips de batata, foram encontrados cerca de três envolvendo filetes, dentre os quais alguns eram relacionados a fritas à francesa. Outra razão é o fato de que os filetes de batata-palha crua apresentam cor clara e uma grande superfície de contato com o oxigênio, sendo desta forma uma matriz alimentícia bastante suscetível aos prejuízos causados pelo escurecimento via enzimática. Finalmente, a importância econômica da batata-palha vem crescendo devido ao rápido aumento do consumo, conforme destacaram LOPES e BUSO (1997).

Durante o processamento de batata sob a forma de palha, precisamente após as operações de descascamento e de corte, ocorrem sucessivas reações químicas na superfície do tecido do tubérculo de batata. Os produtos finais de tais reações são polímeros denominados melaninas que conferem aos filetes de batata crua uma coloração marrom. Este fenômeno, genericamente denominado de escurecimento enzimático, provoca a perda de qualidade visual e conseqüentemente traz prejuízos econômicos aos processadores de batata (MARSHALL, KIM e WEI, 2000).

Dentre as estratégias de prevenção do escurecimento enzimático, estão a diminuição do pH (acidificação) do meio e o branqueamento. O primeiro limita a ação das enzimas, que só catalisam as reações envolvidas em uma determinada faixa de pH. Já o branqueamento consiste em um pré-tratamento com água quente ou vapor aplicado a frutas e vegetais com a finalidade principal de inativar as enzimas. Segundo VERLINDEN et al. (2000), o branqueamento também remove parte dos açúcares redutores, evitando ou diminuindo assim o escurecimento não-

enzimático causado pela reação de Maillard durante a fritura. CALIFANO e CALVELO (1987) constataram que o branqueamento de batatas pode promover a redução na absorção de gordura pelas batatas fritas.

Estudos em que se investigue o potencial do branqueamento, da acidificação, e de combinações sinérgicas destes métodos na melhoria da cor e na redução da absorção de gordura vêm a contribuir para o conhecimento científico e para a melhoria da qualidade do produto final dos processadores de batatas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

Estudar a influência de diferentes condições de processo de branqueamento e acidificação sobre a cor e a redução do teor de gordura absorvido em filetes de batata (batatas-palha) da variedade Asterix.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a variação de cor em filetes crus de batata ao longo de uma hora utilizando os espaços cromáticos $L^*a^*b^*$ e $L^*C^*h^*$.
- Determinar quais condições de branqueamento minimizam o escurecimento enzimático das batatas cruas.
- Determinar quais condições de branqueamento minimizam o escurecimento não-enzimático das batatas cruas.
- Determinar quais condições de branqueamento reduzem a absorção de gordura nas batatas fritas.
- Estudar a influência do branqueamento e acidificação sobre a atividade de água das amostras.
- Determinar as condições ótimas de branqueamento através da função desejo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A MATÉRIA-PRIMA

Os tubérculos das plantas cujo nome científico é *Solanum tuberosum* L., assim como as próprias plantas, são usualmente denominados de batatas. As batatas são originárias da região dos Andes, onde vêm sendo cultivadas desde antes da descoberta do continente americano pelos europeus.

Segundo a FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (2006), a batata foi o quarto alimento mais consumido no mundo em 2005. No Brasil, o cultivo mais intenso da batata, juntamente com outras hortaliças, iniciou-se na década de 1920, no cinturão verde de São Paulo (LOPES e BUSO, 1997). A EPAGRI (2002) afirmou que os níveis de produção e consumo de batata no Brasil eram ainda muito baixos, mas com boas perspectivas de crescimento. Nesta época, a cultura da batata apresentava maior destaque no sudeste e sul e o complexo agro-industrial batateiro do Brasil movimentava em torno de US\$ 250 milhões por ano. Ainda que a produção nacional total de batata tenha caído de 3.128.488 t em 2005 para 3.125.929 t em 2006, estima-se que a produção na primeira safra de 2007 cresça cerca de 14,9% em comparação a 2006, chegando a 1.515.078 t/ano (IBGE, 2007).

Segundo a Associação Brasileira da Batata - ABBA (2006), as principais variedades de batata plantadas atualmente no Brasil são: Ágata, Asterix, Bintje, Monalisa, Mondial e Atlantic. Dentre estas, as variedades Asterix, Atlantic e Bintje são indicadas para fritura, devido, entre outros fatores, ao alto teor de matéria seca. A variedade Asterix, utilizada neste estudo, é proveniente do cruzamento entre as variedades “cardinal” e “SVP VE 70-9”. Os tubérculos de batata Asterix possuem cor da pele vermelha - que no plantio em épocas quentes clareia, ficando rosada -, formato oval-alongado, cor da polpa amarela, alto teor de matéria seca, qualidade culinária muito boa e qualidade para fritura muito boa. A escolha da variedade foi baseada nos resultados obtidos por BUENO et al. (2006), que constataram que as batatas da variedade Asterix apresentavam o maior teor de matéria seca e o maior

escurecimento enzimático dentre outras variedades estudadas, este último expresso pela coordenada objetiva de cor “tonalidade verde-vermelha (a*)”. Na figura 1 são apresentados tubérculos de batata da variedade Asterix.

FIGURA 1: BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX



FONTE: O AUTOR (2006) E ABBA (2006).

A composição de 100g de batata inglesa é apresentada na tabela 1, conforme estabelecido pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação da Universidade Estadual de Campinas – NEPA/UNICAMP (2006).

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO DE BATATA POR 100g DE PARTE COMESTÍVEL

Umidade (%)	Proteína (g)	Lipídeos (g)	Carboidratos (g)	Fibra alimentar (g)	Cinzas (g)	Vitamina C (mg)
83	2	Traços	15	1,2	0,6	31

3.2 ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO

As enzimas são os catalisadores das reações que ocorrem nos sistemas biológicos. Elas têm eficiência catalítica extraordinária, em geral muito maior que aquela dos catalisadores sintéticos; têm um alto grau de especificidade por seus substratos e aceleram reações químicas específicas (LEHNINGER, NELSON e COX, 1995).

A velocidade das reações enzimáticas aumenta com o aumento da temperatura de modo semelhante ao das reações químicas, isto é, a velocidade da reação duplica com o aumento de 10°C na temperatura da reação. Nas reações enzimáticas, porém, a velocidade aumenta com a temperatura, até atingir uma velocidade máxima - específica para cada enzima - em torno de 45°C, a partir da qual começa a decrescer. Com a elevação contínua da temperatura, poderá haver uma inativação gradativa da enzima até inativação total causada pela desnaturação da proteína pelo calor (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

As enzimas têm um pH ótimo ou uma região de pH ótimo no qual sua atividade é máxima; em valores de pH maiores ou menores sua atividade diminui (LEHNINGER, NELSON e COX, 1995). Para a maioria das enzimas o pH ótimo se situa entre 4,5 e 8,0. Valores extremos de pH, em geral, desnaturam as proteínas, inativando-as (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

Segundo o Nomenclature Committee of the IUBMB - NC-IUBMB” (Comissão de Nomenclatura da União Internacional de Bioquímica e Biologia Molecular, 2006), existem seis classes de enzimas: oxidoredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases. As polifenoloxidasas são as enzimas que catalisam as reações de escurecimento enzimático. O nome oficial destas enzimas é (PFO; EC 1.10.3.1), e significa: EC: enzyme commission; 1: enzima que pertence à classe das oxidoredutases, ou seja, catalisa reações de oxidorredução; 10: atua em difenóis e substâncias afins como doadores de átomos de hidrogênio; 3: nas reações que catalisa, o oxigênio faz o papel de receptor de hidrogênio; 1: os nomes pelos quais é conhecida: catecol oxidase, difenol oxidase, orto-difenolase, fenolase, polifenoloxidase, tirosinase. O nome mais usual e genérico, polifenoloxidase (PFO)

significa “catalisadora da oxidação de diversos fenóis”.

As reações catalisadas por enzimas são caracterizadas pela formação de um complexo entre o substrato e a enzima. Na reação de escurecimento enzimático, os fenóis e o oxigênio fazem o papel de substrato e as polifenoloxidasas são as enzimas envolvidas. As células de plantas intactas não escurecem por via enzimática porque os fenóis contidos nos vacúolos estão separados das polifenoloxidasas que estão presentes no citoplasma (MARSHALL, KIM e WEI, 2000).

As enzimas PFO, amplamente distribuídas em plantas, são consideradas as maiores contribuintes para a descoloração e escurecimento de frutas e vegetais (BILLAUD et al, 2004). As PFO são a principal preocupação dos processadores de vegetais, pois sua ação catalítica leva estes alimentos a acastanhar e gerar alguns sabores desagradáveis, características que permanecem no produto final processado (BILLAUD et al, 2003). A taxa de escurecimento enzimático em um vegetal é determinada pela concentração de PFO ativa e fenóis nos tecidos, pelo pH, temperatura e disponibilidade de oxigênio nas imediações do tecido (MARSHALL, KIM e WEI, 2000). A atividade das PFO está estritamente ligada às mudanças de cor devido à formação de polímeros coloridos. Dessa forma, medidas de cor podem ser consideradas um índice indireto da atividade das PFO e amostras que não apresentam acastanhamento ou outras cores anômalas são consideradas livres de PFO ativa (SEVERINI et al., 2003).

As PFO catalisam duas reações básicas. A primeira a ocorrer é a hidroxilação na posição orto adjacente a um grupo hidroxila do substrato fenólico – atividade da monofenoloxidase. Numa segunda etapa, se dá a oxidação do difenol a orto-benzoquinona - atividade da difenoloxidase. Tais reações são apresentadas nas figuras 2 e 3. Ambas as reações utilizam o oxigênio molecular como co-substrato (MARSHALL, KIM e WEI, 2000). O cobre contido no sítio ativo da PFO desempenha um papel importante. É o cobre que se oxida na etapa de hidroxilação e se reduz na etapa de oxidação. Um mecanismo simplificado destas reações químicas é apresentado na figura 4.

país não são necessariamente considerados seguros em outro, ficando a critério do órgão responsável de cada país estabelecer as normas relativas a este assunto.

As substâncias permitidas para uso em batatas no Brasil são: Butil-hidroxianisol (BHA) e Dibutil-hidroxitolueno (BHT) na função de antioxidantes em produtos desidratados de batata em concentração máxima de 50mg aditivo/kg de produto (BRASIL, 1996a); dióxido de enxofre e seus sais de cálcio, sódio e potássio na função de conservador em polpa de vegetais - incluindo tubérculos - em concentração máxima de 0,03 g SO₂/ 100g produto ou 0,03 g SO₂/ 100 mL produto (BRASIL, 2005); ácido L-ascórbico e seus sais de potássio, sódio e cálcio na função de antioxidantes em batatas cruas descascadas em concentração máxima de 0,20g aditivo/100g de produto ou 0,20g aditivo/ 100 mL produto; ácido isoascórbico e ácido eritórbico, e seus respectivos sais de sódio na função de antioxidantes em batatas em concentração máxima de 0,01g aditivo/100g de produto ou 0,01g aditivo/ 100 mL produto; cloreto de cálcio, gluconato de cálcio, hidróxido de cálcio e sulfato de cálcio na função de estabilizante em batatas em concentração máxima de 0,10 g aditivo/ 100g de produto (BRASIL, 1988); pirofosfato ácido de sódio na função de estabilizante em produtos de batata processados em concentração máxima de 5mg aditivo/ kg de produto (BRASIL, 1996b). O pirofosfato ácido de sódio foi utilizado por MOYANO, RÍOSECO e GONZÁLEZ (2002) e se mostrou eficaz na minimização do escurecimento enzimático em batatas antes da etapa de fritura.

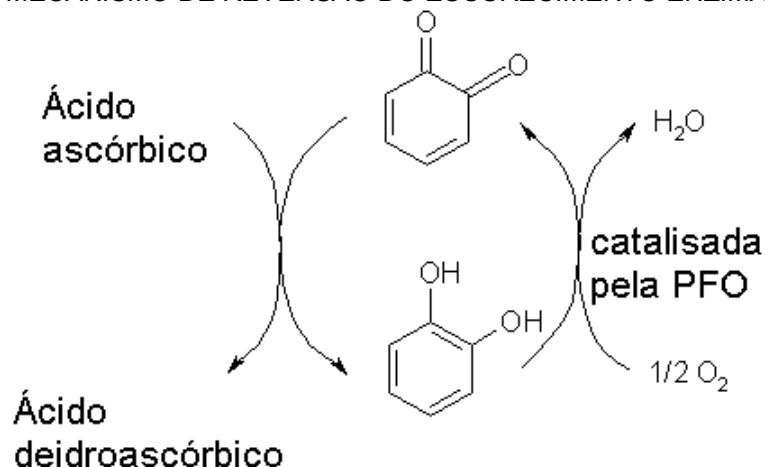
SEVERINI et al. (2003) utilizaram um colorímetro e uma câmera fotográfica digital para avaliar o efeito do tratamento com soluções salinas em ebulição sobre alguns parâmetros da cor de batatas, valendo-se da metodologia de superfície de resposta. Este estudo levou-os a concluir que o uso da combinação cloreto de cálcio-ácido láctico é mais eficaz na prevenção do escurecimento enzimático do que o uso de cloreto de sódio-ácido láctico.

SON, MOON e LEE (2001) utilizaram um colorímetro para investigar o escurecimento enzimático em fatias de maçã, expresso em termos de variação da luminosidade (ΔL^*) das fatias no espaço de cores L*a*b*. Algumas substâncias utilizadas e permitidas para uso no Brasil, como o ácido ascórbico (AA), ácido eritórbico, ascorbato de cálcio, cloreto de cálcio, ascorbato de sódio, cloreto de sódio

e eritorbato de sódio, não diferiram estatisticamente em termos de prevenção do escurecimento enzimático.

O ácido ascórbico é um agente redutor moderadamente forte, que forma sais neutros com bases e é altamente solúvel em água (MARSHALL, KIM e WEI, 2000). BAUERNFEIND AND PINKERT (1970) relataram que o ácido L-ascórbico era o antioxidante mais utilizado dentre os GRAS – Generally Recognized As Safe (Geralmente Reconhecidos Como Seguros). Trabalhos recentes onde se investigou o potencial inibidor do AA sobre o escurecimento enzimático foram conduzidos por LIMBO e PIERGIOVANNI (2006) com batatas, GUERRERO-BELTRÁN, SWANSON e BARBOSA-CÁNOVAS (2005) com purê de manga, SOLIVA et al. (2001) com purê de abacate e COCCI et al. (2006), com maçãs. A ação do AA como inibidor do escurecimento enzimático se dá devido ao fato de que ele é um removedor de oxigênio e também um inibidor da atividade das PFO, que reduz quinonas de volta a seus precursores, os difenóis, conforme constatou WALKER (1977). Além disso, acredita-se que o AA seja um agente quelante que atua sobre o grupo que contém o cobre, no centro ativo enzimático (WHITAKER, 1972). Na figura 5 é apresentado o mecanismo de ação do AA no papel de inibidor do escurecimento enzimático.

FIGURA 5: MECANISMO DE REVERSÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO PELO AA



FONTE: MARSHALL, KIM e WEI, 2000.

3.3.1 Branqueamento

O tratamento de vegetais com a finalidade principal de minimizar o escurecimento enzimático é denominado branqueamento. No tipo mais comum de branqueamento, vegetais inteiros ou em pedaços são imersos em uma solução aquosa aquecida, que pode ou não conter solutos, durante um intervalo de tempo que varia de acordo com o tamanho das amostras, tipo de matéria-prima e com a temperatura do processo (SHARMA, MULVANEY e RIZVI, 2000).

Embora a temperatura de processo de 100°C em conjunto com o uso de água quente ou vapor sejam as características de processo mais utilizadas no branqueamento comercial, outros meios de aquecimento, como ar quente e microondas em conjunto com outras temperaturas de processo também podem ser utilizados (SHARMA, MULVANEY e RIZVI, 2000). Nas figuras 6 e 7 são apresentados exemplos de processos de branqueamento com água quente e vapor, respectivamente.

FIGURA 6: BRANQUEAMENTO DE VAGENS COM ÁGUA QUENTE.



FONTE: APPEL, 2005.

FIGURA 7: BRANQUEAMENTO DE FOLHAS COM VAPOR.



FONTE: PRESTON, 2003.

Segundo GONZÁLEZ-MARTÍNEZ et al. (2004), o branqueamento é uma operação unitária amplamente utilizada nas indústrias processadoras de batata para induzir a remoção de açúcares redutores controlando assim a reação de Maillard

durante a fritura subsequente, gelatinizar o amido e inativar enzimas. Segundo VERLINDEN et al. (2000), fazendo-se a escolha das combinações certas de tempo e temperatura, pode-se controlar e aperfeiçoar a qualidade do produto final.

No que tange à absorção de gordura, o branqueamento, além de melhorar a cor e a textura, pode reduzir a absorção de gordura pela gelatinização do amido superficial (CALIFANO e CALVELO, 1987). MOYANO e PEDRESCHI (2006), contudo, concluíram que o branqueamento a altas temperaturas (acima de 70°C) provocou um aumento da quantidade de gordura absorvida pelos chips de batata.

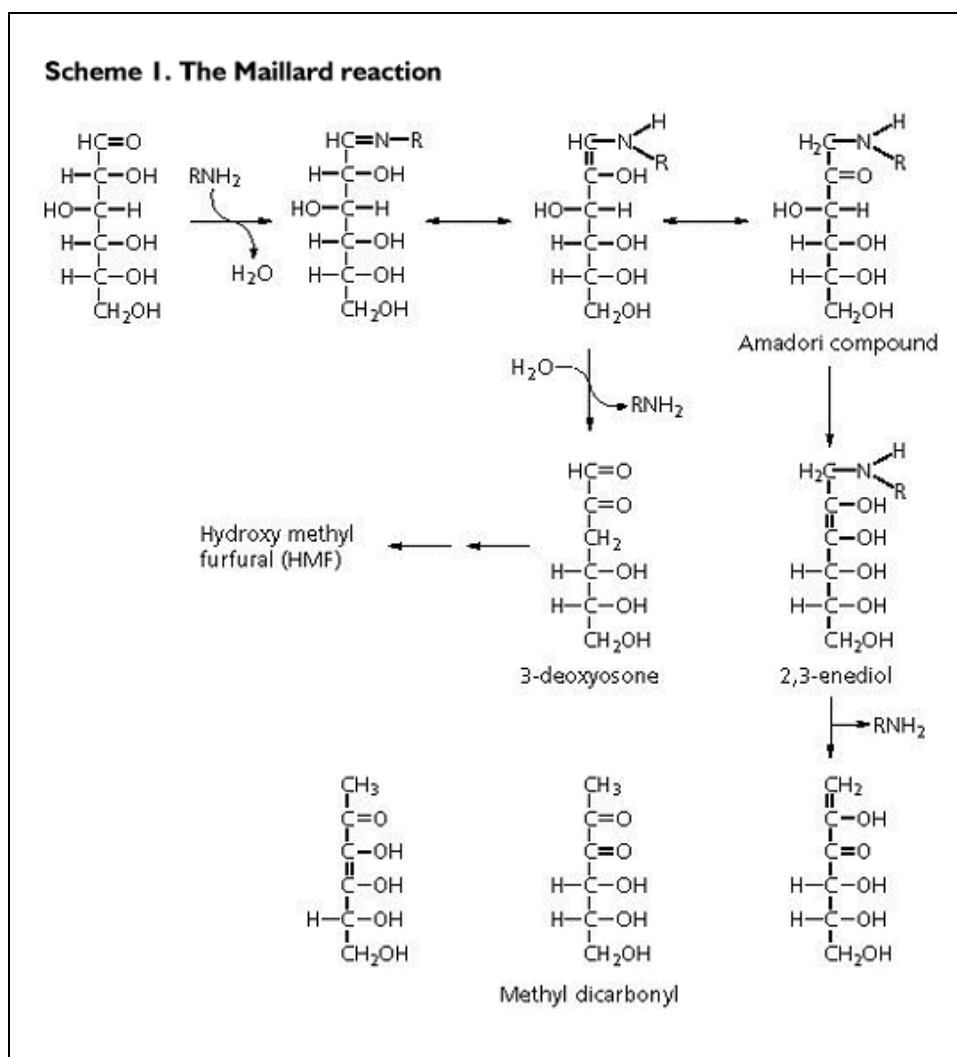
3.4 ESCURECIMENTO NÃO-ENZIMÁTICO

A cor é o fator inicial levado em consideração pelo consumidor ao escolher um alimento e por isso é uma de suas mais importantes características. Conforme abordado anteriormente neste trabalho, o escurecimento enzimático é um dos fatores que influencia a cor de batatas-palha. Porém, há outra fonte de alteração de cor: o escurecimento não-enzimático. Um dos tipos de escurecimento não-enzimático é desencadeado pela reação de Maillard (figura 8), oriundo da reação entre açúcares redutores e aminoácidos, e tem como produto final pigmentos amarelos a castanhos denominados melanoidinas, que são polímeros do hidroximetilfurfural e de compostos carbonílicos (BALTES, 1982). O outro tipo de escurecimento não-enzimático é a amarelidão provocada pelo AA, que tornou amarela a cor de camarões segundo OTWELL e MARSHALL (1986).

A influência do escurecimento não-enzimático sobre a cor de batatas fritas foi estudada anteriormente por diversos autores. Para GOLUBOWSKA (2005), a presença de um tom de cor amarelo-dourado nas batatas fritas é bastante apelativa. SANTIS et al. (2007) observaram que o uso de branqueamento seguido da imersão em soluções de cloreto de sódio tornou chips de batata mais claros do que o branqueamento seguido da simples imersão em água. SEGNINI, DEJMEK e ÖSTE, (1999) e PEDRESCHI et al. (2006) desenvolveram sistemas digitais de aquisição de imagem para medir as cores de chips de batata. MOYANO, RÍOSECO e GONZÁLEZ. (2002) estudaram e modelaram matematicamente a cinética de

mudança de cor da crosta de batatas palito (“french fries”) expressa no espaço de cores $L^*a^*b^*$. ZORZELLA et al. (2003) estudaram possíveis correlações entre a cor de chips de batata, medida subjetivamente em uma escala ancorada do claro – mínimo – ao escuro - máximo, e características da matéria-prima, e constataram que a cor dos chips de batata foi correlacionada positivamente com o teor de açúcares redutores e em menor grau com a atividade enzimática da PFO, e, de forma negativa, com o teor de AA.

FIGURA 8 – ESQUEMA DA REAÇÃO DE MAILLARD



FONTE: THE ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2007.

PEDRESCHI et al. (2006) concluíram que a cor de filetes de batata frita,

quando expressa pelas propriedades de cor L^* e a^* , do espaço de cores LAB, apresentou uma alta correlação com o teor de acrilamida nas batatas, um composto provavelmente cancerígeno para humanos (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2007).

3.5 FRITURA

O processo no qual óleos ou gorduras aquecidos são utilizados para evaporar parcialmente a água presente em um alimento qualquer é denominado fritura. A fritura é um método escolhido por sua capacidade de criar aromas e textura únicos em alimentos processados que melhoram a sua palatabilidade geral (MOYANO e PEDRESCHI, 2006).

A fritura por imersão, como o próprio nome remete, consiste em imergir alimentos ou pedaços de alimentos em óleo quente. Esta modalidade de fritura promove rápida transferência de calor, rápido cozimento, acastanhamento, desenvolvimento de aroma e textura (PEDRESCHI et al., 2006).

As condições de fritura por imersão para produção de batata frita influenciam a qualidade do produto final. Segundo TALBURT e SMITH (1975), em geral, quanto maior a temperatura do óleo, menor a absorção de gordura. Quanto maior o tempo de fritura, maior a absorção de gordura. Quanto maior o tempo e a temperatura de fritura utilizados, mais produtos de cor marrom provenientes da reação de Maillard são gerados na superfície das batatas fritas.

Existem dois tipos de equipamento para fritura: os de batelada e de processo contínuo. Os equipamentos de batelada são utilizados quando se processam quantidades relativamente pequenas de batata. A maioria dos chips é produzida em equipamentos de fluxo contínuo, que apresentam a vantagem de não superaquecer o óleo em nenhum momento ou local, menor gasto energético e melhor qualidade dos chips. A temperatura do óleo varia entre 177°C e 190°C nas regiões próximas à fonte de calor e de 160°C a 174°C na extremidade final do equipamento (TALBURT e SMITH, 1975).

A escolha do meio de fritura depende do fator custo e da preferência do

consumidor por chips fritos em um ou outro meio. As gorduras hidrogenadas apresentam a vantagem de não rancificarem tão rapidamente quanto os óleos límpidos. Contudo, recentemente descobriu-se que o processo de hidrogenação dá origem a ácidos graxos trans, nocivos à saúde. Com isso, as empresas têm estudado novos processos de hidrogenação ou mesmo trocado gorduras hidrogenadas por óleos vegetais livres de ácidos graxos trans.

3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água é o principal componente de matrizes alimentícias e materiais biológicos e exerce um importante papel na determinação de seu formato, estrutura, propriedades físicas e químicas. Além disso, a água também é um componente de grande importância em transferências de massa, reações químicas e atividade de microorganismos (ROCKLAND e BEUCHAT, 1987).

Os microbiologistas foram alguns dos primeiros a reconhecer, a cerca de 50 anos, que a atividade de água (a_w) - e não a umidade - determina o crescimento, a taxa de sobrevivência, a formação de esporos e produção de toxinas de diversos microorganismos. A a_w é definida como sendo a relação entre a pressão de vapor de água no produto e a pressão de vapor da água pura, à mesma temperatura (ROCKLAND e BEUCHAT, 1987).

A a_w nos alimentos exerce influência sobre diversas reações químicas: reação de Maillard, oxidação de lipídeos, reações enzimáticas, degradação de vitaminas, desnaturação de proteínas e gelatinização do amido. A reação de Maillard ocorre à taxa máxima na faixa de a_w de 0,4 a 0,8. A oxidação de lipídeos ocorre à taxa mínima em a_w igual a 0,4 a 0,5, sendo que tanto abaixo como acima destes limites a taxa da reação aumenta. As reações de degradação de vitaminas têm sua taxa aumentada com o aumento da a_w entre 0,24 e 0,65. A gelatinização do amido é altamente dependente da disponibilidade de água no sistema (ROCKLAND e BEUCHAT, 1987). Em sistemas sob baixos valores de a_w não há água suficiente nas vizinhanças da proteína para ocorrer a reação de desnaturação (HAGERDAL e MARTENS, 1976).

A influência da a_w sobre a morte ou sobrevivência de microorganismos é complexa, pois varia em função de fatores intrínsecos e extrínsecos. Dentre os fatores intrínsecos do alimento, destaca-se o pH, a presença de compostos antimicrobianos e de nutrientes. Dentre os fatores extrínsecos, destacam-se a temperatura do meio, gases (oxigênio), tratamentos químicos e irradiação (ROCKLAND e BEUCHAT, 1987). A maioria das bactérias não se multiplica em $a_w < 0,91$ e a maioria dos fungos não cresce em $a_w < 0,80$ (AQUALAB, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Batatas

Neste estudo foram utilizadas batatas da cultivar asterix da safra de primavera do ano de 2006, adquiridas no Mercado Municipal de Curitiba, Paraná.

4.1.2 Gordura Vegetal Hidrogenada

As amostras foram fritas em gordura vegetal hidrogenada Soya, da marca Bunge.

4.1.3 Reagentes

O ácido L-ascórbico, utilizado no branqueamento, e o clorofórmio e o metanol, utilizados nas análises de absorção de gordura das batatas palha, todos P.A., foram adquiridos da empresa Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda. O poder acidificante do ácido foi testado em laboratório, sendo que mesmo a concentração mais baixa utilizada neste estudo (0,05g ácido/g 200mL água) foi suficiente para baixar o pH médio da solução até $3,81 \pm 0,12$, sendo este pH suficiente para inibir multiplicação de diversos microorganismos, bem como contribuir para a minimização do escurecimento enzimático.

4.2 MÉTODOS

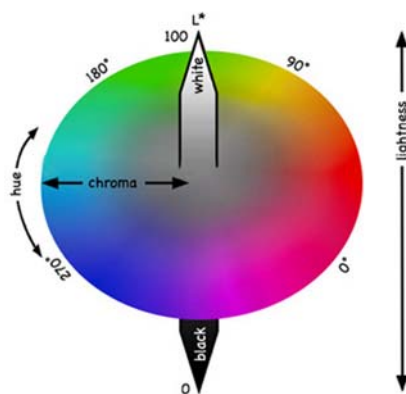
4.2.1 Preparo da matéria-prima

As batatas foram descascadas manualmente e fatiadas em um multiprocessador da marca Walita, modelo Mega Master Plus acoplado à lâmina para fatiar em filetes.

4.2.2 Medidas de cor

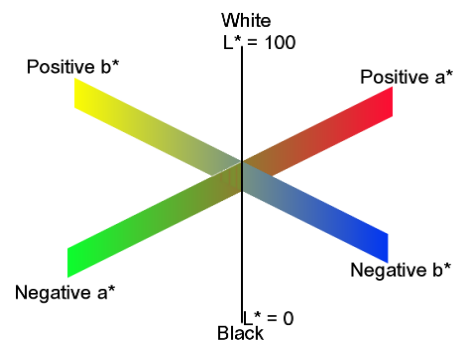
As escalas utilizadas nas medidas de cor deste estudo, apresentadas nas figuras 9 e 10, foram a CIE $L^*C^*h^*$ e a CIE $L^*a^*b^*$ (COMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, 1986). A escala CIE Lab consiste em três componentes de cores: a luminosidade (L^*), que varia de 0 (preto) a 100 (branco), a tonalidade verde-vermelha (a^*), e a tonalidade azul-amarela (b^*), as duas últimas não possuindo limites numéricos específicos (HUNTERLAB, 1996). Já a escala CIE LCh consiste na mesma componente L^* e mais o ângulo de tom ou "hue" ($0^\circ \leq h^* \leq 360^\circ$), que varia na direção angular e representa as diferentes cores existentes e o croma, que varia na direção radial e representa a pureza de uma cor em relação ao cinza. A diferença total de cor (ΔE) também foi computada.

Figura 9: Escala de cor CIE $L^*C^*h^*$



FONTE: RANSEN, 2006.

Figura 10: Escala de cor CIE $L^*a^*b^*$



FONTE: PHIL CRUSE, 1997.

Para estudar o escurecimento enzimático das batatas Asterix ao longo do tempo, batatas cruas, descascadas e fatiadas em filetes tiveram sua cor medida durante uma hora em intervalos de cinco minutos. As medidas foram tomadas em quadruplicata para obter-se uma leitura abrangente da cor da amostra. As médias foram submetidas a uma análise de variância e ao teste de médias de Tukey quando se fez necessário, valendo-se do programa Office Excel, versão 10, da empresa Microsoft Corporation.

Em um segundo momento, a cor dos filetes após o branqueamento foi medida para estimar o escurecimento enzimático. Em seguida, a cor dos filetes após a fritura foi medida para estimar o escurecimento não enzimático. Os efeitos das variáveis independentes sobre as propriedades de cor enquanto respostas foram estimados. As regressões correspondentes a esta etapa e demais análises dos modelos matemáticos foram realizadas utilizando o programa computacional Statistica 7.0 da empresa Statsoft.

As medições de cor foram tomadas utilizando-se um espectrofotômetro de refletância portátil da marca HunterLab, modelo MiniScan XE Plus. O equipamento foi previamente calibrado utilizando-se padrões de cor fornecidos pelo fabricante. As análises foram feitas em triplicata. O ângulo do observador de 10° foi o utilizado, o qual representa da melhor forma a resposta espectral de observadores humanos. O iluminador escolhido foi o D65, que representa a luz do sol ao meio dia ao redor do mundo (HUNTERLAB, 2000). As equações para o cálculo do ângulo de tom (h^*), do croma (C^*) e da diferença total de cor (ΔE), onde se utilizam as propriedades apresentadas acima L^* , a^* e b^* , são apresentadas abaixo:

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{(equação 1)}$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{(equação 2)}$$

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad \text{(equação 3),}$$

Onde o índice 0 representa a amostra de referência em cada caso.

4.2.3 Branqueamento e acidificação

Alíquotas de filetes de batata de $50,00 \pm 0,01\text{g}$ foram imersas em soluções aquosas de AA na proporção 1:4 em massa de batata/ solução, contidas em frascos de Erlenmeyer, seguindo o que foi utilizado por SEVERINI et al. (2003). Os frascos foram colocados em um banho-maria Dubnoff 304/D (Nova Ética, Vargem Grande Paulista, Brasil) com potência de 1200 W sob agitação de 120 rpm. A amostra controle (sem branqueamento) foi descascada manualmente, fatiada em filetes e

imediatamente imersa em água à temperatura ambiente ($25 \pm 0,1$ °C) pelo tempo de 5 minutos.

4.2.4 Drenagem e centrifugação

Entre o branqueamento e a fritura foi efetuada a drenagem dos filetes, utilizando-se de uma peneira de plástico para uso doméstico, e em seguida, procedeu-se à centrifugação dos filetes em uma centrífuga da marca Walita, com potência de 300 W, por 30 segundos. A remoção da água superficial foi efetuada para evitar que os filetes ficassem aderidos uns aos outros durante e ao final da fritura.

4.2.5 Análises do teor de gordura absorvida

Os filetes de batata foram fritos em uma fritadeira elétrica da marca Dazey Co., à temperatura inicial de 180°C. A fritura foi conduzida até cessar a formação de bolhas nos filetes, seguindo o que utilizaram ANDREU e PEREIRA (2004). A proporção de batata para óleo utilizada foi mantida em pelo menos 0,023 m/m, abaixo do limite máximo de 1kg de batata/ 25 L de óleo ou 0,044 m/m (considerando-se a densidade da gordura utilizada igual a $0,9 \text{ g/cm}^3$), que foi a recomendada por TFOUNI e MACHADO (2002) para manter constante a temperatura de fritura. O teor de gordura absorvido nas amostras foi quantificado pelo método de BLIGH e DYER (1959), que vem sendo utilizado com sucesso em outros estudos envolvendo batatas fritas como o que foi conduzido por MOYANO, RÍOSECO e GONZÁLEZ (2002) e PEDRESCHI e MOYANO (2005). As análises foram feitas em triplicata.

4.2.6 Análises de atividade de água (a_w)

As batatas fritas foram submetidas à medição em triplicata da sua a_w . Utilizou-se um medidor de a_w portátil da marca Decagon, modelo pa_wkit.

4.2.7 Delineamento experimental

Na tabela 2 são apresentados os três níveis utilizados para as seguintes variáveis independentes: temperatura de branqueamento, tempo de branqueamento e concentração de AA. Os experimentos foram feitos por meio do delineamento experimental de superfície de resposta do tipo Box-Behnken 3³. Segundo o National Institute of Standards and Technology – NIST (2006), metodologias de superfície de resposta são utilizadas quando o objetivo é maximizar ou minimizar uma resposta. Quando se estudam três fatores, o delineamento Box-Behnken oferece a vantagem, sobre outras metodologias de superfície de resposta, de necessitar um número menor de experimentos. Num segundo momento, as respostas foram otimizadas pela função desejo (DERINGER e SUICH, 1980), que é uma das ferramentas mais utilizadas na indústria para otimizar processos com múltiplas respostas. Outra técnica de otimização, a sobreposição de gráficos de superfície de resposta, poderia ser utilizada. Porém, segundo ZHOU e REGENSTEIN (2004), a sobreposição de gráficos é ineficiente e não pode ser automatizada, o que levou ao descarte desta metodologia para o presente estudo.

As seguintes variáveis dependentes foram medidas: nas batatas cruas, a luminosidade (L^*), a tonalidade verde-vermelha (a^*), a tonalidade amarelo-azul (b^*), o croma (C^*) e o ângulo de tom (h^*), medidos imediatamente após o branqueamento e após uma hora e ainda a diferença total de cor (ΔE) após uma hora; nas batatas fritas, os valores L^* , a^* , b^* , C^* e h^* e a absorção de gordura.

TABELA 2: VARIÁVEIS INDEPENDENTES UTILIZADAS NO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS.

Níveis	AA (g/100g batata)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
+1	0,4	10	85
0	0,2	5	70
-1	0,1	2	50

Os tempos de tratamento foram escolhidos com o intuito de estudar uma

grande faixa de tempo, que extrapolasse os valores utilizados em outros estudos, como o conduzido por SEVERINI et al. (2004), que aplicaram o branqueamento por 3 minutos, e o conduzido por MOYANO et al. (2002), que aplicaram o branqueamento por 8 minutos. As temperaturas de branqueamento foram escolhidas com o intuito de estudar uma grande faixa de temperatura, visto que na literatura foram encontrados diferentes estudos onde se utilizaram temperaturas de 55 °C (AGUILAR et al., 1997) até 85°C (PEDRESCHI e MOYANO, 2005; MOYANO E PEDRESCHI, 2006). A concentração máxima de AA foi de 0,4g para cada 100g de batata, para que a quantidade de ácido adsorvido nas batatas, quando estabelecido o equilíbrio osmótico, não ultrapassasse o limite de 0,2 g ácido/100g de batata, determinado por BRASIL (1988).

As quinze combinações geradas pelo programa para o delineamento Box-Behken utilizado neste estudo são apresentadas na tabela 3.

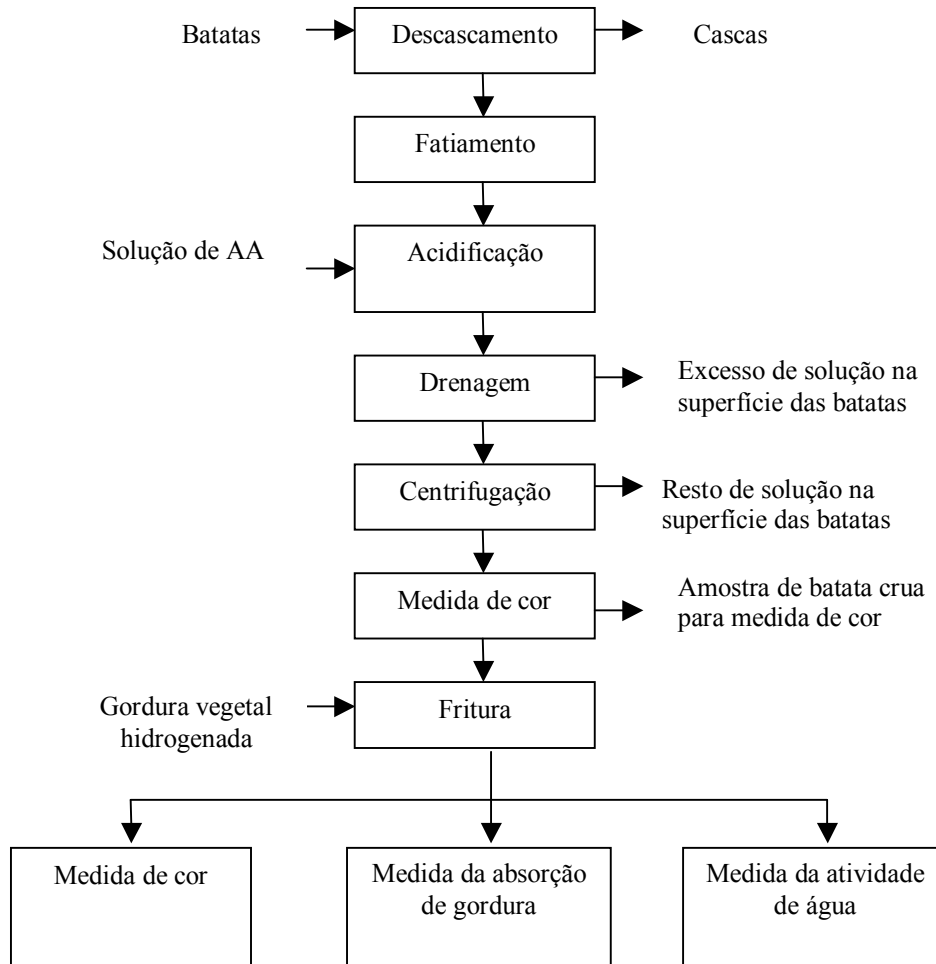
TABELA 3: DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO TIPO BOX-BEHNKEN UTILIZADO.

Amostras	AA (g/100g batata)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1	0,1	2	70
2	0,4	2	70
3	0,1	10	70
4	0,4	10	70
5	0,1	5	50
6	0,4	5	50
7	0,1	5	85
8	0,4	5	85
9	0,2	2	50
10	0,2	10	50
11	0,2	2	85
12	0,2	10	85
13	0,2	5	70
14	0,2	5	70
15	0,2	5	70

4.2.8 Diagrama de blocos do processamento da batata frita

A seqüência das operações efetuadas no laboratório foi expressa através de um diagrama de processo, apresentado na figura 11.

FIGURA 11 – DIAGRAMA DE PROCESSAMENTO DA BATATA FRITA



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA

Os tubérculos apresentaram em média $18,13 \pm 0,29$ % de matéria seca, $a_w = 0,983 \pm 0,015$, massa média de $156,77 \pm 43$ g e tamanho médio de $9,80 \pm 1,80$ cm x $4,20 \pm 0,26$ cm x $5,57 \pm 0,32$ cm. Os filetes crus tinham o formato aproximado de paralelepípedo e mediam em média $57,33 \pm 21,59$ mm de comprimento x $4,83 \pm 1,04$ mm de largura x $0,63 \pm 0,25$ mm de altura.

5.2 VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES OBJETIVAS DE COR COM O ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO

Na tabela 4 são apresentados os valores das propriedades de cor dos filetes de batata dos espaços LAB e LCh, medidos ao longo de uma hora a 25°C.

TABELA 4: PARÂMETROS DE COR DOS FILETES DE BATATA CRUA DA VARIEDADE ASTERIX EXPRESSA NOS ESPAÇOS DE COR LAB E LCH MEDIDOS AO LONGO DE UMA HORA A 25°C.

Tempo (min)	Coordenada de cor					
	L*	a*	b*	h*	C*	ΔE
0	76,690 ^a	0,140 ^a	26,850 ^a	89,700 ^a	26,850 ^a	0 ^a
5	74,350 ^a	1,550 ^b	25,070 ^{ab}	86,450 ^b	25,110 ^{abc}	3,680 ^{ab}
10	75,250 ^a	2,650 ^{bc}	26,370 ^a	84,260 ^{bc}	26,510 ^{ab}	3,110 ^{ab}
15	74,300 ^a	3,270 ^c	25,940 ^a	82,800 ^{bc}	26,150 ^{abc}	4,550 ^{ab}
20	70,830 ^b	3,490 ^c	24,780 ^a	82,070 ^{cd}	25,030 ^{abc}	7,500 ^{bc}
25	74,050 ^a	3,910 ^{cd}	25,940 ^a	81,450 ^{cd}	26,230 ^{abc}	5,130 ^{bc}
30	71,450 ^a	3,970 ^{cd}	23,880 ^b	80,530 ^d	24,210 ^c	7,710 ^{bc}
35	72,660 ^a	5,140 ^{de}	25,200 ^{ab}	78,480 ^{de}	25,720 ^{abc}	6,790 ^{bc}
40	72,270 ^a	4,910 ^{de}	24,530 ^b	78,710 ^{de}	25,030 ^{abc}	7,000 ^{bc}
45	71,230 ^a	4,930 ^{de}	23,830 ^b	78,320 ^{de}	24,350 ^{bc}	8,040 ^{bc}
50	69,190 ^b	5,050 ^{de}	23,740 ^b	78,010 ^{de}	24,280 ^{bc}	9,970 ^c
55	70,630 ^b	5,480 ^e	26,630 ^b	76,950 ^e	24,260 ^c	8,830 ^c
60	70,740 ^b	5,600 ^e	23,700 ^b	76,720 ^e	24,360 ^{bc}	8,790 ^c

*Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Com base no resultado da análise de variância e do teste de Tukey (tabela 4), pode-se afirmar que os parâmetros de cor das fatias de batata da variedade Asterix variaram significativamente ao longo de uma hora de medição. Conforme

destacaram MARSHALL, KIM e WEI (2000), uma vez rompido o tecido vegetal, surgem condições para que enzimas PFO e seus substratos fenólicos entrem em contato, ocasionando o escurecimento via enzimática da batata e de outros vegetais. O escurecimento enzimático das batatas da variedade Asterix se deu através de uma diminuição dos valores de L^* , b^* , h^* e C^* e um aumento de a^* e ΔE (tendo como referência a amostra cuja cor foi medida no tempo zero). A variação crescente do parâmetro a^* , ou seja, um aumento da vermelhidão da batata Asterix no espaço cromático $L^*a^*b^*$ (figura 10), deve ser interpretado como escurecimento enzimático, conforme o observado por BUENO et al. (2006) para batatas da mesma variedade e por BUNGER et al. (2004) para maçãs. A diminuição do valor de ângulo de tom (h^*) de 90° a 0° de uma amostra da batata Asterix significa uma mudança de tom do amarelo para o vermelho no espaço de cores $L^*C^*h^*$ (figura 9), o que deve ser interpretado como escurecimento enzimático segundo NICOLI, ANESE e SEVERINI (1994).

Os parâmetros de cor medidos nos filetes de batatas crus ao longo de uma hora foram ajustados por modelos matemáticos lineares e polinomiais de segunda ordem, o que é apresentado na tabela 5. Modelos polinomiais quadráticos descreveram melhor todos os parâmetros de cor dos espaços $L^*a^*b^*$ e $L^*C^*h^*$ nas batatas cruas fatiadas quando comparados aos lineares, levando à conclusão de que a mudança de cor atribuída ao escurecimento enzimático na batata Asterix é mais bem representada por modelos de segunda ordem. Segundo SHIMAKURA (2006) o valor de R^2 é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. No caso do parâmetro de cor a^* ajustado pelo modelo quadrático com $R^2 \approx 0,962$ ou 96,2%, tem-se que cerca de 4% da variabilidade dos valores de a^* não pode ser descrita pela variabilidade do tempo de medição.

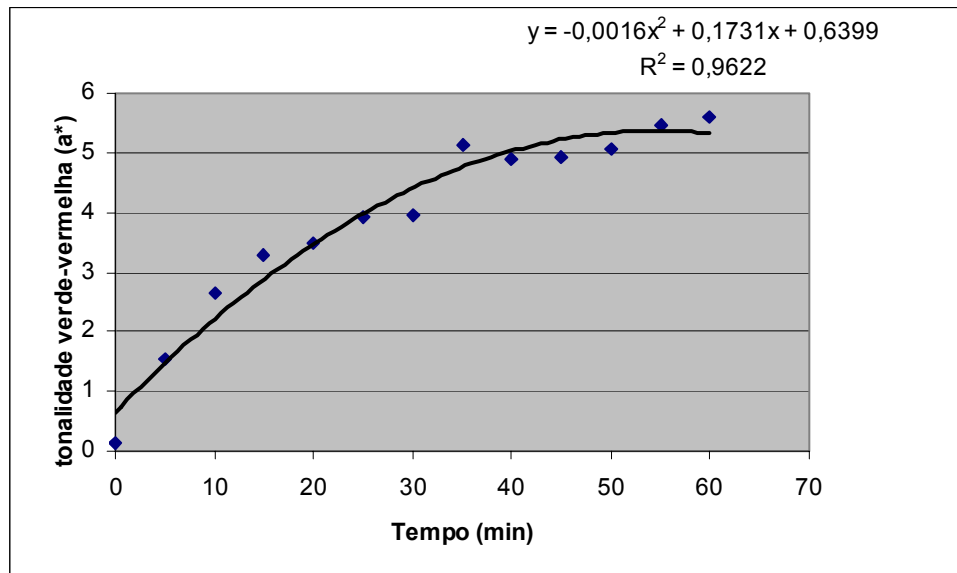
TABELA 5 – VALORES DE COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO PARA OS AJUSTES DOS

PARÂMETROS DE COR MEDIDOS NAS BATATAS CRUAS E FATIADAS POR MODELOS LINEARES E QUADRÁTICOS.

Parâmetro de cor	Valor de R ²	
	Linear	Polinomial quadrático
a*	0,8645	0,9622
b*	0,2968	0,3473
C*	0,5857	0,5864
h*	0,9034	0,9761
L*	0,7145	0,747
ΔE	0,7978	0,8401

Nos gráficos 1 e 2 são apresentadas as variações das propriedades de cor a* e h* de filetes de batatas cruas e descascadas da variedade Asterix ao longo do tempo a partir do tempo zero, quando as batatas foram fatiadas. As equações 4 e 5 representam modelos empíricos utilizados para ajustar as medidas de a* e h* dos filetes citados acima, respectivamente.

GRÁFICO 1 – VARIACÃO DE a* NA SUPERFÍCIE DE BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX CRUAS, DESCASCADAS E FATIADAS EM FILETES A 25°C AO LONGO DE UMA HORA.

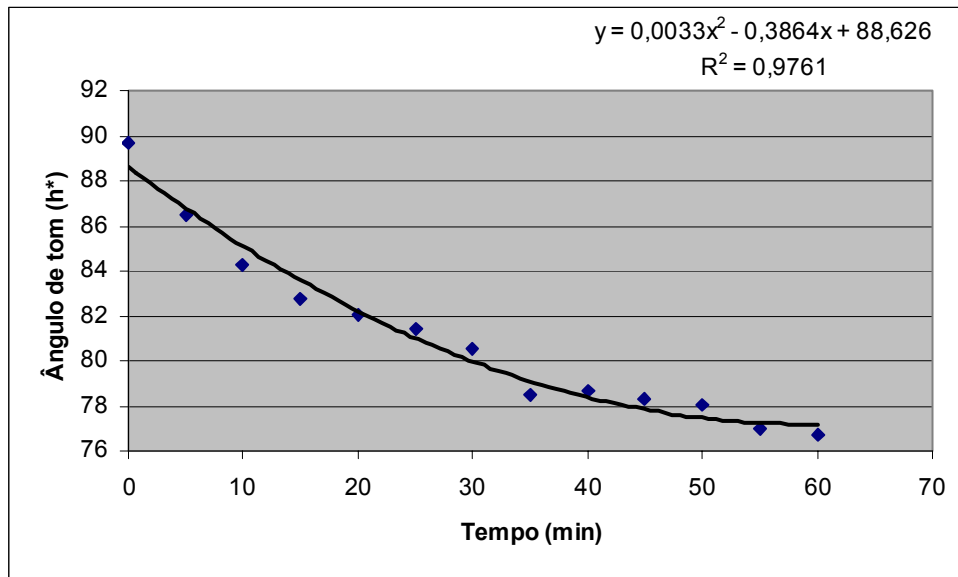


$$y = -0,0016x^2 + 0,1731x + 0,6399$$

(equação 4)

GRÁFICO 2 – VARIACÃO DE h* NA SUPERFÍCIE DE BATATAS DA VARIEDADE ASTERIX CRUAS,

DESCASCADAS E FATIADAS EM FILETES A 25°C AO LONGO DE UMA HORA.



$$y = 0,0033x^2 - 0,3864x + 88,626$$

(equação 5)

5.3 ABSORÇÃO DE GORDURA NAS BATATAS-PALHA

Conforme é apresentado na tabela 6, as amostras que apresentaram teor de gordura absorvido estatisticamente menor do que o da amostra controle foram aquelas submetidas aos tratamentos número cinco (0,1 g ácido/100g batata, 5 min e 50°C) e número sete (0,1 g ácido/100g batata, 5 min e 85°C). AGUILAR et al. (1997) reportaram que o branqueamento a baixas temperaturas (55°C) antes da fritura ativa a enzima pectinesterase e as reações resultantes diminuem a porosidade e por conseqüência redução a absorção de óleo. CALIFANO e CALVELO (1987) sugeriram que a gelatinização da camada superficial de amido promove a diminuição da absorção de gordura em batatas branqueadas, resultado semelhante ao observado no presente estudo. Contudo, as demais amostras submetidas ao branqueamento a 50°C (“6”, “9” e “10”) são estatisticamente iguais à amostra submetida ao tratamento número cinco. Além disso, dentre as demais amostras submetidas ao branqueamento à temperatura de 85°C (“8”, “11” e “12”) apenas a amostra “8” é estatisticamente igual à número “7”. Estes resultados, contrários ao

que se esperava, levam-nos a descartar qualquer tendência de variação da absorção de gordura exclusivamente com a temperatura de fritura. PEDRESCHI e MOYANO (2005) observaram um aumento na absorção de gordura por fatias finas de batata após a aplicação do branqueamento a 85°C por 3,5 minutos, diferindo do resultado obtido neste estudo com as respectivas condições de processo aqui utilizadas.

TABELA 6 – CONDIÇÕES DE BRANQUEAMENTO APLICADAS ÀS BATATAS CRUAS E TEORES DE GORDURA ABSORVIDOS PELAS BATATAS FRITAS.

Tratamento	Gordura absorvida (g gordura/g batata-palha)
1 (0,1 g/100g, 2 min, 70°C)	0,5690 ^c ±0,022
2 (0,4 g/100g, 2 min, 70°C)	0,4640 ^b ±0,011
3 (0,1 g/100g, 10 min, 70°C)	0,4590 ^b ±0,028
4 (0,4 g/100g, 10 min, 70°C)	0,5150 ^{bc} ±0,019
5 (0,1 g/100g, 5 min, 50°C)	0,3690 ^a ±0,024
6 (0,4 g/100g, 5 min, 50°C)	0,4520 ^{ab} ±0,047
7 (0,1 g/100g, 5 min, 85°C)	0,3670 ^a ±0,014
8 (0,4 g/100g, 5 min, 85°C)	0,4220 ^{ab} ±0,008
9 (0,2 g/100g, 2 min, 50°C)	0,4440 ^{ab} ±0,016
10 (0,2 g/100g, 10 min, 50°C)	0,4430 ^{ab} ±0,031
11 (0,2 g/100g, 2 min, 85°C)	0,4550 ^b ±0,008
12 (0,2 g/100g, 10 min, 85°C)	0,4950 ^{bc} ±0,035
13 (0,2 g/100g, 5 min, 70°C)	0,4190 ^{ab} ±0,028
14 (0,2 g/100g, 5 min, 70°C)	0,4810 ^b ±0,056
15 (0,2 g/100g, 5 min, 70°C)	0,5230 ^{bc} ±0,036
Controle (5 min, 25°C)	0,5350 ^{bc} ±0,021

A diminuição do teor de gordura absorvida em 30,8 % - de 0,535g gordura/g batata (controle) para cerca de 0,37 g gordura/g batata (tratamentos número cinco e número sete), dados apresentados na tabela 6 -, leva a conclusão de que pode-se denominar as batatas-palha submetidas aos tratamentos número cinco e número sete como “light” ou “teor reduzido de gordura” segundo BRASIL (1998). Por uma questão de gasto energético, o tratamento cinco é mais interessante.

5.4 MEDIDAS DE ATIVIDADE DE ÁGUA

Os valores medidos de a_w são apresentados na tabela 7.

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DE A_w DAS BATATAS FRITAS

Amostra	A_w
1	0,4830 ^{bc} ±0,011
2	0,4700 ^{bc} ±0,010
3	0,5200 ^d ±0,010
4	0,4730 ^{bc} ±0,011
5	0,4830 ^{bc} ±0,006
6	0,5100 ^d ±0,010
7	0,4730 ^{bc} ±0,006
8	0,5070 ^d ±0,006
9	0,4930 ^{cd} ±0,011
10	0,5130 ^d ±0,011
11	0,4800 ^{bc} ±0,010
12	0,4770 ^{bc} ±0,006
13	0,4300 ^a ±0,010
14	0,4570 ^{ab} ±0,011
15	0,4770 ^{bc} ±0,015
Controle	0,6400 ^e ±0,010

Todas as amostras apresentaram valores de a_w significativamente inferiores ao da amostra controle. Pode-se afirmar, portanto, que as batatas-palha branqueadas são mais estáveis – possuem maior vida de prateleira – do que a amostra não branqueada. Além disso, DECAGON DEVICES (2007) relata que leveduras osmófilas sobrevivem em condições de $a_w \geq 0,6$, valor inferior ao observado para a amostra controle, indicando que a batata palha não-branqueada é suscetível à contaminação com estes microorganismos, o que não se observa na batata palha branqueada.

A amostra 13, submetida ao branqueamento com 0,2 g AA/ 100g de batata, por 5 minutos à 70°C foi a que apresentou a menor a_w . Contudo, as amostras 14 e 15 foram submetidas a mesmas condições de branqueamento. Sendo assim, os desvios padrão dos valores médios de a_w , somados à variabilidade inerente à precisão do equipamento ($\pm 0,02$), explica a diferença de a_w entre estas amostras.

5.5 MEDIDAS DE COR

5.5.1 Batatas branqueadas cruas

Na tabela 8 são apresentados os valores dos parâmetros de cor dos espaços de cor LAB e LCh nos filetes de batata crua branqueada, medidos imediatamente (“imed.”) e uma hora após (“ap. 1 hora”) a aplicação do branqueamento.

TABELA 8 – MÉDIAS DAS PROPRIEDADES DE COR DOS FILETES DE BATATA MEDIDAS IMEDIATAMENTE E UMA HORA APÓS A APLICAÇÃO DO BRANQUEAMENTO

Amostra	a* imed.	a* ap. 1 hora	L* imed.	L* ap. 1 hora	b* imed.	b* ap. 1 hora	C* imed.	C* ap. 1 hora	h* imed.	h* ap. 1 hora
1	-0,563 ^c	9,200 ^f	75,897 ^a	66,070 ^d	24,753 ^e	23,444 ^f	24,760 ^e	25,184 ^e	-88,693 ^b	68,577 ^h
2	-1,460 ^b	-1,123 ^a	73,133 ^b	72,277 ^c	27,423 ^c	25,180 ^e	27,462 ^c	25,205 ^e	-86,953 ^c	92,555 ^a
3	-1,333 ^b	1,470 ^c	73,007 ^b	68,213 ^d	29,067 ^c	24,743 ^e	29,097 ^c	24,787 ^e	-87,370 ^c	86,601 ^e
4	-0,787 ^c	-0,213 ^b	74,793 ^a	75,093 ^a	33,530 ^a	34,260 ^a	33,539 ^a	34,261 ^a	-88,655 ^b	90,358 ^{cd}
5	-0,827 ^c	-0,307 ^b	71,433 ^b	70,840 ^c	28,133 ^c	26,743 ^d	28,145 ^c	26,745 ^d	-88,316 ^b	90,657 ^{cd}
6	-0,853 ^c	-0,097 ^b	76,183 ^a	76,160 ^a	30,737 ^b	29,123 ^c	30,749 ^b	29,123 ^c	-88,409 ^b	90,191 ^{cd}
7	-0,827 ^c	1,370 ^c	70,903 ^b	67,387 ^d	30,027 ^b	24,313 ^e	30,038 ^b	24,352 ^e	-88,424 ^b	86,768 ^e
8	-1,177 ^b	-0,517 ^a	73,747 ^b	72,750 ^b	26,387 ^d	26,680 ^d	26,413 ^d	26,685 ^d	-87,449 ^c	91,109 ^{bc}
9	-0,200 ^d	17,330 ^h	76,550 ^a	57,257 ^f	20,800 ^f	19,210 ^h	20,801 ^f	25,872 ^d	-89,320 ^a	47,962 ^j
10	-0,243 ^d	11,140 ^g	75,253 ^a	61,130 ^e	24,957 ^e	20,390 ^h	24,958 ^e	23,235 ^f	-89,449 ^a	61,352 ⁱ
11	-0,103 ^d	7,677 ^e	76,143 ^a	67,850 ^d	24,557 ^e	23,087 ^f	24,557 ^e	24,329 ^e	-89,758 ^a	71,605 ^g
12	-0,340 ^d	0,140 ^b	74,863 ^a	77,143 ^a	30,923 ^b	31,660 ^b	30,925 ^b	31,660 ^b	-89,368 ^a	89,748 ^d
13	-1,480 ^b	-1,193 ^a	75,557 ^a	76,910 ^a	27,267 ^d	26,890 ^d	27,307 ^c	26,916 ^d	-86,888 ^c	92,541 ^a
14	-1,93 ^a	-0,687 ^a	75,757 ^a	74,957 ^a	24,480 ^e	21,917 ^g	24,556 ^e	21,927 ^f	-85,490 ^d	91,794 ^{ab}
15	-1,437 ^b	2,477 ^d	71,090 ^b	67,083 ^d	27,007 ^d	22,077 ^g	27,045 ^d	22,215 ^f	-86,951 ^c	83,602 ^f
Controle	-0,803 ^c	2,600 ^d	78,05 ^a	74,876 ^b	28,990 ^c	24,63 ^e	29,001 ^c	24,767 ^e	-88,413 ^b	83,974 ^f

* Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as amostras pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Conforme citado anteriormente, o escurecimento enzimático da batata Asterix foi expresso por uma diminuição nos valores de L^* , b^* , C^* e h^* (entre 0 e 90°) e pelo aumento no valor de a^* ou de h^* (entre -90° e 0°). Sendo assim, em tratamentos de minimização do escurecimento enzimático buscam-se mudanças dos parâmetros de cor contrárias às citadas acima. Com base na tabela 8, pode-se afirmar que o menor valor de a^* - cor menos vermelha - foi observado para a amostra 14. O maior valor de L^* - cor mais clara - foi observado para as amostras 1, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e controle. Os maiores valores de b^* - cor mais amarela - foram observados para a amostra 4. Os maiores valores de C^* - cor mais saturada - foram observados para a amostra 4. Os menores valores de h^* , entre -90° e 0° - cor mais distante do vermelho - foram observados para as amostras 9, 10, 11 e 12.

Levando em consideração os valores do delta (Δ) do teste de Tukey – utilizados para verificar diferença entre as médias e apresentados na tabela 9 - para as médias da tabela 8, pode-se verificar se houve diferença significativa nas propriedades de cor dos filetes de batata após 1 hora, em comparação às medidas tomadas imediatamente após a aplicação do branqueamento.

TABELA 9 – PARÂMETROS DE COR DAS BATATAS FATIADAS MEDIDOS IMEDIATAMENTE E UMA HORA APÓS O BRANQUEAMENTO E AS DIFERENÇAS MÍNIMAS (Δ) ENTRE AS MÉDIAS PELO TESTE DE TUKEY AO NÍVEL DE 5%.

Parâmetro de cor	Valor de Δ do teste de Tukey (5%)
a^* imediatamente	0,3170
a^* após uma hora	0,8353
L^* imediatamente	3,5458
L^* após uma hora	2,2566
b^* imediatamente	1,7957
b^* após uma hora	1,1969
C^* imediatamente	1,7927
C^* após uma hora	1,3878
h^* imediatamente	0,7483
h^* após uma hora	1,0485

No espaço de cores LAB tem-se que, para a propriedade a^* medida imediatamente após o branqueamento ($\Delta = 0,317$), todas as amostras, exceto a 13,

apresentaram valores de a^* estatisticamente maiores após 1 hora. Para a propriedade L^* medida imediatamente após o branqueamento ($\Delta = 3,546$), tem-se que as amostras 1, 3, 9, 10 e 11 apresentaram valores de L^* estatisticamente inferiores após 1 hora. Para a propriedade b^* medida imediatamente após o branqueamento ($\Delta = 1,796$), tem-se que as amostras 2, 3, 7, 10, 14 e 15 apresentaram valores estatisticamente menores após 1 hora. Estas variações de cor denotam o escurecimento enzimático da amostra após 1 hora. No espaço de cores LCh, tem-se que, para a propriedade C^* medida imediatamente após o branqueamento ($\Delta = 1,793$), as amostras 2, 3, 7, 9, 14 e 15 apresentaram valores estatisticamente diferentes após 1 hora. Finalmente, para a propriedade h^* medida imediatamente após o branqueamento ($\Delta = 0,748$), tem-se que todas as amostras apresentaram valores estatisticamente diferentes após uma hora.

Na figura 12 são apresentados, da esquerda para a direita, os filetes de batata fotografados uma hora após serem submetidos aos tratamentos 11, 10 e 9, respectivamente.

FIGURA 12: FILETES DE BATATA CERCA DE UMA HORA APÓS SEREM SUBMETIDOS AOS TRATAMENTOS 11, 10 E 9.



TRATAMENTO 11 (0,2 g/100g, 2 min, 85°C)	TRATAMENTO 10 (0,2 g/100g, 10 min, 50°C)	TRATAMENTO 9 (0,2 g/100g, 2 min, 50°C)
--	---	---

5.5.2 Batatas branqueadas fritas

Na tabela 10 são apresentados os valores dos parâmetros de cor final das batatas fritas. Segundo SANTIS et al. (2007), a luminosidade (L^*) das batatas fritas é uma espécie de medida da qualidade de cor das batatas, sendo que batatas muito escuras (baixos valores de L^*) tendem a ser rejeitadas pelo consumidor. Segundo PEDRESCHI et al. (2006), fatias de batata tendem a escurecer à medida que a fritura prossegue, sendo que tal escurecimento é representado pela redução no valor de L^* , aumento no valor de a^* e diminuição no valor de b^* . No presente estudo, observou-se que, com exceção das amostras “8” e “5”, o valor de L^* das batatas branqueadas foi mais alto do que o da amostra controle (tabela 10). Os valores de a^* de todas as amostras foram menores do que o da amostra controle. Os valores de b^* de todas as amostras foram maiores do que o da amostra controle, exceto a amostra “9”. As amostras “12” e “13” apresentaram o menor escurecimento (maior L^* , menor a^* e maior b^*), sendo que o tratamento “13” gasta menos energia.

TABELA 10 – PARÂMETROS DE COR DAS BATATAS FRITAS

Amostra	L^* frita	a^* frita	b^* frita	c^* frita	h^* frita
1	58,6330 ^b	5,8000 ^b	40,9270 ^b	41,3360 ^b	81,9500 ^c
2	60,2030 ^a	2,3130 ^a	39,1530 ^b	39,2220 ^b	86,5950 ^a
3	60,1300 ^a	6,3100 ^c	45,2200 ^a	45,6580 ^a	82,0560 ^c
4	56,5570 ^b	6,7270 ^c	42,9100 ^a	43,4340 ^a	81,1090 ^c
5	57,1400 ^b	4,3200 ^b	40,0700 ^b	40,3020 ^b	83,8470 ^b
6	60,2270 ^a	6,1800 ^c	43,5800 ^a	44,0160 ^a	81,9300 ^c
7	48,7500 ^a	9,5600 ^d	37,3200 ^c	38,5250 ^b	75,6330 ^e
8	62,0430 ^d	2,4870 ^a	40,7770 ^b	40,8520 ^b	86,5270 ^a
9	41,4830 ^c	15,1470 ^e	34,6880 ^d	37,8490 ^b	66,3950 ^g
10	51,4400 ^b	8,3930 ^d	40,2300 ^b	41,0960 ^b	78,2220 ^d
11	58,2470 ^a	8,2400 ^d	41,5970 ^b	42,4050 ^a	78,7970 ^d
12	63,8530 ^a	2,8530 ^a	42,6070 ^a	42,7020 ^a	86,1750 ^a
13	62,1730 ^a	3,5300 ^a	42,1530 ^a	42,3010 ^a	85,2120 ^a
14	58,5330 ^b	6,4670 ^c	44,4230 ^a	44,8910 ^a	81,7530 ^c
15	41,4670 ^d	15,3770 ^e	38,1800 ^c	41,1600 ^b	68,0630 ^f
Controle	38,1330 ^d	17,6300 ^f	34,7460 ^d	38,9650 ^b	63,0970 ^h

* Letras diferentes na mesma coluna indicam uma diferença significativa entre as amostras segundo o teste de Tukey ao nível de 5%.

5.5.3 Ajuste das respostas medidas por modelos de superfície de resposta

Os valores das variáveis-respostas foram estimados utilizando-se modelos de superfície de resposta descritos por equações polinomiais de segunda ordem, sendo que cada resposta foi ajustada a um modelo específico, para que se obtivessem os maiores valores de coeficiente de determinação (R^2) possíveis.

Na tabela 11 são apresentadas apenas as variáveis dependentes que foram previstas por um modelo matemático com valores de coeficiente de determinação maior que 0,5, bem como os tipos de modelos utilizados nas regressões para prever seus valores, os efeitos ignorados em cada regressão e os valores do R^2 dos modelos. Respostas ajustadas com $R^2 < 0,5$ não foram consideradas para efeitos de ajuste e não são apresentadas na tabela 11.

TABELA 11 – VARIÁVEIS-RESPOSTA PREVISTAS PELOS MODELOS DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE SEGUNDA ORDEM, TIPOS DE MODELOS UTILIZADOS, EFEITOS IGNORADOS NOS MODELOS E VALORES DE R^2 DO AJUSTE.

Resposta	Modelo	Efeitos ignorados	R^2
Δa^*	Sem interações	ÁCIDO (L)	0,7150
a^* após uma hora	Sem interações	ÁCIDO (L)	0,7372
a^*	Interações lineares	ÁCIDO(L) e 2L x 3L	0,9570
C^*	Interações lineares	TEMPERATURA(Q)	0,8200
h^*	Interações lineares	ÁCIDO(Q) e 2L x 3L	0,9219
h^* após uma hora	Sem interações	ÁCIDO (L) e TEMPO (L)	0,6667
Δh^*	Interações lineares	ÁCIDO (Q) e 1L x 2L	0,7746

NOTA: L = linear; Q = quadrático.

Dentre as respostas investigadas, a tonalidade verde-vermelha (a^*) e o ângulo de tom (h^*) medidos imediatamente após o branqueamento foram ajustadas com os maiores valores de R^2 (acima de 0,9) aos modelos. Altos valores de R^2 são um indício de que os modelos são capazes de representar uma alta porcentagem da variabilidade dos dados observados (ZHOU e REGENSTEIN, 2004). As equações 6 e 7 correspondem aos modelos matemáticos de segunda ordem utilizados para prever os valores das respostas a^* e h^* após o branqueamento, respectivamente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_3^2 + \beta_6 X_1 X_2 + \beta_7 X_1 X_3 \quad (\text{Equação 6})$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_3^2 + \beta_6 X_1 X_2 + \beta_7 X_1 X_3 \quad (\text{Equação 7})$$

onde X_1 , X_2 e X_3 representam os níveis dos fatores apresentados na tabela 3, $\beta_0 - \beta_7$ representam os coeficientes estimados e Y é a variável-resposta.

Na tabela 12 é apresentada a análise de variância para o modelo de superfície de resposta de 2ª ordem gerado para prever a tonalidade vermelho-verde (a^*) nas batatas.

TABELA 12: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE 2ª ORDEM UTILIZADO PARA PREVER OS VALORES DE TONALIDADE VERMELHO-VERDE (a^*) DOS FILETES DE BATATA CRUA IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO.

Fator	SQ	GL	QM	F	P
(1)ácido (Q)	0,0200	1	0,0200	0,7619	0,4117
(2)tempo (L)	0,0007	1	0,0007	0,0279	0,8722
tempo (Q)	1,5379	1	1,5379	58,6800	0,0001*
(3)Temperatura (L)	0,0239	1	0,0239	0,9110	0,3716
Temperatura (Q)	2,1341	1	2,1341	81,4276	0,0000*
1L by 2L	0,5082	1	0,5082	19,3907	0,0031*
1L by 3L	0,0375	1	0,0375	1,42991	0,2707
Erro	0,183464	7	0,026209		
Total SQ	4,271605	14			

*Significativo ao nível de 5%. NOTA: L = linear; Q = quadrático; SQ = soma dos quadrados; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio; F = valor "F"; P = probabilidade.

O tempo e a temperatura de branqueamento (termos quadráticos), bem como a interação entre concentração de AA e tempo de branqueamento influenciaram significativamente a tonalidade vermelho-verde (a^*) das amostras ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 13 são apresentados os valores experimentais da coordenada tonalidade verde-vermelha (a^*) medidos e os valores previstos pelo modelo matemático gerado pelo programa computacional.

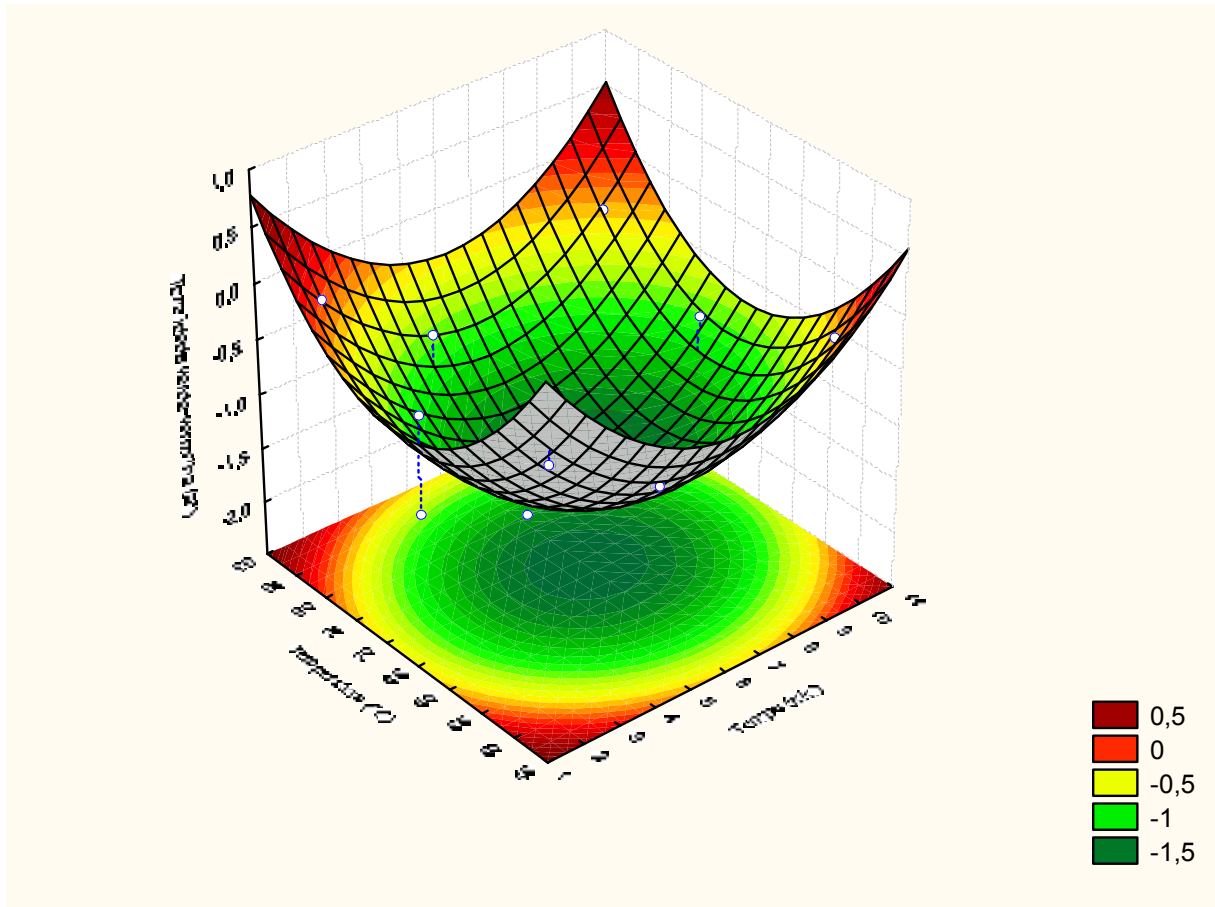
TABELA 13: VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) DOS FILETES DE BATATA CRUA MEDIDOS IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO, PREVISTOS PELO MODELO E OS RESÍDUOS.

Experimento	Observado	Previsto	Resíduo
1	-0,56333	-0,65808	0,0947
2	-1,46000	-1,44127	-0,0187
3	-1,33333	-1,31632	-0,0171
4	-0,78667	-0,74572	-0,0409
5	-0,82667	-0,84731	0,0206
6	-0,85333	-0,88835	0,0350
7	-0,82667	-0,75717	-0,0695
8	-1,17667	-1,20855	0,0319
9	-0,20000	-0,09034	-0,1097
10	-0,24333	-0,29732	0,0540
11	-0,10333	-0,13698	0,0336
12	-0,34000	-0,34396	0,0040
13	-1,48000	-1,60954	0,1295
14	-1,93000	-1,60954	-0,3205
15	-1,43667	-1,60954	0,1729

Os dados previstos de a^* apresentados na tabela 13 apresentaram um resíduo máximo de $-0,320463$, o que corresponde a 16,6 % de diferença em relação aos dados observados. ZHOU e REGENSTEIN (2004) valeram-se da metodologia de superfície de resposta para prever valores otimizados de extração de gelatina de pele de peixe, onde constataram um resíduo máximo de 10,81 %.

No gráfico 3 é apresentada a superfície de resposta dos valores de a^* como função dos fatores tempo e a temperatura, fixando-se a concentração de AA no ponto central (0,2 g ácido/ 100 g de batata). Fixando-se a concentração de AA em 0,2g/100g os menores valores de tonalidade verde-vermelha ($a^* = -1,5$) nas amostras foram obtidos quando se utilizaram temperaturas intermediárias – no mínimo $\approx 62,5^\circ\text{C}$ – durante tempos intermediários – no mínimo $\approx 4,75$ minutos.

GRÁFICO 3: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA TEMPERATURA.



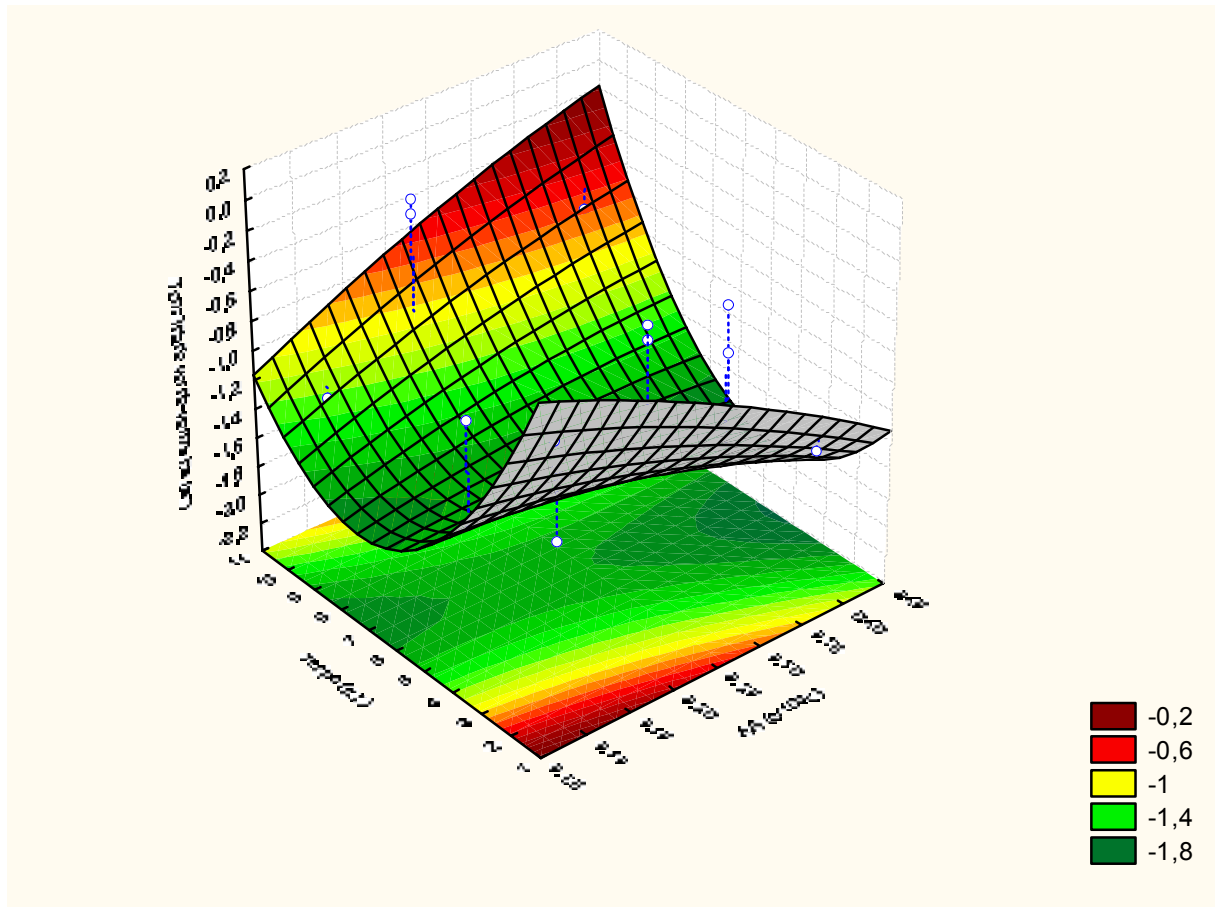
A equação 8 representa o modelo de superfície de resposta para prever valores de a^* com a concentração de AA fixada em 0,2 g/100g.

$$a^* = 11,7741 - 0,6610 \times [\text{tempo}] + 0,0435 \times [\text{tempo}]^2 - 0,3364 \times [\text{temperatura}] + 0,0025 \times [\text{temperatura}]^2 + 0,5641 \times 0,2000 \times [\text{tempo}] - 0,0391 \times 0,2000 \times [\text{temperatura}] - 0,0803$$

(equação 8)

No gráfico 4 é apresentada a superfície de resposta dos valores de a^* como função do tempo e da concentração de AA, fixando-se a temperatura no ponto central (70°C).

GRÁFICO 4: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.



À temperatura de 70 °C os melhores valores de tonalidade verde-vermelha ($a^* = -1,8$) são obtidos quando se utilizam mínimas ou altas concentrações de AA ($\approx 0,05$ g/100g batata ou $\approx 0,37$ g/100g batata) durante um tempo intermediário – no mínimo aproximadamente 6 minutos. Este resultado é semelhante ao observado por SEVERINI et al. (2003) no que tange à concentração de ácido na solução, diferindo, porém no que concerne ao tempo de tratamento.

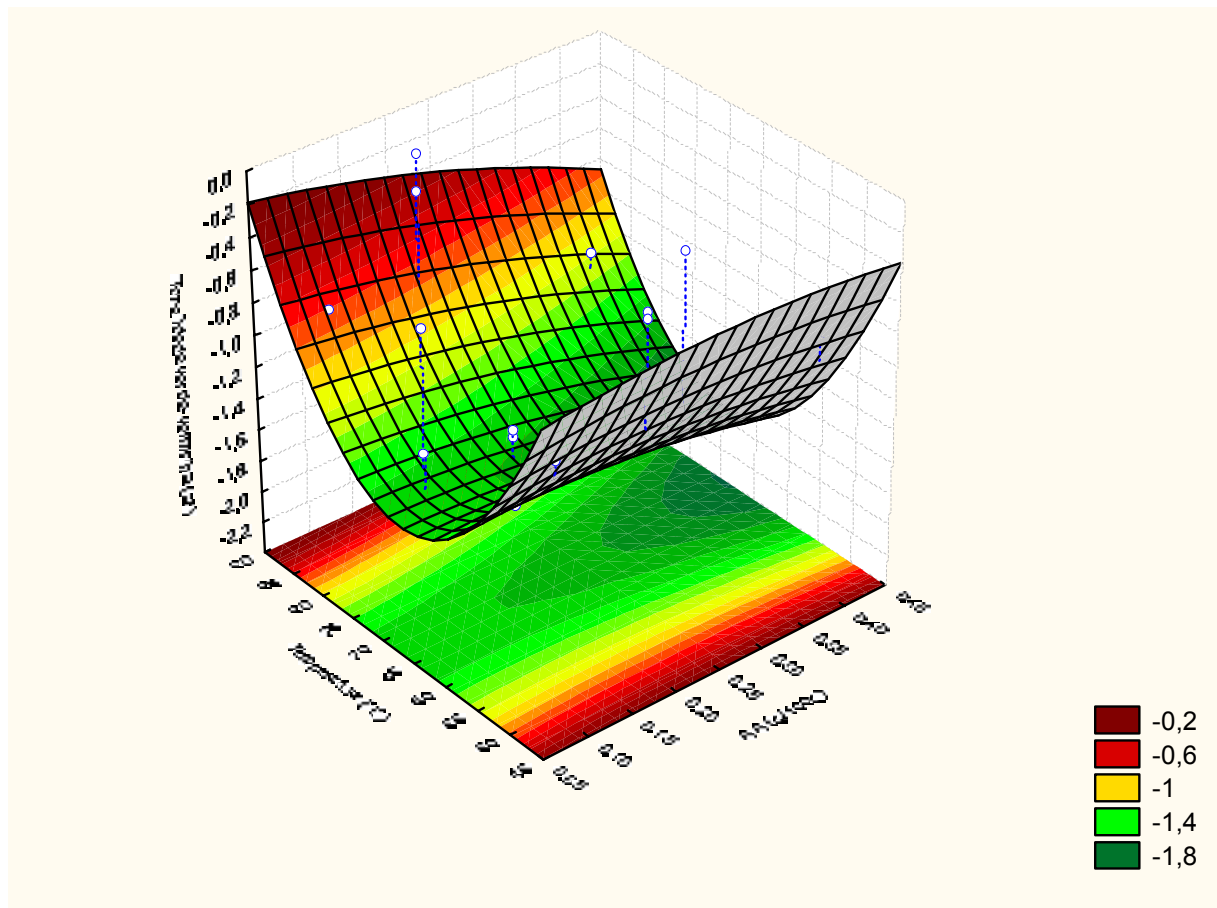
A equação 9 representa o modelo de superfície de resposta para prever valores de a^* com a temperatura fixada em 70°C.

$$a^* = 11,7741 - 2,0064 \times [\text{ácido}]^2 - 0,6610 \times [\text{tempo}] + 0,0435 \times [\text{tempo}]^2 + 0,5641 \times [\text{ácido}] \times [\text{tempo}] - 0,0391 \times 70,0000 \times [\text{ácido}] - 11,1035$$

(equação 9)

No gráfico 5 é apresentada a superfície de resposta dos valores de a^* como função da temperatura e da concentração de AA, fixando-se o tempo no ponto central (5 minutos).

GRÁFICO 5: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE TONALIDADE VERDE-VERMELHA (a^*) COMO FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.



Os menores valores de tonalidade verde-vermelha ($a^* = -1,8$) nas amostras foram obtidos quando se utilizaram temperaturas entre 62,5 a 72,5°C, tempo de tratamento de 5 minutos, e uma concentração de AA de 0,375 a 0,45 g ácido/ 100 g batata. Por uma questão de custos é mais interessante utilizar os limites inferiores de tempo e de temperatura citados acima.

A equação 10 corresponde ao modelo de superfície de resposta para prever valores de a^* com o tempo fixado em 5 minutos.

$$a^* = 11,7741 - 2,0064 \times [\text{ácido}]^2 - 0,3364 \times [\text{temperatura}] + 0,0025 \times [\text{temperatura}]^2 + 0,5641 \times 5,0000 \\ \times [\text{ácido}] - 0,0391 \times [\text{ácido}] \times [\text{temperatura}] - 2,2169$$

(equação 10)

Na tabela 14 é apresentada a análise de variância para o modelo de superfície de resposta de 2ª ordem gerado para prever o ângulo de tom (h^*) nas batatas. Conforme é apresentado na tabela 14, o tempo (termo quadrático), a temperatura (termo quadrático) e a interação entre concentração de AA e tempo foram os fatores que influenciaram significativamente o ângulo de tom das amostras.

TABELA 14: ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREVER OS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) DOS FILETES DE BATATA APÓS O BRANQUEAMENTO.

Fator	SQ	GL	QM	F	P
(1)ácido (L)	0,0093	1	0,0093	0,0410	0,8453
(2)tempo (L)	0,1443	1	0,1443	0,6324	0,4526
tempo (Q)	7,0045	1	7,0045	30,6913	0,0009*
(3)Temperatura (L)	0,0961	1	0,0961	0,4210	0,5371
Temperatura (Q)	9,9213	1	9,9213	43,4717	0,0003*
1L by 2L	2,3651	1	2,3651	10,3630	0,0147*
1L by 3L	0,3909	1	0,3909	1,7126	0,2320
Erro	1,5976	7	0,2282		
Total SQ	20,4470	14			

*Significativo ao nível de 5%. NOTA: L = linear; Q = quadrático; SQ = soma dos quadrados; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio; F = valor "F"; P = probabilidade.

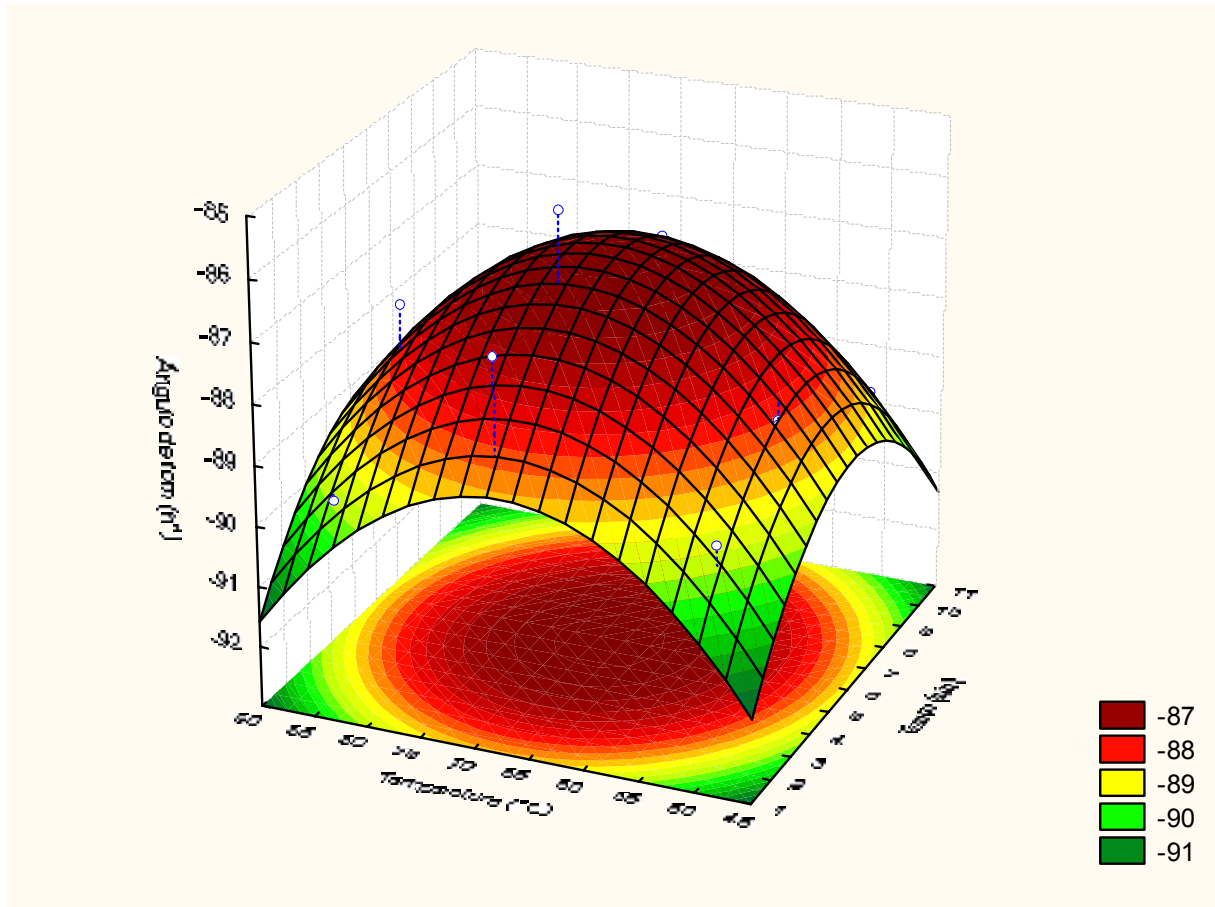
O termo que descreve a influência individual da concentração de AA nos valores de ângulo de tom das batatas não foi significativo (tabela 14). Este resultado é semelhante ao que foi observado por LIMBO e PIERGIOVANNI (2006), quando constataram que o escurecimento enzimático em batatas descascadas e fatiadas não foi influenciado pela concentração de AA. Os dados previstos de h^* , apresentados na tabela 15, apresentaram um resíduo máximo de $-0,431818$, o que corresponde a 0,5 % de diferença em relação aos observados, resultado melhor que o obtido por ZHOU e REGENSTEIN (2004).

TABELA 15: VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) DOS FILETES DE BATATA MEDIDOS IMEDIATAMENTE APÓS O BRANQUEAMENTO, PREVISTOS PELO MODELO E OS RESÍDUOS.

Experimento	Observado	Previsto	Resíduo
1	-88,6933	-88,5378	-0,1555
2	-86,9532	-86,9078	-0,0454
3	-87,3704	-87,3378	-0,0326
4	-88,6555	-88,6586	0,0032
5	-88,3162	-88,1201	-0,1961
6	-88,4092	-88,2889	-0,1203
7	-88,4239	-88,5010	0,0771
8	-87,4495	-87,4584	0,0089
9	-89,3203	-89,6511	0,3307
10	-89,4491	-89,4347	-0,0144
11	-89,7580	-89,6282	-0,1298
12	-89,3679	-89,4118	0,04384
13	-86,8877	-86,5197	-0,3679
14	-85,4896	-86,5197	1,0301
15	-86,9516	-86,5197	-0,4318

No gráfico 6 é apresentada a superfície de resposta dos valores de h^* como função do tempo e da temperatura, fixando-se a concentração de AA no ponto central (0,2 g ácido/ 100 g de batata). Os melhores valores de ângulo de tom ($h^* = -91^\circ$) foram observados quando se combinaram o tempo e a temperatura do processo da seguinte forma: 1 minuto/ 90 °C, 1 minuto/ 45°C, 11 minutos/ 45 °C e 11 minutos/ 90°C. Sob o ponto de vista de custos, o processo mais atraente é o que combina 1 minuto de branqueamento e a temperatura 45°C.

GRÁFICO 6: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA TEMPERATURA.



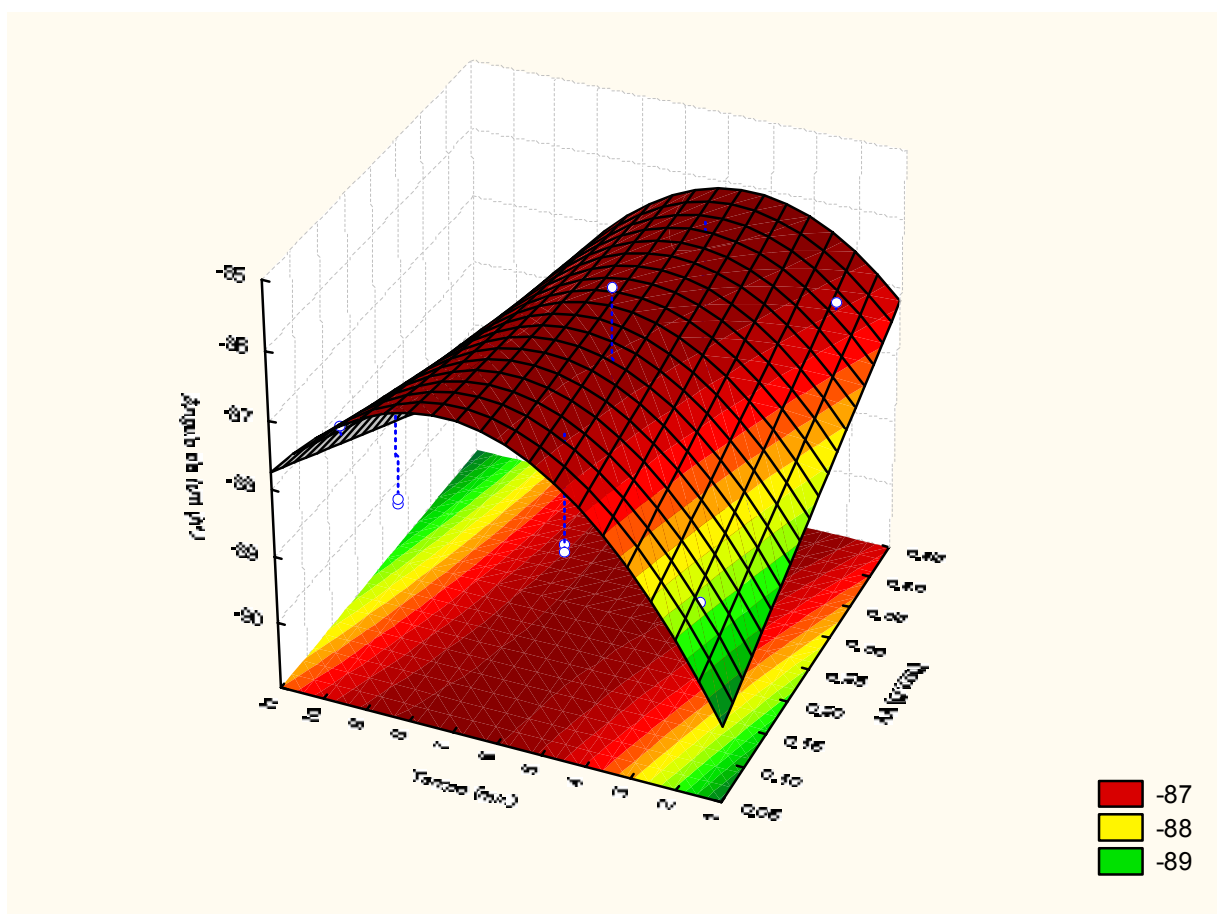
Conforme é apresentado na escala de cores CIE LCh (figura 9), o ângulo de tom igual a -91° corresponde ao tom azul, e à medida que o seu valor aumenta, o tom aproxima-se do vermelho, o que denota o escurecimento enzimático da amostra, o que está de acordo com o que observaram SEVERINI et al. (2003). O comportamento demonstrado no gráfico 6 pode ser devido a um efeito de lavagem dos componentes resultantes do escurecimento enzimático pela solução de branqueamento. Ou seja, num momento inicial de branqueamento (1 minuto) os compostos marrons (melaninas) ainda não foram sintetizados. Em tempos intermediários de branqueamento (2 a 10 minutos), as melaninas estão aderidas à superfície das dos filetes de batata. Já ao final do processo (11 minutos), as melaninas foram removidas da superfície dos filetes pela solução de branqueamento.

A equação 11 representa o modelo de superfície de resposta para prever valores de h^* com a concentração de AA fixada em 0,2 g/100g.

$$h^* = 114,8426 + 1,3878 \times [\text{tempo}] - 0,0929 \times [\text{tempo}]^2 + 0,7172 \times [\text{temperatura}] - 0,0055 \times [\text{temperatura}]^2 - 1,2295 \times 0,2000 \times [\text{tempo}] + 0,1154 \times 0,2000 \times [\text{temperatura}] - 0,0367$$

(equação 11)

GRÁFICO 7: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DO TEMPO E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.



Quando se utilizou uma concentração de 0,05 a 0,10g AA/ 100g de batata, obteve-se valores baixos de h^* . O efeito do AA sobre o escurecimento enzimático foi observado por GUERRERO-BELTRÁN et al. (2005), que constataram que o uso de concentrações de AA similares às utilizadas neste estudo foi efetivo na manutenção da cor inicial de purê de manga após três dias de armazenamento refrigerado. A

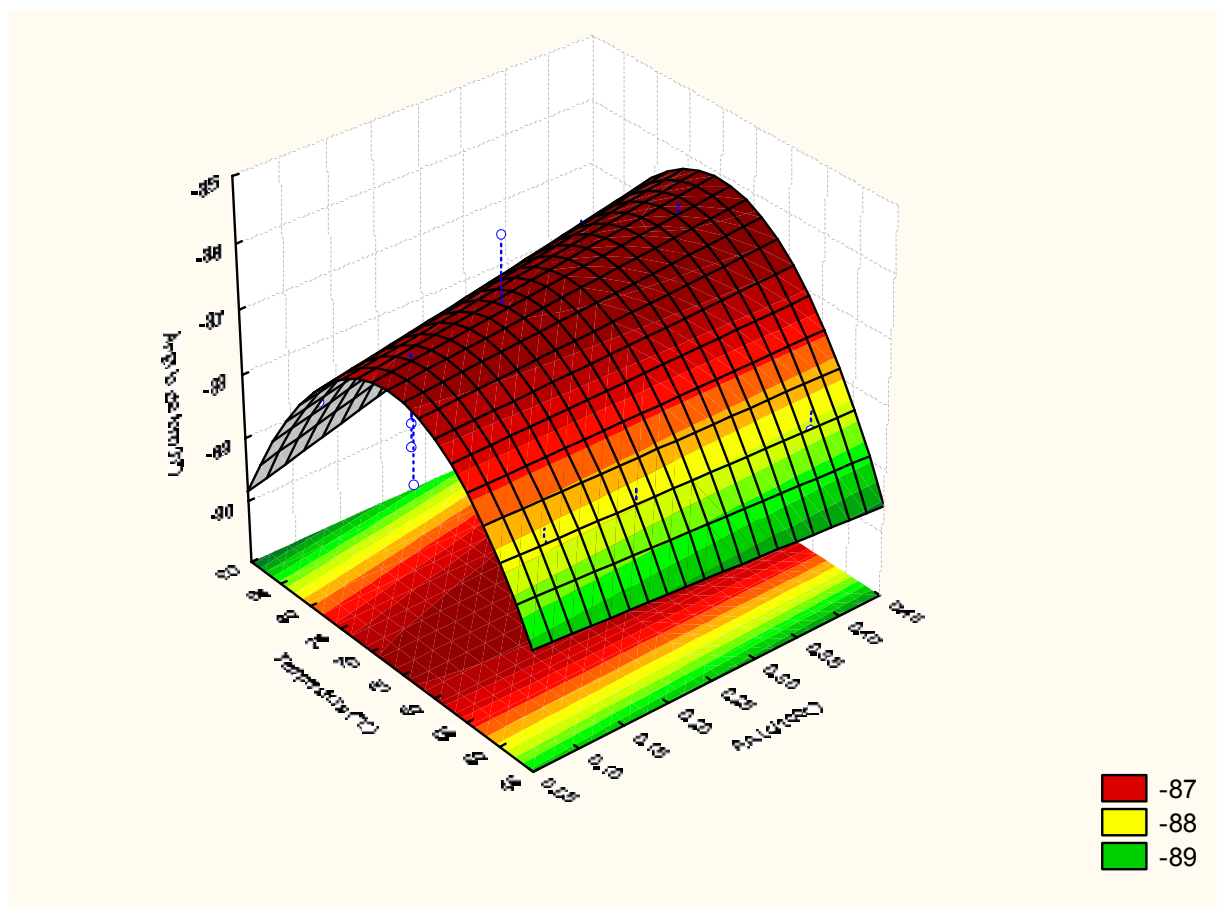
equação 12 representa o modelo de superfície de resposta para prever valores de h^* com a temperatura fixada em 70°C.

$$h^* = 114,8426 - 0,1834 \times [\text{ácido}] + 1,3878 \times [\text{tempo}] - 0,0929 \times [\text{tempo}]^2 - 1,2295 \times [\text{ácido}] \times [\text{tempo}] + 0,1154 \times 70,0000 \times [\text{ácido}] + 23,3575$$

(equação 12)

No gráfico 8 é apresentada a superfície de resposta dos valores de h^* como função da concentração de AA e da temperatura, fixando-se o tempo no ponto central (5 minutos).

GRÁFICO 8: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DOS VALORES DE ÂNGULO DE TOM (h^*) COMO FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO DE AA.



Os menores valores de h^* (-89°) apresentados no gráfico 8 foram obtidos para uma temperatura de 90°C e concentração de ácido de $0,05\text{ g AA/ }100\text{g}$ batata e também para a temperatura de 45° C e concentração de ácido de $0,45\text{ g AA/ }100\text{g}$ batata. A equação 13 representa o modelo de superfície de resposta para prever valores de h^* com o tempo fixado em 5 minutos.

$$h^* = 114,8426 - 0,1834 \times [\text{ácido}] + 0,7172 [\text{temperatura}] - 0,0055 \times [\text{temperatura}]^2 - 1,2295 \times 5,0000 \times [\text{ácido}] + 0,1154 \times [\text{ácido}] \times [\text{temperatura}] + 4,6164$$

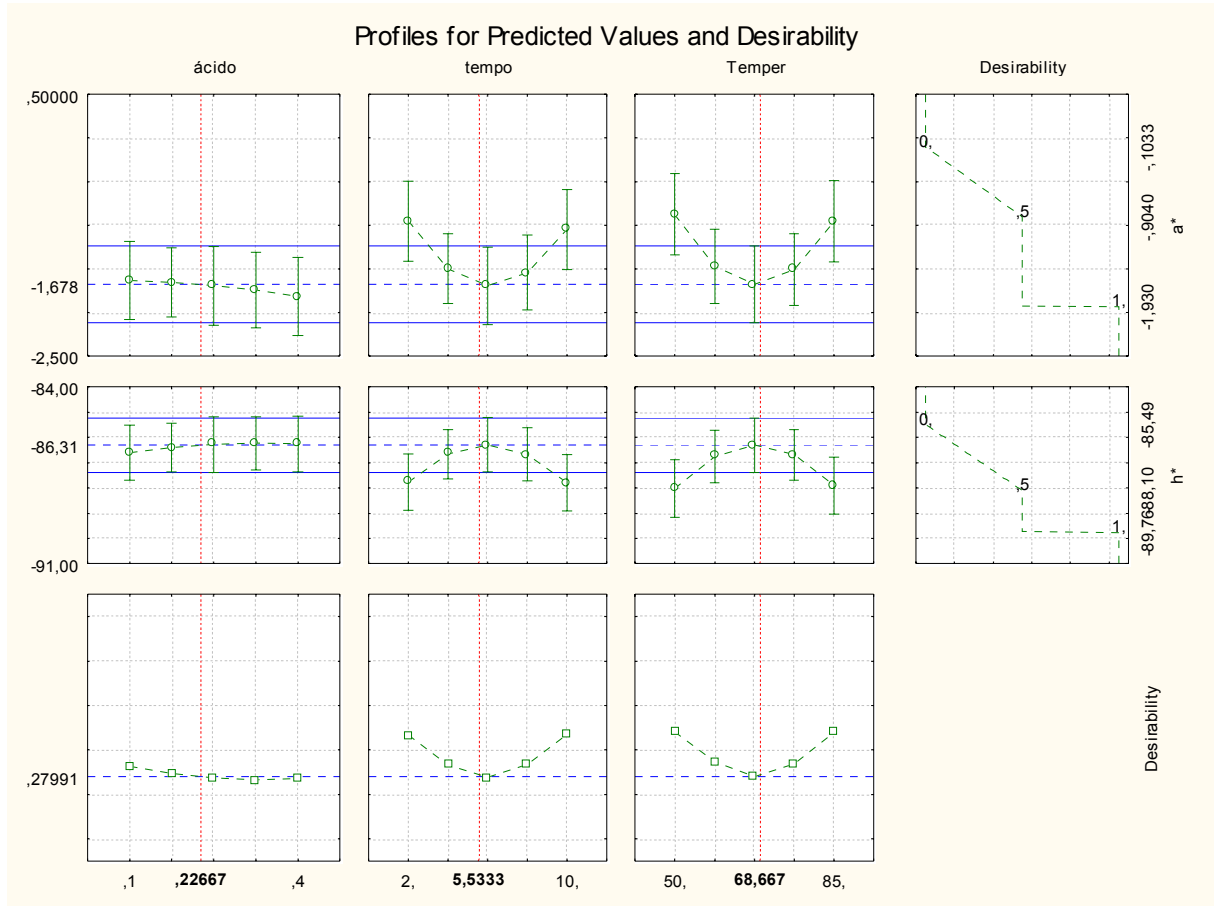
(equação 13)

5.5.4 Otimização do processo de branqueamento

O processo de branqueamento em função da minimização do escurecimento enzimático, o qual foi expresso através das propriedades de cor a^* e h^* , foi otimizado utilizando-se a função desejo. No gráfico 9 são apresentados os valores ótimos de cor das batatas e as condições ótimas para o processo de branqueamento.

Nas curvas da quarta coluna do gráfico 9 são apresentados os níveis das variáveis independentes estipulados e o desejo correspondente para cada resposta, sendo que o número 1 (um) corresponde a uma resposta muito desejável (ideal), e assim por diante até o número 0 (zero) que corresponde a uma resposta indesejável. Os valores ao final das linhas vermelhas verticais do gráfico 9 são os níveis ótimos das variáveis independentes do processo. A concentração ótima de AA é $0,2268\text{ g ácido/ }100\text{g}$ de batata. O tempo ótimo é $5,5333$ minutos. A temperatura ótima é de $68,6670^\circ\text{C}$. Utilizando-se estes níveis dos fatores chegar-se-á, segundo a ferramenta de otimização função desejo, a um valor de tonalidade verde-vermelha (a^*) de $-1,6780$, um valor de ângulo de tom (h^*) de $-86,3100$, apresentados à esquerda da primeira coluna de curvas do gráfico 9 e que representam o mínimo escurecimento enzimático na batata Asterix.

GRÁFICO 9: CURVAS DA FUNÇÃO DESEJO UTILIZADAS PARA OTIMIZAR O PROCESSO DE BRANQUEAMENTO



6 CONCLUSÕES

- a. A cor dos filetes crus de batatas da variedade Asterix variou devido ao escurecimento enzimático, que foi representado através de uma diminuição dos valores de L^* , b^* , h^* e C^* e um aumento de a^* e ΔE .
- b. As condições ótimas de branqueamento em função da minimização do escurecimento enzimático foram: 0,2267 g AA/ 100g de batata, 5,533 minutos e 68,67°C, obtendo-se valores de a^* e h^* nos filetes de batata iguais a -1,678 e -86,31, respectivamente.
- c. O escurecimento não-enzimático foi minimizado nas amostras submetidas ao branqueamento sob as seguintes condições: 0,2 g ácido/100g batata, 5 min, 70°C (tratamento “13”).
- d. Houve uma redução de mais de 30,8% no teor de gordura absorvida pela batata-palha - em relação à amostra controle - após ser submetida ao branqueamento com 0,1 g ácido/100g batata, por 5 min e a 50°C (tratamento “5”) o que significa, de acordo com a legislação, que este produto é classificado como “*light*” ou “teor reduzido de gordura”.
- e. Os valores de atividade de água das batatas fritas branqueadas foram significativamente inferiores ao das batatas fritas controle.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a. Repetir os experimentos utilizando os filetes de batata com temperatura estabilizada e igual antes da fritura.
- b. Repetir os experimentos utilizando limites menores das variáveis do processo de branqueamento, escolhidos com base nos resultados do presente trabalho.
- c. Testar as condições otimizadas teóricas no laboratório.
- d. Repetir os experimentos com a temperatura ambiente controlada.
- e. Medir a atividade da PFO nas batatas da variedade Asterix.

REFERÊNCIAS

- ABBA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Variedades**, 2006. Disponível em http://www.abbabatatabrasileira.com.br/abatata_var_asterix.htm. Acesso em dez./ 2006.
- AGUILAR, C. N.; ANZALDÚA-MORALES, R.; TALAMÁS, R.; GASTÉLUM, G. Low-temperature blanch improves textural quality of French-fries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, p. 568–571, 1997.
- ANDREU, M. A.; PEREIRA, A. da S. Qualidade industrial de famílias clonais de batata. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n. 4, p. 511-513, 2004.
- APPEL, B. **Blanching common beans**, 2005. Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Blanching.jpg>. Acesso em fev./2007.
- AQUALAB. **Water activity for product quality**, 2007. Disponível em http://www.decagon.com/aqualab/aw_info.html. Acesso em fev./2007.
- BALTES, W. Chemical changes in food by the Maillard reaction. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.18, p. 59, 1982.
- BAUERNFEIND, J.C.; PINKERT, D.M. Food processing with added ascorbic acid. **Advances in Food Research**, San Diego, v. 18, p. 219-315, 1970.
- BILLAUD, C.; BRUN-MÉRIMÉE, S.; LOUARME, L.; NICOLAS, J. Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple I: enzymatic browning and enzyme activity inhibition. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 84, p. 223-233, 2004.
- BILLAUD, C; ROUX, E.; BRUN-MÉRIMÉE, S.; MARASCHIN, C.; NICOLAS, J. Inhibitory effect of unheated and heated D-glucose, D-fructose and L-cysteine solutions and Maillard reaction products model systems on polyphenoloxidase from apple. I – Enzymatic browning and enzyme activity inhibition using spectrophotometric and polarographic methods. **Food Chemistry**, Amsterdam v. 81, p. 35-50, 2003.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. A. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, p. 911–917, 1959.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Introdução à química de alimentos**, 3ª ed. São Paulo: Varela, 2003, 223p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 4, de 24 de novembro de 1988. Aprova revisão das Tabelas I, III, IV e V referente a Aditivos Intencionais, bem como os Anexos I, II, III e VII, todas do Decreto n.º 55.871, de 26 de março de 1965. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, dez. 1988.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 43, de 01 de fevereiro de 1996. Aprova a extensão de uso do Aditivo PIROFOSFATO DISSÓDICO (Pirofosfato ácido de sódio, difosfato dissódico) na função de estabilizante de acordo com o que se segue. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, fev. 1996b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 239, de 22 de maio de 1996. Concede a extensão de uso dos aditivo BHT e BHA como a função de antioxidante em produtos desidratados de batata, com limite máximo de 50mg/kg para os compostos individualmente ou sua somatória (BHA+BHT). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, mai. 1996a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, out. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, jan. 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 217, de 29 de julho de 2005. Aprova a Extensão de Uso do Aditivo Dióxido de Enxofre e seus Sais de Cálcio, Sódio e Potássio de acordo com o Anexo da presente Resolução. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, jul. 2005.

BUENO, F.T.A.; WASZCZYNSKYJ, N.; MASSON, M.L.; REIS, F.R. Influência do teor de fenóis totais e da atividade da polifenoloxidase sobre o escurecimento enzimático da batata (*Solanum tuberosum* L.). In: LIVRO DE RESUMOS DO 14º EVENTO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba: Editora UFPR, 2006, p. 479.

BUNGER, A.; MOYANO, P.C.; VEJA, R.E.; GUERRERO, P.; OSÓRIO, F. Osmotic Dehydration and Freezing as Combined Processes on Apple Preservation. **Food Science and Technology International**, Thousand Oaks, v. 10, n. 3, p. 163-168, 2004.

CALIFANO, A. N.; CALVELO, A. Adjustment of surface concentration of reducing sugars before frying of potato strips. **Journal of Food Processing and Preservation**, Oxford, v. 12, p. 1–9, 1987.

COCCI, E.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M. Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 265 – 271, 2006.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE - CIE. **CIE Publication 15.2**. Viena: Central Bureau of the CIE, 1986.

DECAGON DEVICES. **Water activity vs. water content**, 2007. Disponível em http://www.decagon.com/aqualab/water_content.html. Acesso em fev./2007.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, n. 4, p. 214-219, 1980.

EPAGRI. **Sistemas de Produção para batata-consumo e batata-semente em Santa Catarina**. 3ª ed. Florianópolis: EPAGRI, 2002, 123p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **ProdSTAT: Crops**, 2006. Disponível <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em jan. / 2006.

GOLUBOWSKA, G. Changes of polysaccharide content and texture of potato during French fries production. **Food Chemistry**, v. 60, p. 847-851, 2005.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, G.; AHRNÉ, L; GEKAS, V; SJÖHOLM, I. Analysis of temperature distribution in potato tissue during blanching and its effect on the absolute residual pectin methylesterase activity. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 65, p. 433-441, 2004.

GUERRERO-BELTRÁN, J.A.; SWANSON, B.G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-Hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v.38, p. 625-630, 2005.

HAGERDAL, B.; MARTENS, H. Influence of water contents on the stability of myoglobin to heat treatment. **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, p.525, 1976.

HUNTERLAB. CIE L*a*b* color scale. **Applications Note**, v.8, n.7, p.1-4, 1996.

HUNTERLAB. What is color and how is measured. **Applications Note**, v.12, n.5, p.1-8, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa01200705.shtm>. Acesso em jan. / 2007.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Acrylamide (group 2A)**. Disponível em <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol60/m60-11.html>. Acesso em fev./ 2007.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 2ª ed. São Paulo: Sarvier, 1995, 839p.

LIMBO, S.; PIERGIOVANNI, L. Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.39, p. 254-264, 2006.

LOPES, C. A.; BUSO, J. A. Cultivo da Batata. **Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças**, Brasília, v. 8, p.1-6. EMBRAPA, 1997.

MARSHALL, M; KIM, J.; WEI, C. **Enzymatic Browning in Fruits, Vegetables and Seafoods**, 2000. Disponível em <http://www.fao.org/ag/ags/agsi/ENZYMEFINALEnzymatic%20Browning.html>. Acesso em dez. /2005.

MOYANO, P.C., RÍOSECO, V. K., GONZÁLEZ. P.A. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated french fries. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 54, p. 249-255, 2002.

MOYANO. P.C; PEDRESCHI, F. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v.39, n. 3, p. 285-291, 2006.

NEPA/UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO versão 2**, 2006. Disponível em <http://www.unicamp.br/nepa/taco/>. Acesso em dez./2006.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; SEVERINI, C. Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruits. **Journal of Food Quality**, v. 17, p. 221–229, 1994.

NIST/SEMATECH. **E-Handbook of Statistical Methods**, 2003. Disponível em <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, date. Acesso em dez./2006

NOMENCLATURE COMMITTEE OF THE INTERNATIONAL UNION OF BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY – NC-IUBMB. **Enzyme nomenclature**, 2006. Disponível em <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>.

Acesso em dez. / 2006.

OTWELL, W.S.; MARSHALL, M.R. Studies on the use of sulfites to control shrimp melanosis (blackspot): Screen alternatives to sulfiting agents to control shrimp melanosis. **Florida seagrant technical paper**, n. 46, p. 1-10, 1986.

PEDRESCHI, F.; LEÓN, J.; MERY, D.; MOYANO, P. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. **Food Research International**, Amsterdam, v. 39, n. 10, p. 1092-1098, 2006.

PEDRESCHI, F.; MOYANO, P. Oil uptake and texture development in fried potato slices. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 70, p. 557-563, 2005.

PHIL CRUSE. **Introduction to Colour Spaces - CIE Lab & LCH**, 1997. Disponível em http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.html. Acesso em jan./2007.

PRESTON, J.W. **Processing the mulberry leaf: blanching completed**, 2003. Disponível em <http://www.greenroyal.com/process8.htm>. Acesso em fev./2007.

RANSEN, O.F. **RGB and CIE LAB TIFF formats for Digital Textile Printing**, 2006. Disponível em <http://www.fabric24.com/Tiff.htm>. Acesso em jan./2007.

ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L.R. **Water activity: theory and applications to food**. Nova Iorque: Marcel Dekker, 1987.

SANTIS, N.; MENDOZA, F.; MOYANO, P.; PEDRESCHI, F.; DEJMEK, P. Soaking in a NaCl solution produce paler potato chips. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 40, p. 207-212, 2007.

SEGNINI, S.; DEJMEK, P.; ÖSTE, R. A low cost video technique for color measurement of potato chips. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 32, p. 216-222, 1999.

SEVERINI, C.; BAIANO, A.; DE PILLI, T.; ROMANIELLO, R. DEROSI, A. Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v.36, p. 657-665, 2003.

SEVERINI, C.; DEROSI, A.; DE PILLI, T.; BAIANO, A. Acidifying-blanching of 'Cicorino' leaves: effects of recycling of processing solution on product pH. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.39, p. 811-815, 2004.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food process engineering: theory and laboratory experiments**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2000.

SHIMAKURA, S. **Coeficiente de Determinação**, 2006. Disponível em <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node76.html>. Acesso em fev./2007.

SOLIVA, R.C.; ELEZ, P.; SEBASTIÁN, M.; MARTÍN, O. Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods. **Innovative Food Science & Emerging Technology**, Amsterdam v.1, p. 261 – 268, 2001.

SON, S.M.; MOON, K.D.; LEE, C.Y. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 73, p. 23-30, 2001.

TALBURT, W.F.; SMITH, O.S. **Potato processing**, 3ª ed. Westport: The AVI Publishing Company, Inc., 1975.

TFOUNI, S.A.V; MACHADO, R.M.D. Batata pré-frita congelada. **Revista Agronegócio**, Campinas, nº1, p. 1-18, 2002.

THE ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Not naughty, but nice**, 2007. Disponível em <http://www.chemsoc.org/chembytes/ezine/1997/naughty.htm>. Acesso em fev./2007

VERLINDEN, B.E.; YUKSEL, D., BAHERI, M.; DE BAERDEMAEKER, J.; VAN DIJK, C. Low temperature blanching effect on the changes in mechanical properties during subsequent cooking of three potato cultivars. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.35, p.331-340, 2000.

WALKER, J.R.L. Enzymatic browning in foods. Its chemistry and control. **Food Technology**, Chicago, v. 12, p. 19-25, 1977.

WHITAKER, J.R. Effect of pH on rates of enzyme-catalyzed reactions. In: O.R. Fennema, ed. **Principles of enzymology for the Food Sciences**, New York: Marcel Dekker, 1972.

ZHOU,P.; REGENSTEIN, J.M. Optimization of extraction conditions for Pollock skin gelatin. **Journal of Food Science**, Chicago, v.69, n. 5, p.393-398, 2004.

ZORZELLA, C.A.; VENDRUSCOLO, J.L.S.; TREPTOW, R. O.; ALMEIDA, T.L. de. Caracterização física, química e sensorial de genótipos de batata processados na forma de chips. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n.1, p. 15-24, 2003.